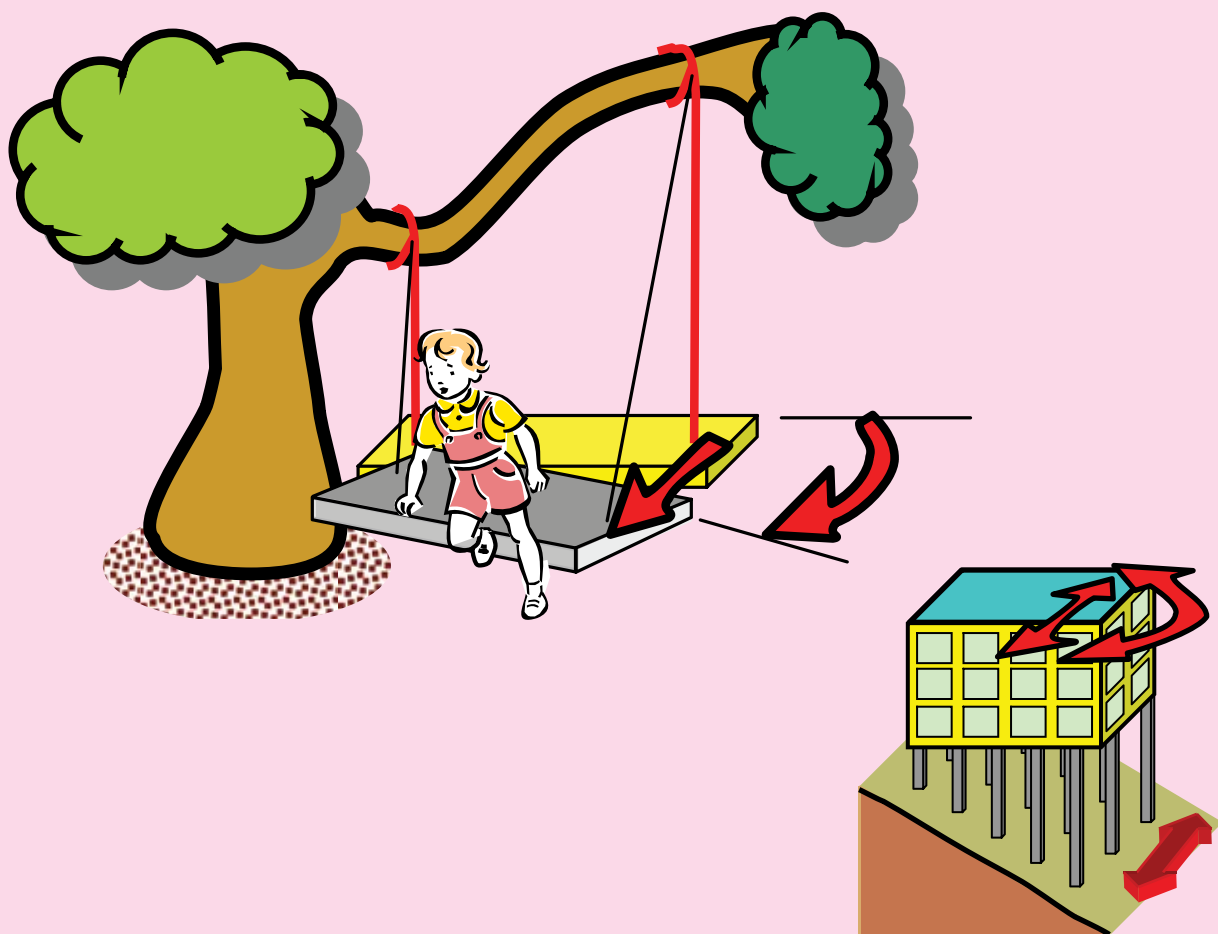


# IITK - भारत

## भूकम्प मार्गदर्शक सुभाष

भूकम्प प्रतिरोधी भवन डिजाइन तथा निर्माण प्रविधिको ज्ञान



लेखक

सी.वी.आर. मूर्ति

अनुवादक

युक्त विलास मरहट्टा/मिलन बगाले

परिमार्जनकर्ता

जितेन्द्र कुमार बोथरा



Empowered lives.  
Resilient nations.



### **अंग्रेजी संस्करण प्रकाशक**

भूकम्प इन्जिनियरिङ्ग राष्ट्रिय सूचना केन्द्र (NICEE)

इन्डियन इन्स्टिट्यूट अफ् टेक्नोलोजी, कानपुर, भारत

फोन: ९०५१२० २५९ ७८६६

इमेल: nicee@iitk.ac.in; वेबसाईट: [www.nicee.org/EQtips.php](http://www.nicee.org/EQtips.php)

### **नेपाली संस्करण : अनुवाद तथा प्रकाशन**

संयुक्त राष्ट्रसंघीय विकास कार्यक्रम/बृहत्तर विपद जोखिम व्यवस्थापन कार्यक्रम

डेस्क परियोजना कार्यालय, कर्मचारी संचयकोष भवन, चौथो तल्ला, ललितपुर

फोन नं. ०१५००४१७६/७८

### **प्रथम नेपाली संस्करण**

२०७३ साल, पुस

## मूल लेख (अंग्रेजी संस्करण) परिमार्जनकर्ता

- ❖ श्रीमती अल्पा आर सेठ, वकिल मेहता सेठ कन्सल्टिङ्ग इन्जिनियर्स, मुम्बई, भारत
- ❖ प्राध्यापक एन्ड्रयु चार्ल्सन, भिक्टोरिया युनिवर्सिटी अफ विलिङ्गटन, न्युजिल्याण्ड
- ❖ डा.सीपी राजेन्द्रन्, सेन्टर फर अर्थ साइन्स स्टडिज, ट्रिवान्ड्रम
- ❖ प्राध्यापक क्रिस्टोफर आरनोल्ड, विलिङ्ग साइन्स डिवेलप्मेन्ट, अमेरिका
- ❖ प्राध्यापक दुर्गेश सि.राय, इन्डियन इन्स्टिट्यूट अफ टेक्नोलोजी, कानपुर, भारत
- ❖ प्राध्यापक के.एन. खत्री, वाडिया इन्स्टिट्यूट अफ हिमालयन जियोलोजी, देहरादुन, भारत
- ❖ डा.लियोनार्डो सिवर, लमोन्ट-डोहर्टी अर्थ ओब्जर्वेटरी, अमेरिका
- ❖ डा.प्रवीण के.मलहोत्रा, फयाक्ट्री म्युच्युअल रिसर्च कर्पोरेशन, अमेरिका
- ❖ प्राध्यापक रवर्ट डि.ह्यान्सन, दि युनिवर्सिटी अफ मिशिगन, अमेरिका
- ❖ प्राध्यापक श्रीकृष्ण सिं, इन्स्टिट्यूटो डे जियोफिसिका, मेक्सिको
- ❖ प्राध्यापक सुधिर कुमार जैन, इन्डियन इन्स्टिट्यूट अफ टेक्नोलोजी, कानपुर, भारत
- ❖ प्राध्यापक स्वेतलाना ब्रजेभ, ब्रिटिश कोलम्बिया इन्स्टिट्यूट अफ टेक्नोलोजी, क्यानाडा
- ❖ श्री टि.एन. गुप्ता, भवन सामाग्री र प्रविधि प्रवर्धन परिषद, नयाँ दिल्ली, भारत





IITK - भारत

# भूकम्प मार्गदर्शक सुभाष

भूकम्प प्रतिरोधी भवन डिजाइन तथा निर्माण प्रविधिको ज्ञान

लेखक

सी.वी.आर.मूर्ति

अनुवादक

युक्त विलास मरहट्टा/मिलन बगाले

परिमार्जनकर्ता

जितेन्द्र कुमार बोथरा



नेपाली संस्करण प्रकाशन सहकार्य

नेपाल सरकार, शहरी विकास मन्त्रालय, काठमाडौं, नेपाल  
संयुक्त राष्ट्रसंघीय विकास कार्यक्रम/बृहत्तर विपद जोखिम व्यवस्थापन कार्यक्रम, ललितपुर, नेपाल  
सिभिल इन्जिनियरिङ्ग विभाग, इन्डियन इन्स्टिट्यूट अफ टेक्नोलोजी, कानपुर, भारत  
भवन सामाग्री र प्रविधि प्रवर्धन परिषद्, शहरी विकास र गरिवी निवारण मन्त्रालय, भारत सरकार, नयाँदिल्ली  
नमुना इन्स्टिट्यूट अफ टेक्नोलोजी, भरतपुर, चितवन, नेपाल



## प्रकाशकीय

यो पुस्तक विख्यात भारतीय प्राध्यापक सी.वी.आर.मूर्तिद्वारा लिखित बहुचर्चित अध्ययन सामाग्री "Earthquake Tips" को नेपाली अनुवाद हो । नेपाली भाषामा लेखिएका भूकम्प, भूकम्पीय सुरक्षा र सुरक्षित निर्माण शैली सम्बन्धी जानकारी दिने पुस्तकहरूको अभावलाई चिर्न संयुक्त राष्ट्रसंघीय विकास कार्यक्रम/बृहत्तर विपद जोखिम व्यवस्थापन कार्यक्रमले यसलाई नेपालीमा अनुवाद गरी प्रकाशन गरेको हो ।

नेपाली अनुवाद गर्दा अंग्रेजी संस्करणको मूल मर्मलाई ख्याल राखिएको छ । प्राविधिक, आम पाठक, निर्माण व्यवसायी, सिकर्मी-डकर्मी सबैले सहजै बुझ्न सक्नु भन्ने भाषालाई सकेसम्म सरस र सरल बनाउने प्रयास गरिएको छ । भवन निर्माण सम्बन्धी कतिपय अंग्रेजी शब्दहरू जनजिब्रोमा राम्ररी भिजिसकेका छन् । ती शब्दलाई नेपाली अनुवाद नगरी अंग्रेजीमै तर देवनागरी लिपिमा राखिएको छ । कतिपय शब्दलाई चाहिँ कोष्ठभित्र अंग्रेजीमा राखिएको छ । अंग्रेजी संस्करणमा भएका चित्रहरूलाई थपघट नगरी जस्ताको तस्तै राखिएको छ । नेपालीमा भावानुवाद गर्दा केही सन्दर्भहरू अंग्रेजीमा भन्दा अलि बढी विस्तारमा लेखिएका र कतै केही सन्दर्भहरू छोटिएका पनि छन् । पुस्तकलाई नेपाली पाठकमाथि थप उपयोगी बनाउन अंग्रेजी संस्करणमा रहेका केही सन्दर्भलाई परिमार्जन गरेर नेपाल सम्बन्धी सन्दर्भहरू थपिएका छन् ।

यो निर्देशिकालाई नेपालीमा अनुवाद गर्न अनुमति दिने अंग्रेजी संस्करणका लेखक प्राध्यापक सी.वी.आर.मूर्ति, महत्वपूर्ण सहयोग र सहकार्यका लागि भूकम्प इन्जिनियरिङ्ग राष्ट्रिय सूचना केन्द्र (NICEE), इन्डियन इन्स्टिच्यूट अफ टेक्नोलोजी, कानपुर, भारतका सुरेश अइलावाडी, प्रकाशन गर्ने संस्था भूकम्प इन्जिनियरिङ्ग राष्ट्रिय सूचना केन्द्र (NICEE), इन्डियन इन्स्टिच्यूट अफ टेक्नोलोजी, कानपुर, भारतप्रति हामी हार्दिक आभार व्यक्त गर्दछौं । यो निर्देशिकालाई नेपालीमा अनुवाद गर्ने युक्त विलास मरहट्टा/मिलन बगाले तथा परिमार्जनकर्ता जितेन्द्र कुमार बोथरालाई हार्दिक धन्यवाद ज्ञापन गर्दछौं । यो पुस्तक सुरक्षित निर्माणबारे जानकारी राख्न चाहने सबै जिज्ञाशुको असल साथी र सहयोगी बन्नेछ भन्ने आशा लिएका छौं । नेपाली संस्करणमा त्रुटि र कमजोरी भेटिएमा जानकारी दिन सबैमा अनुरोध छ । आगामी संस्करणमा अवश्य सच्याइनेछ । धन्यवाद ।

२०७३ साल पुस १५ गते ।

संयुक्त राष्ट्रसंघीय विकास कार्यक्रम

बृहत्तर विपद जोखिम व्यवस्थापन कार्यक्रम, ललितपुर, नेपाल

यस निर्देशिकाको नेपाली अनुवादमा प्रस्तुत धारणाले युएनडीपीको धारणाको प्रतिनिधित्व गर्दैनन् ।



## विषय सूची

०१: भूकम्प जाने कारणहरु के के हुन् ?	१
०२: जमिन कसरी हल्लिन्छ ?	३
०३: भूकम्पको परिमाण र तीव्रता	५
०४: नेपालमा भूकम्पीय क्षेत्रहरु कहाँ कहाँ पर्दछन् ?	७
०५: संरचनाहरुमा भूकम्पीय असरहरु के के हुन् ?	९
०६: भूकम्पको समयमा भवनलाई वास्तुकलाले कस्तो प्रभाव पार्दछ ?	११
०७: भूकम्प आएको बेलामा घरहरु कसरी बटारिन्छन् ?	१३
०८: भूकम्प प्रतिरोधी भवन डिजाइनको अवधारणा के हो ?	१५
०९: राम्रो भूकम्पीय कार्य सम्पादनका लागि भवनमा नरमपना कसरी ल्याउने ?	१७
१०: भवनको लचकताले कसरी भूकम्पीय प्रतिक्रियामा असर पुर्‍याउँछ ?	१९
११: राष्ट्रिय भवन संहिता के हो ?	२१
१२: ईटाले बनेको गारोवाला घरले भूकम्पको समयमा कस्तो व्यवहार देखाउँछ ?	२३
१३: किन गारोवाला भवनहरुको संरचनात्मक स्वरूप साधारण हुनुपर्दछ ?	२५
१४: गारोवाला भवनमा तेर्सो पट्टी किन चाहिन्छ ?	२७
१५: गारोवाला घरमा ठाडो डण्डी किन आवश्यक पर्दछ ?	२९
१६ : ढुङ्गाको गारोवाला घरलाई कसरी भूकम्प प्रतिरोधी बनाउने ?	३१
१७ : भूकम्पले आरसीसी भवनहरुलाई कसरी असर गर्दछ ?	३३
१८: आरसीसी भवनमा बिमले कसरी भूकम्प प्रतिरोध गर्दछ ?	३५
१९: आरसीसी भवनमा पिलरले कसरी भूकम्प प्रतिरोध गर्दछ ?	३७
२०: आरसीसी भवनमा बिम पिलर जोर्नीले कसरी भूकम्प प्रतिरोध गर्दछ ?	३९
२१: भवनमा भुईँतलाको खुल्ला भागले कसरी भूकम्पीय संकट निम्त्याउँछ ?	४१
२२: भूकम्प गएको बेलामा छोटो पिलरहरु किन बढी क्षतिग्रस्त हुन्छन् ?	४३
२३: भूकम्पीय क्षेत्रमा किन शियर सबलीकृत गारो भएका भवन रोजिन्छन् ?	४५
२४: भवनमा भूकम्पीय प्रभाव कसरी न्यूनीकरण गर्ने ?	४७
२५: भारपथ किन महत्वपूर्ण छ ?	४९
२६: भवनमा भार पथलाई केले असर पार्दछ ?	५१
७: भूकम्पबाट गैर संरचनात्मक अंगहरुलाई कसरी बचाउने ?	५३
२८: बाँधिँएको गारो प्रयोग गरिने भवन निर्माण प्रविधि के हो ?	५५
२९: बाँधिँएको गारो निर्माण प्रविधिको मुख्य विशेषताहरु	५७
३०: भूकम्प प्रतिरोधी भवनको डिजाइनमा जगको महत्व कस्तो छ ?	५९
३१: भूकम्पको समयमा भवनहरु किन जमिनमा दबिन्छन् ?	६१
३२: भूकम्प प्रतिरोधी भवन निर्माणमा गुणस्तर किन महत्वपूर्ण छ ?	६३



## चित्र सूची

१.१	पृथ्वीको भित्री बनौट	१
१.२	आवरणमा स्थानीय संवाहन धारा	१
१.३	पृथ्वीको सतहमा मुख्य टेक्टोनिक प्लेटहरु	१
१.४	अन्तरप्लेट सिमानाका प्रकार	२
१.५	प्रत्यास्थ चापीय विकास र भुरो चर्काई	२
१.६	प्रत्यास्थ प्रतिक्षेप सिद्धान्त	२
१.७	भौगर्भिक चिराका प्रकार	२
२.१	कुनै स्थलमा भूकम्पीय तरङ्गको आगमन	३
२.२	वडी र सर्फेस वेभको कारणले उत्पन्न गति	३
२.३	पुरानो ढाँचाको सिस्मोग्राफ	४
२.४	केही प्रतिनिधिमूलक एक्सिलोग्रामहरु	४
३.१	आधारभूत शब्दावली	५
३.२	भुज भूकम्पको आइसोसेस्मल नक्सा	५
३.३	बिजुलीको चिमबाट बढ्दो दुरी अनुसार घट्दो उज्यालोपन	६
४.१	नेपालको भौगर्भिक अवस्थिति र टेक्टोनिक प्लेट सिमाहरु	७
४.२	भूकम्पको ऐतिहासिक पृष्ठभूमि	७
४.३	हिमालयको सामान्य क्रस सेक्सन	८
४.४	नेपालको भूकम्पीय क्षेत्र नक्सा	८
५.१	भवनको जग हल्लिँदा इन्र्शिया प्रभाव	९
५.२	भवनभित्र इन्र्शिया बल र सापेक्षिक गति	९
५.३	भवनको प्रमुख दिशा	१०
५.४	सम्पूर्ण संरचनात्मक अङ्गहरुमा भूकम्पीय इन्र्शिया बलको प्रवाह	१०
५.५	तेर्सो भूकम्पीय धक्काको लागी गारो/पिलर डिजाइनको महत्व	१०
६.१	भवनको कुनै एक भुजा अन्यको तुलनामा अति ठुलो वा सानो हुँदा पनि भूकम्पमा भवनले प्रभावकारी रुपमा कार्य गर्न सक्दैन ।	११
६.२	साधारण आकारप्रकारका भवनले भूकम्पमा राम्रो कार्य सम्पादन गर्छन् ।	११
६.३	भार प्रसारण पथमा आएको अपभ्रष्ट परिवर्तनले कमजोर भूकम्पीय व्यवहार देखाउँछ ।	१२
६.४	भूकम्पको बेला नजिकैका दुई भवन एक आपसमा ठोक्किन सक्छन् ।	१२
७.१	पिड र भवन दुवैलाई हल्लाउँदा उस्तै किसिमले हल्लिन्छन्, फरक के मात्र छ भने पहिलो माथिबाट तलतिर झुण्डिएको हुन्छ, दोस्रो माथि उठाइएको हुन्छ ।	१३
७.२	उस्तै खालका ठाडो अङ्ग (पिलरहरु) एकनाससंग राख्दा भुईँका भवनका सबै बिन्दुहरु वरावर मात्रामा चल्छन् ।	१३
७.३	पिलर एकनाससंग राखेपनि भवनको एकातिर बढी भार भयो भने भूकम्पले भवन बटार्न सक्छ ।	१३
७.४	भवनका ठाडा अङ्गहरु (पिलरहरु) फरक फरक उचाइका भए भनेपनि भूकम्पले बटार्न सक्छ ।	१४
७.५	एकापट्टि भुईँतल्ला खुल्ला भएको भवन भूकम्पमा बटारिन्छ ।	१४
७.६	भवनका ठाडा अङ्गहरु (पिलरहरु) फरक फरक उचाइका भए भनेपनि भूकम्पले बटार्न सक्छ ।	१४
८.१	विभिन्न भूकम्पीय तीव्रतामा अपेक्षित व्यवहार- सानो भूकम्पमा मर्मत गर्न सकिने क्षति होस् र शक्तिशाली भूकम्पमा नढलोस् ।	१५
८.२	पिलरमा देखिने विकर्ण चिराले भवनको भार बहन क्षमतालाई कमजोर बनाइदिन्छ –अस्वीकार्य क्षति	१६
८.३	नरम र भुरो संरचना– भूकम्पीय डिजाइनले भुरो खालको संरचना नहोस् भन्ने प्रयास गर्छ ।	१६
९.१	गारोले दवाब थेग्न सक्छ तर तन्काई थेग्न सक्दैन ।	१७
९.२	सामाग्रीहरुमा तन्काइको परिक्षण – नरम र भुरो सामाग्रीहरु	१७
९.३	नरम सिक्री डिजाइन	१८
९.४	आरसीसी भवनको डिजाइन: बलियो पिलर कमजोर बिम हुनुपर्छ– भवनका विभिन्न भागहरु उपयुक्त आकारमा बनाई तिनीहरुमा सही मात्रामा डण्डी प्रयोग गरेर यो प्राप्त गर्न सकिन्छ ।	१८
१०.१	भवनको स्वतन्त्र कम्पन प्रतिक्रिया :अधिपछि गर्ने चाल आवधिक हुन्छ ।	१९
१०.२	संरचनाहरुको मूलभूत प्राकृतिक अवधि धेरै हदसम्म फरक पर्छ ।	१९

१०.३	शक्तिशाली भूकम्पमा जमिनको चाल विभिन्न अवधिका तरङ्गहरूबाट प्रसारित हुन्छ ।	२०
१०.४	एउटै जमिन कम्पनमा पनि विभिन्न भवनले विभिन्न प्रतिक्रिया देखाउँछन् ।	२०
११.१	नेपालको भूकम्पीय क्षेत्र नक्सा : नेपालको अधिकतम भाग उच्च भूकम्पीय क्षेत्रमा पर्दछ ।	२१
१२.१	गारोवाला भवनका मूल अङ्गहरू –गारोहरू भूकम्पीय बलको दिशा प्रति संवेदनशील हुन्छन् ।	२३
१२.२	गारोहरू आपसमा बाँधनुका फाइदा–यो तब मात्र सम्भव छ जब गारोहरू राम्ररी बाँधिएका हुन्छन् ।	२३
१२.३	पातलो गारोमा भूकम्पको खतरा बढी हुन्छ–उचाइ र लम्बाइलाई निश्चित सीमाभित्र राख्नु पर्दछ ।	२४
१३.१	गारोवाला भवनमा बाकस क्रिया सुनिश्चित गर्नको लागि आवश्यक तत्वहरू	२५
१३.२	गारोवाला भवनमा कमजोर गारोबाट बलियो गारो तर्फ भार हस्तान्तरण भएको क्षेत्र गारो ख-१ ले क-१ र क-२ लाई तान्छ, त्यस्तै ख-२ ले क-१ र क-२ लाई धकेल्छ ।	२५
१३.३	गारोवाला भवनमा भ्याल ढोकाले गारोलाई कमजोर गरिदिन्छ । सबै गारोमाथि रहने गरी लिन्टल पट्टी दिनुपर्छ ।	२६
१३.४	गारोवाला भवनमा भ्याङ्गको भूकम्प प्रतिरोधी विस्तृतीकरण अत्यन्तै होशीयारीपूर्वक डिजाइन र निर्माण गर्नु पर्दछ ।	२६
१४.१	गारोवाला भवनमा तेर्सो बन्धनले भूकम्प प्रतिरोधमा सुधार ल्याउँछ ।	२७
१४.२	१९९३ को लातुर भूकम्प (मध्य भारत) : किल्लरी गाउँमा एउटा गारोवाला घरमा भएको तेर्सो पट्टीले गर्दा भुइँचालाले कुनैपनि असर पुर्‍याएन ।	२७
१४.३	लिन्टल पट्टीको बङ्ग्याई	२८
१४.४	गारोमा लगाईने ढलान र काठका पट्टीहरू	२८
१५.१	गारोवाला भवनका उप एकाइ– भूकम्पको समयमा गारोले छुट्टै एकाइको रूपमा काम गर्छ ।	२९
१५.२	चारपाखा छाना भएको गारोवाला भवनको भूकम्पीय प्रतिक्रिया । गारोमा ठाडो डण्डी प्रयोग गरिएको छैन ।	२९
१५.३	गारोवाला भवनमा सिल तहमा तेर्सो चिप्ल्याई– ठाडो डण्डी छैन ।	२९
१५.४	गारोवाला भवनमा ठाडो डण्डी– गारोको व्यवहारमा परिवर्तन	३०
१५.५	गारोवाला भवनमा खुला भागको कुनामा चर्केको हुन्छ । खुल्ला भागको वरिपरि सबलीकरणले चर्कन दिदैन ।	३०
१६.१	एक परम्परागत ढुङ्गाको गारोको क्रस सेक्शन –ढुङ्गा विनाको मोटो गारो बीचबाट दुई खण्डमा विभाजित हुन्छ ।	३१
१६.२	परम्परागत ढुङ्गाको गारोवाला घरका मुख्य समस्याहरू– भवनका विभिन्न अङ्गहरू जस्तै गारो, छाना आदि बीचको बन्धनको कमी नै यस्ता घरहरूको असफलताका मुख्य कारण हुन् ।	३१
१६.३	ढुङ्गाको गारोमा वारपार बस्ने ठूला ढुङ्गाको प्रयोग –गारोलाई छुट्टिनबाट जोगाउन अत्यावश्यक छ ।	३२
१६.४	अनियमित आकारका ढुङ्गाको गारोवाला घरमा कोपु पट्टी (लिन्टल) अत्यन्त जरुरी हुन्छ–यसले भवनलाई एक ढिक्का राख्छ र सबै गारो एकजुट भएर भूकम्प प्रतिरोध गर्छ ।	३२
१७.१	भवनको कुल भूकम्पीय भार माथिबाट तलतिर बढ्दै जान्छ ।	३३
१७.२	भुइँ बिमसंगै मोडिन्छ तर सबै पिलरहरूलाई एकैसाथ चलाउँछ ।	३३
१७.३	भूकम्पको समयमा गारोहरू पिलरसंगै चल्छन् ।	३३
१७.४	भूकम्पीय कम्पनले भवनका अङ्गहरूमा थिचाइ र तन्काइ परिवर्तन भइरहन्छ –यस्ता अङ्गका दुबै मोहडा सबलीकृत गर्नुपर्छ ।	३४
१७.५	भिन्दाभिन्दै भूकम्पीय कार्य सम्पादन देखाउने भवनका दुई फरक डिजाइन–बिमभन्दा पिलर बलियो हुनुपर्छ ।	३४
१८.१	बिममा डण्डीहरूको सबलीकरण चुरीहरूले मुख्य डण्डीलाई बाहिरतिर बाङ्गिनबाट जोगाउँछन् ।	३५
१८.२	बिममा दुई किसिमका क्षति - लच्काइले गर्दा हुने क्षति रोजिन्छ । मुख्य डण्डीले तन्काईको कारणले उत्पन्न बललाई प्रतिरोध गर्छ भने चुरीले शियर बल प्रतिरोध गर्छ ।	३५
१८.३	बिममा मुख्य डण्डीको मात्रा र स्थान–यिनीहरूले लच्काइको कारणले उत्पन्न हुने तन्काइ प्रतिरोध गर्दछन् ।	३६
१८.४	भूकम्पीय बिमहरूमा डण्डीको सबलीकरण– चुरीका छेउहरूलाई १३५°मा मोड्नु पर्दछ ।	३६
१८.५	बिममा ठाडो चुरीको परिमाण र स्थान–आइएस १३९२० ले तोके बमोजिम चुरी– चुरी बीचको अधिकतम दुरीले राम्रो भूकम्पीय व्यवहारको सुनिश्चितता गर्छ ।	३६
१८.६	बिमहरूमा डण्डीको सबलीकरणको विस्तृतीकरण (आइएस १३९२० –१९९३ अनुसार)	३६
१९.१	पिलरमा डण्डी सबलीकरण–नजिक–नजिक बाधिएका चुरीले शक्तिशाली भूकम्पमा पिलरको कार्यसम्पादन प्रक्रियामा सुधार ल्याउँछ ।	३७
१९.२	भूकम्पीय पिलरमा डण्डी सबलीकरण–भारतीय संहिता आइएस १३९२०-१९९३ अनुसार १३५°को अंकुशको नजिक नजिक बाँध्ने ।	३७
१९.३	कंक्रीटलाई ठाउँमा राख्नको लागि अतिरिक्त चुरीको आवश्यकता पर्दछ–१३५°अंकुश सहितको चुरीलाई बाहिर जानबाट रोक्नको लागि सि आकारको चुरी डण्डी चाहिन्छ ।	३८
१९.४	पिलरमा ठाडो डण्डी र चुरीहरू राख्ने– पिलरका छेउहरू र डण्डी खप्ट्याइएको लम्बाइभर नजिक/नजिक चुरी बाँधेर सुरक्षित गर्नुपर्छ ।	३८



२०.१	भवनको बिम-पिलर जोर्नी अत्यन्त संवेदनशील भाग हो –तिनीहरुको डिजाइन गर्नुपर्दछ ।	३९
२०.२	जोर्नीमा आउने तान्ने –धकेल्ने बलले शक्तिशाली भुइँचालोमा जोर्नीमा अपूरणीय क्षति पुऱ्याउँछ ।	३९
२०.३	पिलर जोर्नीमा नजिक गरी राखिएका चुरी-१३५ डिग्री अंकुश सहितको चुरीले जोर्नीमा आउनसक्ने विसङ्गतिहरु प्रतिरोध गर्दछ ।	३९
२०.४	जोर्नीमा तेर्सो चुरी बाँध्ने- तिन चरणमा यो काम गर्ने	४०
२०.५	बाहिरी जोर्नीमा बिम अड्काइएको-जोर्नी क्षेत्रमा बिमको विवरण	४०
२०.६	भित्री जोर्नीमा बिमको डण्डी अड्काइएको - चित्र(क) र (ख)ले जोर्नी क्षेत्रको बिमको विवरण देखाउँछ ।	४०
२१.१	आरसीसी भवनका भुइँतल्ला पार्किङ्गको लागि खुल्ला छाडिएको । भारतका शहरी क्षेत्रहरुमा सामान्यतया यस्तो गरिन्छ ।	४१
२१.२	खुल्ला भुइँतल्ला भएका माथिल्ला तल्लाहरु एउटै ढिक्काको रुपमा संगै चल्छन् – यस्ता भवनहरु उल्टो पारिएका दोलकजस्तै हुन् ।	४१
२१.३	खुल्ला भुइँतल्ला भएका माथिल्ला तल्लाहरु एउटै ढिक्काको रुपमा संगै चल्छन् – यस्ता भवनहरु उल्टो पारिएका दोलकजस्तै हुन् ।	४२
२१.४	खुल्ला भुइँतल्ले भवन- मौजुदा डिजाइन पद्धति वास्तविक संरचनासंग मेल खाँदैन ।	४२
२१.५	भुइँतल्लामा गारो लगाउनु खुल्ला भुइँतल्लाको समस्या हटाउने सबैभन्दा उत्तम उपाय हो ।	४२
२२.१	छोटो पिलर सहितको घर-प्रायः देखिने दुई उदाहरण ।	४३
२२.२	छोटा पिलरहरु बढी दरो हुन्छन् र भूकम्पको समयमा अग्लो पिलरलेभन्दा धेरै बल आकर्षित गर्दछ-डिजाइन गर्दा यो कुरालाई विचार गर्नुपर्छ ।	४३
२२.३	आरसीसी भवनमा खुल्ला भुइँतल्ला- भुइँतल्लाको पिलरमा धेरै क्षति पुग्न गई भवन पूर्ण रुपमा भत्किन्छ ।	४३
२२.४	पिलरको प्रभावकारी उचाइ (जुन भाग मोडिन सक्छ) लाई दायोवायाँका गारोहरुबाट रोकेको छ - खुल्ला भागको उचाइ कम छ भने होचो पिलर असर सबैभन्दा गम्भीर हुन्छ ।	४४
२२.५	केही पिलरहरुमा होचो पिलर असर सहित भवनमा सबलीकरण विवरण- होचो पिलरको लागि अतिरिक्त आवश्यकता सम्बन्धी जानकारी आइएस १३९२० -१९९३ मा दिइएको छ ।	४४
२३.१	कंक्रीटको शियर गारो भूकम्प प्रतिरोधको लागि उत्कृष्ट संरचनात्मक प्रणाली हो ।	४५
२३.२	आधार नक्सा (Floor Plan) शियर गारोमा समरुपता हुनुपर्दछ-यसले भवनलाई बटारिन दिँदैन ।	४५
२३.३	आरसीसी भवनमा शियर गारो- विभिन्न आकारहरु सम्भव छन् ।	४६
२३.४	आइएस १३९२०-१९९३ अनुसार शियर गारोमा मुख्य सबलीकरणको विवरण-राम्रो भूकम्पीय व्यवहारको उपायका लागि डण्डीको डिटेलिङ महत्वपूर्ण हुन्छ ।	४६
२४.१	लचिलो आधारमा खडा भएका भवन कम हल्लिन्छन्-यो प्रविधिलाई आधार पृथकीकरण भनिन्छ ।	४७
२४.२	भुज अस्पतालको जमिनमुनीको (Basement) दृष्य-सन् २००१को भूकम्पमा साविकको जिल्ला अस्पताल भवन भत्किएपछि आधार पृथकीकरण गरी बनाइएको ।	४८
२४.३	भूकम्पीय शक्ति शोषक उपकरणहरु-प्रत्येक उपकरण निश्चित भवनकालागि उपयुक्त हुन्छ ।	४८
२५.१	विभिन्न भारका लागी भारपथ	४९
२५.२	तेर्सो संरचनात्मक अंगहरु (Diaphragm)को विरूपण (In-plane deformation)	४९
२५.३	भवनको संरचनात्मक प्रक्रिया जसले इनर्सिया शक्तिलाई प्रतिरोध गर्दछ ।	५०
२५.४	ढलान र ठाडा संरचनात्मक अंगहरुको कमसल जोडाईको परिणाम – सन् २००१ मा भारतमा गएको भूज भूकम्पको बेलामा ढलेको ढलान घर ।	५०
२६.१	आरसीसी भवनको आधार नक्सामा संरचनागत फ्रेमिङ	५१
२६.२	पिलरवाला भवन (Moment Resisting Frame) मा निरन्तरता नभएका पिलरहरु भूकम्पीय जोखिमका हिसाबले हानिकारक हुन्छन् ।	५१
२६.३	भवनमा रहेका संरचनात्मक गारोहरुमा भएका खुल्ला भाग (भ्याल-ढोका)	५२
२६.४	संरचनात्मक अंग यताउता सर्न जाँदा भारपथको अवाञ्छनीय परिवर्तन र विभाजन	५२
२६.५	भवनका गारोहरुको गलत विन्यास	५२
२६.६	संरचनात्मक गारोहरुमा मिश्रित भारपथ	५२
२७.१	भुइँचालोको समयमा गैर संरचनात्मक अंगहरुको व्यवहार	५३
२७.२	गैर संरचनात्मक अंगहरुको सुरक्षाको लागी गैर इन्जिनियरिङ्ग उपाय । यो सामान्य रणनीतिले छुट्टाछुट्टै हैन, समूहगत रुपमा सुरक्षा प्रदान गर्दछ ।	५४
२७.३	गैर संरचनात्मक अंगहरुको सुरक्षाको लागी निर्धारण (इन्जिनियरिङ्ग) उपाय	५४
२७.४	गैर संरचनात्मक अंगहरुको सुरक्षाको लागी इन्जिनियरिङ्ग उपाय	५४

२७.५	जमिनको हल्लाईभन्दा फरक गैर संरचनात्मक अंगको हल्लाई	५४
२८.१	बाँधिएको गारो प्रयोग गरिने भवन निर्माण प्रविधि	५५
२८.२	निर्माण सिलसिला	५५
२८.३	निर्माण सिलसिला	५६
२८.४	निर्माण सिलसिलाको फाईदा	५६
२९.१	समग्र ज्यामितिय विशेषता	५७
२९.२	बाँधिएको गारो प्रयोग गरिने प्रविधिको घरको लागी प्राथमिकता दिईएको ज्यामितिय आकार	५७
२९.३	बाँधिएको गारो प्रयोग गरिने घरको आधार नक्साको सबै कुनामा ठाडो बन्धन देखाईएको— ठाडो बन्धनले नबाधिएका कुनै गारो छैनन् ।	५७
२९.४	बाँधिएको गारो प्रयोग गरिने प्रविधिका लागी जग – ठाडो बन्धन र बिमबिनाको असुदृढिकृत ढलानबाट शुरु हुन्छ ।	५८
२९.५	ठाडो र तेर्सो बन्धनमा डण्डीको संयोजन	५८
३०.१	सुनामी तरंग – ठूलो सुनामी आउँदा समुन्द्र किनारका भवनहरु डुब्न सक्छन् ।	५९
३०.२	अस्थिर भिरालो पहाडी ढिस्काहरु—पहाडमा पहिरो विशेष चासोको विषय हा ।	५९
३०.३	सन् १९८५ को मेक्सिको भूकम्प— स्थानीय स्थलगत प्रतिक्रियाको उदाहरण	५९
३०.४	माटो तरलीकृत नहुने अवस्थाका लागी जगको राम्रो डिजाइन – ढलानका टाई बीम पिलरको मध्यभागबाट पृथक जगको माथी राखिएको ।	६०
३०.५	तरलीकरण हुने सम्भावनायुक्त माटोको लागी पाईल जग (Pile Foundation)	६०
३१.१	भूकम्पको धक्काले तरलीकरण भएको जमिन	६१
३१.२	तरलीकरण भएको माटोको तह – तरलीकृत माटोको तह जमिनको माथिल्लो तहभन्दा गहिराईमा हुनसक्छ ।	६१
३१.३	जमिनमा दबेका र जमिनमाथी उत्रेका संरचना	६१
३१.४	जमिनको तेर्सो फैलावट – (क) ठाडो भिरालो जमिनमा भूस्खलन (ख) कम भिरालो जमिनको धस्साई	६२
३१.५	तरलीकरण नियन्त्रणका उपायहरु	६२

## तालिका सूची

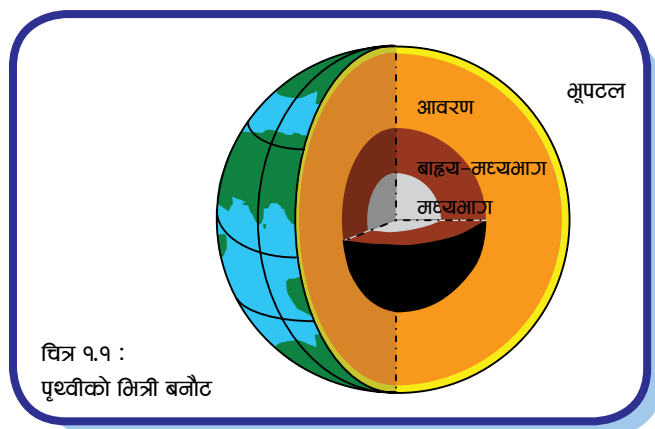
३.१ विश्वव्यापी भूकम्पीय गतिविधि	५
३.२ एमएसके स्केल अनुसार कम्पन तीव्रता VIII को विवरण	५
३.३ विभिन्न तीव्रतामा शिखर भू-प्रवेग (PGA)को मान	६
४.१ नेपालमा आएका केही भूकम्पहरु	७



## भूकम्प जाने कारणहरु के के हुन् ?

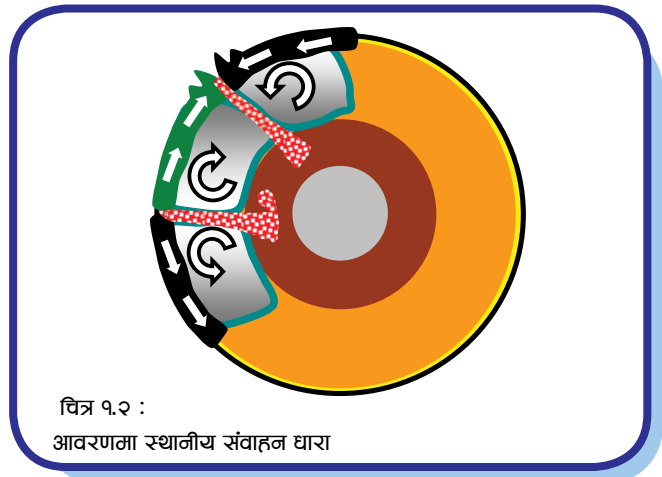
### पृथ्वी र यसको भित्री बनावट

अरबौं वर्ष पहिले पदार्थका विशाल समूहको समायोजन भई पृथ्वीको उत्पत्ति भएको थियो । यो समायोजनबाट ठूलो परिमाणमा ताप उत्पन्न भयो । पृथ्वी विस्तारै सेलाउँदै जाँदा बढी गह्रौं र बढी घनत्व भएका पदार्थहरु पृथ्वीको केन्द्रमा एकत्रित भए भने अपेक्षाकृत कम घनत्व भएका पदार्थहरु पृथ्वीको सतहमा आए र विभिन्न तहहरु बन्दै गए । यस अनुसार पृथ्वीलाई ४ तहमा बाड्न सकिन्छ । (१) मध्यभाग (अर्धव्यास लगभग १२९० किमि) (२) बाह्य-मध्यभाग (मोटाइ लगभग २२०० किमि) (३) आवरण (Mantle) (मोटाइ लगभग २९०० किमि) (४) बाहिरी-सतह (मोटाइ लगभग ५ देखि ४० किमि) । चित्र १.१ मा यी तहहरु देखाइएका छन् । मध्यभाग ठोस हुन्छ र यसमा गह्रौं धातुहरु जस्तै निकल, फलाम आदि हुन्छन् भने बाहिरी-सतहमा बसाल्ट, ग्रेनाइट जस्ता हलुका पदार्थहरु हुन्छन् । बाह्य-मध्यभाग तरल अवस्थामा हुन्छ भने आवरण बग्न सक्ने अवस्थाको अर्ध-तरल हुन्छ । मध्यभागमा अनुमानित तापक्रम लगभग २५०० डिग्री सेन्टिग्रेड, चाप लगभग ४० लाख बायूमण्डलीय दबाव (४०५३००एमपिए) र घनत्व लगभग १३.५ ग्राम/सिसि हुन्छ, जबकि पृथ्वीको सतहमा यही तथ्यांकहरु क्रमशः २५ डिग्री सेन्टिग्रेड, १ बायूमण्डलीय दबाव र १.५ ग्राम/सिसि हुन्छ ।



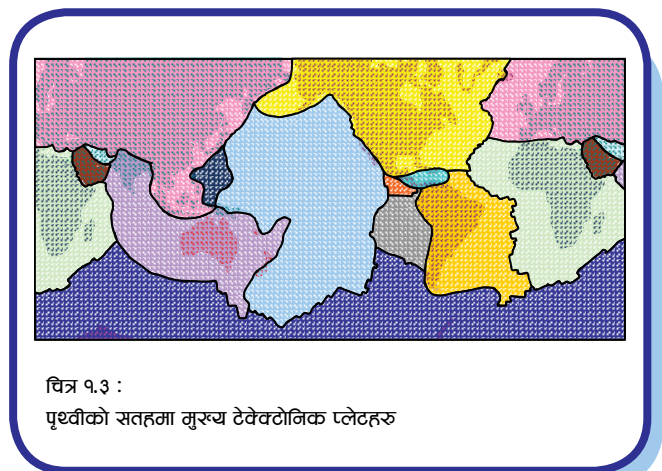
### प्रवाह

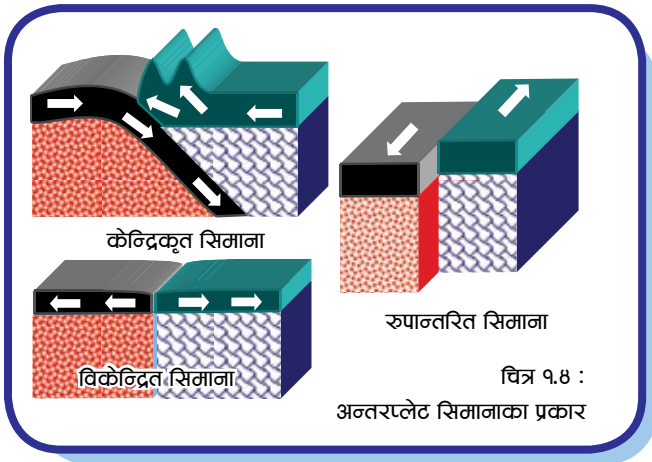
पृथ्वीको मध्यभाग र बाहिरी सतहको बीचमा विद्यमान तापक्रम र चापको विशाल फरकका कारणले संवाहन धारा (Convection Current) को सृजना हुन्छ (चित्र १.२), जसरी कुनै भाँडामा पानी तताउँदा भाँडाको पिँधबाट यसको सतहतर्फ र सतहबाट पिँधतर्फ पानीका ससाना फोकाहरु चलेको देखिन्छ । यसलाई संवाहन प्रवाह (Convective Flow) भनिन्छ । यस प्रक्रियालाई चाहिने तापीय शक्ति पृथ्वीको भित्री भागमा रहेका चट्टानहरुमा अन्तर्निहित रेडियोधर्मी तत्वहरुको निरन्तर क्षयीकरणबाट प्राप्त हुन्छ । यी संवाहन धाराहरुले पृथ्वीको भित्री भागमा प्रवाह ल्याउँछन् । ताता, पग्लिएका लाभाहरु पृथ्वीको सतहमा आउँछन् र सतहमा भएका चिसा चट्टानी पिण्डहरु पृथ्वीको भित्री भागमा जान्छन् । उच्च तापक्रम र चापको कारणले यी चट्टानी पिण्डहरु पग्लिएर पुनः लाभाको रूपमा कुनै समयमा कुनै अर्को ठाउँबाट बाहिर निस्कन्छन् । पृथ्वीको विभिन्न स्थानमा यसको सतहमुनी यस्ता अनेकन प्रवाहहरु भइरहेका हुन्छन् जसले गर्दा पृथ्वीको सतहका विभिन्न भागहरु विभिन्न दिशाहरुमा चलिरहेका हुन्छन् ।



### प्लेट टेक्टोनिक

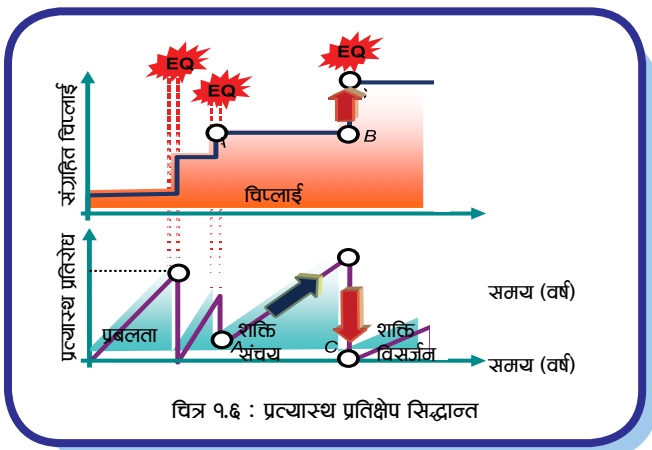
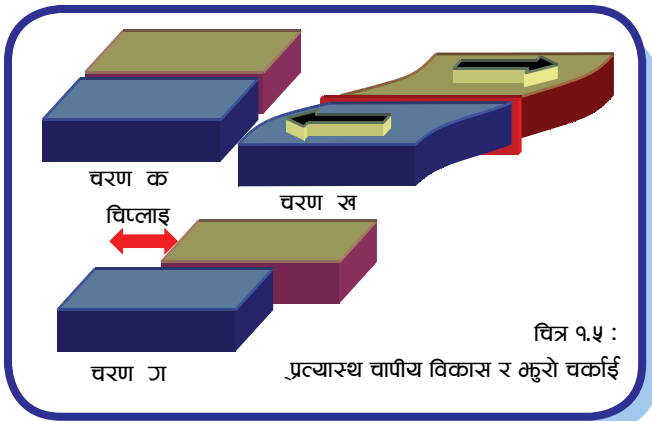
आवरण (Mantle) मा भएको संवाहन प्रवाहका कारणले भूपटल र आवरणको माथिल्लो भाग तातो र पग्लिएको बाह्य-मध्यभाग (Outer Core) माथितर तैरन्छन् । भूपटल र आवरणको माथिल्लो भागहरुको तैराई टुक्राहरुमा हुने गर्दछ । यस्ता टुक्राहरुलाई टेक्टोनिक प्लेट भनिन्छ । पृथ्वीको सतहमा सात मुख्य र थुप्रै ससाना टेक्टोनिक प्लेटहरु छन् (चित्र १.३) । यी प्लेटहरु विभिन्न दिशातर्फ र ठेलाइको दबावले गर्दा विभिन्न गतिमा चलिरहेका हुन्छन् । कुनै बेला अगाडिका प्लेट पछाडिको प्लेट भन्दा ढिलो गतिमा चल्दा पछाडिको प्लेटले अघिल्लोलाई ठेल्छ र ठेलाइको दबावले गर्दा पर्वतहरुको निर्माण हुन्छ । अर्कोतर्फ कहिलेकाहीँ दुई प्लेटहरु एक अर्काबाट टाढा-टाढा हुदै जान्छन् र धाँजाहरु (rifts) को निर्माण हुन्छ । अर्को अवस्थामा दुई प्लेटहरु फरक वा एकै दिशातर्फ सँगसँगै चल्छन् । प्लेटको सिमानामा हुने यी तीन प्रकारका अन्तरक्रियाहरु (चित्र १.४) क्रमशः केन्द्रिकृत (converging), विकेन्द्रिकृत (diverging) र रूपान्तरित (transforming) हुन् । कहिलेकाहीँ पारस्परिक ठेलाइमा सहभागी हुने कुनैपनि प्लेट तल जानको लागि तयार हुँदैनन् (जस्तो कि हिमालयमा देखिन्छ), यी प्लेटहरुको सापेक्षित गति पृथ्वीको सतहमा विभिन्न ठाउँमा फरक फरक हुन्छन्, जुन औसतमा केही सेन्टिमिटरदेखि दशौँ सेन्टिमिटर प्रतिवर्ष सम्म हुनसक्छ ।





### भूकम्प

चट्टानहरू लचिला पदार्थ (elastic material) बाट बनेका हुन्छन् । त्यसैले विशाल टेक्टोनिक प्लेटहरूको बीचमा हुने अन्तर्क्रियाहरू (जस्तै पारस्परिक घर्षण, पारस्परिक दबाव वा एक प्लेट अर्कोमुनी घसिनु) ले गर्दा पैदा हुने कुच्याई (deformation) सँगै ती चट्टानहरूमा शक्ति (elastic strain energy) संचय हुन्छ । तर चट्टानमा पाइने पदार्थहरू कडा तर सजिलै फुट्ने खालका (Brittle) पनि हुन्छन् । जब यी चट्टानहरूमा संचयित शक्तिको दबाव यिनीहरूको अवरोध क्षमता (strength) भन्दा बढी हुन्छ, ती दुई प्लेटहरू टुक्रिई चलायमान हुन्छन् (चित्र ९.२) र ठूलो मात्रामा संचित शक्ति निष्काशित हुन्छ । उदाहरणको लागि सन् २००१ मा भारतको भुजमा गएको भूकम्पमा निष्काशित शक्ति सन् १९४५ मा हिरोशिमा मा खसाइएको परमाणु बमबाट उत्पन्न शक्तिभन्दा ४०० गुणा बढी थियो ।

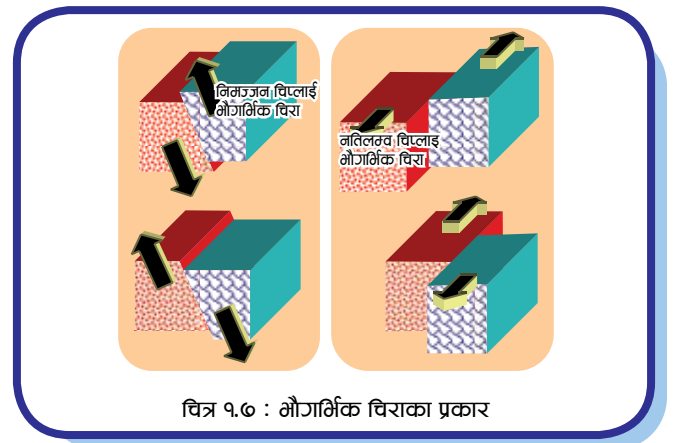


जुन सतहमा ती प्लेटहरू चिप्लिन्छन् वा भाँचिन्छन् त्यसलाई भौगर्भिक चिरा (Fault) भनिन्छ । यी चिराहरू (Faults) को बिचमा अचानक हुने चिप्लाई (Sudden Slip) भूकम्पको कारण बन्दछ । प्लेटहरूको बिचमा

अचानक भएको चिप्लाई वा भाँचाले गर्दा निष्काशित शक्तिले शक्तिशाली तरङ्गहरू उत्पन्न गर्दछ जुन पृथ्वीको भित्री भाग र यसको सतहमा सबै दिशातर्फ फैलिन्छन् । यसले पृथ्वीको सतहलाई नराम्री हल्लाउँछ, जसलाई हामी भूकम्प भन्दछौं । भूकम्पपछि भौगर्भिक चिराहरूमा शक्ति (Strain Build-up) संचय हुने प्रक्रिया पुनः शुरु हुन्छ (चित्र ९.६) र यो प्रक्रिया निरन्तर दोहोरिईरहन्छ । यसरी चट्टानी जोर्नीहरूमा शक्ति संचय हुँदै जाने र निष्काशित हुने क्रमलाई भूगर्भविद्हरू 'प्रत्यास्थ प्रतिक्षेप सिद्धान्त' (Elastic Rebound Theory) भन्दछन् । भौगर्भिक चिराको चिप्लाई हुने मुख्य स्थानमा सामान्यतया आयताकारका (Oblong) त्रिआयामिक (Three Dimensional) आयतन (Volume) बन्दछ, जसको लामो बाहु दशौं किलोमिटर लामो हुनसक्छ ।

### भूकम्प र भौगर्भिक चिराहरूको किसिम

संसारका अधिकांश भूकम्पहरू टेक्टोनिक प्लेटका सिमानाहरूमा जाने गर्दछन् । यस्ता भूकम्पहरूलाई अन्तर प्लेट भूकम्प (Inter Plate Earthquake) भनिन्छ । १९९० सालको नेपाल-भारत भूकम्पलाई यस प्रकारको उदाहरणको रूपमा लिन सकिन्छ । केयन भूकम्पहरू प्लेट सिमानाभन्दा पर तथा प्लेटभित्र नै पनि जान सक्छन् । सन् १९९३ को भारतको लातुर भूकम्प यसको उदाहरण हो । यस्ता भूकम्पहरूलाई आन्तरिक प्लेट भूकम्प (Intra-Plate Earthquake) भनिन्छ । दुवै किसिमका भूकम्पहरूमा भौगर्भिक चिराहरूमा भएको चिप्लाई ठाडो तथा तेर्सो दुवै दिशातर्फ हुन सक्छ, जसलाई निमज्जन चिप्लाई (Dip Slip) भनिन्छ । साथै यस्तो चिप्लाई दायाँबायाँ (Lateral Direction) तर्फ पनि हुनसक्छ, जसलाई नतिलम्ब चिप्लाई (Strike Slip) भनिन्छ (चित्र ९.७) । यिनीहरू यदाकदा एक अर्कामाथी हावी हुनसक्छन् ।



### सन्दर्भ सामग्री

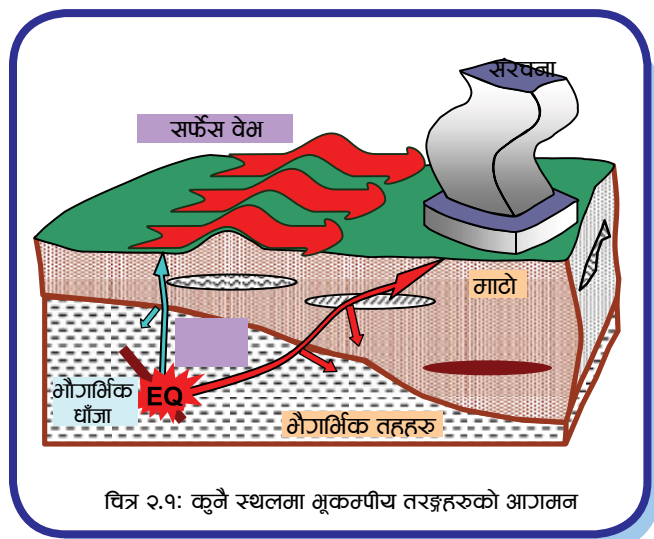
1. Bolt, B.A., (1999), Earthquakes, Fourth Edition, W. H. Freeman and Company, New York, USA
2. <http://earthquake.usgs.gov/faq/>
3. <http://neic.usgs.gov/neis/general/handouts/generalseismicity.html>
4. <http://www.fema.gov/kids/quake.htm>

लेखक : सी.वी.आर.मूर्ति, आइआईटी, कानपुर, भारत  
प्रायोजक : भवन निर्माण सामग्री र प्रविधि प्रवर्धन परिषद, नयाँदिल्ली, भारत  
अनुवादक : युक्त विलास मरहट्टा, नमूना इन्स्टिट्यूट अफ टेक्नोलोजी, भरतपुर, चितवन  
परिमार्जनकर्ता : जितेन्द्र कुमार बोथरा, मियामोटो इन्टरनेशनल, न्यूजिल्यान्ड

यो सामग्री आइआईटी, कानपुर र वीएमटीपीसीको बौद्धिक सम्पत्ति हो । विषयवस्तु तोडमोड नगरी र कृतज्ञता ज्ञापन सहित यो सामग्री पुनःप्रकाशन गर्न सकिनेछ । हाम्रो इमेल ठेगाना nicee@itk.ac.in मा सल्लाह सुझाव पठाउन सक्नुहुनेछ । यो सामग्री हाम्रो वेबसाईट [www.nicee.org](http://www.nicee.org) वा [www.bmtpc.org](http://www.bmtpc.org) मा हेर्न सकिनेछ ।

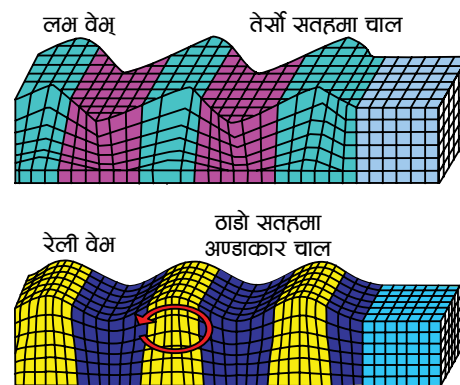
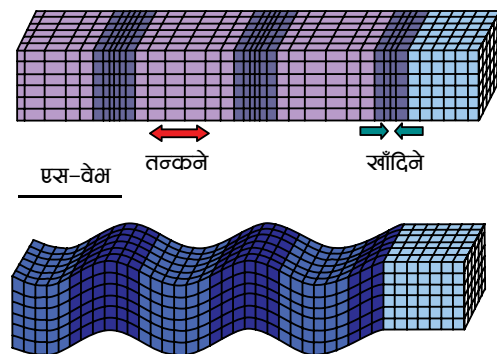
## जमिन कसरी हल्लिन्छ ?

भूकम्पको समयमा ठूलो मात्रामा निष्कासित हुने शक्ति तरङ्गका रूपमा पृथ्वीका विभिन्न तहहरूबाट चारैतिर फैलन्छन् । यी तरङ्ग वा लहरहरू विभिन्न तहहरूमा आवर्तित, परावर्तित हुँदै पृथ्वीको सतहसम्म पुग्छन् । यी तरङ्गहरू दुई प्रकारका हुन्छन्— भौगर्भिक तरङ्ग र सतह तरङ्ग । सतह तरङ्ग पृथ्वीको सतह वा नजिकबाट यात्रा गर्दछ भने भौगर्भिक तरङ्ग सतहभित्रबाट (चित्र २.१) यात्रारत हुन्छ । भौगर्भिक तरङ्ग दुई किसिमका हुन्छन्: पि-वेभ (तरङ्ग) र एस-वेभ (तरङ्ग) । त्यस्तै सतह तरङ्ग (वेभ) पनि दुई किसिमका हुन्छन्: लभ-वेभ र रेली वेभ । भूकम्पको समयमा निष्कासित शक्तिले जब नजिकै रहेको पदार्थका कणलाई जोडले धकेल्छ, त्यस कणले अर्कालाई धकेल्छ र एकले अर्कालाई, अर्काले अर्कालाई क्रमशः धकेल्दै जान्छ । यसप्रकार कणहरूमा कम्पन सृजना हुन्छ । कणहरू एउटा निश्चित क्रममा खाँदिने र तन्कने प्रक्रियाबाट गुज्रिन्छन् । यदि कणहरूको कम्पनको दिशा र तरङ्गहरू प्रसारण हुने दिशा एउटै छ भने यस्ता किसिमका वेभलाई पि वेभ भनिन्छ । एस वेभमा तरङ्ग प्रसारण हुने दिशा र पदार्थका कणहरू कम्पन हुने दिशा परस्पर लम्बरूपमा रहन्छन् (चित्र नं. २.२) । लभ-वेभले सतहमा एस वेभले जस्तै गति सृजना गर्दछ तर तलतिर वा माथितिर हेन तेर्सो दिशातिर मात्रै गति सृजना हुन्छ । रेली वेभले पदार्थका कणहरूलाई ठाडो सतहमा अण्डाकार (Elliptic path) बाटोमा चलाउँछ (तेर्सो गति, शक्ति प्रसार हुने दिशातिर हुन्छ) ।



चित्र २.१: कुनै स्थलमा भूकम्पीय तरङ्गहरूको आगमन

पि-वेभ सवैभन्दा छिटो गतिको तरङ्ग हो र त्यसपछि क्रमशः एस, लभ र रेली वेभ पर्दछन् । उदाहरणको लागि पि र एस वेभको गति ग्रेनाइट (कडा खालको चट्टान) मा क्रमशः लगभग ४.८ र ३ किमि प्रतिसेकेण्ड हुन्छ । पि-वेभ ठोस, तरल र ग्यास सवै माध्यमबाट यात्रा गर्न सक्छ तर एस वेभ ठोस माध्यममा मात्र यात्रा गर्न सक्छ । एस वेभले एल वेभसँग मिलेर पृथ्वीको सतहमा शक्तिशाली कम्पन गराउँछ र भौतिक संरचनाहरूमा सर्वाधिक क्षति पुऱ्याउँछ । जब पि र एस वेभ पृथ्वीको सतहसम्म पुग्छन्, तिनीहरूको अधिकांश शक्ति पृथ्वीको भिन्नतर्फ परावर्तित भइसकेका हुन्छन् । केही शक्ति माटो र चट्टानका विभिन्न तहबाट पुनः परावर्तित भई पृथ्वीको सतहसम्म पुग्छ । पृथ्वीको सतहमा यसको गहिरोइमा भन्दा करिव दोब्बर नै कम्पन हुन्छ । जमिनमुनि पुरिएका संरचनाहरूले कम प्रवेग अनुभव गर्ने भएकोले यस्ता संरचनाहरूको डिजाइन गर्दा अक्सर कम कम्पनको लागि नै डिजाइन गरिन्छ ।



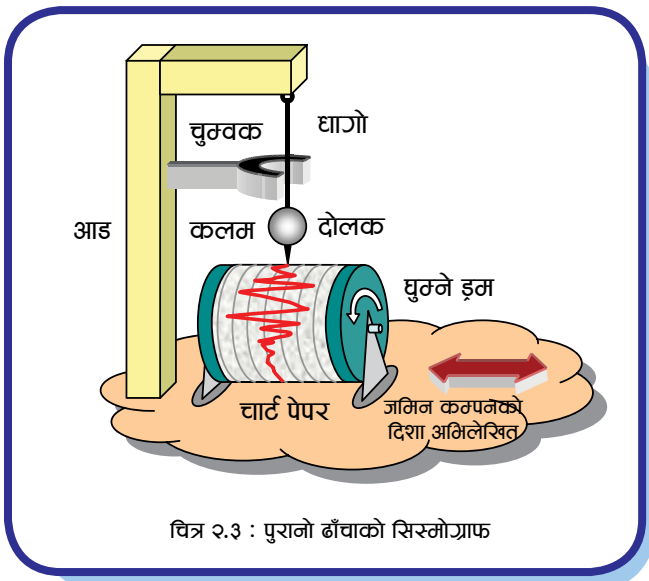
चित्र २.२ : वडी र सर्पस वेभको कारणले उत्पन्न गति (FEMA 99, Non-Technical Explanation of the NEHRP Recommended Provisions बाट साभार)

### भूकम्प मापक यन्त्र

भूकम्पले उत्पन्न गरेको तरङ्गहरू पत्ता लगाई भूकम्पको मात्रा नाप्ने यन्त्रलाई सिस्मोग्राफ भनिन्छ । यसमा तीनओटा भागहरू हुन्छन् : सूचक (Sensor) अभिलेखक (recorder) र मापक (timer) । यो यन्त्रले कसरी काम गर्छ भन्ने कुरा चित्र २.३ मा स्पष्ट हुनेगरी देखाइएको छ । चलिरहेको साधारण दोलकको टुप्पोमा कलम जोडिएको हुन्छ । एक किसिमको सानो ड्रमको सतहमा ग्राफ पेपर टाँस्सिएको हुन्छ । कलमको टुप्पोले छुनेगरी ड्रमलाई दोलकको तल राखिन्छ । मोटरको सहायताले ड्रम एकनासले घुमिरहेको हुन्छ । दोलकको चाल नियन्त्रण गर्नको लागि दोलकको धागो चुम्बकको कापमा चित्र २.३ मा देखाईए अनुसार राखिन्छ । यसरी दोलक र यसमा झुण्ड्याईएको वस्तु, चुम्बक र धागो तथा चुम्बक अड्याउने आँडोले सूचकको काम गर्दछ । ड्रम, कलम र ग्राफ पेपरले अभिलेखकको काम गर्दछ । मोटरले ड्रमलाई एकनाससँग घुमाउँछ । सो ड्रमले मापक (Timer) को काम गर्दछ ।

दुई नब्बे डिग्री कोणमा रहेका तेर्सो दिशाहरूमा कम्पन मापनका लागि





चित्र २.३ : पुरानो ढाँचाको सिस्मोग्राफ

हरेक दिशामा एउटा सिस्मोग्राफ राखिन्छ । ठाडो चालको मापनको लागि धागोको दोलकको सट्टा स्प्रिङको दोलक राखिन्छ । कुनैकुनै यन्त्रमा समय मापक यन्त्र अर्थात ड्रम घुम्दैन । यस्तो यन्त्रले भूकम्पको वेलामा उत्पन्न हुने अत्याधिक कम्पनमात्र देखाउन सक्छ । त्यसै कारणले यिनीहरूलाई सिस्मोग्राफ भनिन्छ ।

समयको परिवर्तनसँगै यन्त्रहरूको विकास हुँदै गयो । आजकल कम्प्युटर प्रणालीमा आधारित डिजिटल यन्त्रहरू वढी प्रयोगमा आएको देखिन्छ । डिजिटल यन्त्रले यसमा जडान गरिएको माइक्रोप्रोसेसरको मेमोरीमा जमिनको कम्पनको अभिलेख राख्दछ ।

### जमिनको शक्तिशाली कम्पन

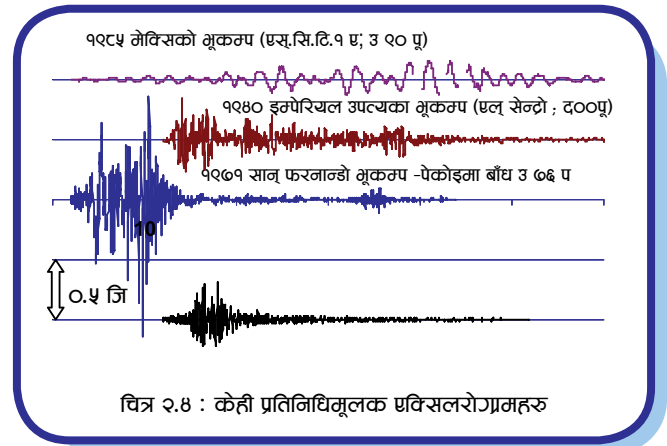
पृथ्वीभित्र शक्ति निष्काशनको कारणले भूकम्पीय तरङ्गहरू उत्पन्न हुन्छन् । त्यसको फलस्वरूप पृथ्वीमा गति उत्पन्न हुन्छ र सतहको जमिन हल्लिन थाल्छ । यी तरङ्गहरू विभिन्न समयमा विभिन्न विस्तार (amplitude) र विभिन्न शक्तिको साथ पृथ्वीको सतहमा आइपुग्छन् । त्यसैले जमिनको सतहमा फरक-फरक स्थानमा फरक-फरक कम्पन हुन्छ । समय अनुसार तरङ्गको विस्तार र दिशापनि अनियमित हुन्छ ।

धेरै टाढा गएको ठूलो भूकम्पले कमजोर खालको कम्पनमात्रै उत्पन्न गराउन सक्छ । यसले संरचनाहरूलाई खासै क्षति नगर्न सक्छ वा मानिसहरूले पत्तै नपाउन पनि सक्छन् । तर संवेदनशिल सुक्ष्म यन्त्रहरूले यस्ता भूकम्पहरूको अभिलेख राख्न र उद्गम बिन्दु पत्ता लगाउन सक्छन् । तथापि इन्जिनियरिङ दृष्टिकोणबाट हेर्दा संरचनालाई क्षतिग्रस्त बनाउन सक्ने शक्तिशाली कम्पन मात्रै चासोको विषय हुन्छ । स्पष्ट नै छ, संरचनाहरूको क्षति हुन या त यिनीहरू भूकम्प गएको ठाउँबाट नजिक हुनु पर्दछ या भूकम्प मध्यमदेखि ठूलो दुरीमा भएको खण्डमा भूकम्प ठूलो हुनु पर्दछ ।

### शक्तिशाली कम्पनका विशेषताहरू

जमिनको कम्पनलाई विस्थापन (Displacement), वेग (Velocity) र प्रवेग (Acceleration) को रूपमा व्याख्या गर्न सकिन्छ । खास ठाउँमा समय अनुसार जमिनको प्रवेगमा देखिएको फरकको रेकर्डलाई एक्सेलेरोग्राम भनिन्छ । एक्सेलेरोग्रामको स्वभाव विभिन्न कुराहरूमा भर पर्दछ (चित्र नं. २.४) । जस्तै, स्रोतमा निष्कासन भएको शक्ति, भौगर्भिक चिरामा हुने चिप्लाइको किसिम, शक्ति प्रसारित हुने वाटोको भौगर्भिक अवस्था र स्थानीय माटोको संरचना (चित्र २.९) । एक्सेलेरोग्रामले विभिन्न कुराहरूको

विशिष्ट जानकारी दिन्छ जस्तै: जमिनको थर्काइ, अधिकतम विस्तार (Peak Amplitude), शक्तिशाली कम्पनको समयावधि, वारम्बारता (Frequency) र निष्काशित शक्तिको मात्रा ।



चित्र २.८ : केही प्रतिनिधिमूलक एक्सिलेरोग्रामहरू

जमिनको अधिकतम विस्तार/जमिनको अधिकतम प्रवेग (peak ground acceleration PGA) आफै बुझिने कुरा हो । जस्तै तेर्सो दिशामा भएको जमिनको अधिकतम प्रवेग  $0.6\text{ g}$  ( $= 0.6 \times \text{g}$ ,  $\text{g}$  भन्नाले पृथ्वीको गुरुत्वाकर्षण बल) जुन मोटामोटी  $9.8\text{ meter/Second}^2$  हुन्छ) भन्नाले जमिनको चालले कुनै संरचनामा दिनसक्ने अधिकतम तेर्सो धक्का, सो संरचनाको तौलको ६०% मात्र हुनसक्छ । दृढ संरचनाका (Rigid structure) सम्पूर्ण अङ्गहरू जमिनसँगै उत्तिकै प्रवेगले चल्ने भएकोले संरचनाले पनि जमिनको अधिकतम कम्पन अनुभव गर्दछ । १९९४ को अमेरिकाको नर्थरिज भूकम्पमा  $1.0\text{g}$  भन्दा ठूलो तेर्सो प्रवेग (Peak Horizontal Acceleration, PGA) रेकर्ड गरिएको थियो । अक्सर शक्तिशाली जमिनको शक्ति  $0.03\text{--}3.0$  हर्जमा (Cycle Per Second) निहित हुन्छ ।

सामान्यतया परस्पर लम्ब रूपमा (Orthogonal) भएका दुई तेर्सो दिशामा गतिको अधिकतम विस्तार करिबकरिब उस्तै हुन्छन् । तथापी ठाडो दिशामा हुने अधिकतम विस्तार (maximum amplitude) सामान्यतया तेर्सो दिशामाभन्दा कम हुन्छ । भवन निर्माण संहितामा ठाडो डिजाइन प्रवेग (Vertical Design acceleration) तेर्सो डिजाइन प्रवेग (Horizontal Design acceleration) को  $1/2$  देखि  $1/3$  सम्म लिइन्छ । यसको विपरित भौगर्भिक चिराहरूको वरपर तेर्सो र ठाडो दिशामा भएको अधिकतम प्रवेगको विचमा यस्तो सम्बन्ध देखिदैन ।

### सन्दर्भ सामाग्री

1. Bolt, B.A., (1999), Earthquakes, Fourth Edition, W. H. Freeman and Company, New York, USA

लेखक	: सी.वी.आर. मूर्ति, आइआईटी, कानपुर, भारत
प्रायोजक	: भवन निर्माण सामाग्री र प्रविधि प्रवर्धन परिषद, नयाँदिल्ली, भारत
अनुवादक	: युक्त विलास मरहडा, नमूना इन्स्टिट्यूट अफ टेक्नोलोजी, भरतपुर, चितवन
परिमार्जनकर्ता	: जितेन्द्र कुमार बोथरा, मियामोटो इन्टरनेशनल, न्यूजिल्यान्ड

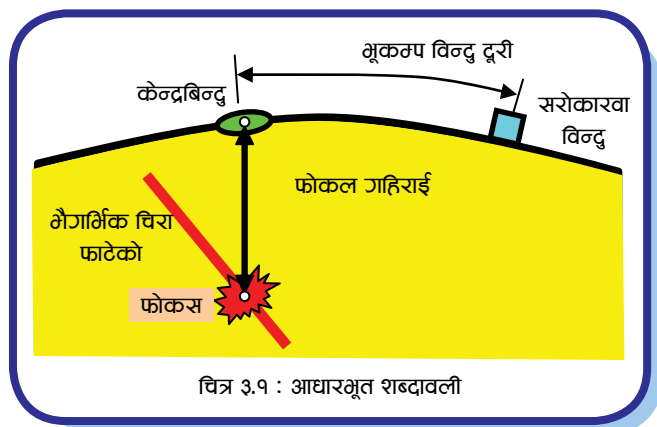
यो सामाग्री आइआईटी, कानपुर र वीएमटीपीसीको बौद्धिक सम्पत्ति हो । विषयवस्तु तोडमोड नगरी र कृतज्ञता ज्ञापन सहित यो सामाग्री पुनःप्रकाशन गर्न सकिनेछ । हाम्रो इमेल ठेगाना nicee@iitk.ac.in मा सल्लाह सुझाव पठाउन सक्नुहुनेछ । यो सामाग्री हाम्रो वेबसाईट [www.nicee.org](http://www.nicee.org) वा [www.bmtpc.org](http://www.bmtpc.org) मा हेर्न सकिनेछ ।



### जमिन कसरी हल्लिन्छ ?

#### परिभाषा

पृथ्वीभित्र भौगर्भिक चिरामा रहेको भूकम्प शुरु हुने कुनैपनि बिन्दुलाई हाइपोसेन्टर भनिन्छ । हाइपोसेन्टरलाई फोकस पनि भनिन्छ । फोकसको सिधा माथि पृथ्वीको सतहमा पर्ने बिन्दुलाई भूकम्प बिन्दु (Epicenter) (चित्र ३.१) भनिन्छ । भूकम्प बिन्दुबाट फोकस सम्मको गहिराइलाई फोकल गहिराइ भनिन्छ । फोकल गहिराइ कम छ भने भूकम्पले पुर्‍याउने क्षति बढ्ने प्रबल सम्भावना हुन्छ । धेरैजसो विनाशकारी भूकम्पमा फोकल गहिराइ ७० कि.मि. भन्दा कम भएको पाइन्छ । भूकम्प बिन्दुबाट कुनैपनि अन्य बिन्दुहरूको दूरीलाई भूकम्प बिन्दु दूरी (Epicentral Disastance) भनिन्छ ।



चित्र ३.१ : आधारभूत शब्दावली

ठूला भूकम्पअघि वा पछि कैयन ससाना भूकम्पहरू जान्छन् । ठूला भूकम्पभन्दा अघि गएका र पछि गएका ससाना भूकम्पहरूलाई क्रमशः पूर्वकम्प (Foreshocks) र परकम्प (Aftershocks) भनिन्छ ।

#### भूकम्प परिमाण (Magnitude)

भूकम्पको परिमाण भनेको भूकम्पको वास्तविक मात्रात्मक आकारको माप हो । प्राध्यापक चार्ल्स रिक्टरको अध्ययनबाट के पाइयो भने (क) समान दूरीमा रहेका भूकम्पहरूले सेस्मोग्राफमा रेकर्ड गरेको तरङ्गको विस्तार (Wave Amplitude) ठूलो भूकम्पमा सानो भूकम्पमा भन्दा ठूलो हुन्छ । (ख) कुनै खास भूकम्पमा भूकम्प बिन्दुबाट सेस्मोग्राफ राखिएको ठाउँसम्मको दूरी जति बढी भयो त्यति तरङ्ग विस्तार सानो हुँदै हुन्छ । यसको आधारमा उनले भूकम्पको परिमाण जनाउने पद्धतिलाई 'रेक्टर स्केल' रूपमा प्रस्ताव गरे । यो सिस्मोग्राम (भूकम्पीय अभिलेख) बाट प्राप्त गर्न सकिन्छ र यसले तरङ्गको विस्तार एपिसेन्ट्रल दूरीमा भर पर्छ भन्ने कुरालाई पुष्टि गर्दछ । यो स्केललाई स्थानीय परिमाण स्केल पनि भनिन्छ । यसको अलावा भूकम्पको परिमाण नाप्ने अन्य स्केलहरू पनि हुन्छन् । बडी वेभ परिमाण, सर्फेस वेभ परिमाण र वेभ इनर्जी परिमाण यसका उदाहरणहरू हुन् । यी गणितीय परिमाण स्केलको माथिल्लो र तल्लो सिमा हुँदैन । ज्यादै सानो भूकम्पको परिमाण शून्य वा ऋणात्मक नै पनि हुन सक्छ ।

भूकम्पको परिमाण (एम) मा १ बृद्धि हुनु भनेको तरङ्गको विस्तारमा १० गुणा बृद्धि हुनु हो र ३१ गुणा बढी शक्ति निष्कासन हुनु हो । उदाहरणका लागि एम ७.७ (M7.7) को भूकम्पमा एम ६.७ (M 6.7) को भूकम्पमा भन्दा करिब ३१ गुणा बढी र एम ५.७ को भन्दा करिब १००० (करिब ३१ x ३१) गुणा बढी शक्ति निष्कासित हुन्छ । निष्काशित शक्तिको ठूलो हिस्सा तापमा परिवर्तित भई चट्टानलाई चर्काउन र फुटाउन खर्च हुन्छ ।

(सौभाग्यवश) सानो अंशमात्र भूकम्पीय तरङ्गको रूपमा जमिनसम्म यात्रा गर्दछ । यिनै तरङ्गहरूले जमिन हल्लाउने र बाटोमा आइपर्ने संरचनाहरूलाई क्षति पुर्‍याउने काम गर्दछन् । (तपाईंलाई थाहा छ ? एम ६.३ को भूकम्पले निष्काशन गरेको शक्ति सन् १९४५ मा हिरोशिमाको खसाइएको परमाणु बमले निष्काशन गरेको शक्तिसँग बराबर हुन्छ ।)

आकारको आधारमा भूकम्पलाई (तालिका ३.१) विभिन्न वर्गमा विभाजित गरिएको छ । संसारमा हरेक वर्गका भूकम्पहरू वर्षमा औसत कति पटकसम्म जान्छ भन्ने कुरापनि तालिकामा स्पष्ट पारिएको छ । दिइएको तालिका अनुसार संसारमा प्रतिवर्ष औसत एक महाभूकम्प जान्छ ।

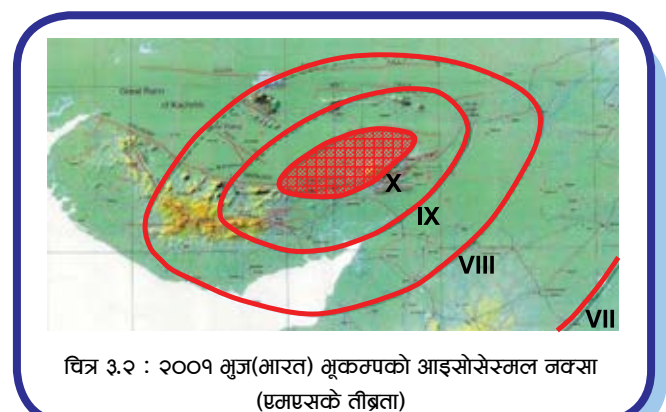
तालिका ३.१: विश्वव्यापी भूकम्पीय गतिविधि

वर्ग	परिमाण	वर्षिक संख्या औसत
महाभूकम्प	८ र सो भन्दा माथि	१
ठूलो	७ - ७.९	१८
शक्तिशाली	६ - ६.९	१२०
मध्यमस्तरीय	५ - ५.९	८००
हल्का	४ - ४.९	६२००
सानो	३ - ३.९	४९०००
अति सानो	३.०	एम २-३ लगभग १००० प्रति दिन एम १-२ लगभग ८००० प्रति दिन

स्रोत: <http://neic.usgs.gov/neis/eqlists/eqstats.html>

#### तीव्रता (Intensity)

भूकम्पको समयमा कुनै खास ठाउँमा भएको वास्तविक कम्पनको गुणात्मक माप वा भूकम्पको असरलाई तीव्रता भनिन्छ । यसलाई रोमन ठूलो अंकले जनाइन्छ । तीव्रता स्केल धेरै किसिमका हुने भए तापनि परिवर्तित मार्काली तीव्रता (एमएमआई-MMI) स्केल र गुणात्मक मार्काली तीव्रता (एमएसके-MSK) स्केल अक्सर प्रयोग गरिन्छ । दुवै स्केल लगभग उस्तै खालका हुन् र यसबाट कम्तिमा । (सबैभन्दा कम महसूस गरिने) र बढिमा XII (सबैभन्दा डरलाग्दो) सम्मका तीव्रता मापन गर्न सकिन्छ । तीव्रताको स्केल कम्पनका तीन विशेषतामा आधारित हुन्छन् - मानिस र जनावरद्वारा गरिने महशुस, भवनको प्रतिक्रिया वा व्यवहार र प्राकृतिक वातावरणमा आउने परिवर्तन । तालिका ३.२ ले MSK स्केलमा VIII तीव्रताको विवरण दिन्छ । भूकम्पको समयमा विभिन्न ठाउँमा तीव्रताको मात्रा रेखाचित्रमा आइसोसेस्मल प्रयोग गरी देखाइएको छ । समान भूकम्पीय तीव्रता भएका ठाउँहरूलाई जोड्ने रेखालाई आइसोसेस्मल भनिन्छ ।



चित्र ३.२ : २००१ भुज(भारत) भूकम्पको आइसोसेस्मल नक्सा (एमएसके तीव्रता)

स्रोत : <http://www.nicee.org/nicee/EQReports/Bhuj/isoseismal.html>

तालिका ३.२ : 'एमएसके स्केल' अनुसार कम्पन तीव्रता VIII को विवरण

तीव्रता VIII-भवनमा क्षतिको प्रकृति

(क) डराउने र आत्तिने, मोटरसाइकल र गाडीमा सवार मान्छेहरुलाई पनि के गरौं कसो गरौं जस्तो बनाउँछ। यत्रतत्र रुखका हाँगाहरु भाँचिचन थाल्छन्, गरुडा फर्निचरहरु पनि यताउता चल्ने र पल्टने हुन्छन्। भुन्डयाइएका वतीहरु पनि आंशिक रुपमा क्षतिग्रस्त हुन्छन्।

(ख) ग वर्गका अधिकांश भवनहरुमा स्तर २ को र केहीमा स्तर ३ को क्षति हुन्छ। ख वर्गका अधिकांश भवनहरुमा स्तर ३ को क्षति हुन्छ। क वर्गका अधिकांश भवनहरुमा स्तर ४ को क्षति हुन्छ। कहिलेकाही पाइपका जोर्नीहरु फाट्छन्। चिहानमा कुँदै राखिएका ठाडा दुङ्गाहरु ढल्दछन्।

(ग) भिरालो र पुरवा माटो राखेर उँचो बनाइएका सडकहरु पहिरो गएभै ढल्छन्। जमिनमा केही सेन्टिमिटर चौडाइका चिराहरु विकास हुन्छन्। तालको पानी धमिलो हुन्छ। नयाँ- नयाँ पानीका तालहरु सुजना हुन्छन्। पानी नभएका झारमा पानी भरिने र पानी भएका झारहरु सुक्ने गर्दछन्। धेरैजसो ठाउँहरुमा पानीको बहाव र सतहमा स्पष्ट परिवर्तन देखिन्छ।

नोट:

- वर्ग क का भवनहरु –ग्रामीण भवनहरु, वर्ग ख का भवनहरु – सामान्य गारोवाला भवनहरु, वर्ग ग का भवनहरु – राम्ररी बनाइएका भवनहरु
- केही – करिव ५%, धेरै – करिव ५०%, अधिकांश– करिव ७५ %
- स्तर १ को क्षति – हल्का क्षति, स्तर २ को क्षति–मध्यम स्तरको क्षति, स्तर ३ को क्षति–ठूलो क्षति, स्तर ४ को क्षति–आंशिक रुपमा ध्वस्त, स्तर ५ को क्षति–पूर्णरुपमा ध्वस्त।

परिमाण र तीव्रता - आधारभूत फरक

भूकम्पको परिमाण (Magnitude) यसको आकारको माप हो। भूकम्पको आकार यसले निष्काशन गरेको शक्तिको मात्रामा भर पर्दछ। यसको मतलब कुनै एउटा भूकम्पको लागि त्यसको परिमाण एउटै मात्र हुन्छ तर तीव्रता भन्नाले कुनै ठाउँमा भूकम्पको असर भन्ने जनाउँछ। स्पष्ट नै छ, भूकम्पको असर भूकम्प बिन्दुबाट नजिकको भागमा बढी हुन्छ। यसप्रकार कुनै खास परिमाणको एउटै भूकम्पमा फरक ठाउँमा फरक-फरक तहको असर अनुभव गरिन्छ।

चित्र ३.३ मा देखाइएको विजुलीको चिमको उदाहरणबाट परिमाण र तीव्रताको भिन्नता स्पष्ट पार्न सकिन्छ। १०० वाटको चिम बालेको ठाउँको नजिकको भागमा ठाढाको भागमा भन्दा बढी उज्यालो हुन्छ। एउटा १०० वाटको चिम जहाँ लगेपनि १०० वाट नै रहन्छ र यसले १०० वाटको शक्ति निष्कासन गर्दछ भने कुनैपनि ठाउँमा त्यसको उज्यालोपना (जसको एकाई लुमेन्स हुन्छ) चिमबाट निष्काशित शक्ति र चिमदेखि त्यो ठाउँसम्मको दूरीमा भर पर्दछ। यसरी चिमबाट निष्काशित शक्तिलाई भूकम्पको परिमाण र कुनै ठाउँमा त्यसबाट प्राप्त हुने उज्यालोपनालाई त्यो ठाउँमा भूकम्पको तीव्रतासंग तुलना गर्न सकिन्छ।

भूकम्पीय डिजाइनमा भूकम्पीय परिमाण र तीव्रता

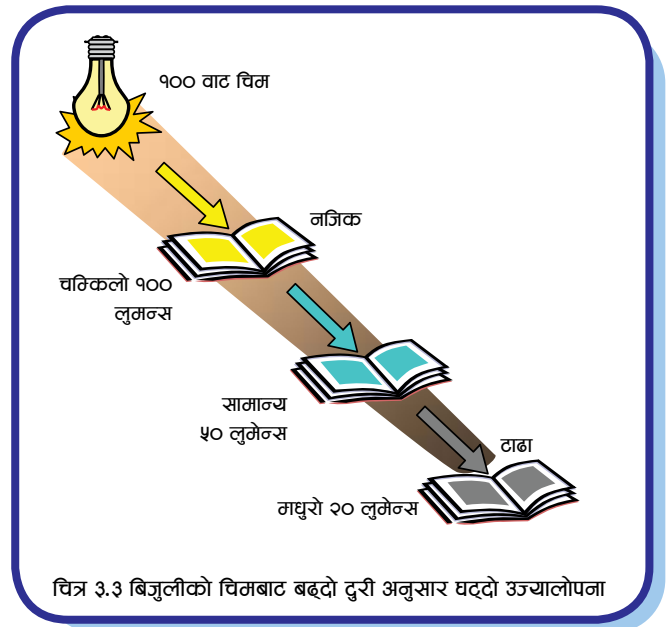
के मेरो घरले ७ रेक्टर स्केलको भुईँचालो धान्छ ? प्रायः यस्तै किसिमका प्रश्नहरु सुन्ने गरिन्छ। तर एम. ७ को भुईँचालोले विभिन्न ठाउँमा विभिन्न स्तरको कम्पन उत्पन्न गर्दछ र भवनहरुमा त्यसले पुर्‍याउने क्षतिको मात्रा पनि फरक-फरक हुन्छ। निश्चय नै कुनैपनि संरचना वा भवन डिजाइन गर्दा भवनले एउटा निश्चित तीव्रताको कम्पनलाई थेग्न सक्ने गरी डिजाइन गरिन्छ, कुनै परिमाणको भूकम्प धान्नको लागि हैन। जमिनले अनुभव गरेको अधिकतम प्रवेग (Peak ground acceleration, पीजीए) भूकम्पको प्रभावलाई मात्रात्मक रुपमा व्यक्त गर्न सकिने एउटा तरिका हो। पि.जि.ए. र एम्.एम्.आई बीचको ब्यवहारिक अन्तर्सम्बन्ध

तालिका ३.३ मा देखाइएको छ। उदाहरणको लागि सन् २००१ मा भारतको भुजमा गएको भूकम्पको क्षेत्रलाई विभिन्न आइसोसेस्मल रेखाहरु VIII (चित्र ३.२) ले घेरिएको छ भन्नुको मतलब त्यो क्षेत्रमा करिव ०.२५-०.३०g सम्मको पिजिए प्रभाव अनुभव गरेको हुनसक्छ। तर आजकल जमिनको ध्वंसात्मक प्रकृति किटान गर्न भूकम्प मापक यन्त्रहरुको प्रयोग गरिन्छ जसले जमिनको कम्पनको अभिलेख राख्दछ। भूकम्प प्रतिरोधी डिजाइनहरु किफायती गर्नका लागि यी अभिलेखहरु अत्यन्तै उपयोगी हुन्छन्।

तालिका ३.३: विभिन्न तीव्रतामा शिखर भू-प्रवेग (PGA)को मान

तीव्रता	V	VI	VII	VIII	IX	X
PGA	0.03-0.04	0.06-0.07	0.10-0.15	0.25-0.30	0.50-0.55	>0.60

विगतका भूकम्पहरुको तथ्याङ्कको आधारमा सन् १९५६ मा वैज्ञानिकहरु गुटनवर्ग (Gutenberg) र रेक्टर (Richter) ले भूकम्पको स्थानीय परिमाण (Local Magnitude, ML) र एपीसेन्टर क्षेत्रमा तीव्रता (Intensity, Io) को बीचको करिव करिव नजिकको सम्बन्ध स्थापित गरे जसअनुसार  $ML \approx 2/3 Io + 1$  हुन्छ। यो समीकरण प्रयोग गर्नको लागि तीव्रताको लागि प्रयोग गरिएको रोमन अंकको ठाउँमा अरेबिक अंक राख्नु पर्दछ। उदाहरणको लागि, तीव्रता IX को सट्टा ९ राख्नु पर्दछ। अन्य वैज्ञानिकहरुले प्रस्ताव गरेका अन्य यस्तै थुप्रै सम्बन्धहरु छन्।



चित्र ३.३ बिजुलीको चिमबाट बढ्दो दुरी अनुसार घट्दो उज्यालोपना

सन्दर्भ सामग्री

1. Richter, C.F., (1958), Elementary Seismology, W. H. Freeman and Company Inc, USA (Indian Reprint in 1969 by Eurasia Publishing House Private Limited, New Delhi)

[http://neic.usgs.gov/neis/general/handouts/magnitude\\_intensity.html](http://neic.usgs.gov/neis/general/handouts/magnitude_intensity.html)

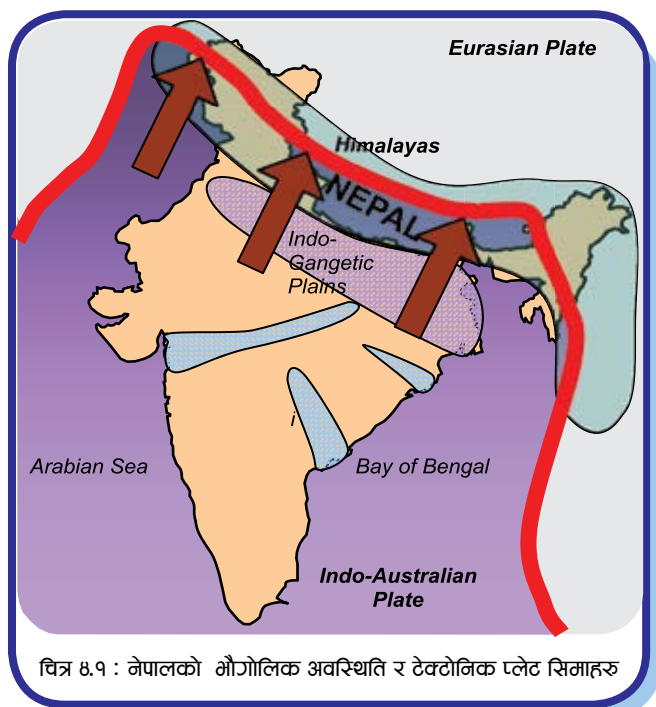
लेखक	: सी.बी.आर. मूर्ति, आइआइटी, कानपुर, भारत
प्रायोजक	: भवन निर्माण सामाग्री र प्रविधि प्रवर्धन परिषद नयाँदिल्ली, भारत
अनुवादक	: युक्त विलास मरहट्टा, नमूना इन्स्टिट्यूट अफ टेक्नोलोजी, भरतपुर, चितवन
परिमार्जनकर्ता	: जितेन्द्र कुमार बोथरा, मियामोटो इन्टरनेशनल, न्यूजिल्या

यो सामग्री आइआइटी, कानपुर र बीएमटीपीसीको बौद्धिक सम्पति हो। विषयवस्तु तोडमोड नगरी र कृतज्ञता ज्ञापन सहित यो सामग्री पुनःप्रकाशन गर्न सकिनेछ। हाम्रो इमेल ठेगाना nicee@iitk.ac.in मा सल्लाह सुझाव पठाउन सक्नुहुनेछ। यो सामग्री हाम्रो वेबसाइट [www.nicee.org](http://www.nicee.org) वा [www.bmtpc.org](http://www.bmtpc.org) मा हेर्न सकिनेछ।

## नेपालमा भूकम्पीय क्षेत्रहरु कहाँकहाँ पर्दछन् ?

### आधारभूत भूगोल र टेक्टोनिक विशेषता

नेपाल यूरेशियन प्लेट र इन्डो-अष्ट्रेलियन प्लेटको सिमानामा अवस्थित छ। यूराल पर्वतको पूर्व र गंगा नदीको उत्तरमा पर्ने यूरेशियन प्लेटले उत्तरी भारत, पाकिस्तान, अफगानिस्तान, तिब्बत, मङ्गोलिया र यूएसएसआरको ठूलो हिस्सा ओगटेको छ। इन्डो-अष्ट्रेलियन प्लेट विशाल यूरेशियन प्लेटसँग टकराई रहेको छ (चित्र ४.१) र यो यूरेशियन प्लेटभित्र घुसिरहेको छ। एउटा टेक्टोनिक प्लेट यसरी अर्को टेक्टोनिक प्लेटमुनी घुस्ने प्रक्रियालाई 'सबडक्शन' (Subduction) भनिन्छ। इन्डो-अष्ट्रेलियन प्लेटको उत्तरी भागमा पर्ने २४०० किमि लामो हिमाली श्रृङ्खलामध्ये ८०० किलोमिटरको भाग नेपालमा पर्दछ। यी हिमालय श्रृङ्खला भएको ठाउँमा परापूर्व कालमा टेथिस सागर थियो। पृथ्वीको सतहको केही भाग महासागरहरुले ढाकेका छन् भने बाँकी भागलाई महाद्विपहरुले ढाकेका छन्। महासागरमा 'सबडक्शन' प्रक्रिया धेरै गहिरोमा उत्पन्न हुन्छ। जब प्लेटहरु एकअर्काका नजिक-नजिक (Converging) आइरहेका हुन्छन्, महाद्विपको तैरिरहन खोज्ने (Buoyant) स्वभावले गर्दा यिनीहरु सतहको नजिकै रहन खोज्दछन्। जब महाद्विपहरु एकअर्काका नजिक-नजिक सरिरहेका हुन्छन् ठूलो मात्रामा छोटिने (Shortening) र बाक्लिने (Thickening) प्रक्रिया शुरु हुन्छ। हिमालय पर्वत र तिब्बतमा यस्तै भौगर्भिक प्रक्रिया भएको हो।



चित्र ४.१ : नेपालको भौगोलिक अवस्थिति र टेक्टोनिक प्लेट सिमाहरु

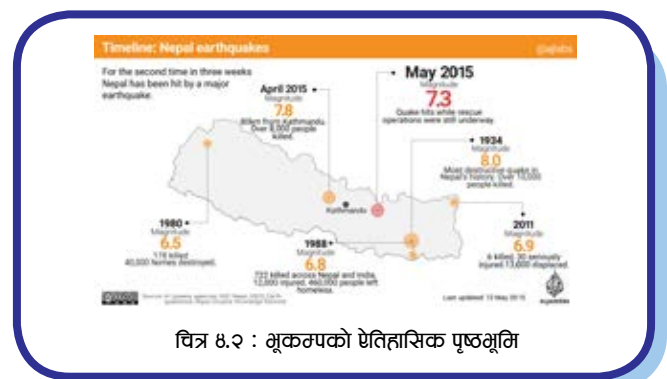
नेपाललाई मुख्य ५ टेक्टोनिक क्षेत्रहरुमा विभाजन गर्न सकिन्छ। (१) तराई क्षेत्र (२) शिवालिक क्षेत्र (३) तल्लो हिमाली क्षेत्र (४) माथिल्लो हिमाली क्षेत्र (५) तिब्बतीयन टेथिस क्षेत्र (चित्र ४.२)। तराईमा समुन्द्र सतहबाट २०० मिटर उचाइसम्मको समथर र नदी निर्मित गहिरो माटोको (Alluvium) मैदानी भाग पर्दछ। महाद्विपमा हिमालयको भारको कारणबाट उत्पन्न भएको एउटा विशाल खाल्टोको रुपमा रहेको यो क्षेत्र गङ्गा मैदानको नेपाली भूभाग हो। यो क्षेत्र दक्षिणमा भारतीय सिमानादेखि उत्तरमा शिवालिक क्षेत्रसम्म फैलिएको छ। गोग्रान, बलौटे र पाँगे माटोले बनेको यो भूभाग नेपालको पूर्वदेखि पश्चिमसम्म करिबकरिब अविच्छिन्न रुपमा फैलिएको छ। शिवालिक क्षेत्र पत्रे चट्टान विशेषगरी बालुवा-ढुङ्गा

(Sandstone) र मिश्र-चट्टान (Conglomerate) बाट बनेको छ र यो क्षेत्र दक्षिणमा 'मेन फ्रन्टल थ्रस्ट' देखि उत्तरमा 'मेन बाउन्ड्री थ्रस्ट' सम्म फैलिएको छ।

टेक्टोनिक उभार (Tectonic Uplifting) का कारण पनि यो क्षेत्र भौगर्भिक रुपमा अस्थिर छ। महाभारत क्षेत्र भनिने तल्लो हिमाली क्षेत्र रुपान्तरित चट्टान (Metamorphic Rocks) बाट बनेको छ। माथिल्लो हिमाली क्षेत्र लामो समयदेखि टेथिसमा जम्मा भई सशक्त रुपमा रुपान्तरित चट्टानहरु बाट बनेको छ। यो क्षेत्र दक्षिणमा 'मेन फ्रन्टल थ्रस्ट' देखि उत्तरमा 'मेन बाउन्ड्री थ्रस्ट' सम्म फैलिएको छ। यो भूभाग नेपालको पूर्वदेखि पश्चिमसम्म अविच्छिन्न रुपमा फैलिएको छ। यो क्षेत्र अत्यन्तै उच्च तहको रुपान्तरित चट्टानबाट बनेको छ। तिब्बतीयन टेथिस क्षेत्र नेपालको उत्तरी भूभागमा अवस्थित छ। मुस्ताङ्ग, मनाङ्ग, डोल्पा आदि क्षेत्रमा र सगरमाथांमा यी चट्टान प्रचुर मात्रामा पाइन्छन्। तिब्बतीयन टेथिस क्षेत्रमा पाइने चट्टानहरुमा बालुवा-ढुङ्गा, पत्रे चट्टान आदि प्रमुख हुन्।

### नेपालमा भूकम्पको ऐतिहासिक पृष्ठभूमि

नेपाल र यस आसपासका क्षेत्रमा बेलाबेलामा ठूलोला विनाशकारी भूकम्पहरु गएको पाइन्छ (चित्र ४.२)। यीमध्ये केही अत्यन्त घना बस्ती भएको र शहरी क्षेत्रमा गएको कारणले ठूलो क्षति पुऱ्याएका छन् भने केयौं भूकम्प त पृथ्वीको सतहभन्दा धेरै तल वा बस्तीविहिन ठाउँमा जाने भएकोले भूकम्प गएको थाहा नै हुँदैन। तालिका- ४.१ मा नेपालमा गएका केही विनाशकारी भूकम्पको सूची दिइएको छ। संसारका अधिकांश भूकम्प हिमालय प्लेट सिमा क्षेत्रमा जान्छन् (यसलाई अन्तरप्लेट भूकम्प भनिन्छ)। केयन भूकम्पहरु प्लेट सिमाभन्दा पर, प्लेटभित्र नै पनि जान सक्छन्, यस्ता भूकम्पहरुलाई आन्तरिक प्लेट भूकम्प (Intra-Plate Earthquake) भनिन्छ।



चित्र ४.२ : भूकम्पको ऐतिहासिक पृष्ठभूमि

सन् १२५५ जुन ७ को भूकम्प इतिहासमा अभिलेखित नेपालको पहिलो भूकम्प हो जसमा स्वयं राजा अभय मल्ल पनि मारिएका थिए। १६ जनवरी १९३४ मा गएको भूडँचालो (नब्बे सालको भूडँचालो भनेर धेरै नेपालीको जनजिब्रोमा भुन्डिएको छ) थाहा भएसम्म नेपालको सबैभन्दा विनाशकारी भूकम्प हो। नब्बे सालको भूकम्पमा ३०० किमि लम्बाइसम्म जमिन तरलीकृत भई (Liquefaction) केयौं भवन जलमग्न भएका थिए। २५ अप्रिल, २०१५ (२०७२ साल वैशाख १२ गते) मा गोरखा केन्द्रविन्दु भएर गएको भूकम्प पनि करिब नब्बे सालकै जस्तो भीषण थियो। तर यसले हामीलाई भूकम्प सम्बन्धी धेरै कुराहरु सिक्ने अवसरपनि दियो। जुनसुकै पद वा हैसियतको व्यक्ति होस् यस्तो विपद्को बेलामा सबैले भोग्नुपर्ने नियति एउटै हुँदोरहेछ। नेपालका राष्ट्रपति पनि बाहिर खुल्ला ठाउँमा त्रिपालमुनी बस्नुपऱ्यो। करोडौं सम्पत्तीका मालिक पनि एक पोका विस्कृत र चाउचाउका लागि कसैको आशमा तडिपनु पऱ्यो। एउटा सानो

टुक्रा खुला क्षेत्रपनि यस्तो वेलामा सुरक्षाको विशाल स्रोत हुँदोरहेछ । राम्रो निर्माण विधि र असल जमिन भवनको सुरक्षाको सबैभन्दा महत्वपूर्ण पक्ष रहेछ भन्ने कुरा पनि यो भूकम्पले प्रमाणित गरिदियो । भूकम्प इन्जिनियरिङको क्षेत्रमा यसले महत्वपूर्ण योगदान दिने देखिन्छ ।

तालिका ४.१: नेपालका ठूला भूकम्पहरू

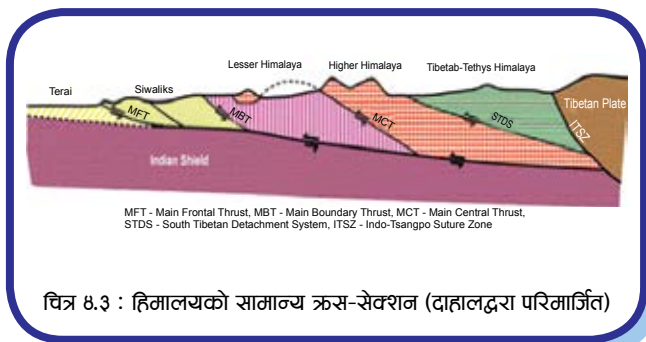
मिति (इ.सं)	ठाउँ	परिमाण	तीव्रता	मानवीय क्षति
७, जुन १२५५	प्राप्त नभएको	७.७	X	काठमाण्डौ उपत्यकाको कूल जनसंख्याको करिब एक तिहाइ
सन् १२६०	प्राप्त नभएको		X	ठूलो मात्रामा मानवीय क्षति
सन् १५०५	काठमाण्डौ उपत्यका	७	IX	ठूलो मात्रामा मानवीय क्षति
डिसेम्बर वा जनवरी १६८१			IX	ठूलो मात्रामा मानवीय क्षति
जुन १७६७				
मे अथवा जुन १८१०				
१८२३				
२६ अगस्ट, १८३३		७.८	X	
११, १३, जुलाई, २६ सेप्टेम्बर १८३४				
१६ जनवरी १९३४	बिहार-नेपाल	८.४	X	८५१९
४ अगस्त १९८०	बझाङ	६.१	VII	४६
२१ अगस्त १९८८	उदयपुर	६.५	VIII	७२१
१९९३	जाजरकोट			१
१७ जुलाई २००१	गोरखा			
१८, सेप्टेम्बर २०११	ताप्लेजुङ	६.९		
२५ अप्रिल, २०१५	गोरखा	७.८	IX	८६८९

मानवीय क्षति कुन समय र कुन मौसममा भूकम्प गएको छ भन्ने कुरामा पनि भर पर्छ । यदि भूकम्प जाडो महिनाको रातमा गएको छ भने, मानवीय क्षति बढी हुन्छ किनभने यो समयमा धेरैजसो मानिसहरु घरभित्र मस्त निद्रामा हुन्छन् ।

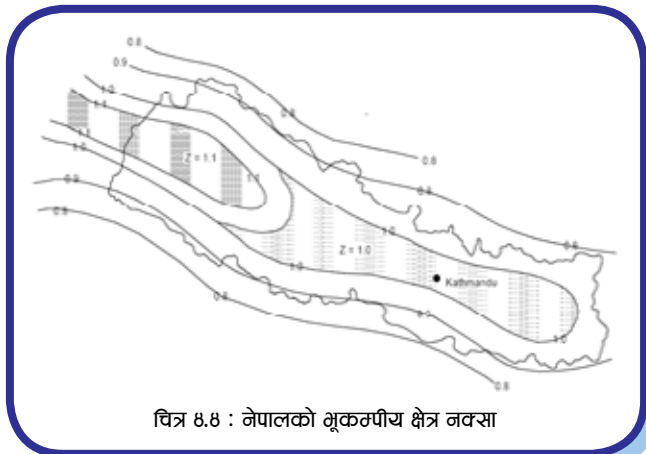
### नेपालका भूकम्पीय क्षेत्रहरू

देशका विभिन्न भागमा अलग-अलग भौगर्भिक परिस्थिति भएकाले भूकम्पको कारणले गर्दा हुने क्षतिपनि फरक-फरक हुन्छ । यी क्षेत्रहरूको पहिचान गर्नको लागि भूकम्पीय क्षेत्रको नक्सा आवश्यक पर्दछ । विगतमा गएका विनाशकारी भूकम्पहरूको तीव्रताको स्तर र नेपाल तथा यस वरिपरिको क्षेत्रमा रहेका भूकम्पीय स्रोतहरूको अनुसन्धानको आधारमा सन् १९९४को भूकम्पीय सिमाङ्कनले नेपाललाई A, B र C गरी ३ भूकम्पीय क्षेत्रमा विभाजन गरेको छ (चित्र ४) । नेपालको लगभग सम्पूर्ण भूभाग उच्च भूकम्पीय तीव्रता, संशोधित मर्काली तीव्रता IX तथा X अन्तर्गत पर्दछ ।

भूगर्भ, भूकम्प-टेक्टोनिक (seismotectonic) तथा भूकम्पीय गतिविधि सम्बन्धी थप जानकारी प्राप्त भएपछि, देशमा भूकम्पीय क्षेत्रको नक्सापनि समय-समयमा संशोधन गरिन्छ । सन् १९९४ मा नेपाल मापदण्ड अवलम्बन गरी पहिलो भूकम्पीय क्षेत्र नक्सा तयार गरियो । तर, यो नै देशमा भूकम्प खतराको अन्तिम दस्तावेज भने हैन । हामीले भूकम्पीय क्षेत्र नक्सा तयार गरेका छौं भनेर ढुक्क भएर बस्नु सर्वथा गलत हुनेछ । यसलाई समय समयमा संशोधित र परिमार्जित गर्नुपर्दछ । हालसम्म उक्त नक्सा संशोधन भएको छैन ।



चित्र ४.३ : हिमालयको सामान्य क्रस-सेक्शन (दाहालद्वारा परिमार्जित)



चित्र ४.४ : नेपालको भूकम्पीय क्षेत्र नक्सा

राष्ट्रिय भूकम्पीय क्षेत्रको नक्साले देशको विभिन्न भूभागको भूकम्पीय जोखिमको स्तरबारे जानकारी दिन्छ । यस्तो नक्साको स्केल सानो हुने भएकोले स्थानीय माटोको किसिम तथा भौगर्भिक अवस्था सम्बन्धमा पर्याप्त जानकारी दिन सक्दैन । यसकारण ठूला-ठूला बाँध, जलविद्युत आयोजनाजस्ता महत्वपूर्ण परियोजनाहरूका लागि ठाउँको विशेष किसिमले भूकम्पीय जोखिम मूल्याङ्कन गरिन्छ । शहरी योजना बनाउने वखतमा पनि महानगरीय क्षेत्रलाई सानासाना भूकम्पीय क्षेत्रमा विभाजन गरेर त्यहाँको भौगर्भिक तथा स्थानिय माटोको स्वरूपलाई मध्यनजर गरी भूकम्पीय जोखिम निर्धारण गरिन्छ ।

### सन्दर्भ सामग्री

1. NBC 105:1994, (2007), Nepal National Building Code- Seismic Design of Buildings in Nepal, Department of Urban Development and Building Construction, Ministry of PP&W, Government of Nepal
2. Dahal, R.K., (2006), Geology of Nepal, www.ranjan.net.np, 24 May 2017
3. NSET, (2017), Chronological History-Earthquake, NSET, Nepal, www.nset.org.np, 19 May 2017
4. ADPC and NSET, (2005), Earthquake Resistance Construction of Buildings, Curriculum for Mason, Asian Disaster Preparedness Center, Thailand and National Society for Earthquake Technology, Nepal

लेखक : सी.वी.आर. मूर्ति, आइआइटी, कानपुर, भारत  
 प्रायोजक : भवन निर्माण सामग्री र प्रविधि प्रवर्धन परिषद, नयाँदिल्ली, भारत  
 अनुवादक : युक्त विलास मरहट्टा, नमूना इन्स्टिट्यूट अफ टेक्नोलोजी, भरतपुर, चितवन  
 परिमार्जनकर्ता : जितेन्द्र कुमार बोथरा, मियामोटो इन्टरनेशनल, न्यूजिल्यान्ड

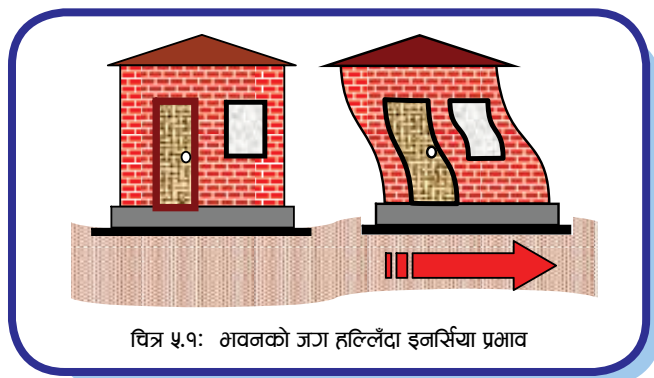
यो सामग्री आइआइटी, कानपुर र बीएमटीपीसीको बौद्धिक सम्पत्ति हो । विषयवस्तु तोडमोड नगरी र कृतज्ञता ज्ञापन सहित यो सामग्री पुनःप्रकाशन गर्न सकिनेछ । हाम्रो ईमेल ठेगाना nicee@iitk.ac.in मा सल्लाह सुझाव पठाउन सक्नुहुनेछ । यो सामग्री हाम्रो वेबसाइट www.nicee.org वा www.bmtpc.org मा हेर्न सकिनेछ ।



## संरचनाहरूमा भूकम्पीय असरहरु के के हुन् ?

### संरचनाहरूमा इनर्शिया बल

जब भूकम्पले जमिन हल्लाउँछ, साथसाथै भवनको जगपनि हल्लिन थाल्दछ। न्युटनको चाल सम्बन्धी पहिलो नियम अनुसार भवनको जग जमिनसंगै चालमा आएपनि छाना पहिलेकै अवस्थामा रहन खोज्दछ। तर गारो र पिलरले छानालाई जगसंग जोड्ने भएकाले यिनीहरूले छानालाई पनि आफूसंगै तान्दछन्। यसलाई बसमा यात्रा गर्दै गरेको एउटा मानिसको अनुभवसंग तुलना गर्न सकिन्छ। नचलेको बसमा उभिइरहेको मानिस एक्कासी बस चल्दा पछाडितिर लड्न खोज्छ, किनभने स्थिर अवस्थामा रहेको मान्छेको खुट्टा बसको चालसंगै चालमा आउँछ, जबकी शरीरको माथिल्लो भाग अझै स्थिर अवस्थामै रहेको हुन्छ। यसप्रकार स्थिर भए स्थिर र चालमा भए चालकै अवस्थामा रहन खोज्ने वस्तुहरूको स्वभावलाई इनर्शिया बल भनिन्छ। भवनको गारो र पिलर केही लचकदार हुने भएकोले छानाको चाल जमिनको भन्दा भिन्न खालको हुन्छ (चित्र ५.१)।



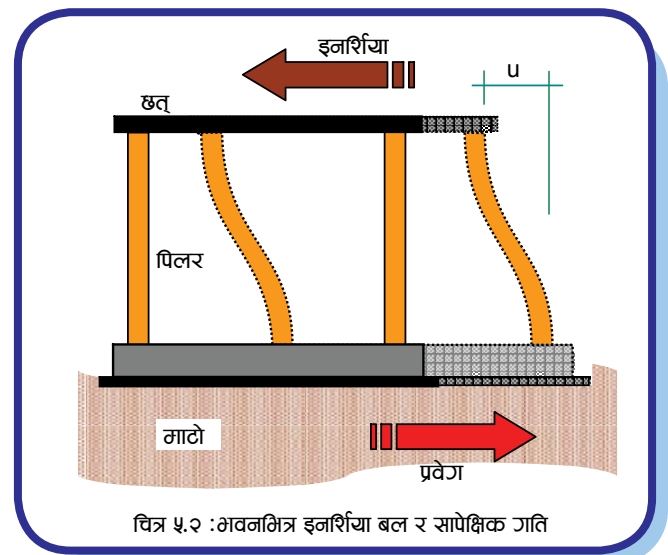
भूकम्प गएको बेलामा घरले त्यस्तै व्यवहार देखाउँछ जस्तो रोकिएराखेको बस एक्कासी चल्दा वा चलिरहेको बस एक्कासी रोकन खोज्दा त्यसमा सवार यात्रुले देखाउँछन्। कुनै एउटा त्यस्तो घर मानौं जसको छाना पिलर हरूद्वारा थामिएको छ (चित्र ५.२)। जसरी बसभित्रका यात्रुहरू एक्कासी बस चलन शुरु हुँदा कसैले शरीरको माथिल्लो भागमा धक्का दिएजस्तै गरी पछाडीतिर हुत्तिन्छन्, ठीक त्यसैगरी जब जमिन भुईँचालोको कारणले एक्कासी चलन थाल्छ, घर पनि पछाडीतिर हुत्तिन्छ र छानाले इनर्शिया बलको अनुभव गर्दछ। यदि छानाको पिण्ड (m) र यसले अनुभव गर्ने प्रवेग (a) छ भने, न्युटनको चाल सम्बन्धी दोस्रो नियम अनुसार, इनर्शिया बल  $F = m \times a$  हुन्छ र यो बल प्रवेगको विपरित दिशातर्फ उन्मुख हुन्छ। माथिको सम्बन्धबाट के स्पष्ट हुन्छ भने पिण्ड वा भार बढ्यो भने इनर्शिया बलपनि बढ्छ। त्यसकारण, हल्का खालका भवनहरू बढी भूकम्प प्रतिरोधी र सुरक्षित हुन्छन्।

### संरचनाहरूमा विरूपणको (Deformation) असर

भवनले बहन गर्ने कुनैपनि भारको कारणले यसको रुप र आकारमा परिवर्तन आएमा भवन विरूपण भएको भनिन्छ। छानाले अनुभव गरेको इनर्शिया बल पिलर हुँदै जमिनमा हस्तान्तरण हुन्छ। यो क्रममा पिलरमा बल उत्पन्न हुन्छ। पिलरमा उत्पन्न हुने बललाई अर्को ढंगले पनि बुझ्न सकिन्छ - भूकम्पको चालसंगै पिलरको फेद र टुप्पा दुवै सापेक्ष रुपमा विस्थापित हुन्छन् (चित्र ५.२)। पिलरको फेदको भाग टुप्पोभन्दा बढी सरेको कुरा चित्र ५.२ बाट देख्न सकिन्छ। उक्त चित्रमा फेद र टुप्पा

बिचको विस्थापनको फरकलाई  $u$  ले जनाइएको छ। तर यदि पिलरको टुप्पो स्वतन्त्र रुपमा छोड्ने हो भने फेरि पहिलेको जस्तै ठाडो अवस्थामा आउन खोज्छ। त्यसको मतलब पिलरले विरूपण (Deformation) लाई प्रतिरोध गर्दछ। सिधा ठाडो अवस्थामा पिलरले कुनैपनि तेर्सो भूकम्पको भार वहन गरेको हुँदैन। तर बलपूर्वक बड्याउने हो भने, त्यसमा आन्तरिक बल उत्पन्न हुन्छ। फेद र टुप्पाको बीचको विस्थापन ( $u$ ) जति बढी हुन्छ, त्यति नै बढी आन्तरिक बल विकास हुन्छ। त्यस्तै पिलरहरू जति दरा भए, (अर्थात् जति ठूला भए) आन्तरिक बल पनि त्यति नै बढी हुन्छ। त्यसैले पिलरमा यस्ता आन्तरिक दरोपनलाई स्टिफनेस बल भनिन्छ। पिलरहरूमा स्टिफनेस बललाई गणितीय रुपमा तल दिइए अनुसार जनाइन्छ:

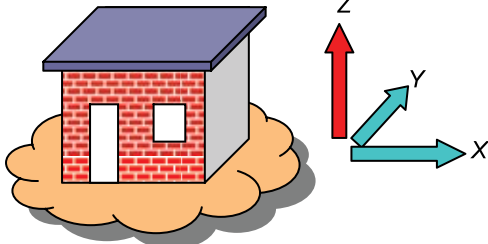
$$\text{Stiffness force} = \text{column stiffness} \times u$$



### तेर्सो र ठाडो कम्पन

भूकम्पको बेलामा जमिन अधि,पछि, दायाँ, बायाँ, तल, माथि जताततै बेनियमले (randomly) हल्लिन्छ। सवै संरचनाहरू मूलतः गुरुत्व भार वहन गर्न सक्ने गरी डिजाइन गरिएको हुन्छ, त्यसको अर्थ,  $F = mg$  (तलतिर उन्मुख) हुनेगरी संरचनाहरूको डिजाइन गरिन्छ, जहाँ  $F$  भनेको संरचनाले वहन गर्ने जम्मा भार,  $M$  भनेका संरचनाको आफ्नै र त्यसमा रहने अन्य वस्तुहरू (जस्तै खाट, टेबल, कुर्सी, दराज, मानिस आदि) को जम्मा पिण्ड र  $g$  भनेको गुरुत्वाकर्षणले गर्दा हुने प्रवेग (तलतिर उन्मुख) हो। भूकम्प आएको बेला उत्पन्न गुरुत्वाकर्षणले हुने प्रवेग ( $g$ ) संग जोडिन पनि सक्छ वा यसबाट घट्न पनि सक्छ। संरचनाहरू डिजाइन गर्दा केही सुरक्षित गुणाङ्कहरू (Safety Factor) को प्रयोग गरिने भएकाले धेरैजसो संरचनाहरू भूकम्पको कारणले उत्पन्न हुने ठाडो कम्पन प्रतिरोध गर्न सक्षम हुन्छन्।

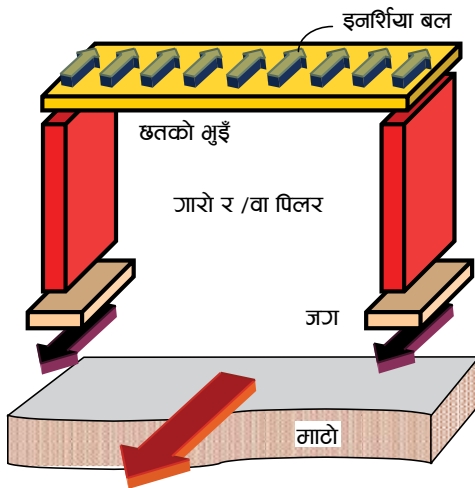
तथापी, भूकम्प सुरक्षाका लागि तेर्सो (X, Y) दिशातर्फ (पूर्व, पश्चिम, उत्तर, दक्षिण सबैतिरका) को कम्पन मुख्य चासोको विषय रहन्छ। गुरुत्व भार (Gravity Load) धान्नको लागि डिजाइन गरिएको संरचना सामान्यतया भूकम्पको तेर्सो दिशातर्फ लाग्ने धक्का थेग्न नसक्ने हुनसक्छ। त्यसकारण भुईँचालोको समयमा संरचनामा आउन सक्ने तेर्सो वा दायाँ बायाँको धक्का धान्न सक्ने किसिमको डिजाइन हुनु आवश्यक पर्दछ।



चित्र ५.३: भवनको प्रमुख दिशा

### जगमा इनर्शिया बलको प्रवाह

जमिन दायाँबायाँ हल्लँदा अक्सर भवनको भुईँको तहमा तेर्सो इनर्शिया बल उत्पन्न हुन्छ। यो इनर्शिया बल गारो वा पिलर हुँदै जगमा र अन्तमा जगमुनिको माटोमा पुग्छ (चित्र ४)। त्यसैले संरचनाका हरेक अङ्गहरू (भुईँ, छाना, गारो, पिलर, जग आदि र तिनीहरूका बीचका जोर्नीहरू) यिनीहरूमा आउने इनर्शिया बललाई सुरक्षित ढंगले एकबाट अर्कोमा हस्तान्तरण गर्न सक्ने गरी डिजाइन गर्नु पर्दछ।



चित्र ५.४: सम्पूर्ण संरचनात्मक अङ्गहरूमा भूकम्पीय इनर्शिया बलको प्रवाह

गारो र पिलरहरू इनर्शिया बल हस्तान्तरण गर्ने सवैभन्दा महत्वपूर्ण अङ्ग हुन्। तर हाम्रो परम्परागत डिजाइन र निर्माणका क्रममा पिलर र गारोभन्दा बिम र छतले बढी महत्व पाएको देखिन्छ। गारो तुलनात्मक रूपमा पातलो र लचकता विनाको भुरो (brittle) पदार्थ जस्तै ईँटा, ढुङ्गाबाट बन्ने भएकाले तिनीहरू तेर्सो दिशाबाट आउने भूकम्पको इनर्शिया बल धान्नका लागि सक्षम हुँदैनन्। विगतका धेरै भूकम्पहरूमा (उदाहरण चित्र ५.५क) ईँटा, ढुङ्गाका गारोहरू भत्केको देखिन्छ। त्यसैगरी कमजोर किसिमले डिजाइन गरेर निर्माण गरिएका आरसीसी पिलरहरू पनि ठूलो विपदको कारक बन्न सक्छन्। सन् २००१ मा भारतको भुजमा गएको भूकम्पमा (चित्र ५.५ ख) भुईँतल्लाको पिलर भत्किएर थुप्रै भवनहरू गल्याँमगुलुम ढलेका थिए। त्यस्तै २०७२ सालको गोरखा भूकम्पमा यस्ता थुप्रै भवनहरू पाताल भएका थिए।



(क) सन् १९९१ को उत्तरकाशी (भारत) भूकम्पमा ढुङ्गाको गारोवाला भवनमा क्षति



(ख) सन् २००१ को भुज (भारत) भूकम्पमा ढलानको पिलरवाला भवन भत्किएको

चित्र ५.५: तेर्सो भूकम्पीय धक्काको लागि गारो/पिलर डिजाइनको महत्व

### सन्दर्भ सामाग्री

Chopra, A.K., (1980), Dynamics of Structures - A Primer, EERI Monograph, Earthquake Engineering Research Institute, USA

लेखक	: सी.वी.आर. मूर्ति, आइआइटी, कानपुर, भारत
प्रायोजक	: भवन निर्माण सामाग्री र प्रविधि प्रवर्धन परिषद, नयाँदिल्ली, भारत
अनुवादक	: युक्त विलास मरहट्टा, नमूना इन्स्टिट्यूट अफ टेक्नोलोजी, भरतपुर, चितवन
परिमार्जनकर्ता	: जितेन्द्र कुमार वोथरा, मियामोटो इन्टरनेशनल, न्यूजिल्यान्ड

यो सामाग्री आइआइटी, कानपुर र वीएमटीपीसीको बौद्धिक सम्पत्ति हो। विषयवस्तु तोडमोड नगरी र कृतज्ञता ज्ञापन सहित यो सामाग्री पुनःप्रकाशन गर्न सकिनेछ। हाम्रो इमेल ठेगाना [nicee@iitk.ac.in](mailto:nicee@iitk.ac.in) मा सल्लाह सुझाव पठाउन सक्नुहुनेछ। यो सामाग्री हाम्रो वेबसाईट [www.nicee.org](http://www.nicee.org) वा [www.bmtpc.org](http://www.bmtpc.org) मा हेर्न सकिनेछ।

## संरचनाहरूमा भूकम्पीय असरहरू के के हुन् ?

### वास्तुकलाको महत्व

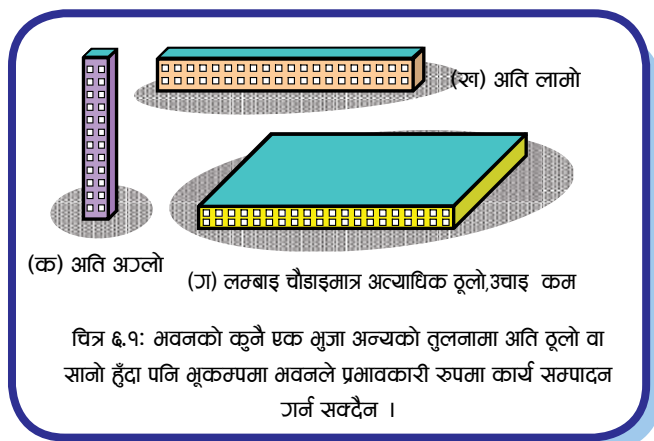
भूकम्प गएको बेलामा भवनले देखाउने व्यवहार मुख्यतः भवनको आकारप्रकार लगायत भवनले व्योहोर्नु परेको भूकम्पीय भारलाई कसरी जमिनसम्म प्रसारण गर्दछ भन्ने कुरामा भर पर्दछ। त्यसकारणले भवनको अवधारणा प्रारूपण (Concept Design) बनाउने बेलादेखि नै वास्तुविद् वा वास्तुकार (Architect) र इन्जिनियर संगै मिलेर काम गर्नु पर्दछ ताकि भवनका नकारात्मक विशेषताहरूलाई हटाएर सही किसिमको सुरक्षित भवन बनाउन सकियोस्। भवनको समग्र ढाँचा, आकार-प्रकार र बनावटको महत्व सम्बन्धमा चर्चित अमेरिकी भूकम्प इन्जिनियर स्व. हेनरी डिजेन्कोवको टिप्पणी यस्तो छ—‘यदि गलत ढाँचा तथा अनुपयुक्त आकारको भवन बनाउन शुरुआत गरियो भने यसले धेरै संरचनात्मक समस्याहरू ल्याउँछ; अत्यन्तै अनुभवी इन्जिनियरले पनि टालटुल गरेर केही ठीक मात्र गर्न सक्छन्, तर त्यसको दीर्घकालिन समाधान दिन सक्दैनन्। यसको विपरित यदि सही ढाँचा तथा उपयुक्त आकारको भवनलाई उचित ढङ्गबाट फ्रेमिङ गरेर बनाउन शुरु गरियो भने एउटा खराब इन्जिनियरले चाहेर पनि भवनको भूकम्प प्रतिरोधी क्षमतालाई नोक्सानी पुऱ्याउन सक्दैन।’

### वास्तुकला र विशेषता

हेर्दापनि सुन्दर, आफ्नो आवश्यकता पनि अत्यन्त प्रभावकारी ढङ्गले पुरा गर्ने खालको संरचना सृजना गर्ने क्रममा वास्तुकारहरू कहिलेकाहीँ विचित्र कल्पनामा डुल्छन्। कहिलेकाहीँ भवनको बाहिरी आकार अत्यन्तै मनमोहक हुन्छ भने कहिलेकाहीँ संरचनालाई मजबुद बनाउन प्रयोग गरिएको प्रविधि निकै प्रभावकारी र सुरक्षित लाग्छ। कहिलेकाहीँ सुन्दर दृष्य र सुरक्षित प्रविधि संगसँगै मिलेर सुन्दरता र सुदृढताको अनुपम दृष्टान्त पनि प्रस्तुत गरिरहेका हुन्छन्। तथापी शक्तिशाली भुईँचालो गएको बेलामा हरेक आकार प्रकारका संरचनाहरूले भिन्दाभिन्दै किसिमले प्रतिक्रिया जनाउँछन्। विश्वका विभिन्न भागमा विगतमा गएका भुईँचालोले संरचनामा पुऱ्याएको क्षतिलाई अवलोकन गर्दा कस्ता आकार प्रकारका संरचनाहरूको चयन गर्नुपर्ने र कस्ता चाहिँ चयन गर्नु नहुने हो भन्ने कुराको राम्रो शिक्षा दिन्छ।

### भवनको आकार

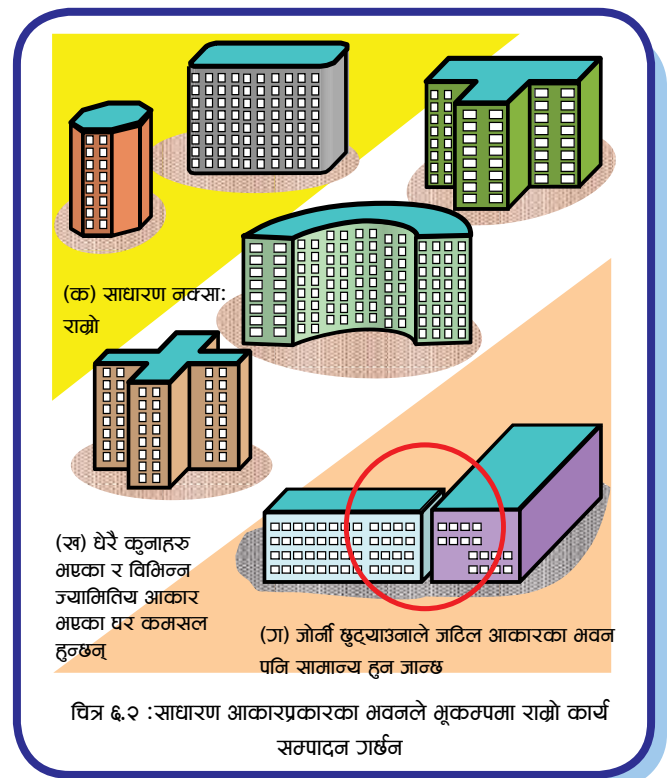
उचाइ र चौडाइको अनुपात धेरै भएका अग्ला भवनहरूमा (चित्र ६.१ क) भूकम्प गएको बेला विभिन्न तलाको भुईँको विस्थापन बढी भई नोक्सान बढी हुन्छ। होचो तर अति लामो भवनमा (चित्र नं. ६.२ ख) पनि भूकम्पले क्षति पुऱ्याउने सम्भावना धेरै हुन्छ। त्यस्तै विशाल क्षेत्रफल



ओगटेको भवनलाई (चित्र १ ग) पनि भूकम्पले बढी असर गर्दछ किनभने यस्ता भवनमा भूकम्पको तेर्सो धक्का, पिलर र गारोले धान्नसक्ने भन्दा बढ्ता हुन सक्छ। त्यसकारण, भवन बनाउँदा यसको लम्बाइ, चौडाइ र उचाइमा विचार पुऱ्याउनु पर्छ।

### भवनको तेर्सो बनावट

सामान्यतया सरल आकारका भवनहरू (चित्र ६.२ क) शक्तिशाली भूकम्पको बेलामा पनि जोगिएका पाइन्छन्। धेरै कुना र चुच्चाहरू निस्किएका जस्तै अंग्रेजी अक्षर U, V, H, + आकार (चित्र ६.२ ख) भएका भवनहरूलाई भूकम्पले उल्लेख्य क्षति पुऱ्याएको पाइन्छ। यस्ता आकारका भवनहरूलाई केही सुधारसहित निर्माण गर्दा भूकम्पको नकारात्मक प्रभावलाई धेरै हदसम्म न्यूनीकरण गर्न सकिन्छ। उदाहरणको लागि L आकारको भवनलाई चित्र ६.२ ग मा देखाइएभन्ने केही खाली ठाउँ छाडेर दुई आयतकार भवन बनाउने हो भने यो बढि भूकम्प प्रतिरोधी हुन्छ। प्रायजसो भवनको आकार सरल खालको भएतापनि पिलर र गारो समान दूरीमा नराखिकन कतै नजिक-नजिक या कतै टाढा-टाढा राखिएको पाइन्छ। यस्तो विशेषता भएको भवनलाई भूकम्पले बटार्ने वा मर्काउने गर्छ। यस सम्बन्धी छलफल भूकम्प जानकारी-७ मा गरिनेछ।

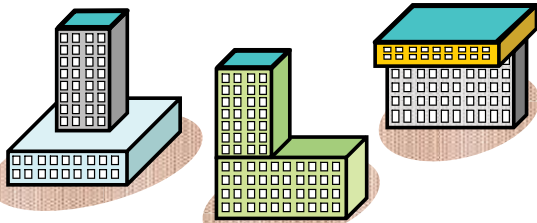


### भवनको ठाडो बनावट

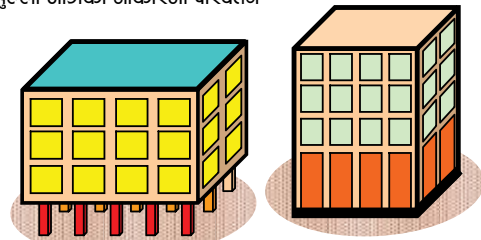
भवनको विभिन्न तलामा उत्पन्न भएको भूकम्पीय भारलाई सबैभन्दा छोटो बाटोबाट जमिनको सतहसम्म पुऱ्याउनुपर्ने हुन्छ। कहिकतै यस्तो भार प्रसारित हुने सोभो बाटो टुट्यो वा परिवर्तन भयो भने भवनमा भूकम्पीय भार धान्ने क्षमतामा कमी आउँछ। तल्लो भन्दा माथिल्लो तल्लाको क्षेत्रफल फरक भएमा (जस्तो कि ठूला होटल भवनमा कुनै तलाको चौडाइ अरुभन्दा ठूलो हुन सक्छ) भवनको आकार परिवर्तन आएको ठाउँमा भूकम्पीय भार अचानकै बढ्छ (चित्र ६.३ क)। कुनै

खास तल्लामा अरुमा भन्दा कम पिलर वा गारो छ वा कुनै तल्ला असाधारण रुपमा अग्लो (चित्र ६.३ख) छ भने त्यस्तो घरलाई भूकम्पले धेरै क्षति पुऱ्याउँछ र सो क्षतिको शुरुआत त्यही तलाबाट हुन्छ । गारोहरु जमिनसम्म नपुगी माथिल्लै तलामा रोकिएका भवनमा भूकम्पको समयमा बढी हानी नोक्सानी हुन्छ । सन् २००१ मा गुजरातमा गएको भूकम्पमा गाडी राख्नको लागि वा अन्य प्रयोजनका लागि भुईँतल्ला खुल्ला राखिएका धेरै घरहरु भत्किएका वा गम्भीर रुपमा क्षतिग्रस्त भएका थिए ।

भिरालो जमिनमा घरहरु बनाउँदा पिलरको उचाइ समान हुँदैन । यस्तो किसिमको घरलाई भूकम्पले सजिलै बर्तार्न सक्छ र घरलाई क्षतिग्रस्त बनाउँछ (चित्र ६.३ ग) । कतिपय अवस्थामा माथिल्लो तलाको बिमबाट पिलर उठाएको पनि पाइन्छ । यस्तो अवस्थामा भवनको माथिल्लो भागदेखि जमिनसम्म भार हस्तान्तरण हुने जुन बाटो हो, त्यसमा निरन्तरता र स्पष्टता हुँदैन र भवनको भार हस्तान्तरण प्रक्रिया असहज र जटिल बन्दछ (चित्र ६.३ घ) । कुनैकुनै भवनमा भूकम्पीय भार जगसम्म पुऱ्याउनको लागि भनेर आरसीसी गारोहरु (walls) उठाइन्छ । यस्ता गारोहरु जगैदेखि माथिल्लो तलासम्म राख्न सके मात्र सार्थक हुन्छ, वीचका कुनै तलाबाट शुरु गरिएका यस्ता गारोहरुले भवनलाई अझ बढी क्षति पुऱ्याउँछन् ।

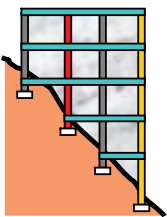


(क) माथिल्लो तल्लामा छोडिएको खुल्ला भागको आकारमा परिवर्तन

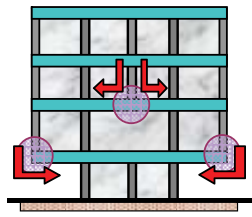


(ख) कमजोर वा लघिलो तल्ला

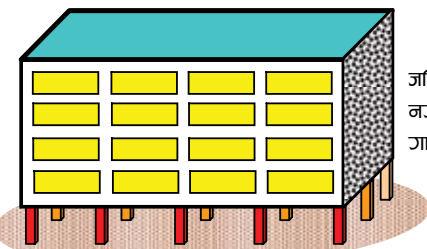
असामान्य अग्लो तल्ला



(ग) भिरालो जमिन



(घ) बिमबाट उठाइएको पिलर



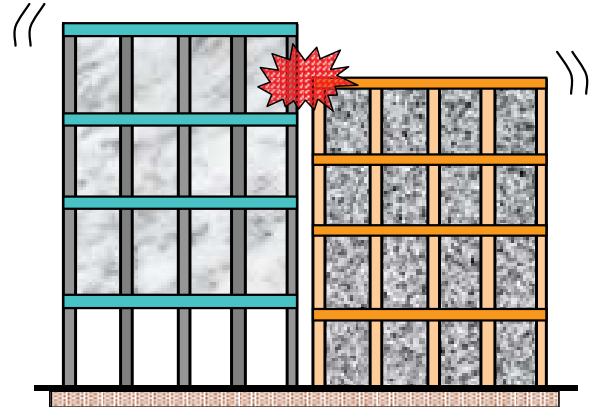
(ङ) खण्डित संरचनात्मक अङ्गहरु

जमिनदेखि शुरु नगरिएको आरसीसी गारो

चित्र ६.३ : भार प्रसारण पथमा आएको अपभ्रष्ट परिवर्तनले कमजोर भूकम्पीय व्यवहार देखाउँछ

## भवनहरुको सामिप्यता

भवनहरु धेरै नजिकै छन् भने भूकम्प गएको बेलामा यी भवनहरु हल्लाँदा एकले अर्काको जोडले ठक्कर दिन सक्छन् । भवनको उचाइ जति बढ्दै जान्छ, यस्ता आपसी ठक्करको समस्या पनि बढ्दै जान्छ । अझ दुई भवनहरुको उचाइ र तिनीहरुको तलाको उचाइ पनि फरकफरक छ भने त होचो घरको छानाले अग्लो घरको पिलरलाई पटकपटक हिकोउँदा परिणाम अत्यन्तै खतरनाक पनि हुनसक्छ ।



चित्र ६.४ भूकम्पको बेला नजिकैका दुई भवन एक आपसमा ठोक्किन सक्छन्

## भवनको डिजाइन र संहिता

भविष्यमा बन्ने भवनहरुको बारेमा पूर्वानुमान गर्दा निकै राम्रा र महङ्गा भवनहरु बन्ने क्रम अवश्य जारी नै रहनेछ । तर भूकम्पीय सुरक्षाको वेवास्ता गरेर कमजोर खालका घरहरु बनाउनु स्वार्थ गलत हुनेछ । भूकम्प प्रतिरोधमा प्रतिकूल व्यवहार देखाउने खालका भवनका अनियमितताहरुलाई सकेसम्म हटाउनु पर्दछ, हटाउनै नसके यस्ता अनियमितताहरु सकेसम्म कम गर्नु पर्दछ । राख्ने परेको खण्डमा उच्चस्तरीय इन्जिनियरिङ परामर्श र डिजाइनको आवश्यकता पर्दछ । तैपनि यस्ता अनियमित आकारका भवनहरु सामान्य आकारका भवनजस्तो सुरक्षित हुँदैनन् ।

कुनै सिद्धान्त वा भवन संहिताद्वारा निर्देशित प्रक्रियाबाट भवनमा आउने भूकम्पीय भारको त्रुटिरहित (Accurate) गणना गर्नुभन्दा योजनाकै चरणमा साधारण आकारको भवन बनाउने निर्णय, निर्माण स्थलमा तिनीहरुको व्यवस्थापन कसरी गर्ने भन्ने कुरा बढी महत्वपूर्ण पक्ष हो ।

## सन्दर्भ सामाग्री

1. Arnold, C., and Reitherman, R., (1982), Building Configuration and Seismic Design, John Wiley, USA
2. Lagorio, H.J., (1990), EARTHQUAKES An Architect's Guide to NonStructural Seismic Hazard, John Wiley & Sons, Inc., USA

लेखक : सी.वी.आर. मूर्ति, आइआईटी, कानपुर, भारत  
 प्रायोजक : भवन निर्माण सामाग्री र प्रविधि प्रवर्धन परिषद नयाँदिल्ली, भारत  
 अनुवादक : युक्त विलास मरहट्टा, नमूना इन्स्टिट्यूट अफ टेक्नोलोजी, भरतपुर, चितवन  
 परिमार्जनकर्ता : जितेन्द्र कुमार बोधरा, मियामोटो इन्टरनेशनल, न्युजिल्यान्ड

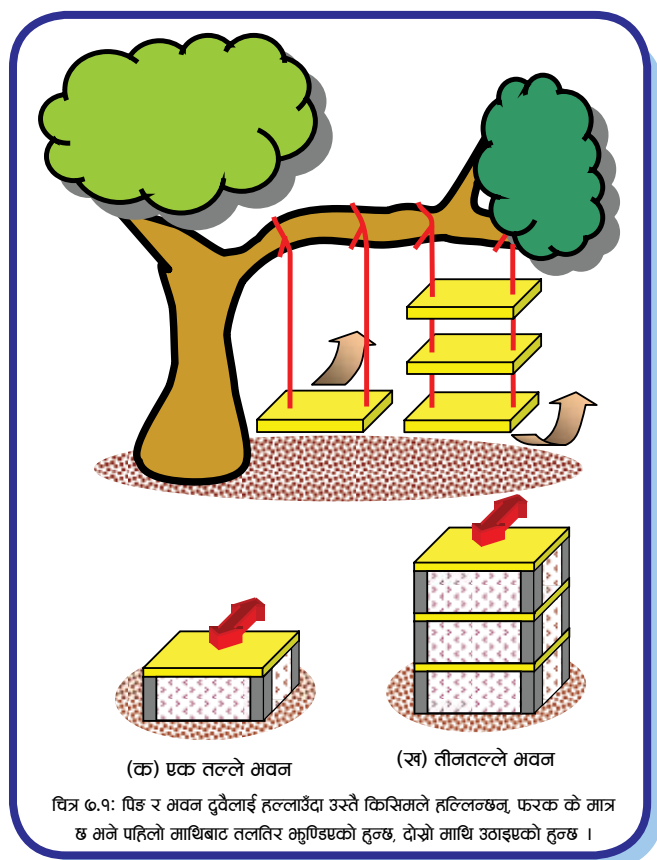
यो सामाग्री आइआईटी, कानपुर र बीएमटीपीसीको बौद्धिक सम्पत्ति हो । विषयवस्तु तोडमोड नगरी र कृतज्ञता ज्ञापन सहित यो सामाग्री पुनःप्रकाशन गर्न सकिनेछ । हाम्रो इमेल ठेगाना nicee@iitk.ac.in मा सल्लाह सुझाव पठाउन सक्नुहुनेछ । यो सामाग्री हाम्रो वेबसाइट [www.nicee.org](http://www.nicee.org) वा [www.bmtpc.org](http://www.bmtpc.org) मा हेर्न सकिनेछ ।



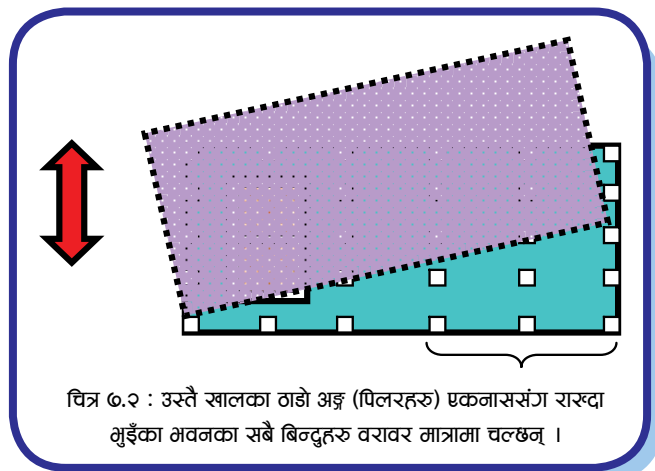
## संरचनाहरूमा भूकम्पीय असरहरू के के हुन् ?

### घरहरू किन बटारिन्छन् ?

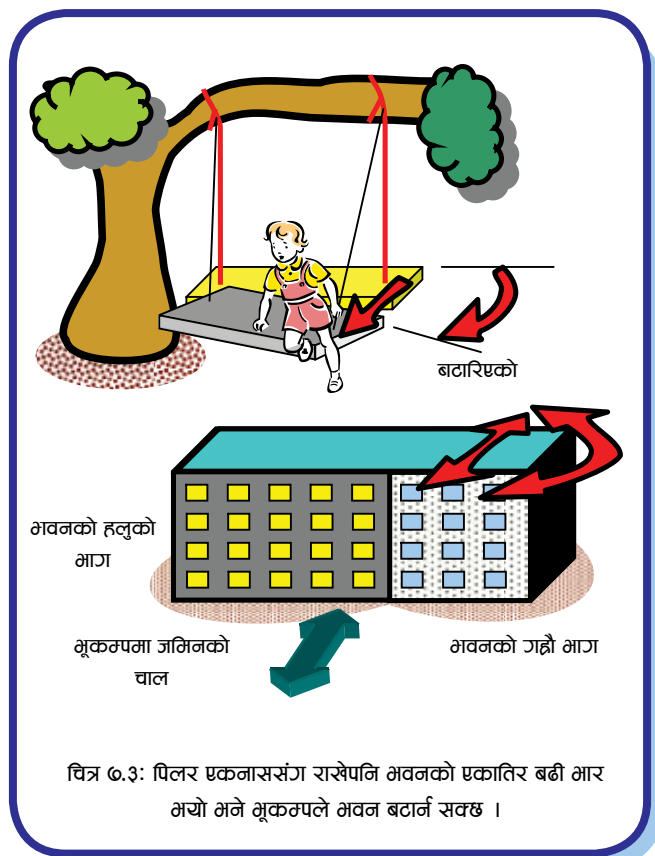
हामी सबैले आफ्नो बाल्यकालमा पिङ खेलेको अनुभव पक्कै गरेका छौं । आजकल पहिलेको जस्तो रुखको हाँगामा पिङ भुन्ड्याउने चलन कम भइसकेपनि शहरका बाल उद्यान तथा स्कूलहरूमा फलामे खाँबा र बलोमा स्टीलको सिक्री भुन्ड्याई प्लास्टिकको पिर्का राखेर बनाइएका पिङहरू देख्न सकिन्छ । यदि पिङमा भुण्डाईएका दुई डोरी उस्तै किसिमका र बराबर लम्बाइका छन् र हामी पिर्काको ठीक बीच भागमा बसेर मच्चिने हो भने पिर्काका दुवै डोरी समान रूपले हल्लिन्छन् । हाम्रा घरहरूलाई हामी पिङसँग तुलना गर्न सक्छौं । फरक के मात्र छ भने पिङलाई आकाशतिर बाँधेर जमिनतिर भुण्डाइएको हुन्छ घरलाई जमिनतिर बाँधेर आकाशतिर खुला छाडिएको हुन्छ (चित्र ७.१) । घरको गारो तथा पिलर पिङको डोरीजस्तो भयो, भुईँचाहिँ पिर्काजस्तो । जसरी एक भन्दा बढी तला भएका घरहरू हुन्छन् त्यस्तै पिङहरूमा पनि एकमाथि अर्को पिर्का राखिएको हुन्छ । भूकम्प आएको बेलामा भवन पनि पिङ हल्लिएजस्तै अधिपछि हल्लिन्छन् । एकभन्दा बढि तल्ला भएका घरहरू एकमाथि अर्को पिर्का राखेर बनाइएका पिङजस्तै गरी हल्लिन्छन् ।



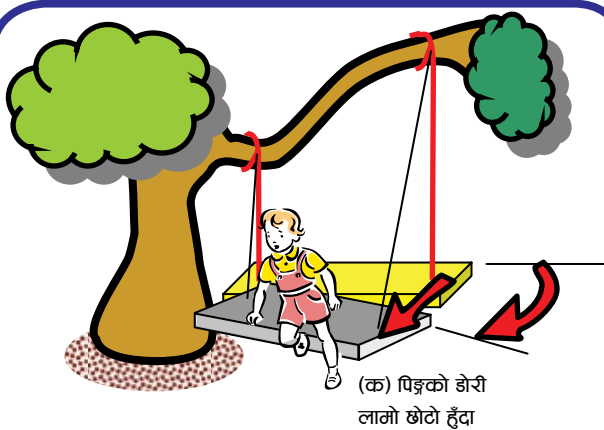
यदि उस्तै खालका पिलरहरूलाई लम्बाइ र चौडाइ दुवै तर्फ एकनाशको दूरीमा ठड्याएर कुनै घर बनाइएको छ र यसको जगमा बसेर कुनै दिशातिर हल्लाउने हो भने जुन दिशा तर्फ हल्लाएको हो त्यही र त्यसको विपरित दिशातर्फ (अधिल्लिर-पछिल्लिर) भुईँका सबै बिन्दुहरू समान रूपले चल्छन् (चित्र ७.२) ।



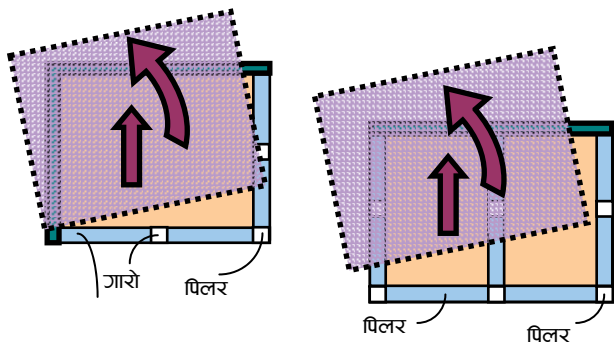
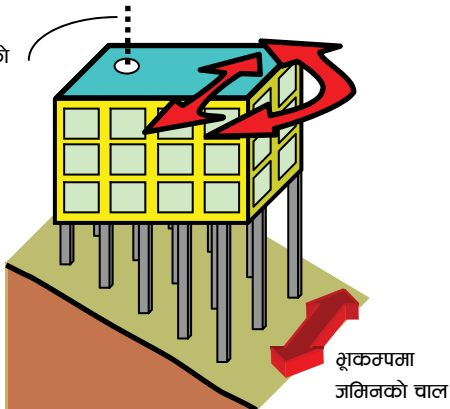
अब हामी फेरी पिङकै कुरातिर लागौं । यदि हामी पिर्काको बीचमा नबसी छेउमा बसेर मच्चियौं वा अरुले मच्चाइदियो भने पिङ बटारिन्छ (जतातिर हामी बस्छौं त्यतातिरको चाल बढि र अर्को छेउतिरको चाल कम हुन्छ) । पिङको एकातिर छेउमा ४-५ जना भुम्मिदा पनि त्यस्तै हुन्छ । त्यसैगरी एउटा भवनको एकातिरको भागमा मात्र बढी भार पच्यो भने (उदाहरणको लागि भवनको एकापट्टि पुस्तकालय वा स्टोर आदि छ जहाँ भवनको अरु भागभन्दा बढी भार छ भने) भूकम्पको समयमा बढि भार परेको भाग बढि चल्छ (चित्र ७.३) । यस्ता भवनका तल्लाहरू भूकम्पको दिशामा बढी चल्छन् र बटारिन्छन् ।



अभ्र एकपटक फेरि पिडकै उदाहरण लियो । रुखको हाँगामा बाँधिएको दुईमध्ये एउटा डोरी लामो र अर्कोचाहि छोटो छ भने पिर्काको बीचमै बसेपनि पिड मच्चिँदा बटारिन्छ (चित्र नं. ७.४ क) । त्यसैगरी भवनमा पनि पिलर वा गारो फरक फरक उचाइको छ भने भूकम्पको धक्काले घरलाई पनि बटारिदिन्छ (चित्र नं. ७.४ ख) । कतिपय अवस्थामा भवनको दुई वा एकपाटा मात्रै पनि गारो लगाएर बाँकी भागमा पातला पिलरमात्र राखेर घर बनाएको देखिन्छ (जस्तै चौबाटोको कुनामा बनाईएका पिलरवाला भवनहरु) यस्ता भवनहरुलाई पनि भूकम्पले बटारिदिन्छ (चित्र ७.४ ग) ।

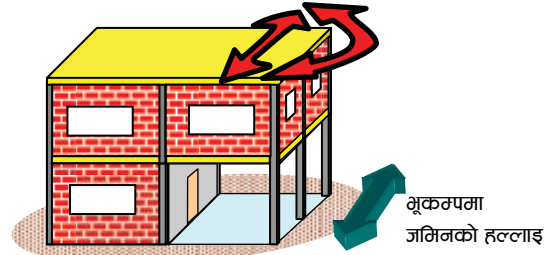


ठाडो रेखा जसको वरिपरि भवन घुम्छ



चित्र ७.४ : भवनका ठाडा अङ्गहरु (पिलरहरु) फरक फरक उचाइका भए भनेपनि भूकम्पले बटार्न सक्छ ।

अनियमित आकारका भवनहरु भूकम्प गएको बेलामा बटारिन खोज्छन् । उदाहरणको लागि चित्र ७.५मा देखाइए जस्तै पातला पिलरको आड दिई बहिर निकालिएको माथिल्लो तलाको भाग नराम्ररी हल्लिन्छ । माथिल्लो तलाको भुईँ र छाना तेर्सो दिशामा चल्लुको साथै बटारिन्छ । यसरी वरण्डाथि गारो लगाएर कोठा निकालिएको भागलाई भूकम्पले बटार्ने वा मर्काउने सम्भवना धेरै हुन्छ ।



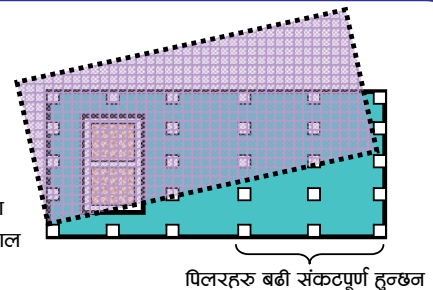
चित्र ७.५ : एकापट्टि भुईँतल्ला खुल्ला भएकाले भवन भूकम्पमा बटारिन्छ ।

### भवन बटारिँदा यसका विभिन्न भागमा कस्तो प्रभाव पर्छ?

भवनलाई बलपूर्वक घुमाउन खोज्ने बललाई इन्जिनियरिङ्ग भाषामा टोर्शन (Torsion) भनिन्छ । टोर्शनले एउटै भुईँ सतहमा रहेका विभिन्न भागलाई फरक मात्रामा विस्थापित गर्छ । यसले गर्दा बढी मात्रामा विस्थापित भएको पिलर र गारोको भाग बढी क्षतिग्रस्त हुन्छन् (चित्र ७.६) । विगतका भूकम्पहरुमा अत्याधिक टोर्शनका कारणले धेरै भवनहरु नराम्रोसँग क्षतिग्रस्त भएको पाईन्छ । टोर्शनलाई पूर्णरूपमा हटाउन नसकिए तापनि यसलाई न्यूनीकरण गर्ने प्रयासचाहि गर्नु पर्दछ । यसको लागि विचार पुर्‍याउनुपर्ने सबैभन्दा महत्वपूर्ण कुरा भनेको भवन समरूप स्वरूपको (Symmetrical) हुनु पर्दछ । लम्बाइ, चौडाइ र उचाइ जतासुकैबाट दुई बराबर भागमा बाड्दा दुवै भाग हरेक दृष्टिकोणबाट ट्याक्के उस्तै भयो भने भवन समरूप स्वरूपको छ भनिन्छ । यदि टोर्शन हटाउनै नसकिने छ भने भूकम्पले गर्दा सृजना हुने अतिरिक्त तेर्सो धक्कालाई प्रतिरोध गर्नको लागि विशेष डिजाइन गर्नुपर्ने हुन्छ । यसको लागि नेपाली भवन राष्ट्रिय संहिता (एनबिसी १०५, २००४) को सहयोग लिन सकिन्छ । तर एउटा निश्चित कुराचाहि के हो भने बटारिने भवनहरु जतिसुकै राम्रोसँग डिजाइन गरिए तापनि शक्तिशाली भूकम्पको समयमा भूकम्पका धक्कालाई राम्ररी सहन सक्दैनन् र बढी नोक्सान पुग्छ ।



भूकम्पमा जमिनको चाल



चित्र ७.६ : भवनका ठाडा अङ्गहरु (पिलरहरु) फरक फरक उचाइका भए भनेपनि भूकम्पले बटार्न सक्छ ।

### सन्दर्भ सामग्री

1. Arnold, C., and Reitherman, R., (1982), Building Configuration and Seismic Design, John Wiley, USA
2. Lagorio, H., J., (1990), EARTHQUAKES An Architect's Guide to NonStructural Seismic Hazard, John Wiley & Sons, Inc., USA

लेखक : सी.वी.आर. मूर्ति, आइआइटी, कानपुर, भारत  
 प्रायोजक : भवन निर्माण सामग्री र प्रविधि प्रवर्धन परिषद नयाँदिल्ली, भारत  
 अनुवादक : युक्त विलास मरहठ्ठा, नमूना इन्स्टिच्यूट अफ टेक्नोलोजी, भरतपुर, चितवन  
 परिमार्जनकर्ता : जितेन्द्र कुमार बोधरा, मियामोटो इन्टरनेशनल, न्युजिल्यान्ड

यो सामग्री आइआइटी, कानपुर र वीएमटीपीसीको बौद्धिक सम्पत्ति हो । विषयवस्तु तोडमोड नगरी र कृतज्ञता ज्ञापन सहित यो सामग्री पुनःप्रकाशन गर्न सकिनेछ । हाम्रो इमेल ठेगाना nicee@itk.ac.in मा सल्लाह सुझाव पठाउन सक्नुहुनेछ । यो सामग्री हाम्रो वेबसाईट [www.nicee.org](http://www.nicee.org) वा [www.bmtpc.org](http://www.bmtpc.org) मा हेर्न सकिनेछ ।

## भूकम्प प्रतिरोधी भवन डिजाइनको अवधारणा के हो ?

### भूकम्पीय समस्या

भूकम्पले कुनै एक स्थानमा ल्याएको कम्पन सानो, मझौला र शक्तिशाली हुनसक्छ । सापेक्षिक रूपमा भन्नुपर्दा सानो भूकम्प धेरैपटक, मझौला कहिलेकाही र शक्तिशाली भूकम्प विरलै जान्छन् । उदाहरणको लागि संसारभरिमा ५ देखि ५.९ म्याग्निच्युडको भूकम्प वर्षमा करिब ८०० पटक जान्छ जबकि ७ देखि ७.९ म्याग्निच्युडको (भूकम्प जानकारी ३ को टेबल ३.१ हेर्नुहोस्) भूकम्प करिब १८ पटक मात्र जान्छ । त्यसकारण प्रश्न उठ्छ, के हामीले ५०० वा अझ २००० वर्षमा विरलै एक पटक जाने खालका शक्तिशाली भूकम्प प्रतिरोध गर्नसक्ने भवन डिजाइन र निर्माण गर्नुपर्ने हो ? स्मरण रहोस् स्वयं भवनको आयु नै ५० वा १०० वर्ष सम्मको हुन्छ । अतिरिक्त भूकम्प सुरक्षाको लागि मनग्य पैसा खर्च हुने भएकोले यस सम्बन्धी विवादपनि उठ्छ, के भवन डिजाइनमा भूकम्पीय प्रभावलाई वेवास्ता गर्दा हुँदैन ? वा हामीले भूकम्प निरोधक (Earthquake Proof) भवन डिजाइन गर्नु पर्ने हो, जसलाई विरलै जाने शक्तिशाली भूकम्पले पनि केही गर्न नसकोस् ? स्पष्ट रूपमा पहिलो विकल्पले ठूलो विपद निम्त्याउन सक्छ र दोस्रो विकल्प अति खर्चिलो हुन्छ । यसकारण भवन डिजाइन गर्दा यी दुई अतिवादी सोचाईको बीचबाट एउटा मध्यमार्गी उपाय निकाल्नुपर्ने हुन्छ ।

### भूकम्प प्रतिरोधी भवन

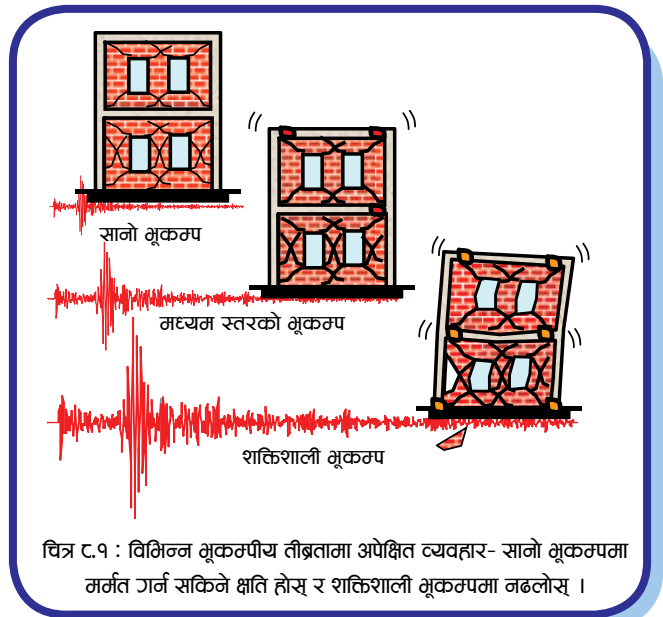
इन्जिनियरले जस्तोसुकै शक्तिशाली भूकम्प गएपनि केही विगान नसक्ने भूकम्प निरोधक (Earthquake Proof) भवनको डिजाइन गर्ने प्रयास गर्दैनन् किनभने यस्ता घरहरु अति बलिया त हुन्छन् तर ज्यादै महङ्गा हुन्छन् । बरु इन्जिनियरले त्यस्ता खालका भूकम्प प्रतिरोधी घरको डिजाइन गर्छन् जसले यसमा आउनसक्ने मझौला धक्कालाई सामान्यतया प्रतिरोध गर्न सकोस् र शक्तिशाली भूकम्पमा घर नराम्ररी क्षतिग्रस्त भए तापनि गर्ल्यामगुलुम्म नढलोस् ताकि घर क्षतिग्रस्त भएपनि मान्छेको ज्यान जोगाउन सकियोस् । यसरी एउटा भूकम्प प्रतिरोधी भवनले सर्वसाधारणको जिउधनको सुरक्षाको प्रत्याभूति दिनसक्छ र विपद न्यूनीकरण गर्न सहयोग पुऱ्याउँछ । यो नै संसारभरिका सबै भूकम्पीय डिजाइन संहिताको मूल उद्देश्य हो ।

### भूकम्प प्रतिरोधी भवन डिजाइन अवधारणा

भूकम्प प्रतिरोधी भवन डिजाइन अवधारणाको सारांश निम्नानुसार छ ।

- (क) बारम्बार गईराख्ने साना-साना भूकम्पमा भवनको ठाडो तथा तेर्सो भार वहन गर्ने मुख्य-मुख्य संरचनागत अङ्गहरु जस्तै गारो, पिलर, बिम, भुईँ क्षतिग्रस्त हुनु हुँदैन । तथापि भार वहन नगर्ने भवनका खास भागहरु (जस्तै प्ल्याटर) मा मर्मत गर्न सकिने सानो क्षति हुनसक्छ ।
- (ख) कहिलेकाही जाने मध्यम स्तरीय भूकम्पमा भवनका मुख्य अङ्गहरुमा मर्मत गर्न सकिने हदसम्मको क्षति हुनसक्छ, र भार वहन नगर्ने भवनका खास भागहरु (जस्तै पार्टिशन गारो आदि) क्षतिग्रस्त भई भूकम्प पश्चात् त्यसलाई नयाँ बनाउनुपर्ने पनि हुनसक्छ ।
- (ग) विरलै जाने शक्तिशाली भूकम्पमा भवनका मुख्यमुख्य अङ्गहरुमा

गम्भीर क्षति पुगे तापनि (हुनसक्छ मर्मतै गर्दै नसकियोस्) भवन गर्ल्यामगुलुम्म ढल्नु हुँदैन ।



यसप्रकार साना-साना भूकम्पपछि कम खर्च र थोरै समयमा नै सामान्य मर्मत गरेर घर पूर्ण रूपमा प्रयोग गर्न सकिने बनाउन सकिन्छ । मझौला भूकम्पमा क्षतिग्रस्त भएका भवनका मुख्य अङ्गहरुको मर्मत र सुदृढीकरण सम्पन्न गरेपछि मात्र यसलाई पूर्ण रूपमा प्रयोगमा ल्याउन सकिन्छ । शक्तिशाली भूकम्पपछि भवनहरु कामै नलाग्ने गरी क्षतिग्रस्त हुनसक्छन् तर ढलेका चाहिँ हुँदैनन् । यसो हुँदा मानिसहरुको उद्धार गर्न र धनमालको सुरक्षा गर्न सहज हुन्छ ।

भवन डिजाइन गर्दा भूकम्पीय क्षतिले निम्त्याउन सक्ने परिणामहरु के के हुनसक्छन् भन्ने कुरालाई पनि ध्यान दिनुपर्ने हुन्छ । उदाहरणको लागि अस्पताल, अग्नि नियन्त्रण कार्यालय जस्ता भवनहरुको भूकम्पपछिका उद्धारका समयमा पनि अत्यन्तै महत्वपूर्ण भूमिका हुने भएकोले यिनीहरु भूकम्पपश्चात पनि काम गर्न सक्ने अवस्थामा रहनै पर्दछ । यस्ता भवनहरु सामान्य भवनभन्दा उच्च तहको भूकम्प प्रतिरोध गर्न सक्ने ढङ्गले डिजाइन गर्नु पर्दछ । भूकम्पको कारणले ठूलूला बाँधहरु भत्किन सक्छन्, जसले तल्लो भेगका वस्तीहरु जलमग्न बनाइदिएर विपदको सहायक कारण बन्न सक्दछ । त्यसकारण बाँधको (त्यसैगरी आणविक भट्टीहरु) डिजाइन गर्दा अझै उच्च तहको भूकम्पीय धक्कालाई प्रतिरोध गर्न सक्नेगरी गर्नु पर्दछ ।

### भवनमा क्षति अनिवार्य

एउटा निश्चित हदसम्म क्षतिलाई सीमित राखेर भवनको मूल्य धेरै नबढ्ने गरी भूकम्प प्रतिरोधी भवन डिजाइन गर्ने गरिन्छ । भूकम्पपछि घरमा सामान्य चिराहरु देखिने वित्तिकै उक्त घर बस्नका निमित्त असुरक्षित हुन्छ भन्ने आम धारणा पाइन्छ । तर भूकम्प प्रतिरोधी भवन डिजाइन गर्ने इन्जिनियरहरु भूकम्पपछि भवनमा यस्तो सामान्य क्षति देखिनुलाई स्वाभाविक र अनिवार्य मान्दछन् । भूकम्पले भवनमा विभिन्न प्रकारका क्षति पुऱ्याउन सक्छ (विशेष गरेर कंक्रीट र ईटा, ढुङ्गाको गारो लगाइएका

घरहरूमा स्पष्ट देखिने चिराहरू। चिराको आकार र तिनीहरूको अवस्थिति हेरेर यस्ता चिराहरू स्वीकार्य वा अस्वीकार्य दुवै हुन सक्छन्। उदाहरणको लागि ईटाको गारो भएको पिलरवाला घरको गारोमा देखिने चिरा स्वीकार्य हुन सक्छ तर पिलरमा विकर्ण रूपमा देखिएको चिरा स्वीकार्य हुदैन (चित्र ८.२)। सामान्यतया भूकम्पले भवनमा पुऱ्याउन सक्ने क्षति र यसको गम्भीरताको बारेमा योग्य र अनुभवी प्राविधिकहरू जानकार हुन्छन्।



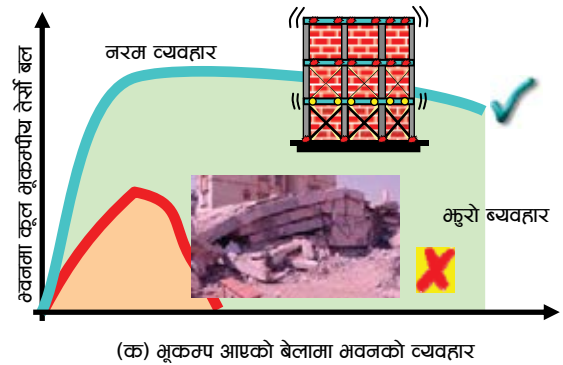
चित्र ८.२: पिलरमा देखिने विकर्ण चिराले भवनको भार बहन क्षमतालाई कमजोर बनाइदिन्छ -अस्वीकार्य क्षति

त्यसकारण भूकम्प प्रतिरोधी भवन डिजाइन गर्दा, भूकम्पले भवनलाई ठीक ठाउँमा ठीक मात्रामा स्वीकार्य तहसम्म मात्र क्षति पुऱ्याउँछ भन्ने कुरालाई सुनिश्चित गर्नुसंग सम्बन्धित छ। भूकम्प प्रतिरोधी भवन डिजाइनको यो अवधारणा हाम्रा घरहरूमा प्रयोग गरिने विद्युतीय फ्यूजसंग मिल्दोजुल्दो छ। जसरी घरका तमाम विद्युतीय लाइन र सामाग्रीहरूलाई जोगाउनको लागि फ्यूजको माध्यमबाट विद्युत परिपथको केही भाग नष्ट हुन दिइन्छ, त्यसैगरी पूरै भवन ढलबाट जोगाउनको लागि भवनका केही पूर्व निर्धारित भागहरूलाई स्वीकार्य तहसम्म क्षतिग्रस्त हुन दिइन्छ।

### स्वीकार्य क्षति:नरमपना (Ductility)

अबको काम भनेको भूकम्प भएको बेला भवनमा स्वीकार्य क्षतिको रूप र भवनको भूकम्पीय व्यवहार थाहा पाउनु हो। यसको लागि पहिलो काम कुनै निर्माण सामाग्रीले भूकम्पको समयमा कस्तो व्यवहार गर्छ भन्ने थाहा पाउनु हो। कालो पाटीमा लेख्ने चक्र र कागज अड्याउन प्रयोग गरिने फलामको पिनलाई लिएर तिनीहरूको विशेषता हेर्ने हो भने चक्र पिटिककै भाँचिन्छ जबकि पिन बाझिन्छ तर हतपत्त भाँचिन्न। फलामे पिनको जस्तो पटक पटक बझ्याउँदा पनि नभाँचिने व्यवहार देखाउने पदार्थको विशेषतालाई नरम (ductile) र चक्रको जस्तो पिटिककै भाँचिने व्यवहार देखाउने गुणलाई भुरो (brittle) भनिन्छ।

भूकम्प प्रतिरोधी भवनहरू, विशेष गरी तिनका मुख्य अंगहरू लचकदार (भार पर्दा केही लचकिने तर नभाँचिने/नफुट्ने) हुने गरी बनाउनु पर्दछ। यस्ता भवनहरूमा भूकम्प प्रतिरोधी क्षमता हुन्छ। भूकम्प गएपछि केही क्षतिको बावजूद पहिलेकै अवस्थामा स्थापित हुनसक्छ तर ढल्दैन (चित्र नं. ८.३)। नरमपना भूकम्प प्रतिरोधी कार्यमा योगदान पुऱ्याउने एउटा महत्वपूर्ण पक्ष हो। यसरी भूकम्प प्रतिरोधी भवन डिजाइन गर्दा सबभन्दा पहिले सम्भाव्य क्षति हुने स्थानको पहिचान गरिन्छ र त्यसपछि उक्त स्थानमा उचित ढङ्गले विस्तृत नक्सांकन (Detailing) गरी भवनमा नरमपना सुनिश्चित गर्ने प्रयास गरिन्छ। विस्तृत नक्सांकन (Detailing) भन्नाले कुनै ठाउँमा कति डण्डी कसरी राख्ने भन्ने प्रक्रिया हो।



(क) भूकम्प आएको बेलामा भवनको व्यवहार



(ख) कंक्रीट पिलरको भुरो भत्काइ

चित्र ८.३: नरम र भुरो संरचना- भूकम्पीय डिजाइनले भुरो खालको संरचना नहोस् भन्ने प्रयास गर्छ।

### सन्दर्भ सामाग्री

1. Naeim, F., Ed., (2001), The Seismic Design Handbook, Kluwer Academic Publishers, USA
2. Ambrose, J., and Vergun, D., (1999), Design for Earthquakes, John Wiley & Sons, Inc., USA

लेखक	: सी.बी.आर. मूर्ति, आइआईटी, कानपुर, भारत
प्रायोजक	: भवन निर्माण सामाग्री र प्रविधि प्रवर्धन परिषद नयाँदिल्ली, भारत
अनुवादक	: युक्त विलास मरहट्टा, नमूना इन्स्टिट्यूट अफ टेक्नोलोजी, भरतपुर, चितवन
परिमार्जनकर्ता	: जितेन्द्र कुमार बोथरा, मियामोटो इन्टरनेशनल, न्यूजिल्यान्ड

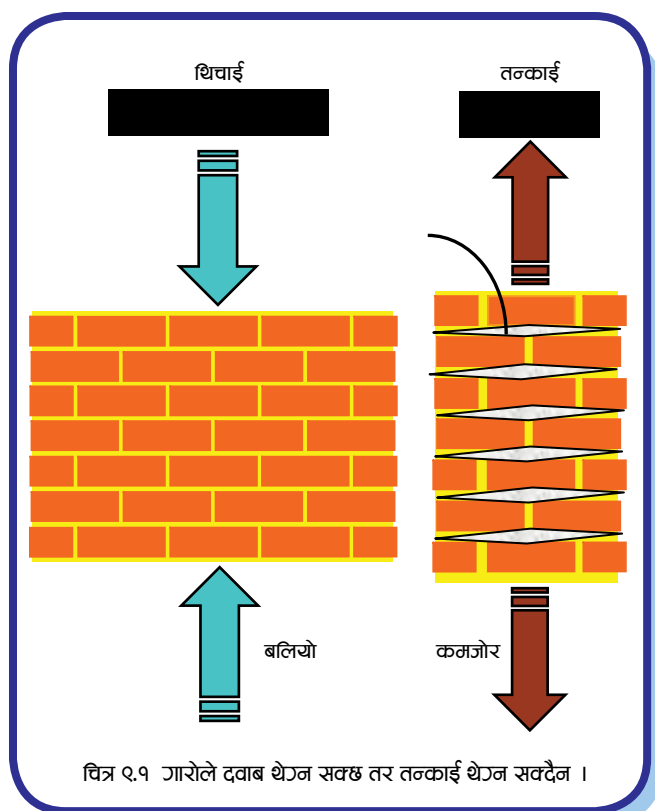
यो सामाग्री आइआईटी, कानपुर र बीएमटीपीसीको बौद्धिक सम्पत्ति हो। विषयवस्तु तोडमोड नगरी र कृतज्ञता ज्ञापन सहित यो सामाग्री पुनःप्रकाशन गर्न सकिनेछ। हाम्रो इमेल ठेगाना nicee@iitk.ac.in मा सल्लाह सुझाव पठाउन सक्नुहुनेछ। यो सामाग्री हाम्रो वेबसाइट [www.nicee.org](http://www.nicee.org) वा [www.bmtpc.org](http://www.bmtpc.org) मा हेर्न सकिनेछ।



## राष्ट्रो भूकम्पीय कार्य सम्पादनका लागि भवनमा नरमपना कसरी ल्याउने?

### निर्माण सामग्री

भारत र नेपालका अधिकांश ग्रामीण क्षेत्रमा भवनहरू ईटा वा ढुङ्गाको गारो लगाएर बनाईन्छ। समथल भूभागतिर सिमेन्टीको जोडाईमा पाकेको ईटाको गारो लगाइन्छ भने पहाडी भागमा माटोको जोडाईमा ढुङ्गाको गारो लगाउने प्रचलन बढी मात्रामा पाइन्छ। तर, आजकाल माटोको सट्टा सिमेन्टीकै मसला प्रयोग गर्ने चलन दिन प्रतिदिन बढिरहेको छ। ईटा वा ढुङ्गाको गारोले भवनको सिधा भार वा दबाव (Compression) लाई सजिलै धान्न सक्छ तर यसमा तन्काइलाई (Tension) वहन गर्नसक्ने क्षमता हुँदैन (चित्र ९.१)।



कंक्रीट अर्को एउटा महत्वपूर्ण निर्माण सामग्री हो, जसलाई विगत ४०-५० वर्षदेखि भवन निर्माणका लागि व्यापक रूपमा प्रयोग गरिँदै आएको छ। सिमेन्ट, गिट्टी, बालुवा र पानीको उपयुक्त मिश्रणबाट कंक्रीट बन्छ। माथिबाट थिचेको भार वा दबाव धान्नका लागि ईटा, ढुङ्गाको गारो भन्दा कंक्रीट वलियो हुन्छ। तर, यसमा लचिकने वा तन्किने क्षमताचाहिँ हुँदैन। कंक्रीटको गुणस्तर मुख्यतः यो बनाउँदा प्रयोग गरिएको पानीको मात्रामा भर पर्दछ। एकदमै धेरै पानी वा एकदमै थोरै पानी प्रयोग गरिएका दुवैखाले कंक्रीटको गुणस्तर कमसल हुन्छ। सामान्यतया ईटा, ढुङ्गा र कंक्रीट भुरो (Brittle) भएकोले यिनीहरू र यिनीहरूबाट बन्ने भवनहरू एक्कासी भत्किन्छन्।

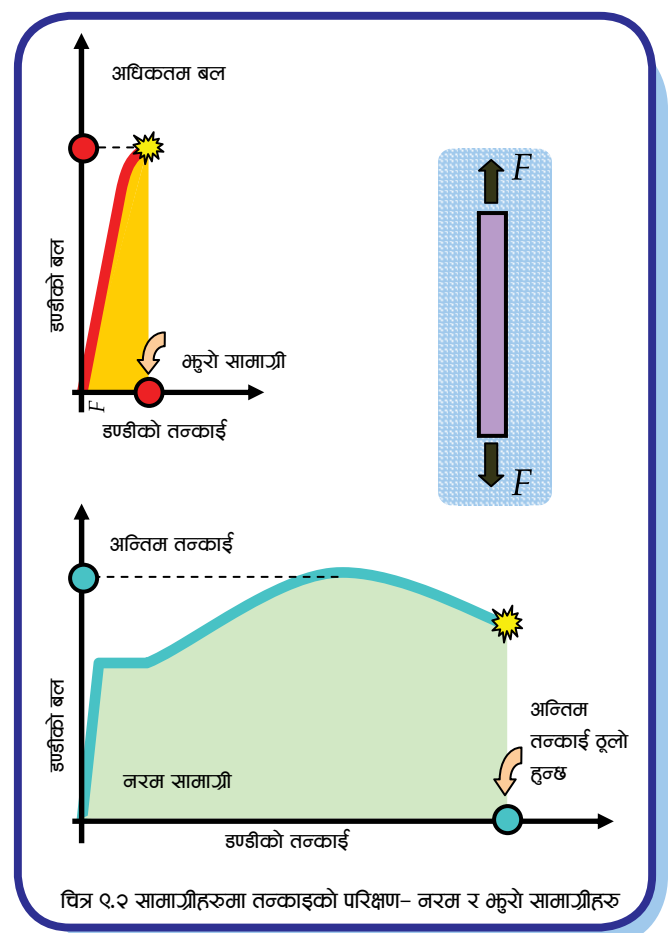
ईटा/ढुङ्गा र कंक्रीटका भवनहरूमा ६ मिमिदेखि ४० मिमि व्यासका फलामे ढण्डीहरू प्रयोग गरिन्छ। ढण्डीहरू दबाव र तन्काइ दुवै किसिमका भार धान्नसक्ने स्वभावका हुन्छन्। फलाममा नरमपना हुने भएकोले फलामे ढण्डी चुडिनुअघि धेरै हदसम्म लचिकन सक्छन्।

कंक्रीट र फलामे ढण्डी सँगै प्रयोग गरिएको छ भने यस्तो किसिमको सामग्रीलाई सबलीकृत सिमेन्ट कंक्रीट वा आरसीसी (RCC) भनिन्छ।

भवनको कुनैपनि भागमा ढण्डी राखिने ठाउँ र त्यसको परिमाण यसरी निर्धारण गरिनु पर्दछ कि त्यो भागमा तन्काइको कारणले ढण्डी आफ्नो सामर्थ्यको सीमासम्म पुग्नुभन्दा पहिले नै दबावको कारणले कंक्रीट आफ्नो सामर्थ्यको सीमासम्म नपुगोस्। कंक्रीट आफ्नो सामर्थ्यको सीमासम्म नपुग्दै ढण्डी आफ्नो सामर्थ्यको सीमासम्म पुग्यो भने त्यस्तो किसिमको असफलतालाई नरमपन असफलता भनिन्छ। भवनको भार धान्न नसकेर पहिले कंक्रीट आफ्नो सामर्थ्यको सीमासम्म पुग्यो भने त्यसलाई भुरो असफलता भनिन्छ। भूकम्पले गर्दा भवनमा भूकम्पीय भार बढ्दै जाँदा कंक्रीट र ढण्डी दुईमध्ये एउटाले आफ्नो कार्यसम्पादन क्षमता गुमाउने र त्यसपछि त्यो भाग वेकम्मा हुन्छ। भुरो असफलता भन्दा नरमपन असफलता वेश हुन्छ। त्यसकारण कंक्रीटमा जति बढी ढण्डी राख्यो त्यति संरचना वलियो हुन्छ भन्ने आम जनधारणा सर्वथा गलत पनि हुन सक्छ किनकि बढी ढण्डी राखेमा पहिला कंक्रीट भाचिन्छ।

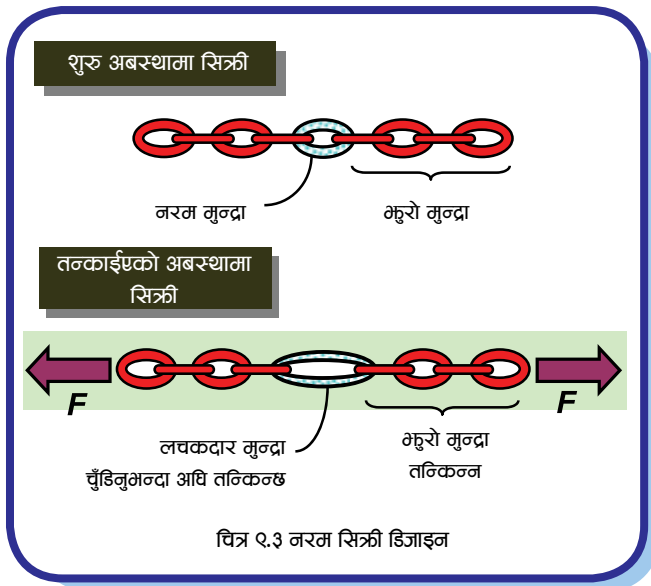
### क्षमता डिजाइन धारणा

बराबर लम्बाइ र गोलाइका दुईवटा ढण्डीहरू लिऔं। एउटा नरम वा लचिलो र अर्को कडा वा भुरो पदार्थबाट बनेका ढण्डी लिऔं। दुवै ढण्डीलाई नचुडिएसम्म तन्काउँदै जाने हो भने हामीले पाउने छौं कि नरम पदार्थबाट बनेका ढण्डी चुडिनुभन्दा पहिले उल्लेख्य मात्रामा तन्किन्छ जवकि भुरो वा कडा खालका पदार्थबाट बनेका ढण्डी नतन्किनै एक्कासी चुडिन्छ किनभने यसमा तन्किन सक्ने गुण एकदमै कम हुन्छ (चित्र ९.२)। भवनमा प्रयोग गरिने निर्माण सामग्रीहरूमा फलामे ढण्डीहरू नरम र ईटा, ढुङ्गा, कंक्रीट भुरो हुन्छन्।



चित्र ९.२ सामग्रीहरूमा तन्काइको परिक्षण- नरम र भुरो सामग्रीहरू

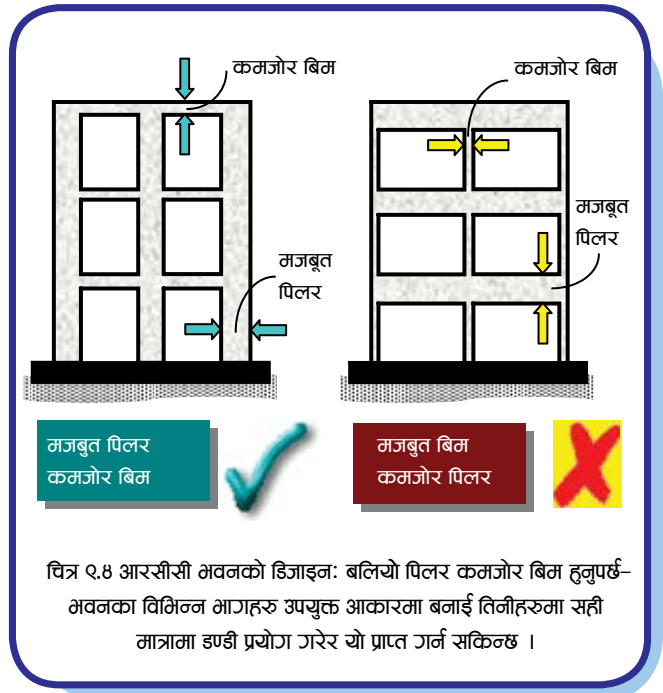
अव उदाहरणको लागि अधिको तन्काईको भन्दा नरम र कडा वा भुरो पदार्थबाट बनेका मुन्द्राहरु (कडीहरु) जोडेर बनाइएको एउटा सिक्री लिऔं (चित्र ९.३) । सिक्रीलाई तन्काउँदै लगेर सिक्रीमा भएका हरेक मुन्द्राहरु पनि चित्र ९.२ मा देखाइएको डण्डीजस्तै चुडिन्छन् । यदि सिक्रीका दुवै छेउका मुन्द्रालाई दुई विपरित दिशातर्फ  $F$  बलले तान्ने हो भने त्यस्तिकै बल हरेक मुन्द्राबाट हस्तान्तरण भइराखेको हुन्छ । अर्थात हरेक मुन्द्रामा बराबर बल  $F$  लाग्छ । बलको मात्रा बढाउँदै बढाउँदै लैजाँदा एउटा अवस्थामा गएर सिक्री चुडिन्छ, जब सिक्रीमा भएको सबभन्दा कमजोर मुन्द्रा चुडिन्छ । यदि नरम मुन्द्रा सबभन्दा कमजोर छ भने सिक्री चुडिनुभन्दा अघि सिक्री धेरै मात्रामा तन्केको देखिन्छ । यदि भुरो मुन्द्रा सबभन्दा कमजोर छ भने सिक्री अचानक चुडिन्छ र नरम सिक्री चुडिनु अधिको तन्काईको भन्दा कम मात्र तन्केको पाउँछौं । त्यसकारण यदि हामीले यस्तो नरम सिक्री बनाउनु छ भने नरम मुन्द्रा नै सबभन्दा कमजोर हुनु पर्दछ ताकि यो एक्कासी नचुँडोस् र चुडिनुभन्दा अगाडि नै यो चुडिदै छ भन्ने कुराको संकेत पाउन सकियोस् ।



### भूकम्प प्रतिरोधी भवनको डिजाइन

भवन त्यसैगरी डिजाइन गर्नु पर्दछ जसरी माथि उल्लेखित नरम सिक्री डिजाइन गरिन्छ । उदाहरणको लागि शहरी क्षेत्रमा बन्ने गरेका कंक्रीटका धेरै तल्ला भएका भवन लिऔं । यसमा तेर्सो अङ्गहरु (जस्तै बिमहरु) र ठाडो अङ्गहरु (जस्तै पिलरहरु) हुन्छन् । विभिन्न तलामा उत्पन्न इनर्शिया बल विभिन्न बिम र पिलर हुँदै जमिनसम्म हस्तान्तरित हुन्छन् । भवनका विभिन्न महत्वपूर्ण अङ्गहरु नरम बनाउनु पर्दछ । भवनको एउटा पिलर भत्कियो भने पुरै घरको स्थिरतालाई असर गर्न सक्छ तर एउटा बिम भत्किँदा त्यसको असर कुनै खास ठाउँमा मात्र सीमित रहन्छ । त्यसकारण बिम नरम तर पिलरभन्दा कमजोर बनाउनु पर्दछ । आरसीसी भवन डिजाइन गर्ने यो विधिलाई क्षमता डिजाइन (capacity design) अवधारणा भनिन्छ र यसमा मजबुत पिलर-कमजोर बिम (Strong Column Weak Beam) डिजाइन गरिन्छ (चित्र ९.४) ।

परम्परागत संहितामा आधारित (भूकम्पीय असरलाई ध्यान नदिएँ गरिएको डिजाइन) डिजाइनबाट संरचनामा नरमपनको अपेक्षा गर्न सकिन्न । संरचनाको नरमपना वृद्धिमा सहयोग पुऱ्याउनुको लागि डिजाइनकर्ताहरुलाई विशेष डिजाइन प्रावधानको आवश्यकता पर्दछ । यस्ता प्रावधानहरु प्राय विशेष भूकम्पीय डिजाइन संहिता (जस्तै आरसीसीका लागि आईएस १३९२०-१९९३) को रूपमा राखिएको हुन्छ । यी संहिताहरुले क्षति हुन सक्ने भवनका सम्भावित अङ्गहरुमा पर्याप्त नरमपना पनि सुनिश्चित गर्दछन् ।



### निर्माणमा गुणस्तर नियन्त्रण

भूकम्प प्रतिरोधी भवन डिजाइनको क्षमता डिजाइन अवधारणा त्यतिखेर काम नलान्ने हुन्छ जब भुरो मुन्द्राको बलियोपना न्यूनतम चाहिएको भन्दा कम हुन्छ । ईटा, ढुङ्गा, कंक्रीट जस्ता भुरो निर्माण कार्यको बलियोपन प्रयुक्त निर्माण सामग्रीहरुको गुणस्तर, कामको यथोचित सुपरिवेक्षण र निर्माण विधिप्रति एकदमै संवेदनशील हुन्छ । यसैगरी नरम हुनुपर्ने भनेर मानिएका भवनका अङ्गहरुमा पर्याप्त लचिलोपना प्रदान गर्नको लागि विशेष व्यवस्था मिलाइएको छ कि छैन भन्ने कुरा सुनिश्चित गर्न विशेष ध्यान दिनु पर्दछ । यसप्रकार भूकम्प प्रतिरोधी भवन निर्माणको सुनिश्चितताको लागि स्तरीय निर्माण सामग्री र निर्माण विधिलाई कडाइका साथ पालना गर्नु अति आवश्यक पर्दछ । योग्य र भरपर्दो प्रयोगशालामा निर्माण सामग्रीहरुको नियमित परीक्षण (निर्माण स्थलमा वा बाहिर), समय समयमा कामदारहरुलाई तालिम र प्राविधिक कामको स्थलगत मूल्याङ्कन, गुणस्तर नियन्त्रणका महत्वपूर्ण पक्ष हुन् ।

### सन्दर्भ सामग्री

1. Paulay, T., and Priestley, M. J. N., (1992), Seismic Design of Reinforced Concrete Buildings and Masonry, John Wiley, USA
2. Mazzolani, F. M., and Piluso, V., (1996), Theory and Design of Seismic Resistant Steel Frames, E&F N Spon, UK

लेखक : सी. वी. आर. मूर्ति, आइआईटी, कानपुर, भारत  
 प्रायोजक : भवन निर्माण सामग्री र प्रविधि प्रवर्धन परिषद नयाँदिल्ली, भारत  
 अनुवादक : युक्त विलास मरहट्टा, नमूना इन्स्टिट्यूट अफ टेक्नोलोजी, भरतपुर, चितवन  
 परिमार्जनकर्ता : जितेन्द्र कुमार बोथरा, मिया मोटो इन्टरनेशनल, न्यूजिल्यान्ड

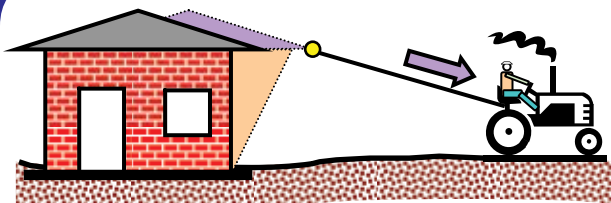
यो सामग्री आइआईटी, कानपुर र बीएमटीपीसीको बौद्धिक सम्पत्ति हो । विषयवस्तु तोडमोड नगरी र कृतज्ञता ज्ञापन सहित यो सामग्री पुनः प्रकाशन गर्न सकिनेछ । हाम्रो ईमेल ठेगाना nicee@iitk.ac.in मा सल्लाह सुझाव पठाउन सक्नुहुनेछ । यो सामग्री हाम्रो वेबसाइट [www.nicee.org](http://www.nicee.org) वा [www.bmtpc.org](http://www.bmtpc.org) मा हेर्न सकिनेछ ।

## भवनको लचकताले कसरी भूकम्पीय प्रतिक्रियामा असर पुऱ्याउँछ ?

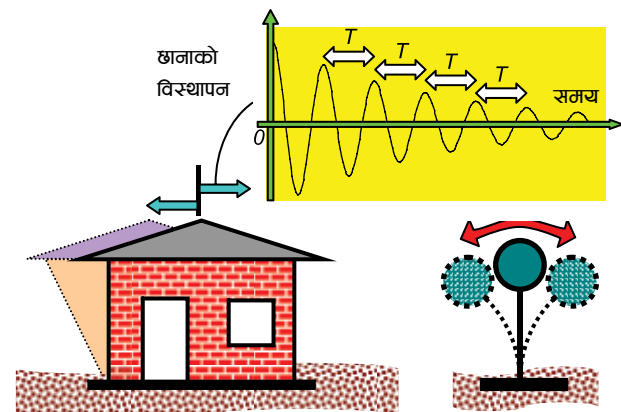
### लचकदार भवनको हल्लाई

जब जमिन हल्लिन्छ, भवनको जगपनि जमिनसगै र भवन अधिपछि हल्लिन थाल्छ । यदि भवनमा लचकता नभएको भए भवनका प्रत्येक बिन्दुहरु जमिन जति चलेको छ, त्यतिकै मात्रामा चले थिए । तर धेरैजसो भवनहरु लचकदार हुने भएकाले यसका विभिन्न भागहरु फरक मात्रामा अधिपछि चल्छन् ।

यसलाई एउटा उदाहरणबाट बुझौं । एउटा मोटो डोरी लाऔं, एउटा छेउ घरको छानामा र अर्को छेउ ट्रयाक्टरको पछाडी बाधौं । अब ट्रयाक्टर स्टार्ट गरेर अधि बढ्न खोज्दा घर ट्रयाक्टरको चालको दिशातर्फ लचिन्छ (चित्र १०.१ क) । उत्तिनै बल लगाएर तान्यौं भने बढी लचकदार भवन बढी लचिन्छ र कम लचकदार भवन कम लचिन्छ । अब डोरीलाई च्वाट्ट काटिदिने हो भने केही समयसम्म घरमा कम्पन भइरहन्छ अर्थात अधिपछि गरेर हल्लिई रहन्छ र केही समयपछि शुरुकै अवस्थामा आउँछ (चित्र १०.१ ख) । यो हल्लाई आवधिक हुन्छ । एक पूर्ण हल्लाईको लागि लाग्ने समय (त्यसको अर्थ, एक पटक अगाडी र एक पटक पछाडी जाने पूर्ण चक्र) एउटै हुन्छ र यसलाई भवनको आधारभूत प्राकृतिक अवधि (T) भनिन्छ । T को मान भवनको लचकता र पिण्डमा भर पर्दछ । लचकता जति बढी भयो, T त्यति नै बढ्छ त्यस्तै भार बढी भए T पनि बढ्छ । सामान्यतया अग्ला भवनहरु बढी लचकदार हुन्छन् र भार पनि बढी नै हुन्छ, त्यसैले यस्ता भवनको T लामो हुन्छ । यसको विपरित होचो र मध्यम उचाइको भवनहरुको T, छोटो (०.४ सेकेण्डभन्दा कम) हुन्छ ।



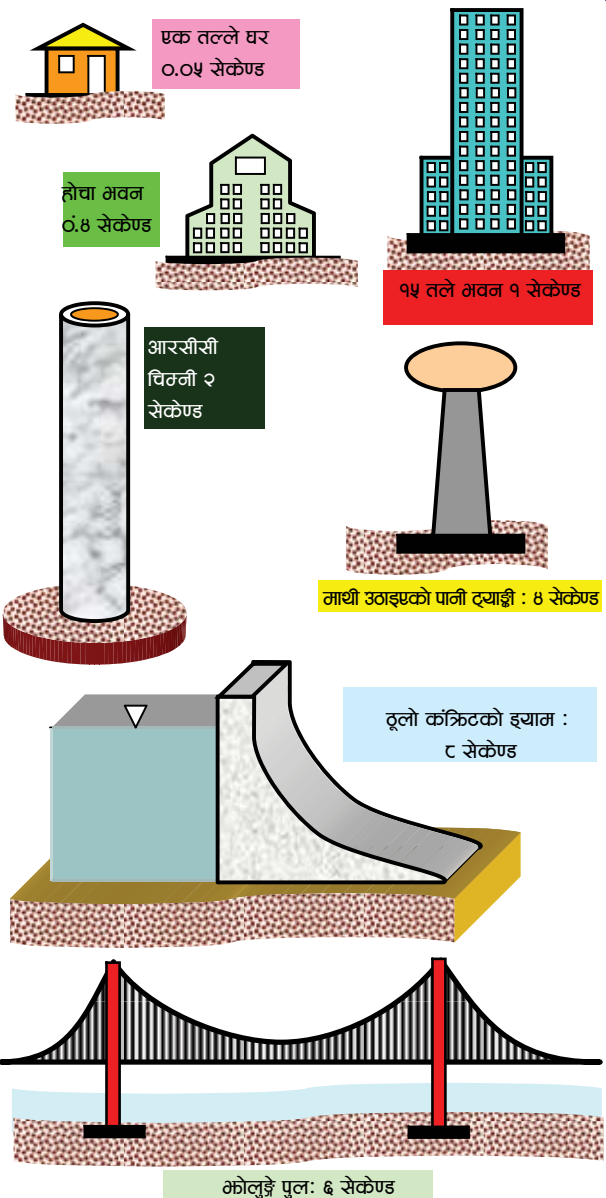
(क) छानामा डोरीले बाँधेर भवनलाई तानेको



(ख) डोरी काटिदिँदा भवन हल्लिएका

चित्र १०.१ भवनको स्वतन्त्र कम्पन प्रतिक्रिया : अधिपछि गर्ने चाल आवधिक हुन्छ ।

भवनको आधारभूत प्राकृतिक अवधि T, यसमा अन्तर्निहित गुण हो । भवनमा गरिएका परिवर्तनहरुले T को मानमा परिवर्तन ल्याउँछ । एउटा सामान्य एक तले देखि २० तले सम्मको भवनको आधारभूत प्राकृतिक अवधि प्राय ०.०५ देखि २.०० सेकेण्डसम्म हुन्छ । विभिन्न संरचनाहरुको प्राकृतिक अवधिका केही उदाहरणहरु चित्र २ मा प्रस्तुत गरिएका छन् ।

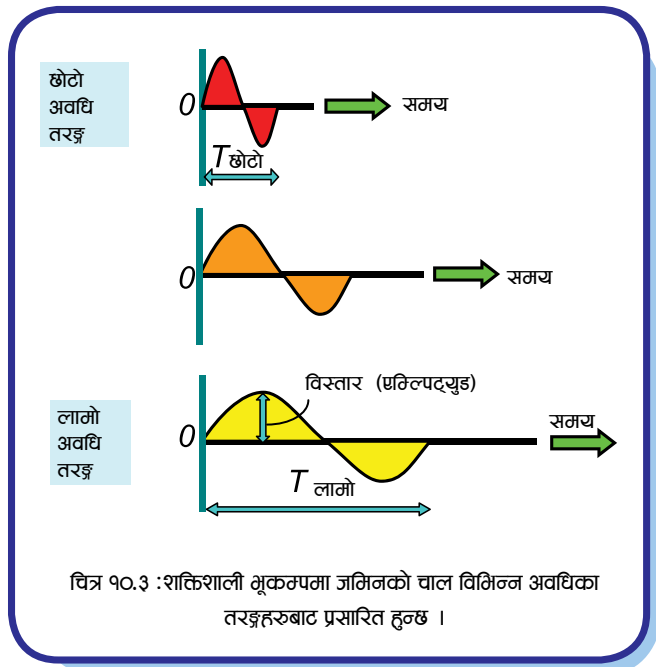


सामार : Newmark, (1970), Current trends in the Seismic Analysis and Design of High Rise Structures, Chapter 16, in Wiegell, (1970), Earthquake Engineering, Prentice Hall,

चित्र १०.२ संरचनाहरुको मूलभूत प्राकृतिक अवधि धेरै हदसम्म फरक पर्छ । प्राकृतिक अवधि मान सूचकमात्र हो, संरचनाको वास्तविक विशेषता अनुसार प्राकृतिक अवधि उल्लेख्य रुपमा फरक हुनसक्छ ।

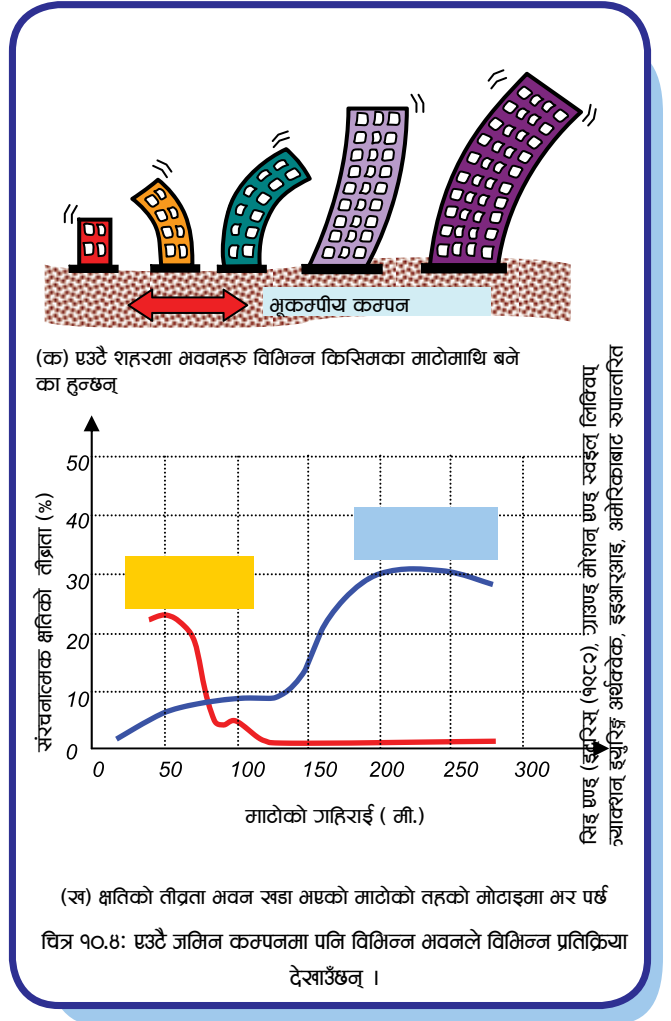
## लचकताको महत्व

भूकम्प गएको वेलामा थुप्रै तरङ्गहरू (sinusoidal waves) उत्पन्न हुन्छन् । यी तरङ्गहरूका वारम्बरता (frequency) फरक-फरक हुन्छन् (चित्र १०.३) । एउटा तरङ्गले आफ्नो चालको एक पूर्ण चक्र पूरा गर्न लाग्ने समयलाई भूकम्पीय तरङ्गको अवधि भनिन्छ । सामान्यतया भूकम्पमा त्यस्ता तरङ्गहरू हुन्छन् जसको अवधि ०.०३ देखि ३३ सेकेण्डसम्म हुन्छ । यो सीमाभित्र पनि कुनैकुनै भूकम्पका तरङ्गहरू अरुभन्दा शक्तिशाली हुन्छन् । कुनै खास भवन बनाईएको स्थानमा भूकम्पीय तरङ्गको तीव्रता विभिन्न कुराहरूमा जस्तै भूकम्पको परिमाण, भूकम्प बिन्दुको दुरी र भनिएको ठाउँमा पुग्नुअघि तरङ्गले यात्रा गरेको जमिनको किसिम आदिमा भर पर्दछ ।



एउटा सामान्य शहरमा विभिन्न आकार प्रकारका घरहरू हुन्छन् । भवनको आधारभूत प्राकृतिक अवधि T, जसको बारेमा हामीले माथि नै छलफल गरिसक्यौं, भवनहरूलाई वर्गीकृत गर्ने एउटा तरीका हुन सक्छ । यी भवनमुनि भूकम्पजन्य जमिनको चाल शहरभर फरक-फरक हुन्छन् (चित्र १०.४क) । यदि छोटो अवधिको भूकम्पीय तरङ्गले जमिन अधिपछि हल्लिएको छ भने छोटो अवधिको भवनले ठूलो प्रतिक्रिया देखाउँछ । त्यसैगरी यदि लामो अवधिको भूकम्पीय तरङ्ग छ भने लामो अवधि भएका भवनको ठूलै प्रतिक्रिया हुन्छ । यसप्रकार भवनको T को मान र जमिनको कम्पनको विशेषता (जस्तै भूकम्पीय तरङ्गको अवधि र विस्तार) अनुसार कुनै भवनहरू अरुभन्दा बढी थर्कन्छन् / हल्लिन्छन् ।

सन् १९६७ को दक्षिण अमेरिकाको काराकस भूकम्पको प्रतिक्रिया योभन्दा मुनि रहेको माटोको मोटाइमा भर परेको पाईयो । चित्र ४ख अनुसार ४० देखि ६० मिटर मोटाइको माटोमाथि बनेको ३ देखि ५ तलाका भवनहरूमा क्षतिको तीव्रता बढी पाईयो । तर, सोभन्दा बढी मोटाइको माटोमाथि अवस्थित यस्ता भवनमा क्षति कम भएको पाईयो । अर्कोतर्फ १५०-३०० मिटर मोटाइको माटोको यो तहमाथि अवस्थित १०-१४ तलाका भवनहरूमा क्षतिको तीव्रता धेरै पाईयो, जबकि कम गहिराईको माटोको तहमाथि बनेका यस्ता भवनहरूमा नोक्सानको तीव्रता कम थियो । यहाँ, भवनमुनि रहेको माटोको तहले जमिनमा यात्रा गरिरहेका भूकम्पीय तरङ्गहरूलाई छान्ने काम गरी केही तरङ्गहरूलाई मात्र जान दिएर अर्का तरङ्गहरूलाई रोक्को ।



लचकदार भवनमा सापेक्षिक तेर्सो विस्थापन बढी हुन्छ जसको फलस्वरूप भवनका अनेक गैर संरचनात्मक भागहरू र भवनमा भएका सामानहरू बढी क्षतिग्रस्त हुन्छन् । उदाहरणका लागि, भवनका केही अङ्गहरू जस्तै भ्यालको शिशाले तेर्सो विस्थापन सहन नसकेर फुट्छन् । त्यस्तै घरमा भएका अन्य सामानहरू जस्तै नर्वाधिका आलमारी, टेलिभिजन, आदि पल्टिएर क्षतिग्रस्त हुन्छन् । यस्ता क्षतिले भवन स्वयंको सुरक्षामा खासै असर नगरे तापनि आर्थिक नोक्सानीका साथै घरमा बस्नेहरू घाइते हुने र अतालिले अवस्था सृजना गरिदिन्छ ।

## सन्दर्भ सामग्री

1. Wiegel, R., (1970), Earthquake Engineering, Prentice Hall Inc., USA
2. Chopra, A.K., (1980), Dynamics of Structures – A Primer, Earthquake Engineering Research Institute, USA

लेखक : सी.वी.आर. मूर्ति, आइआईटी, कानपुर, भारत  
 प्रायोजक : भवन निर्माण सामग्री र प्रविधि प्रवर्धन परिषद नयाँदिल्ली, भारत  
 अनुवादक : युक्त विलास मरहट्टा, नमूना इन्स्टिट्यूट अफ टेक्नोलोजी, भरतपुर, चितवन  
 परिमार्जनकर्ता : जितेन्द्र कुमार बोथरा, मियामोटो इन्टरनेशनल, न्यूजिल्यान्ड

यो सामग्री आइआईटी, कानपुर र वीएमटीपीसीको बौद्धिक सम्पत्ति हो । विषयवस्तु तोडमोड नगरी र कृतज्ञता ज्ञापन सहित यो सामग्री पुनःप्रकाशन गर्न सकिनेछ । हाम्रो इमेल ठेगाना nicee@iitk.ac.in मा सल्लाह सुझाव पठाउन सक्नुहुनेछ । यो सामग्री हाम्रो वेबसाइट [www.nicee.org](http://www.nicee.org) वा [www.bmtpc.org](http://www.bmtpc.org) मा हेर्न सकिनेछ ।



## राष्ट्रिय भवन संहिता के हो ?

### राष्ट्रिय भवन संहिताको महत्व

भूकम्पको समयमा उत्पन्न हुने जमिनको कम्पनले भवनमा बल र विरूपण सृजना हुन्छ । त्यसकारण भवनलाई यस्ता बल र विरूपण सामना गर्न सक्नेगरी डिजाइन गर्नुपर्दछ । राष्ट्रिय भवन संहिताले भवनको भूकम्प प्रतिरोधी क्षमता वृद्धि गरी जनधनको क्षति न्यूनीकरण गर्न मद्दत पुऱ्याउँछ । संरचनाहरूको अवधारणा प्रारूपण, डिजाइन, डिटेलिङ (Detailing) र निर्माणमा इन्जिनियरलाई सहायता पुऱ्याउनाका लागि विश्वका विभिन्न देशहरूमा भवन संहितामा कार्यविधिको रूपरेखा तयार गरिएको हुन्छ । एउटा भूकम्प प्रतिरोधी भवनमा निम्नलिखित ४ विशेषताहरू हुन्छन् ।

#### (क) उचित संरचनात्मक विन्यास

भवनको आकार, आकृति र भार प्रसारण प्रणाली यस्तो होस् कि भूकम्पका कारण भवनमा सिर्जित आन्तरिक बल जमिनसम्म सिधा र निर्बाध ढङ्गले प्रवाह हुन सकोस् ।

(ख) पार्श्व सामर्थ्य : भवनले प्रतिरोध गर्नसक्ने अधिकतम तेर्सो बल यति धेरै होस् कि क्षतिग्रस्त अवस्थामा पनि भवन नलडोस् ।

(ग) पर्याप्त दरोपना: भवनको पार्श्व भार प्रतिरोध प्रणाली यस्तो होस् कि निम्नदेखि मध्यम स्तरको कम्पनमा भूकम्प-उत्पन्न विरूपण (Earthquake- Induced Deformation) ले भवनका कुनैपनि भागलाई लाई क्षति नपुऱ्याओस् ।

(घ) पर्याप्त नरमपना: अनुकूल डिजाइन र डिटेलिङ रणनीतिले शक्तिशाली भूकम्पमा पनि भवनमा हुने ठूलो विरूपणलाई सामना गर्ने क्षमतामा उल्लेख्य सुधार गर्न सकिन्छ । राष्ट्रिय भवन संहिताले यी सम्पूर्ण पक्षहरूलाई समेटेछ ।

### नेपालको राष्ट्रिय भवन संहिता (National Building Code; NBC of Nepal)

भवन संहिता कुनै खास क्षेत्र वा देश अनुरूप हुन्छ । स्थानीय भूकम्प विज्ञान, भूकम्पीय जोखिमको स्वीकार्य तह, भवनका प्रकार, निर्माण सामग्री र निर्माण विधिलाई ध्यानमा राखेर भवन संहिता बनाईन्छ । त्यसको अलावा भवन संहिता कुनैपनि देशले भूकम्प इन्जिनियरिङको क्षेत्रमा गरेको प्रगतिको सूचक पनि हो ।

सन् १९८८ मा नेपालमा गएको भूकम्प र त्यसबाट भएको जनधनको क्षतिले भवन निर्माण विधिमा परिवर्तन र सुधारको आवश्यकतातर्फ नेपाल सरकारको ध्यानाकर्षण भयो र सन् १९९४ मा राष्ट्रिय भवन संहिताको एउटा अङ्गको रूपमा नेपाल मापदण्ड (Nepal Standard) तयार गरियो । नेपालमा निम्नलिखित भवन संहिताहरू प्रचलित छन् ।

(१) विकसित मुलुकका संहितामा आधारित महत्वपूर्ण भवनहरूको डिजाइन (International State-of-Art) राष्ट्रिय भवन संहिता ०००

(२) पूर्ण व्यावसायिकताकासाथ इन्जिनियरद्वारा डिजाइन गरिएका भवन (Professionally Engineered Building) राष्ट्रिय भवन संहिता ०००, १०१, १०२, १०३, १०४ १०५, १०६, १०७, १०८, १०९, ११०, १११, ११२, ११३, ११४, २०६, २०७, २०८

(३) सिमित आकार प्रकारका भवनहरूका लागी व्यावहारिक ज्ञानमा आधारित

वाध्यकारी नियम (Mandatory Rules of Thumb for restricted Size) राष्ट्रिय भवन संहिता २०१, २०२, २०५

(४) ग्रामीण भवन निर्माण निर्देशिका/ढुङ्गा माटोले बनेका कम बलिया भवनका लागी निर्देशिका, राष्ट्रिय भवन संहिता २०३, २०४

### राष्ट्रिय भवन संहिता ०००

यो संहिताले राष्ट्रिय भवन संहितामा उल्लेखित प्रावधानभन्दा भिन्न तरिकाबाट कुनै इन्जिनियरले नेपालको लागि संरचनाहरूका डिजाइन गर्दा उसले के के कुरामा ध्यान दिनुपर्छ भन्ने कुरालाई सम्बोधन गर्दछ । यसरी डिजाइन गरिएका संरचनाहरू सामान्य इन्जिनियरले गरेको डिजाइनभन्दा गुणात्मक र मात्रात्मक दुवै रूपमा उच्चस्तरको छ भन्ने कुरा इन्जिनियरले सुनिश्चित गर्नुपर्छ । यी डिजाइनहरू नेपालमा उपलब्ध निर्माण सामग्रीको गुणस्तर र प्रचलित निर्माण विधिबारे जानकारी हुनु पर्दछ । यी संहिताहरूमा भएको नियमले जुनसुकै परिमाणको भूकम्पको समयमा भवनमा क्षति हुँदैन भन्ने कुराको सुनिश्चित गर्दैन, तर के कुराचाहिँ सुनिश्चित गर्छ भने निश्चित सीमासम्म मध्यम तिब्रताको भूकम्पमा भवनले संरचनात्मक क्षतिविना भूकम्प प्रतिरोध गर्छ र उच्च तिब्रताको भूकम्पमा भवनमा क्षति भएपनि भवन ढल्दैन ।

### राष्ट्रिय भवन संहिता १०५

राष्ट्रिय भवन संहिता १०५ ले नेपालमा भूकम्पीय जोखिम क्षेत्रको नक्सा (चित्र १) उपलब्ध गराउनुका साथै र भूकम्पीय डिजाइन भार एकिन गर्दछ । यो भार संरचनाको पिण्ड र भूकम्पीय गुणाङ्कमा (Seismic Coefficient) मा भर पर्छ । भूकम्पीय गुणाङ्कचाहिँ भूकम्पीय क्षेत्र जहाँ संरचना अवस्थित छ, संरचनाको महत्व, यसको दरोपना, यसको लचकता र माटो जहाँ संरचना बनेको छ आदि कुराहरूमा भर पर्दछ । उदाहरणको लागि डोटीको दिपायलमा बनेको भवनको भूकम्पीय डिजाइन भार रौतहटको गौरमा बनेको समान किसिम र उस्तै माटोमाथी बनेको भवनको भूकम्पीय डिजाइन भार भन्दा १।३४ गुणा बढी हुन्छ । त्यसैगरी उस्तै निर्माण सामग्री र पद्धति प्रयोग गरी मध्यमखाले माटोमाथी बनाईएको एउटा एकतले भवनको भूकम्पीय गुणाङ्क १२ तल्ले भवनको भन्दा लगभग ३ गुणा बढी हुन्छ ।



चित्र ११.१ : नेपालको भूकम्पीय क्षेत्र नक्सा :  
नेपालको अधिकतम भाग उच्च भूकम्पीय क्षेत्रमा पर्दछ ।

यो संहिताले निम्न प्रकारका भवनहरूको सामान्य संरचनात्मक तथा भूकम्पीय भार डिजाइन गर्न आवश्यक कुराहरूको जानकारी दिन्छ । (क) भुईँको क्षेत्रफल २० वर्ग मिटरभन्दा बढी भएका सबै भवनहरू (ख) ५ मिटरभन्दा बढी उचाइका कुनैपनि भवन (ग) १।५ मिटरभन्दा बढी उचाइका सम्पूर्ण ईटा, ढुङ्गा वा कंक्रीटका गारोहरू (घ) २०० घनमिटर क्षमतासम्मका अग्ला पानी ट्याङ्की । योभन्दा ठूलो क्षमताको लागि सम्बन्धित विशेषज्ञको परामर्श लिनुपर्दछ । (ङ) सर्वसाधारणको पहुँच हुने अन्य सबै भवनहरू । यो संहिता निम्न प्रकारका संरचनाहरूमा लागू हुँदैन । (क) असामान्य संरचनाहरू (जस्तै आणविक भट्टी आदि) (ख) सिभिल इन्जिनियरिङ्ग कार्यहरू (जस्तै पूल, बाँध आदि) (ग) ९० मिटरभन्दा बढी उचाइका कुनै पनि भवन वा संरचना ।

राष्ट्रिय भवन संहिता १०१ मा भवनमा प्रयोग गरिने निर्माण सामग्रीहरूको न्यूनतम आवश्यक गुणहरूको बारेमा उल्लेख गरिएको छ । यसले विभिन्न निर्माण सामग्रीहरूको प्रयोगको मापदण्ड पनि उल्लेख गरेको छ । राष्ट्रिय भवन संहिता १०२ ले भवन निर्माणमा प्रयोग हुने सामग्रीहरूको घनत्व सम्बन्धी जानकारी दिन्छ । नेपालमा प्रयोग गरिने खास सामग्रीहरूको तौलको एकाइका लागि आइएस् ८७५ (भाग २)-१९८७ को अनुसरण गरिन्छ ।

राष्ट्रिय भवन संहिता १०३ ले भवनमा बसोबस गर्नेहरूको भार (occupancy load) सम्बन्धी जानकारी दिन्छ । नेपालको परिप्रेक्ष्यमा आइएस् ८७५ (भाग १)-१९८७ को अनुसरण गरिन्छ ।

राष्ट्रिय भवन संहिता १०४ ले भवनमा हावाको भोक्काले दिने धक्कालाई सम्बोधन गर्छ । यस अनुसार नेपाललाई दुई क्षेत्रमा विभाजन गरिएको छ- (क) तल्लो पहाडी र तराईका मैदानी भाग (ख) उच्च पहाडी भाग । ३००० मिटरभन्दा माथिका सबै भूभाग दोस्रो क्षेत्र अन्तर्गत पर्दछन् । पहिलो क्षेत्रको लागि हावाको गति ४७ मि/से र दोस्रो क्षेत्रको लागि ५५ मि/से लिइन्छ ।

राष्ट्रिय भवन संहिता १०६ ले नेपालका उच्च हिमाली क्षेत्रका भवनहरूको छानामा जम्मा हुने हिउँको मात्रा र त्यसको निकासको लागि आवश्यक पर्ने छानाको भिरालोपनलाई सम्बोधन गर्दछ । संहिता १०७ ले साधारण भवनहरूमा अग्नि सुरक्षाका आधारभूत आवश्यकताहरू उपलब्ध गराउँछ । संहिता १०८ ले नेपालका तराई र पहाड दुवै क्षेत्रमा भवन निर्माण स्थलको अध्ययन र छनौट गर्ने सिद्धान्तलाई सम्बोधन गर्छ । संहिता १०९ ले सबलीकृत नगरिकनै नेपालमा बनाइने गारोवाला भवनको संरचनात्मक डिजाइनको पक्षलाई समेट्दछ । तर यसले माटोको जोडाइमा बनाइने गारोलाई समेट्दैन । संहिता ११०, १११, ११२ र ११३ ले क्रमशः कंक्रीट, फलाम, काठ र आल्मुनियमका संरचनाहरूको डिजाइन सिद्धान्तहरूलाई सम्बोधन गर्दछ । संहिता ११४ ले भवन निर्माण गर्दा वा भत्काउँदा कामदारले अपनाउनुपर्ने स्वास्थ्य र सुरक्षाका उपायहरूको बारेमा जानकारी दिन्छ । संहिता २०६ ले भूकम्प, आगलागी तथा अन्य विपदको समयमा भवनभित्र रहेका मानिसहरूको सुरक्षाका मूलभूत सिद्धान्तलाई केन्द्रित गर्दछ । संहिता २०७ ले सिभिल इन्जिनियर आर्किटेक्ट, मेकानिकल इन्जिनियरहरूसंगको पारस्परिक संयोजन र सहकार्यमा भवन उपभोक्ताको आवश्यकताको आधारमा सुरक्षित विद्युतीय जडानको योजना तथा कार्यान्वयनमा जोड दिन्छ । संहिता २०८ ले भवनमा खानेपानी वितरण प्रणाली, फोहोर पानी निष्काशन प्रणाली र वर्षाको पानी व्यवस्थापन प्रणालीलाई कसरी प्रभावकारी बनाउन सकिन्छ भन्ने बारेमा निर्देशन दिनुको साथै पक्षमा महत्वपूर्ण जानकारी उपलब्ध गराउँछ ।

## राष्ट्रिय भवन संहिता २०१, २०२, २०५

राष्ट्रिय भवन संहिता २०१, २०२ र २०५ ले पूर्णरूपमा डिजाइन नै नगरीकन पिलर र गारोवाला भवनहरूलाई कसरी भूकम्प प्रतिरोधी बनाउन सकिन्छ भन्ने नियमहरू बताउँछन् । यी भवन संहिताहरू प्रयोग

गरी मध्यम स्तरीय प्राविधिकले पनि गारो वा पिलरवाला भूकम्प प्रतिरोधी भवनको डिजाइन र नक्सा तयार गर्न सक्छन् । साथै यसमा उल्लेखित डिजाइन विधि प्रयोग गरी इन्जिनियरहरूले पनि कम समयमै नक्सा तयार गर्न सक्छन् ।

संहिता २०१ ले नेपालमा ईटाको गारो भएको ३ तल्लासम्मको भूकम्प प्रतिरोधी आवासीय भवन (आरसीसी भवन) बनाउनका लागि तयारी नक्सा र निर्माण सम्बन्धी विस्तृत विवरण उपलब्ध गराउँछ । संहिता २०२ को मूल उद्देश्य निम्न बमोजिमका भवनमा भूकम्प प्रतिरोधी क्षमताको विकास गर्नु हो । (क) सिमेन्ट वा माटोको जोडाइमा पाकेको ईटा वा ढुङ्गाको गारोबाट बनेका भवन (ख) सिमेन्टको जोडाइमा ढुङ्गाको गारो वा माटोको जोडाइमा पाकेको ईटाको गारो लगाई बनाइएका दुई तलाभन्दा कम उचाइका भवन (ग) सिमेन्टको जोडाइमा पाकेको ईटाको गारो लगाई बनाइएका तीन तलाभन्दा कम उचाइका भवन । संहिता २०५ ले पिलरवाला आरसीसी भवन बनाउदाखेरि ध्यान दिनुपर्ने कुराहरूलाई सम्बोधन गर्दछ । यो संहिताले संरचनागत विस्तृत विवरण (Detailing) लगायत संरचनात्मक र गैरसंरचनात्मक अङ्गहरूको तयारी डिजाइन दिन्छ । तथापि यसको प्रयोगकर्ताले यी संहिताहरूले तोकेका भवनको विन्यास, वनावट, आकार र उचाइ सम्बन्धी निश्चित मापदण्ड पुरा गरेको हुनुपर्छ ।

## राष्ट्रिय भवन संहिता २०३, २०४

संहिता २०३ र २०४ ले नेपालमा ढुङ्गा माटोले बनेका कम बलिया भवनहरूमा कसरी भूकम्पीय सुरक्षा अभिवृद्धि गर्न सकिन्छ भन्ने कुराको पथ प्रदर्शन गर्दछ । सामान्य प्राविधिक सहयोगबाट यसको कार्यान्वयन होस् भन्ने मनसायबाट यो संहिता तयार गरिएको हो ।

## निष्कर्ष

इतिहासको धेरै लामो कालखण्डदेखि भूकम्पको क्षति बारम्बार बेहोर्दै आएका देशहरूमा उच्चस्तरमा विकसित राष्ट्रिय भवन संहिता छ । यसप्रकार जापान, न्यूजिल्याण्ड, संयुक्त राज्य अमेरिका जस्ता देशहरूमा विस्तृत संहिताको प्रावधान छ । नेपालमा भवन संहिताको विकास अलि ढिलै भयो । नेपालमा ढुङ्गा माटोले बनेका कम बलिया भवनहरूदेखि अत्याधुनिक भवनहरूमा यी संहिता लागू हुन्छन् । तथापि भूकम्पीय सुरक्षा सुनिश्चित गर्नको लागि अत्यन्त सुदृढ संयन्त्रको आवश्यक पर्दछ, जसले वास्तविक निर्माणमा भवन संहिता कार्यान्वयन गर्न सकोस् । 'उपचार गर्नुभन्दा रोगै लाग्न नदिनु राम्रो' भनेजस्तै भवन संहिताले क्षति हुनुभन्दा अघि नै क्षति न्यून गर्ने महत्वपूर्ण उपायहरूको जानकारी दिन्छ । २०७२ साल वैशाख १२ गतेको विनाशकारी भूकम्प र त्यसपछिका पराकम्पहरूले पनि माथीको भनाईलाई पुष्टि गर्दछ ।

## सन्दर्भ सामाग्री

१. नेपाली राष्ट्रिय भवन संहिता ०००, १०१, १०२, १०३, १०४, १०५, १०६, १०७, १०८, १०९, ११०, १११, ११२, ११३, ११४, २०६, २०७, २०८, २०९, २०४

लेखक	: सी.वी.आर. मूर्ति, आइआईटी, कानपुर, भारत
प्रायोजक	: भवन निर्माण सामाग्री र प्राविधि प्रवर्धन परिषद नयाँदिल्ली, भारत
अनुवादक	: युक्त विलास मरहठ्ठा, नमूना इन्स्टिच्यूट अफ टेक्नोलोजी, भरतपुर, चितवन
परिमार्जनकर्ता	: जितेन्द्र कुमार बोथरा, मियामोटो इन्टरनेशनल, न्यूजिल्याण्ड

यो सामाग्री आइआईटी, कानपुर र बीएमटीपीसीको बौद्धिक सम्पति हो । विषयवस्तु तोडमोड नगरी र कृतज्ञता जापान सहित यो सामाग्री पुनःप्रकाशन गर्न सकिनेछ । हाम्रो ईमेल ठेगाना nicee@iitk.ac.in मा सल्लाह सुझाव पठाउन सक्नुहुनेछ । यो सामाग्री हाम्रो वेबसाईट [www.nicee.org](http://www.nicee.org) वा [www.bmtpc.org](http://www.bmtpc.org) मा हेर्न सकिनेछ ।

## ईटाले बनेको गारोवाला घरले भूकम्पको समयमा कस्तो व्यवहार देखाउँछ ?

### ईटाको गारोको व्यवहार

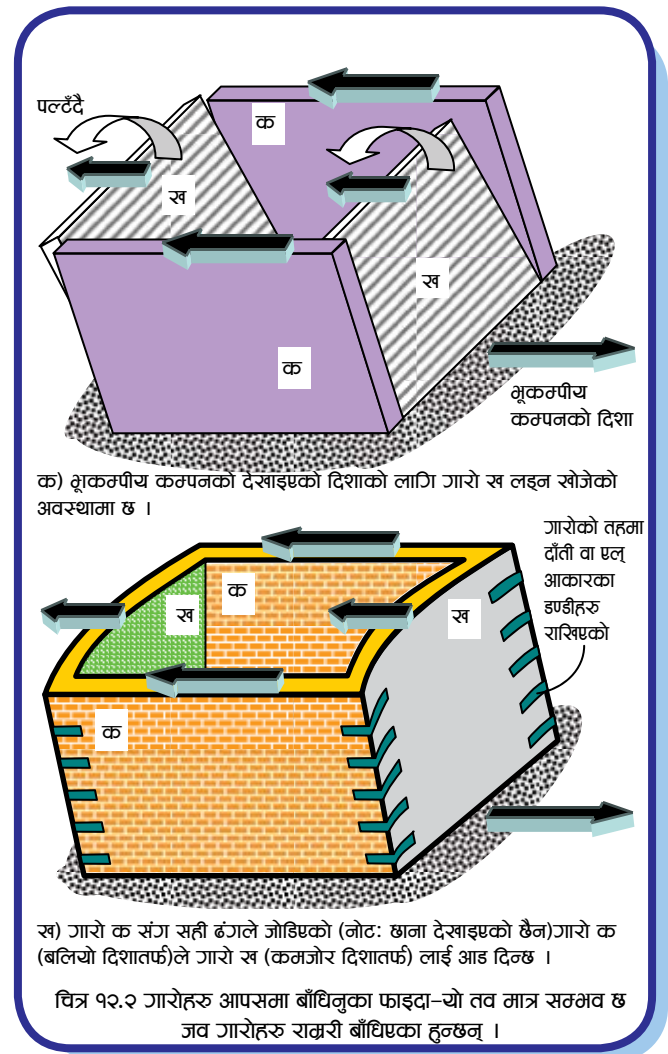
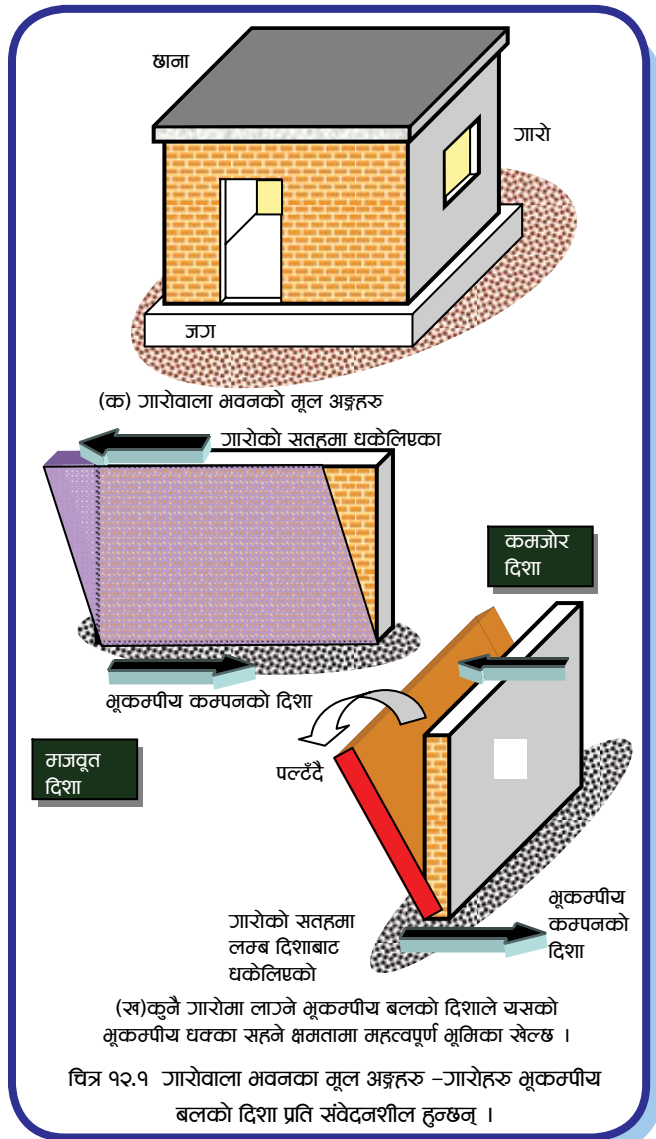
कमजोर संरचना र भुरो हुने भएकोले शक्तिशाली भूकम्पको समयमा गारोवाला भवनहरूमा अत्यन्त धेरै क्षति पुग्छ। विगतमा नेपालमा गएका भूकम्पहरूलाई आधार मान्ने हो भने यस्ता संरचनाहरूबाट धेरै संख्यामा मानवीय क्षति भएको पुष्टि हुन्छ। त्यसकारण गारोवाला घरहरूको भूकम्पीय व्यवहार सुधार गर्नुपर्ने टड्कारो आवश्यकता देखिन्छ। यो उद्देश्य प्राप्तिको लागि यस्ता भवनहरूमा अनेकन भूकम्प प्रतिरोधी उपायहरू अपनाउन सकिन्छ।

भूकम्पको समयमा जमिनको कम्पनले भवनमा भएको पिण्डहरूले गर्दा इनर्शिया बल उत्पन्न गराउँछ (इनर्शिया भनेको के हो भन्ने कुरा भूकम्प जानकारी ५मा छलफल गरिसकिएको छ)। यो बल छानाबाट गारो हुँदै जगसम्म पुग्छ र यो क्रममा भवनमा ठूलो क्षति नपुगोस् वा भवन नभत्कियोस् भन्ने कुरामा हामीले ध्यान पुर्‍याउनु पर्दछ। गारोवाला भवनका तीन भाग (छाना, गारो र जग) मध्ये (चित्र १२.१ क) भूकम्पको तेर्सो धक्काले क्षति पुर्‍याउन सक्ने सबैभन्दा संवेदनशील अङ्ग गारो नै हो।

यदि भित्ताको माथिल्लो भागमा गारोको मोटाइतर्फ (जसलाई कमजोर दिशा भनिन्छ) धक्का दिने हो भने गारो सजिलै पल्टिन्छ, तर यदि गारोको लम्बाइतर्फ (जसलाई वलियो दिशा भनिन्छ) (चित्र १२.२ ख) धक्का दिने हो भने गारोले उक्त धक्कालाई थेग्न सक्छ।

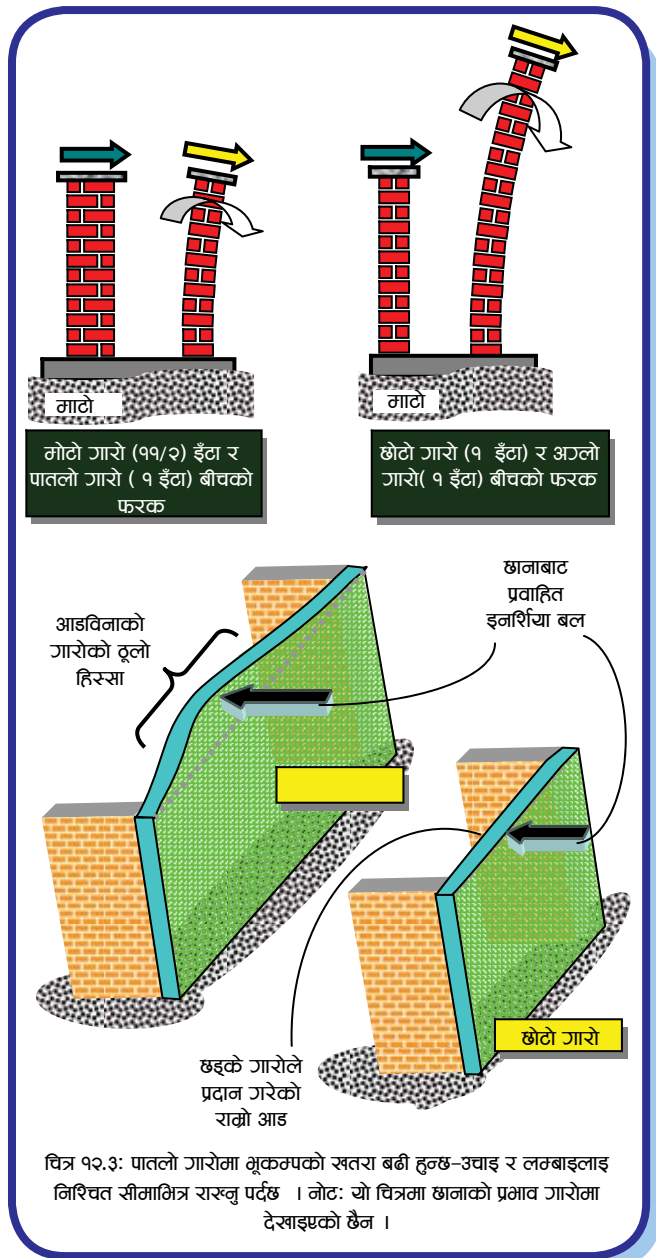
भुईँचालो गएको वेलामा जमिन तेर्सो (पूर्व,पश्चिम,उत्तर,दक्षिण) र ठाडो जताततै एकैचोटी हल्लिन्छ (हेर्नुहोस् भूकम्प जानकारी ५)। तथापी सामान्य गारोवाला भवनको लागि तेर्सो कम्पन सबैभन्दा बढी घातक हुन्छ। छानामा उत्पन्न भएको तेर्सो इनर्शिया बल गारोमा हस्तान्तरण हुँदा माथि भनिँएजस्तै कमजोर वा वलियो जुनसुकै दिशामा क्रियाशील हुन सक्छ। त्यसैले यदि सबै गारोहरू एक आपसमा बाँधेर एउटा बाक्स जस्तो बनाइएको छैन भने कमजोर दिशातर्फ धक्का व्यहोरेका गारोहरू पल्टन खोज्छन् (चित्र १२.२ क)।

भूकम्प गएको वेलामा भवनले प्रभावकारी ढङ्गले काम गर्नको लागि एउटा गारोलाई संगैको अर्को गारोसंग उपयुक्त विधि अपनाई नफुल्कने गरी जोड्नु पर्दछ। यसो गर्दा भूकम्पको धक्कालाई सबै गारोहरूले एकजुट भएर प्रतिरोध गर्न सक्छन् (चित्र १२.२ ख)। भवनलाई समग्र रूपमा एक ढिक्का बनाउनका लागि गारोलाई एकआपसमा बाँध्नुका साथै छाना र जगसंग पनि उचित ढङ्गले बाँध्नुपर्ने हुन्छ।



## गारोवाला भवनको व्यवहारमा कसरी सुधार ल्याउने ?

लम्बाइ र उचाइको तुलनामा मोटाइ ज्यादै कम हुने भएकोले ईटाको गारो सजिलै पल्टिने सम्भावना बढी हुन्छ । भवनका सम्पूर्ण भागहरू मूलतः छाना, गारो र जगलाई एक ढिक्का बनाई पूरै भवनलाई एउटा बाक्सको रूपमा काम गर्न सक्ने बनाएर भूकम्प गएको बेलामा यस्ता गारोहरूलाई क्षतिग्रस्त नहुने अवस्थामा राख्न सकिन्छ । यस्तो अवस्थाको सुनिश्चिताको लागि निर्माणका अनेकन पक्षहरूमा ध्यान दिनुपर्ने हुन्छ । सर्वप्रथम, गारोहरूको बीचको जोर्नी सुदृढ हुनु पर्दछ । यसको लागि निम्न कुरामा ध्यान दिनुपर्छ । (क) गारोको जोर्नीमा एक आपसबाट फुत्किन नसक्ने बन्धनको विकास गर्ने (ख) घरका विभिन्न तह विशेषगरी ढोकामाथि रिङ्ग बिम (जसलाई लिन्टेल बिम भनिन्छ) दिनु पर्दछ । यसले तेर्सो बन्धन वा पट्टीको काम गर्दछ । भ्याल ढोकाहरू सानो राख्नु पर्दछ । भ्याल ढोकाको लागि छाडिएका खुल्ला भाग जति सानो भयो, गारोले आउने धक्कालाई त्यति नै राम्रोसँग प्रतिरोध गर्न सक्छ । गारोको लम्बाइ र मोटाइ तथा उचाइ र मोटाइको अनुपात एउटा निश्चित सिमाभित्र राखेर गारो लड्ने जोखिम न्यूनीकरण गर्न सकिन्छ (चित्र १२.३) । भवन डिजाइन संहिताले यी अनुपातहरू तोकिदिएको हुन्छ । मोटाइको तुलनामा गारो अति लामो वा अति अग्लो भएमा भूकम्प गएको बेलामा ठूलो संकट निम्त्याउन सक्छ ।



## गुणस्तरीय निर्माण सामग्रीको छनौट

गारोवाला भवनको भूकम्पीय कार्य सम्पादन, यसमा प्रयोग गरिएका सामग्रीहरू - जस्तै ईटा, मसला आदिको गुणस्तरमा भर पर्दछ । यी सामग्रीहरूको गुणस्तर कच्चा पदार्थ र निर्माण विधिमा भर पर्दछ । तर, सामग्रीको गुणस्तर ठाउँ अनुसार फरक हुन सक्छ । नेपालमा गारो लगाउन विभिन्न निर्माण सामग्रीहरूको प्रयोग गरिन्छ जस्तै ईटा (पाकेको र काँचो), कंक्रीट ब्लक (खोक्रो भएको र खोक्रो नभएको), ढुङ्गा आदि । यीमध्ये तराई र उपत्यकातिर पाकेको ईटा धेरै प्रयोग गरिन्छ । ईटामा प्रशस्त छिद्रहरू हुने भएकोले यसले पानी सोस्छ । ईटामा बढी छिद्रहरू भएमा गारोको कार्य क्षमतामा यसले नराम्रो असर पुर्‍याउँछ किनभने धेरै छिद्र भयो भने यसले मसलामा भएको पानी सोसिदिन्छ र ईटा र मसलाको जोडाईलाई कमजोर पारिदिन्छ । त्यसैकारण कम छिद्र भएका ईटाहरू प्रयोग गर्नु पर्दछ । प्रयोग गर्नुअघि ईटालाई राम्रोसँग पानीमा डुबाउनु पर्दछ ताकि यसले मसलाबाट कम भन्दा कम पानी सोस्न सकोस् ।

गारो लगाउँदा विभिन्न प्रकारका मसलाहरू प्रयोग गरिन्छ । जस्तै माटो, सिमेन्ट-बालुवा अथवा सिमेन्ट-बालुवा-चुना । यीमध्ये माटोको मसला सबैभन्दा कमजोर हुन्छ । यो सुकेपछि सजिलै फुट्ने र भर्ने हुन्छ । यसमा भूकम्प प्रतिरोधी क्षमता एकदमै कम हुन्छ । चुना सहितको सिमेन्ट बालुवाको मसला सबैभन्दा उपयुक्त हुन्छ । यस्तो मसलाले गारो लगाउँदा मसला सजिलै फैलिन्छ र ईटा बस्नको लागि समतल सतह प्रदान गर्छ साथै ईटासँग राम्ररी टाँसिन्छ । यसरी स-साना भूकम्पको धक्का नफुटिकनै सजिलै धान्न सक्छ । भूकम्प गएको बेलामा गारोले देखाउने व्यवहार ईटा र मसलाको सापेक्षिक बलियोपनामा भर पर्दछ । निश्चय पनि मसलाभन्दा ईटा बलियो हुनुपर्दछ । तर, बढी मसला राख्नु राम्रो हैन । १० मिमिसम्म मोटाइको मसला उपयुक्त हुन्छ । भारतीय मापदण्डले भूकम्पीय क्षेत्रको आधारमा भवनमा प्रयोग गरिने ईटा र मसलाको स्तर निर्धारण गरिदिएको छ ।

## सम्बन्धित भूकम्प जानकारी

जानकारी ४ : संरचनाहरूमा भूकम्पीय असरहरू के के हुन् ?

## सन्दर्भ सामग्री

1. IS 1905, (1987), Indian Standard Code of Practice for Structural Use of Unreinforced Masonry, Bureau of Indian Standards, New Delhi
2. IS 4326, (1993), Indian Standard Code of Practice for Earthquake Resistant Design and Construction of Buildings, Bureau of Indian Standards, New Delhi
3. IS 13828, (1993), Indian Standard Guidelines for Improving Earthquake Resistance of Low-strength Masonry Buildings, Bureau of Indian Standards, New Delhi
4. Paulay, T., and Priestley, M. J. N., (1992), Seismic Design of Reinforced Concrete Buildings, John Wiley & Sons, New York

लेखक : सी.वी.आर. मूर्ति, आइआईटी, कानपुर, भारत  
 प्रायोजक : भवन निर्माण सामग्री र प्रविधि प्रवर्धन परिषद नयाँदिल्ली, भारत  
 अनुवादक : युक्त विलास मरहट्टा, नमूना इन्स्टिट्यूट अफ टेक्नोलोजी, भरतपुर, चितवन  
 परिमार्जनकर्ता : जितेन्द्र कुमार बोथरा, मियामोटो इन्टरनेशनल, न्यूजिल्यान्ड

यो सामग्री आइआईटी, कानपुर र वीएमटीपीसीको बौद्धिक सम्पत्ति हो । विषयवस्तु तोडमोड नगरी र कृतज्ञता ज्ञापन सहित यो सामग्री पुनःप्रकाशन गर्न सकिनेछ । हाम्रो इमेल ठेगाना nicee@iitk.ac.in मा सल्लाह सुझाव पठाउन सक्नुहुनेछ । यो सामग्री हाम्रो वेबसाइट [www.nicee.org](http://www.nicee.org) वा [www.bmtpc.org](http://www.bmtpc.org) मा हेर्न सकिनेछ ।

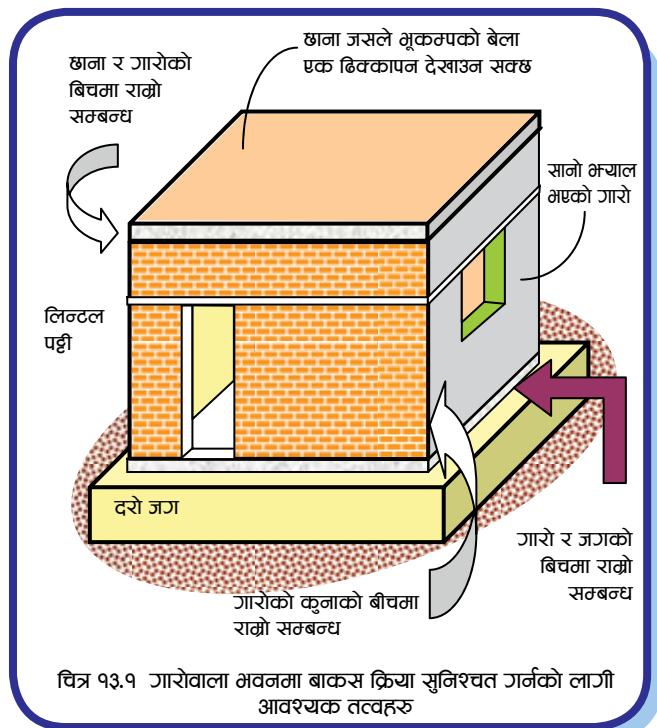


## किन गारोवाला भवनहरुको संरचनात्मक स्वरूप साधारण हुनुपर्दछ ?

### गारोवाला भवनहरुमा बाकस प्रभाव

गारोवाला भवनको पिण्ड धेरै हुने भएकोले भूकम्प गएको वेलामा ठूलै मात्रामा भूकम्पको तेर्सो धक्कालाई आकर्षित गर्दछ। भूकम्पले गर्दा उत्पन्न हुने थिचाइ र तन्काइका कारणले गारोहरु नराम्ररी चर्कन्छन्। भूकम्प प्रतिरोधी गारोवाला भवन निर्माण कार्यको मूल उद्देश्य यस्ता चिराहरुको असर भवनले थग्न सक्ने र ठूलो क्षति व्यहोर्न नपर्ने अवस्था सुनिश्चित गर्नु हो। संरचनागत स्वरूपको उपयुक्त छनौटबाट यो उद्देश्य प्राप्त हुन्छ।

गारोवाला भवनको संरचनात्मक स्वरूपले निम्न कुराहरु समेट्दछ। (क) भवनको आकार र आयतन वा क्षेत्रफल (ख) भवनमा पिण्डको वितरण र तेर्सो धक्का प्रतिरोध गर्ने अङ्गहरु। भूकम्प गएको वेलामा ठूलो, अग्लो, लामो र चुच्चाचुच्ची निस्कैका वा आकार नमिलेका (Unsymmetrical) भवनहरु नराम्ररी क्षतिग्रस्त हुन्छन् (भूकम्प जानकारी ६)। यिनीहरुलाई भूकम्प प्रतिरोधी बनाउनको लागि छाना, गारो, र जगलाई आपसमा बाँधी एक ढिक्का बनाई एउटा वाकसले जस्तै काम गर्न सक्ने बनाउनु पर्दछ (चित्र १३.१)। गारोसंग कमजोर ढङ्गले जोडिएको छाना वा एकदम पातलो वा फिनो गारो भएकै कारणले पनि भवनले ठूलो भूकम्पीय क्षति व्यहोर्नु पर्ने हुनसक्छ। उदाहरणका लागि ढोकामाथि राखिएको लिन्टल पट्टी (Lintel Band) ले सबै गारोलाई आपसमा बाँधेर एकताबद्ध ढङ्गले काम गर्न मद्दत गर्दछ।

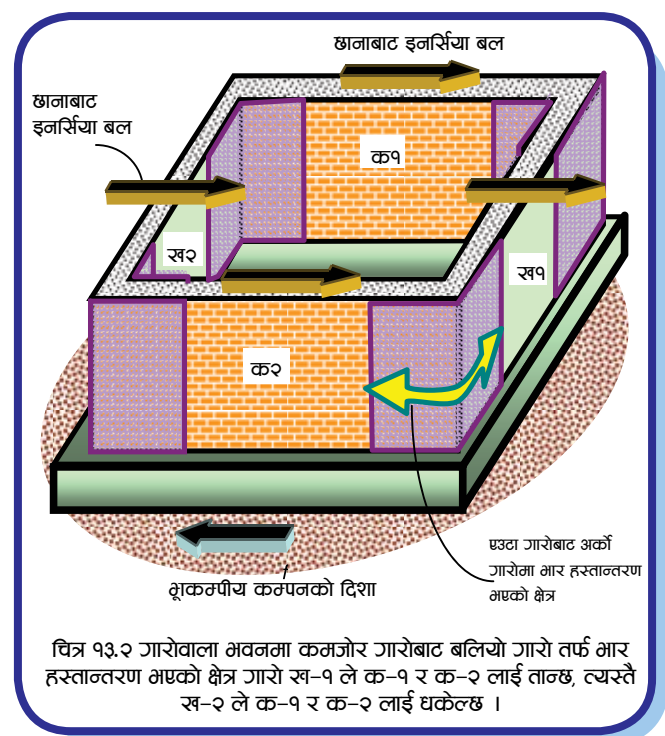


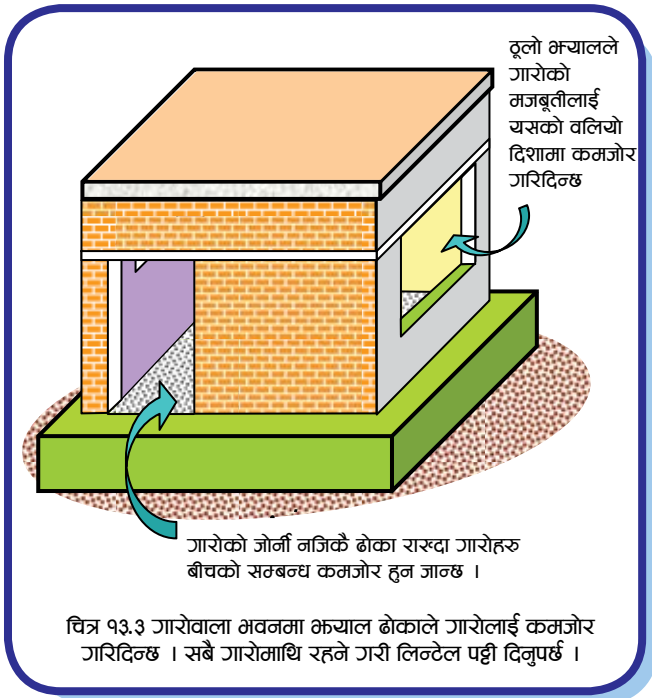
### भ्याल-ढोका (खुल्ला भाग) को प्रभाव

भ्याल, ढोका, भेन्टिलेशन जस्ता खुल्ला भाग भवनका अति आवश्यक अङ्ग हुन्। तथापि यिनका अवस्थिति र आकारले गारोवाला भवनको

भूकम्प प्रतिरोधक क्षमतामा महत्वपूर्ण भूमिका निर्वाह गर्दछ। यसलाई स्पष्ट गर्नको लागि चारओटा गारो भएको एकतले गारोवाला घर लिऔं (चित्र १३.२)। भूकम्प गएको वेलामा इनर्शिया बलले कुनै गारोको बलियो दिशामा र कुनै गारोको कमजोर दिशातर्फ तान्ने वा धकेल्ने काम गरिरहेको हुन्छ (भूकम्प जानकारी १२)। कमजोर दिशातर्फ हल्लिएका गारोहरु अर्को गारोको आड लिन खोज्छन्। चित्र २ मा ख-१ र ख-२ गारोहरु क-१ र क-२ गारोहरुको आड खोज्दैछन्। अर्भै स्पष्टसंग भन्नुपर्दा ख-१ गारोले क-१ र क-२ गारोलाई तान्छ भने ख-२ गारोले तिनहरुलाई धकेल्छ। अर्कोपटक हल्लाईको दिशामा ९० डिग्रीको परिवर्तन आउन सक्छ अर्थात् पूर्व-पश्चिम दिशातर्फ क्रियाशील बल उत्तर-दक्षिणतर्फ क्रियाशील हुन सक्छ। तब क र ख गारोको भूमिका परिवर्तन हुन्छ। अब ख-१ र ख-२ बलियो गारो र क-१ र क-२ कमजोर गारो हुन जान्छ।

यसप्रकार गारोहरुले तिनीहरुको भूकम्पीय भार जोर्नी (लिन्टल वा छानाको जोर्नी) बाट एक अर्कोलाई हस्तान्तरण गर्दछन्। त्यसकारण गारोहरुको जोर्नीमा दुवै गारोको ईटा वा ढुङ्गाको दाँतीले यस्तो बन्धन बनाओस् कि सजिलो जोर्नी नछुटोस्। त्यसैले गारोको जोर्नी नजिकै भ्याल, ढोका वा अन्य कुनै खुलाभाग छोड्दा गारोको भूकम्प प्रतिरोध गर्ने क्षमतामा नकारात्मक असर पर्दछ। जोर्नी नजिकैको खुल्ला भागले एउटा गारोबाट अर्को गारोमा हुने भार प्रवाहलाई अवरुद्ध गरिदिन्छ (चित्र १३.३)। यसको अलावा ठूला भ्याल, ढोकाले गारोको भार बहन क्षमता पनि घटाइदिन्छ। त्यसैले गारोमा भ्याल, ढोका जतिसक्दो सानो र गारोहरुको जोर्नीबाट जतिसक्दो टाढा राख्नु पर्दछ।





### भूकम्प प्रतिरोधी विशेषताहरू

गारोवाला भवनमा बाकस प्रभाव विकास गरी भूकम्प प्रतिरोधी क्षमता वृद्धि गर्नको लागि नेपाली मापदण्डले अनेकौं भूकम्प प्रतिरोधी उपायहरूको सुभाब प्रस्तुत गरेको छ । उदाहरणका लागि L, T, E र Y आकारका भवनहरूलाई एउटा सरल आयातकार ब्लकहरूमा छुट्याइदिनु पर्दछ, ताकि प्रत्येक ब्लकले सहज र सरल ढङ्गले भूकम्प प्रतिरोधी क्षमता प्रदर्शन गर्न सकोस् ( हेर्नुहोस् भूकम्प जानकारी ६ ) । भुईँचालो गएको वेलामा छुट्याएर बनाइएका ब्लकहरू स्वतन्त्र रूपमा हल्लिन्छन् र धेरै नजिक छन् भने त एक अर्कासँग ठोकिन पनि सक्छन् । त्यसैले विभिन्न ब्लकहरूको बीचमा पर्याप्त ठाउँ छाड्नु पर्दछ । भारतीय मापदण्डले ब्लकहरूको बीचमा न्यूनतम भूकम्पीय खाली ठाउँ छोड्न सुभाब दिन्छ । तर, यदि भवनको दायाँ-वायाँ सानो भाग (भवनको लम्बाइको १५ – २०% सम्म) निकालिएको छ भने त्यस्ता भागलाई छुट्याएर वेग्लै ब्लक बनाइरहनु पर्दैन ।

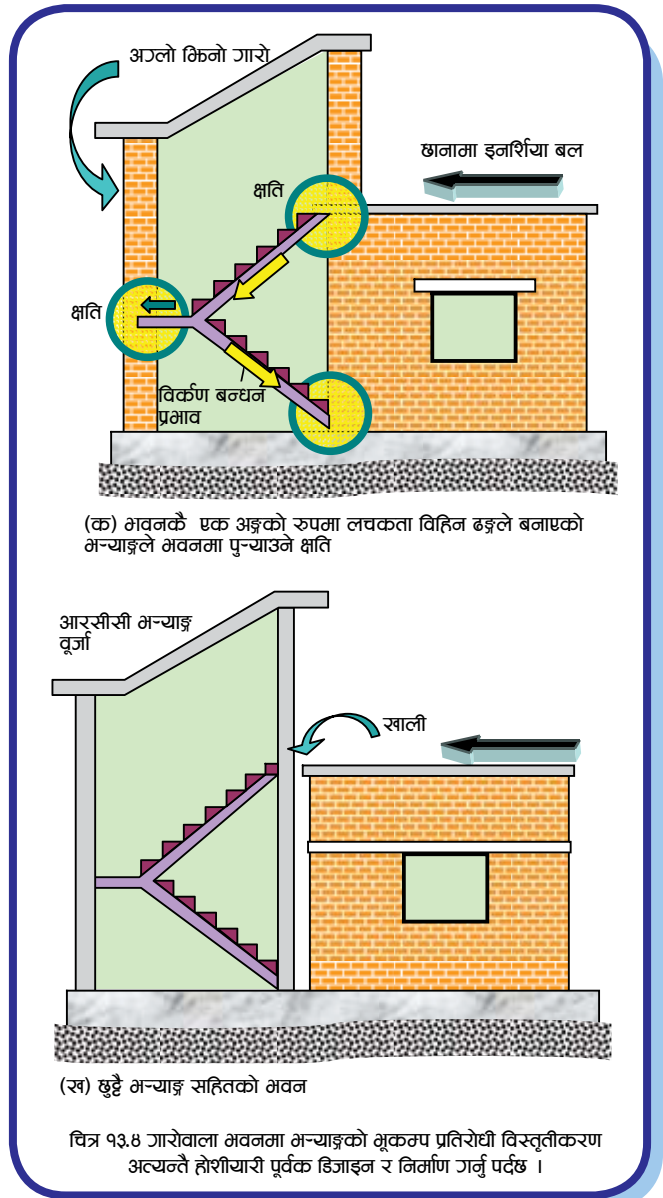
गारोवाला घरमा भ्याङ्गको छड्के स्ल्याब पनि एउटा चिन्ताको विषय हुनसक्छ । भ्याङ्गले तल्लो र माथिल्लो भुईँलाई बाँध्ने काम गर्दछ र भ्याङ्गको छड्के स्ल्याब यी भुईँहरूमा आउने भूकम्पीय तेर्सो धक्कालाई पनि हस्तान्तरण गर्ने काम गर्दछ (चित्र १३.४क) । भ्याङ्ग डिजाइन र निर्माण प्रक्रियामा विचार पुर्‍याइएन भने गारोवाला घरमा भ्याङ्गमा नै सबैभन्दा बढी क्षति हुनसक्छ । यो समस्या निराकरणको लागि कहिलेकाहीँ भ्याङ्गलाई घरसँग अलग गरेर छुट्टै (चित्र ४ ख) बनाइन्छ । यसरी भ्याङ्गलाई घरसँग अलग गरेर बनाउँदा, घर र भ्याङ्गको बीचमा पर्याप्त खाली ठाउँ छाड्नु पर्दछ, ताकि भूकम्प गएको वेलामा एकले अर्कोलाई ठक्कर नदेओस् ।

### सम्बन्धित भूकम्प जानकारी

जानकारी ५: संरचनाहरूमा भूकम्पीय असरहरू के के हुन् ?

जानकारी ६: भूकम्पको समयमा भवनलाई वास्तुकलाले कस्तो प्रभाव पार्दछ ?

जानकारी १२: ईटाले बनेको गारोवाला घरले भूकम्पको समयमा कस्तो व्यवहार देखाउँछ ?



### सन्दर्भ सामाग्री

1. IS 1905, (1987), Indian Standard Code of Practice for Structural Use of Unreinforced Masonry, Bureau of Indian Standards, New Delhi
2. IS 42326, (1993), Indian Standard Code of Practice for Earthquake Resistant Design and Construction of Buildings, Bureau of Indian Standards, New Delhi
3. IS 13828, (1993), Indian Standard Guidelines for Improving Earthquake Resistance of Low-strength Masonry Buildings, Bureau of Indian Standards, New Delhi
4. Tomazevic, M., (1999), Earthquake Resistant Design of Masonry Buildings, Imperial College Press, UK

लेखक : सी.वी.आर. मूर्ति, आइआईटी, कानपुर, भारत  
 प्रायोजक : भवन निर्माण सामाग्री र प्रविधि प्रवर्धन परिषद नयाँदिल्ली, भारत  
 अनुवादक : युक्त विलास मरहट्टा, नमूना इन्स्टिच्यूट अफ टेक्नोलोजी, भरतपुर, चितवन  
 परिमार्जनकर्ता : जितेन्द्र कुमार बोहरा, मियामोटो इन्टरनेशनल, न्यूजिल्यान्ड

यो सामाग्री आइआईटी, कानपुर र वीएमटीपीसीको बौद्धिक सम्पत्ति हो । विषयवस्तु तोडमोड नगरी र कृतज्ञता ज्ञापन सहित यो सामाग्री पुनः प्रकाशन गर्न सकिनेछ । हाम्रो ईमेल ठेगाना nicee@iitk.ac.in मा सल्लाह सुभाब पठाउन सक्नुहुनेछ । यो सामाग्री हाम्रो वेबसाईट [www.nicee.org](http://www.nicee.org) वा [www.bmtpc.org](http://www.bmtpc.org) मा हेर्न सकिनेछ ।

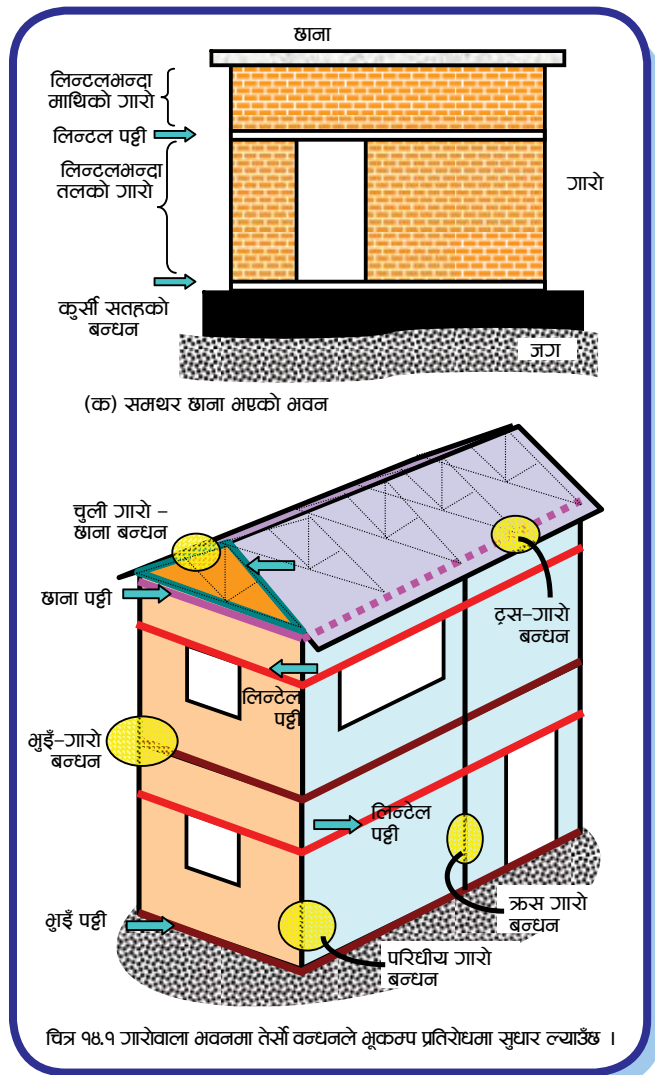
## गारोवाला भवनमा तेर्सो पट्टी (Band) किन चाहिन्छ ?

### तेर्सो पट्टीको भूमिका

तेर्सो पट्टी गारोवाला घरको सबैभन्दा महत्वपूर्ण भूकम्प प्रतिरोधी अङ्ग हो । सबै गारोहरुलाई एउटै बन्धनले बाँधेर घरलाई एक ठिका बनावुनका लागि तेर्सो पट्टी दिइन्छ । जसरी एउटा कार्डबोर्डको बाकसलाई मजबूत बनाउनका लागि टेपका पट्टीहरु दिइन्छ, त्यसैगरी गारोवाला घरलाई मजबूत बनाउनको लागि तेर्सो पट्टीहरु दिइन्छ । एउटा सामान्य गारोवाला घरमा ४ प्रकारका पट्टीहरु हुन्छन् । ती हुन् – चुली गारोमा दिइने पट्टी (Gable Band), छानामा राखिने पट्टी, लिन्टल पट्टी र भुईँ पट्टी (चित्र १४.१) । यी सबै पट्टीहरुको नाम यिनको अवस्थितिको आधारमा राखिएका छन् । यी मध्ये लिन्टल पट्टी सबैभन्दा महत्वपूर्ण हो र यो भ्याल र ढोकाको माथि घरको चारैतिर दिइन्छ । यो प्राय सबैजसो भवनहरुमा दिनु पर्दछ । चुली गारोको पट्टी भिरालो छाना भएमा लगाइन्छ । सबलीकृत कंक्रीट र ईटाले बनाइएका समथर छानामा छाना पट्टी आवश्यक पर्दैन किनभने यस्तो छाना आफैले एउटा बन्धनको काम गर्दछ । तथापि काठ वा जस्तापाताका छानाहरुमा छाना पट्टी दिनुपर्ने हुन्छ । भिरालो छानामा दिइने पट्टी एकदमै महत्वपूर्ण हुन्छ । असमान ढङ्गले जग नभासियोस् भन्ने

मूल उद्देश्य राखेर जगबन्धन भनिने पट्टीको निर्माण गरिन्छ । यसलाई चलनचल्तीको भाषामा टाइ बिम भनिन्छ ।

लिन्टल पट्टीले सम्पूर्ण गारोहरुलाई एकै ठाउँमा बाँधेर गारोको कमजोर भागलाई बलियो भागको आड प्रदान गर्दछ । यसले गारोको उचाइलाई दुई भागमा बाँडिदिन्छ, जसले गारोको सहाराविहिन उचाइलाई कम गरिदिन्छ र कमजोर दिशामा गारोको स्थिरता बढाउँछ । १९९३ को लातुर (मध्य भारत) भूकम्पमा किल्लरी गाउँको, कम्पन तीव्रता एम्.एस.के. स्केलमा नौ (IX) थियो । त्यस गाउँमा धेरैजसो घरहरु आंशिक वा पूर्ण रुपमा



(क) तेर्सो लिन्टल पट्टी विनाको घर : छाना र गारो अतिकण्डको



(ख) किल्लरी गाउँमा लिन्टल पट्टी सहितको घर : कुनैपनि क्षति भएन

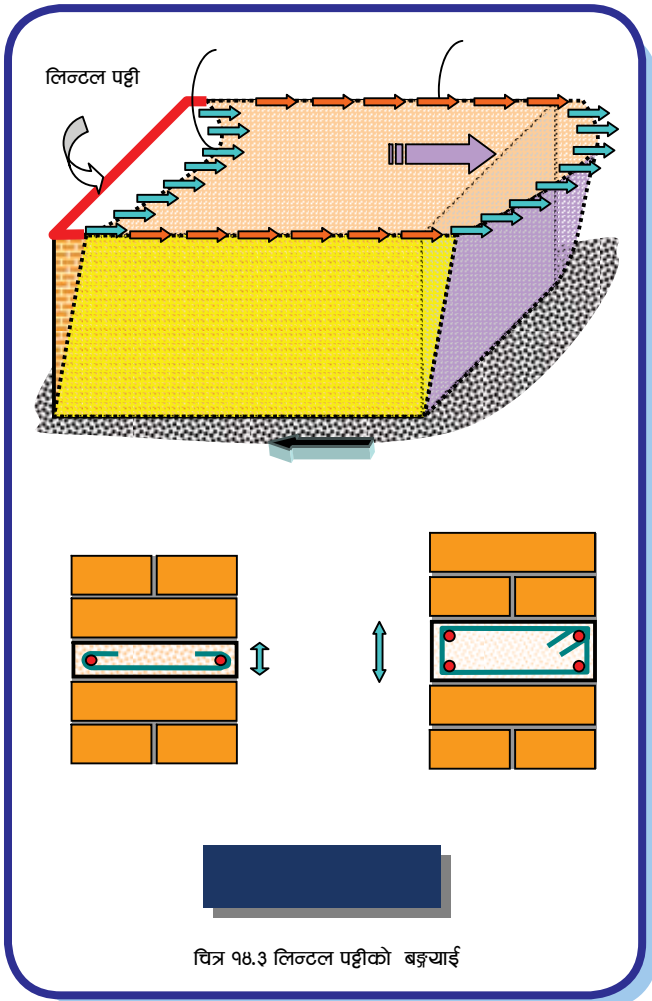
चित्र १४.२ १९९३ को लातुर भूकम्प ( मध्य भारत ) र किल्लरी गाउँमा एउटा गारोवाला घरमा भएको तेर्सो पट्टीले गर्दा भुईँचालाले कुनैपनि असर पुऱ्याएन ।

भत्किए (चित्र २ क) । अर्कोतर्फ, त्यही गाउँमा एउटा लिन्टल पट्टी भएको गारोवाला घर थियो । त्यो घरलाई उक्त भूकम्पले खासै क्षति पुऱ्याएन (चित्र १४.२ ख)।

### लिन्टल पट्टीको डिजाइन

भूकम्प गएको बेलामा लिन्टल पट्टीलाई इनर्शिया बलले तान्ने र बड्क्याउने क्रिया गरिरहेको हुन्छ (चित्र १४.३) । यो क्रियालाई प्रतिरोध गर्नको लागि लिन्टल पट्टी निर्माण विधिमा विशेष ध्यान दिनुपर्ने हुन्छ । यी पट्टीहरु काठ, बाँस वा डण्डी राखेर ढलान गरी बनावुन सकिन्छ (चित्र १४.४) । यीमध्ये





चित्र १४.३ लिन्टल पट्टीको बङ्ग्याई

डण्डी राखेर बनाईने ढलान पट्टी सवैभन्दा राम्रो हो । दुईवटा गारोबाट गएको पट्टीको सिधा भागलाई जोर्नीमा उपयुक्त ढङ्गले जोड्नु पर्दछ । यही बन्धनको माध्यमबाट कमजोर दिशामा भार वहन गरिरहेको गारोलाई बलियो गारोको टेवा मिल्छ । आरसीसी ढलान बन्धनमा सिधा डण्डीहरु सँगै बाँध्नका लागि स्टीलका चुरीहरु प्रयोग गरिन्छ । काठको बन्धन प्रयोग गरिएको छ भने काठका सेप्टी र किलाकाँटी प्रयोग गरी सिधा राखिएका काठका कडीहरुलाई सँगै बाँध्न सकिन्छ । काठका कडीहरुलाई काठको सेप्टीसँग राम्ररी काँटी ठोकेर बाँध्नुपर्छ । यसरी नै आरसीसी ढलान पट्टीमा चुरीले डण्डीलाई मजबुत ढंगले बाँधेको हुनु पर्दछ ।

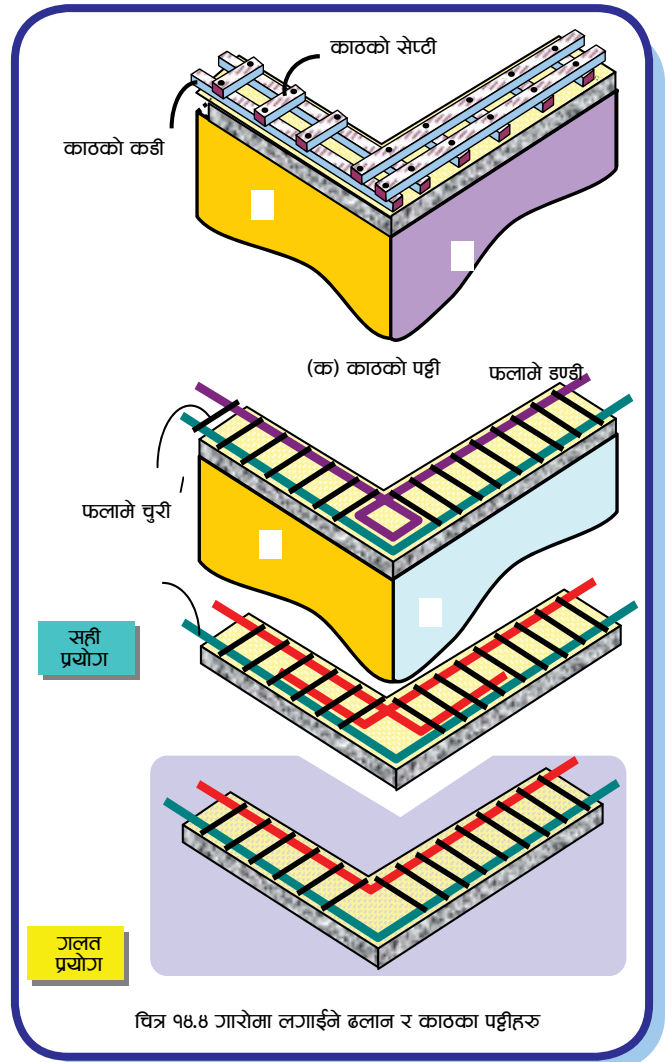
### भारतीय र नेपाली मापदण्ड

भारतीय मापदण्ड आईएस ४३२६-१९९३ र आईएस १३८२८ (१९९३) ले पट्टी कत्रो हुनुपर्ने लगायत अन्य विवरणहरु दिन्छ । त्यसैगरी नेपाली मापदण्ड एनवीसी २०२ ले पट्टीको आकारप्रकारको बारेमा जानकारी दिन्छ । काठको पट्टी प्रयोग गरिएको छ भने कडीको मोटाइ र चौडाइ ७५ मिमि x ३८ मिमि हुनुपर्छ । यदि सबलीकृत कंक्रीट प्रयोग गरिएको छ भने त्यसको मोटाइ कम्तिमा ७५ मिमि (३ इन्च) हुनुपर्दछ र कम्तिमा अढाई सुता (८ मि. मि) को दुइटा डण्डी राख्नु पर्दछ । ती डण्डीलाई कम्तिमा ६ मि.मि. को चुरीले १५० मिमि (६ इन्च) को फरकमा बाँध्नु पर्दछ ।

### सम्बन्धित भूकम्प जानकारी

जानकारी ५: संरचनाहरुमा भूकम्पीय असरहरु के के हुन् ?

जानकारी १२: ईटाले बनेको गारोवाला घरले भूकम्पको समयमा कस्तो व्यवहार देखाउँछ?



चित्र १४.४ गारोमा लगाईने ढलान र काठका पट्टीहरु

जानकारी १३: किन गारोवाला भवनहरुको संरचनात्मक स्वरूप साधारण हुनुपर्दछ ?

### सन्दर्भ सामाग्री

1. IAEE, (1986), Guidelines for Earthquake Resistant Non-Engineered Construction, International Association for Earthquake Engineering, Tokyo, available on [www.nicee.org](http://www.nicee.org)
2. IS 4326, (1993), Indian Standard Code of Practice for Earthquake Resistant Design and Construction of Buildings, Bureau of Indian Standards, New Delhi
3. IS 13828, (1993), Indian Standard Guidelines for Improving Earthquake Resistance of Low-streng

लेखक : सी.वी.आर. मूर्ति, आइआईटी, कानपुर, भारत  
 प्रायोजक : भवन निर्माण सामाग्री र प्रविधि प्रवर्धन परिषद नयाँदिल्ली, भारत  
 अनुवादक : युक्त विलास मरहटा, नमूना इन्स्टिट्यूट अफ टेक्नोलोजी, भरतपुर, चितवन  
 परिमार्जनकर्ता : जितेन्द्र कुमार बोथरा, मियामोटो इन्टरनेशनल, न्यूजिल्यान्ड

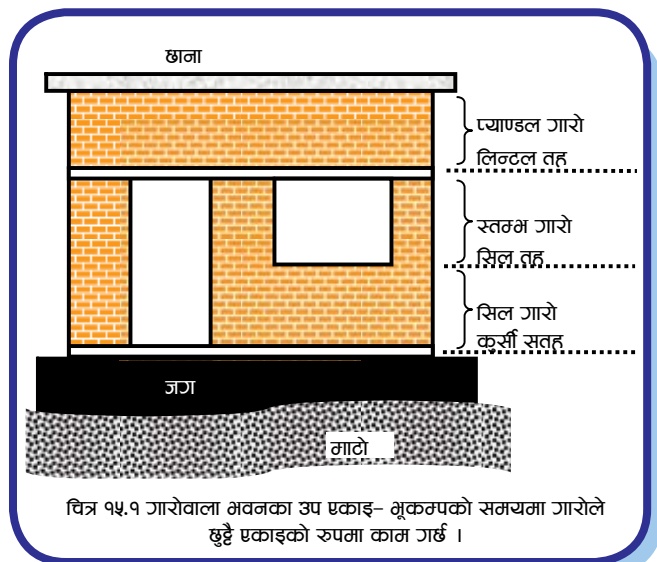
यो सामाग्री आइआईटी, कानपुर र बीएमटीपीसीको बौद्धिक सम्पत्ति हो । विषयवस्तु तोडमोड नगरी र कृतज्ञता ज्ञापन सहित यो सामाग्री पुनःप्रकाशन गर्न सकिनेछ । हाम्रो ईमेल ठेगाना [nicee@iitk.ac.in](mailto:nicee@iitk.ac.in) मा सल्लाह सुझाव पठाउन सक्नुहुनेछ । यो सामाग्री हाम्रो वेबसाईट [www.nicee.org](http://www.nicee.org) वा [www.bmtpc.org](http://www.bmtpc.org) मा हेर्न सकिनेछ ।



## गारोवाला घरमा ठाडो इण्डी किन आवश्यक पर्दछ ?

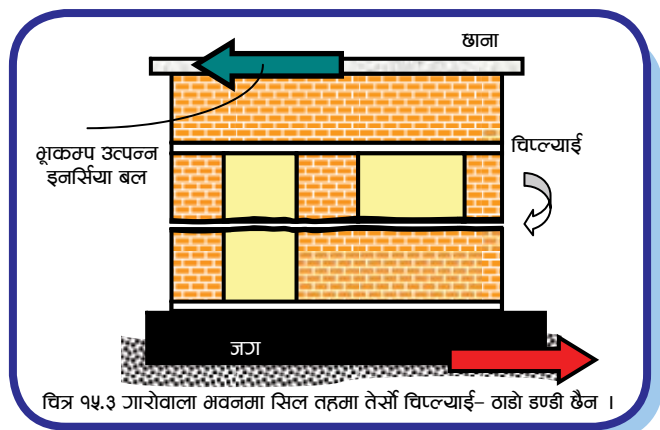
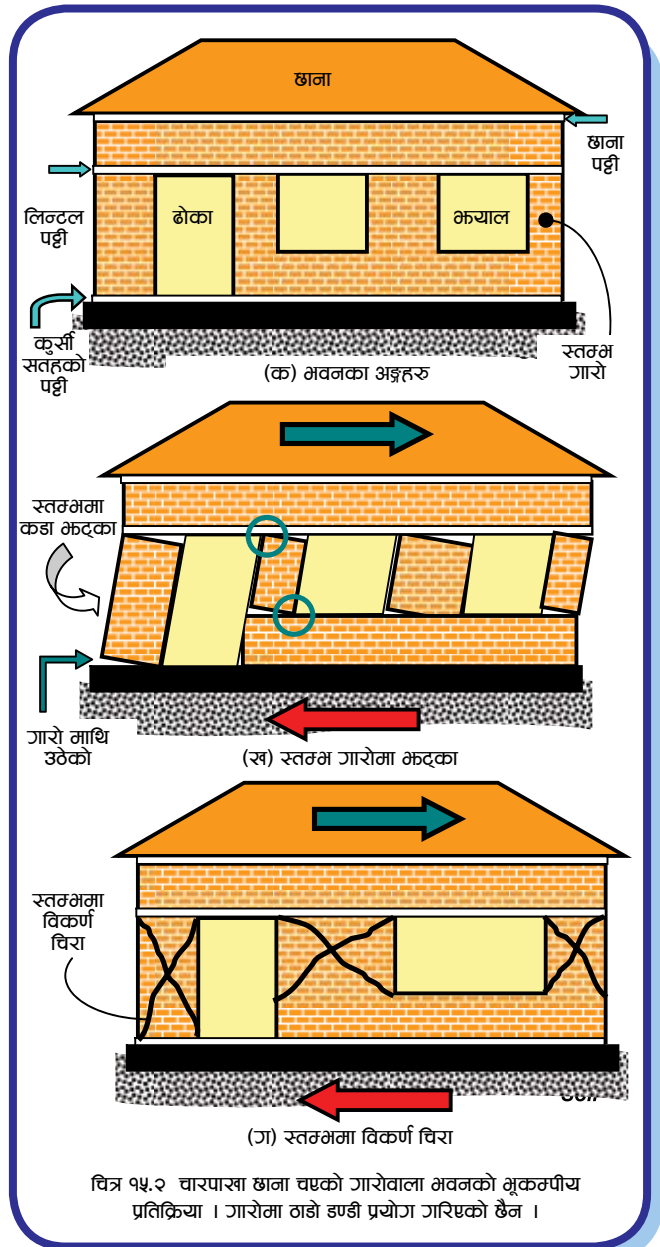
### गारोवाला भवनमा गारोको प्रतिक्रिया

गारोवाला भवनमा तिनीहरूको भूकम्प प्रतिरोधी क्षमता वृद्धि गर्नका लागि तेर्सो पट्टीहरू दिइन्छ । कुर्सो सतह (प्लिन्थ) पट्टी, लिन्टल पट्टी र छाना पट्टी प्रमुख तेर्सो पट्टीहरू हुन् । तेर्सो पट्टीका बावजुद पनि गारोमा राखिने भ्याल, ढोकाजस्ता खुल्ला भागले गारोवाला घरलाई कमजोर बनाउँछ (चित्र १५.१) । भूकम्प गएको वेलामा यस्ता भवनका गारोहरू तीनवटा भागमा विभाजित हुन्छन् । (१) लिन्टल देखि छाना पट्टी सम्मको खण्ड (२) लिन्टल देखि सिल पट्टीसम्मको खण्ड र (३) सिलदेखि कुर्सो सतहको पट्टीसम्मको खण्ड ।



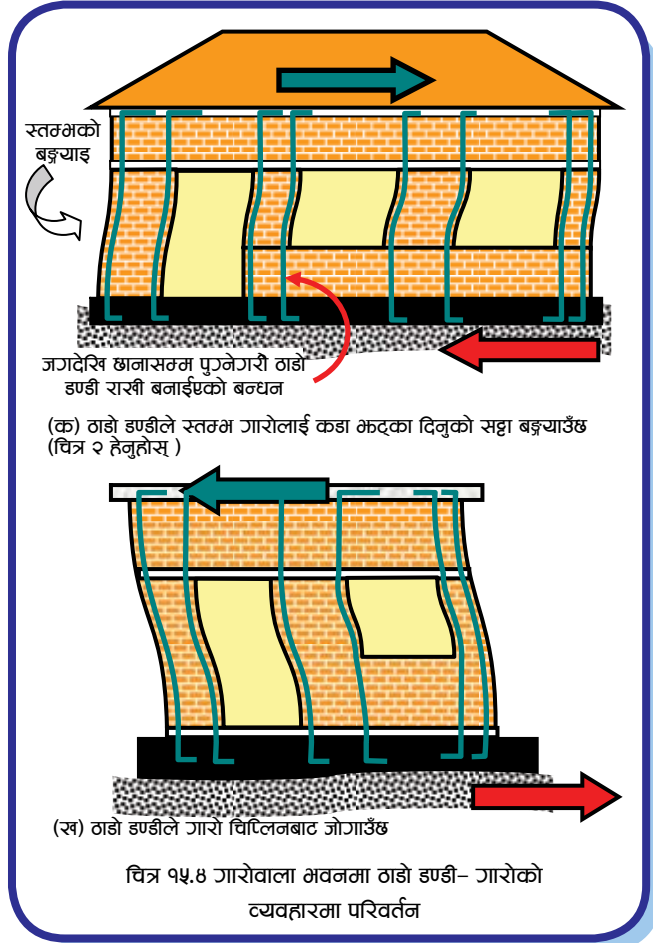
एउटा गारोमा दुईओटा भ्याल, एउटा ढोका र चारपाखा छाना भएको एउटा घरको कल्पना गरौं (चित्र १५.२ क) । यसमा लिन्टल पट्टी, भुइँ पट्टी र छाना पट्टी दिइएको छ । जब जमिन हल्लिन्छ, इन्सिया बलले गारोको स्तम्भलाई यस माथी र तलको गारोसंग छुटाईदिन्छ । यो खण्ड हल्लिदा स्तम्भका दुई विपरित कुनामात्रै दुई पट्टीको सम्पर्कमा हुन्छन् र बाँकी दुई कुना हावामा हुन्छन् (चित्र १५.२ ख) । उक्त गारोको स्तम्भ हल्लिँदा गारोको कुना चर्किन सक्छ । स्तम्भ गारोको लम्बाइ कम उचाइ बढी भएमा र स्तम्भमाथि भार कम भएमा स्तम्भहरू हल्लिन सक्छन् । नत्रभने स्तम्भमा विकर्ण आकारको चिरा देखिने सम्भावना सबभन्दा बढी हुन्छ (चित्र १५.२ ग) । यो गारोवाला भवनमा सबैभन्दा बढी देखिने क्षति हो ।

असबलीकृत गारोवाला भवनहरूमा (चित्र १५.३) भ्यालढोका रहनुको कारणले भित्ताको क्षेत्रफल (Cross section) कम हुन्छ । शक्तिशाली भूकम्पको समयमा भवन छतको ठीक मुनी, लिन्टल पट्टीको मुनी वा सिल सतहमा चिप्लिन सक्छ । कहिलेकाहीँ भवन भुइँ सतहमा (Plinth level) पनि चिप्लिन सक्छ । भवन ठ्याक्कै कहाँनिर चिप्लिन्छ भन्ने कुरा भवनको भार, भूकम्पले उत्पन्न गरेको इन्सिया बल, भ्यालढोकाको क्षेत्रफल र चौकोसको किसिम लगायत अन्य थुप्रै कुराहरूमा भर पर्छ ।



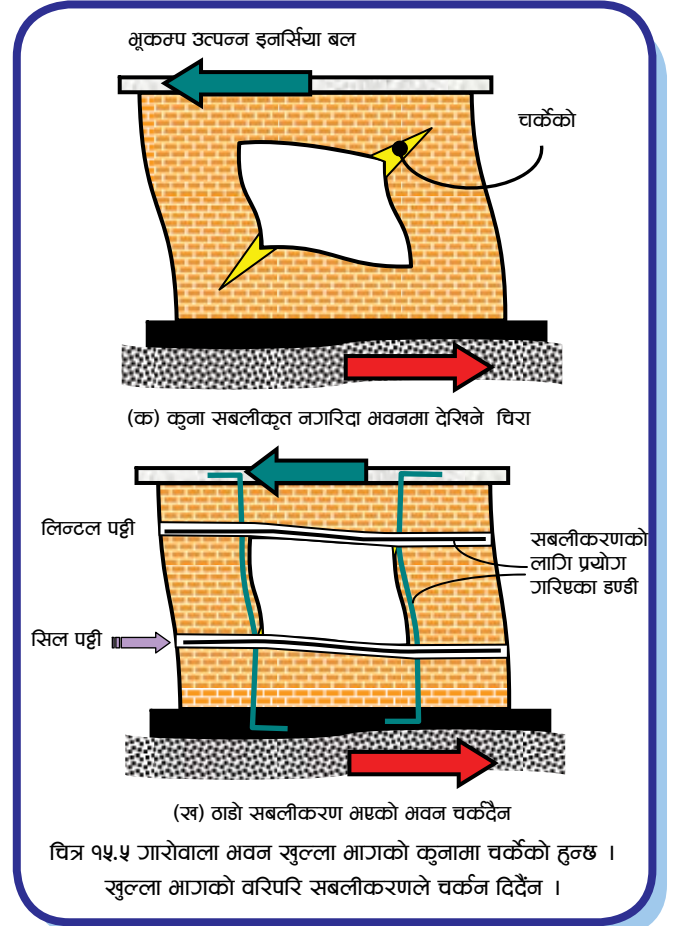
### ठाडो सबलीकरणले कसरी मद्दत गर्दछ ?

गारोको कुना तथा जोर्नीहरूमा जगैदेखि छानासम्म पुग्ने गरी ठाडो डण्डी राखिदिँदा यसले भिना र पातला (लम्बाइ कम तर उचाइ बढी भएका) गारोहरूलाई एकसाथी लड्न नदिई लचिकन बाध्य बनाउँछ (चित्र १५.४)। यदि स्तम्भको लम्बाइ बढी छ भने ठाडो डण्डीले भूकम्पको तेर्सो धक्कालाई प्रतिरोध गर्ने क्षमतामा अभिवृद्धि गरी गारोलाई चर्किन पनि दिँदैन। पर्याप्त मोटाइको ठाडो डण्डी प्रयोग गरिएको खण्डमा तनावको स्थितिमा डण्डी भाँचिदैन। यसको साथसाथै ठाडो डण्डीले स्तम्भलाई आफ्नो ठाउँबाट सर्न दिँदैन र गारोलाई यसको कमजोर दिशामा ढलबाट पनि जोगाउँछ।



### गारोमा भ्याल-ढोकाको संरक्षण

माथि भनिएजस्तै गारो आफ्नो ठाउँबाट चिप्लिई उक्त गारो कामै नलाग्ने अवस्था डण्डी नै प्रयोग नगरिएको गारोमा पनि विरलै आउँछ। तथापि प्रायजसो गारोवाला घरहरूमा भूकम्पपछि देखिने क्षतिचाहिँ गारोमा विकर्ण चिरा र भ्याल, ढोकाको कुनातिर देखिने छड्के चिरा हुन्। भूकम्प गएको वेलामा जव भ्याल-ढोका भएको कुनै गारोको आकार विग्रन्छ, खुल्ला भागको दुई विपरित कुना टाढा र बाँकी दुईकुना नजिक भई एउटा विसमकोण समभुज चतुर्भुज (Rhombus) जस्तो आकार लिन्छ। यो अवस्थामा नजिक भएका दुई कुनाहरू चर्किन्छ (चित्र १५.५ क)। भ्याल-ढोका जति ठूलो भयो गारो त्यति नै बढी चर्किन्छ। भ्याल-ढोकाको चारैतिर डण्डी राख्ने हो भने यसले चर्काईलाई रोक्छ (चित्र १५.५ ख)। सारांशमा, खुल्ला भागको चारैतिर डण्डी राखी लिन्टल र सिलमा ढलानको पट्टी बनाईदिँदा माथि उल्लेखित क्षतिबाट भ्याल-ढोकाको संरक्षण गर्न सकिन्छ।



### सम्बन्धित भूकम्प जानकारी

- जानकारी ५: संरचनाहरूमा भूकम्पीय असरहरू के के हुन् ?
- जानकारी १२: ईटाले बनेको गारोवाला घरले भूकम्पको समयमा कस्तो व्यवहार देखाउँछ ?
- जानकारी १३: किन गारोवाला भवनहरूको संरचनात्मक स्वरूप साधारण हुनुपर्दछ ?
- जानकारी १४: गारोवाला भवनमा तेर्सो पट्टी किन चाहिन्छ ?

### सन्दर्भ सामाग्री

- Amrose, J., (1991), Simplified Design of Masonry Structures, John Wiley & Sons, Inc., USA
- BMTPC, (2000), Guidelines: Improving Earthquake Resistance of Housing, Building Materials and Technology Promotion Council, New Delhi
- IS 4326, (1993), Indian Standard Code of Practice for Earthquake Resistant Design and Construction of Buildings, Bureau of Indian Standards, New Delhi
- IS 13828, (1993), Indian Standard Guidelines for Improving Earthquake Resistance of Low-streng

लेखक : सी.बी.आर. मूर्ति, आइआईटी, कानपुर, भारत

प्रायोजक : भवन निर्माण सामाग्री र प्रविधि प्रवर्धन परिषद नयाँदिल्ली, भारत

अनुवादक : युक्त विलास मरहटा, नमूना इन्स्टिट्यूट अफ टेक्नोलोजी, भरतपुर, चितवन

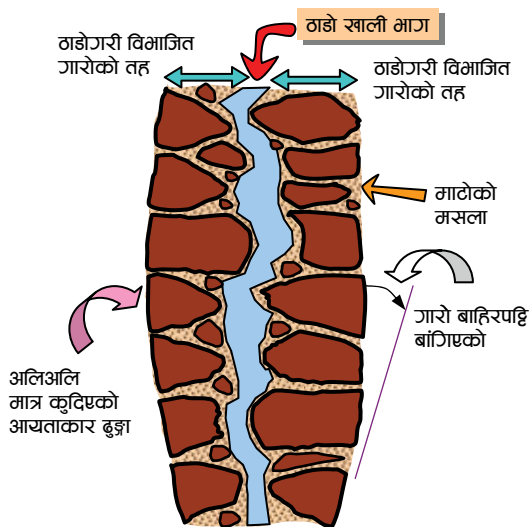
परिमार्जनकर्ता : जितेन्द्र कुमार बोथरा, मियामोटो इन्टरनेशनल, न्यूजिल्यान्ड

यो सामाग्री आइआईटी, कानपुर र वीएमटीपीसीको बौद्धिक सम्पत्ति हो। विषयवस्तु तोडमोड नगरी र कृतज्ञता ज्ञापन सहित यो सामाग्री पुनःप्रकाशन गर्न सकिनेछ। हाम्रो इमेल ठेगाना nicee@iitk.ac.in मा सल्लाह सुझाव पठाउन सक्नुहुनेछ। यो सामाग्री हाम्रो वेबसाइट [www.nicee.org](http://www.nicee.org) वा [www.bmtpc.org](http://www.bmtpc.org) मा हेर्न सकिनेछ।

## ढुङ्गाको गारोवाला घरलाई कसरी भूकम्प प्रतिरोधी बनाउने ?

### भूकम्पमा यसको व्यवहार

स्थानीय स्तरमा सहजै उपलब्ध हुने तथा टिकाउ हुने भएकोले भवन निर्माणको लागि भारत तथा नेपालमा परापूर्व कालदेखि ढुङ्गाको प्रयोग हुँदै आएको छ । यहाँका धेरै ग्रामीण ढाँचाका घरहरूदेखि ऐतिहासिक दरवार र मन्दिरहरू ढुङ्गाबाट बनेका छन् । परम्परागत ग्रामीण ढाँचाको गारोको मोटाई सरदर ६०० मिमिदेखि १२०० मिमि ( २ देखि ४ फिट) सम्मको हुन्छ । यसमा माटोको मसला प्रयोग गरिएको हुन्छ । यी ढुङ्गाहरू ईटा जस्तो ठ्याक्क चारपाटा मिलेका हुँदैनन् । नदीको बगरबाट उठाएर ल्याइएका वा निर्माण स्थल वरपर भेटिएका ढुङ्गा आकार नमिलेका हुन्छन् । त्यसैले ढुङ्गाको गारो ईटाको जस्तो एउटा नियमबद्ध तहमा लगाउनु त्यति सहज हुँदैन । यसरी लगाइएका गारोहरूमा दुइवटा बाहिरी उर्ध्वाधर (जसलाई वाइथ् भनिन्छ) हुन्छन् । सामान्यतया यी उर्ध्वाधर तहहरूको बीचको भागमा ससाना ढुङ्गा र माटो भरिन्छ । ढुङ्गाको गारो कस्तो हुन्छ भन्ने उदाहरण चित्र १६.१ मा देखाइएको छ । यस्ता गारोले धेरै गह्रौं छानाहरू (जस्तै काठका चिप्ट माथि माटोको छाना) धान्दछन् ।



चित्र १६.१ - एक परम्परागत ढुङ्गाको गारोको क्रस सेक्शन - गारो बीचबाट दुई खण्डमा विभाजित हुन्छ ।

सर्वसाधारणलाई यस्ता ढुङ्गाका मोटा गारोहरू एकदमै वलियो लाग्न सक्छ । तर भूकम्प प्रतिरोधी भवनको दृष्टिकोणबाट यसमा भूकम्प प्रतिरोधी क्षमता कम हुन्छ । यसको मुख्य कमजोरी भनेको अत्यधिक मोटो गारो हुनु, एउटा तह र अर्को तहको बीचमा सुदृढ सम्बन्ध नहुनु र ढुङ्गा चारपाटा मिलेको नभई जस्तो पायो त्यस्तै (जस्तै गोलो ढुङ्गा) प्रयोग गरिनु आदि हो । विगतका भूकम्पहरूमा नेपाल, भारत, ग्रीस, इरान, टर्की आदि मुलुकहरूमा यस्ता घरहरूले कमजोर भूकम्प प्रतिरोधी व्यवहार देखाएका प्रशस्त दृष्टान्तहरू छन् । २०७२ सालको गोरखा भूकम्पमा मात्रै करिब ९,००० मानिसको ज्यान गएको थियो जसमध्ये धेरैजसो यस्तै ढुङ्गाको घरमा पुरिएका थिए ।

त्यसैगरी सन् २००१ को भुज (गुजरात) भूकम्पमा करिब १३,८०० मृतकमध्ये अधिकांश यस्तै घरहरू भत्किएर मारिएका थिए ।



(क) मोटो गारो दुई तहमा छुट्टिएको



(ख) असम्बद्ध आसन्न गारोहरू जोर्नीमा छुट्टिएको

चित्र १६.२ परम्परागत ढुङ्गाको गारोवाला घरका मुख्य समस्याहरू- भवनका विभिन्न अङ्गहरू जस्तै गारो, छाना आदि बीचको बन्धनको कमी नै यस्ता घरहरूको असफलताका मुख्य कारण हुन् ।

भूकम्पीय क्षतिको प्रकृतिलाई हेर्दा निम्न कुराहरू देखिन्छ (क) गारोको ठाडो बाह्य तहहरू एक आपसबाट छुट्टिनु र गारो बाहिरपट्टि बाँगिनु (चित्र २ क) (ख) गारोहरू बीचका जोर्नीहरू छुट्टिनु (चित्र १६.२-ख) (ग) कमजोर ढङ्गले बनाइएका छाना गारोबाट छुट्टिनु र अन्ततः खस्नु र (घ) गारोमा ढुङ्गाहरू छुट्टिएर अन्ततः भवन नै ढल्नु ।

### भूकम्प प्रतिरोधी लक्षणहरू :

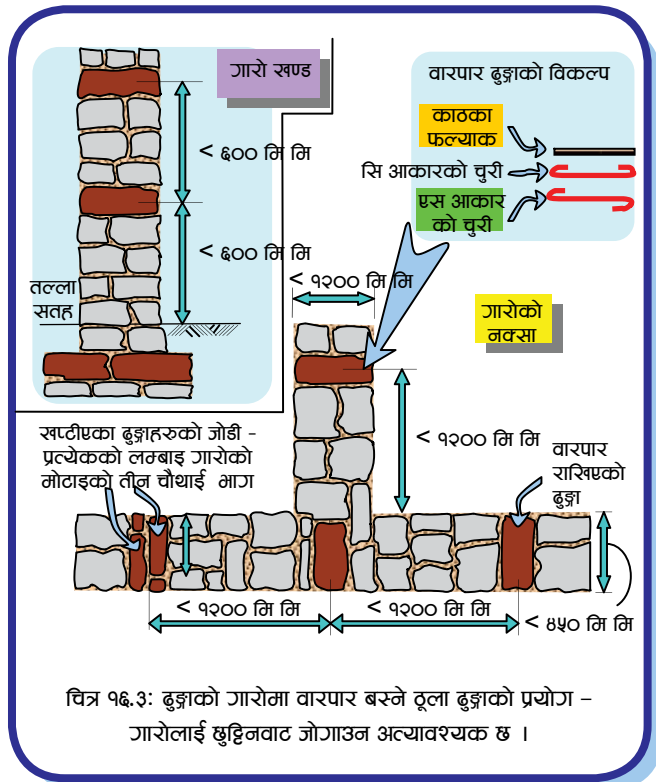
माथि उल्लेख गरिएजस्तो ढुङ्गाको गारोवाला घर भूकम्पीय दृष्टिले कमजोर हुने भएकाले उच्च भूकम्पीय क्षेत्रमा यस्ता घरहरू बनाउनु हुँदैन । भारतीय मापदण्ड आईएसएस् १३८२८-१९९३ र नेपाली मापदण्ड एनवीसी २०२ र एनवीसी २०३ ले विशेष भूकम्प प्रतिरोधी डिजाइन र निर्माण प्रविधिबाट सर्वसाधारणको जिउधनको क्षति न्यूनीकरण गर्न सकिन्छ भन्ने कुरा उल्लेख गरेको छ । तथापी, भूकम्प प्रतिरोधी उपायहरूको अवलम्बनका बावजुद पनि शक्तिशाली भूकम्पले यस्ता घरहरूमा धेरै क्षति पुऱ्याउन सक्दछ । मात्रात्मक रूपमा प्रत्येक भूकम्प प्रतिरोधी लक्षणहरूको योगदानलाई किटान गर्न कठिन हुन्छ तर गुणात्मक रूपमा यिनले भूकम्प प्रतिरोधी भूमिकामा उल्लेख्य सुधार ल्याउन सक्ने कुरा विगतका अनुभवबाट प्रष्ट हुन्छ । यी विशेषताहरू भित्र निम्न कुराहरू पर्दछन् ।

(क) उपयुक्त गारो निर्माणको सुनिश्चितता: गारोको मोटाई ४५० मिमि (१८ इन्च) भन्दा बढी हुनु हुँदैन । निर्माणमा गोलो ढुङ्गाहरूको प्रयोग गर्नु हुँदैन । ढुङ्गालाई हथौडा र छिनो प्रयोग गरी उपयुक्त आकार दिनु पर्दछ । उच्च



भूकम्पीय क्षेत्रमा माटोको मसला प्रयोग गर्नु हुदैन । त्यस्को सट्टा कम्तिमा १ भाग सिमेन्ट ६ भाग बालुवा वा १ भाग चुना ३ भाग बालुवाको मसला प्रयोग गर्न सकिन्छ ।

(ख) गारोको तहहरुको बीचमा बलियो बन्धनको सुनिश्चितता: ढुङ्गाको गारो लगाउँदा एक पटकमा ६०० मिमि (२ फिट) भन्दा अग्लो गारो लगाउनु हुदैन । हरेक ६०० मिमि को उचाइ र १.२ मि को तेर्सो दुरीमा सकेसम्म गारोको मोटाइ बराबरको एउटै ठूलो ढुङ्गा (जसलाई छपनी ढुङ्गा पनि भनिन्छ)ले गारोलाई च्याप्नु पर्दछ, वा एक जोडि ढुङ्गाले गारोलाई यसरी च्याप्नु पर्छ कि प्रत्येक ढुङ्गाले गारोको मोटाइको तीन चौथाई भाग छोपोस् (चित्र १६.३) ।



(ग) तेर्सो सबलीकृत अङ्गको व्यवस्था:

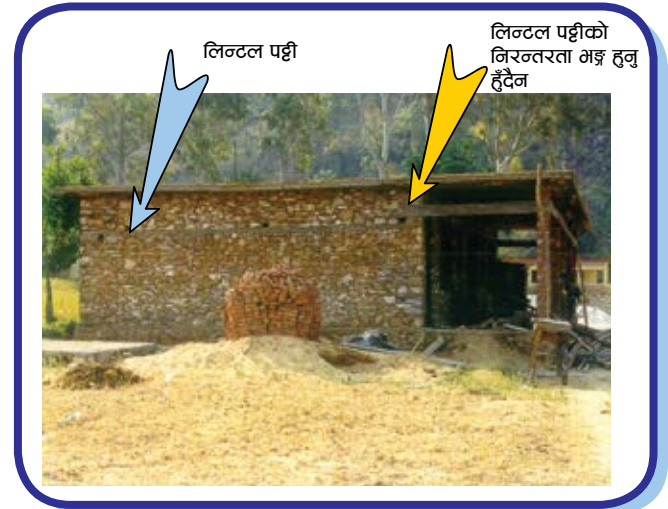
ढुङ्गाले बनेको गारोवाला घरमा तेर्सो पट्टीहरु हुनै पर्दछ (हेर्नुहोस् भूकम्प जानकारी १४ भुईँ, लिन्टल, छाना र चुली गारोको पट्टी) । यी पट्टीहरु आफ्नो आर्थिक अवस्थाको आधारमा काठ वा ढलानको बनाउन सकिन्छ । ढुङ्गाको गारो भएको घरमा प्रत्येक तल्लामा कम्तिमा एउटा पट्टी (लिन्टल वा छाना) दिनै पर्दछ (चित्र १६.४) ।

(घ) समग्र आयाम तथा उचाइमा नियन्त्रण

एउटा गारोदेखि अर्को गारोसम्मको आड बिनाको गारोको लम्बाइ ५ मिटरभन्दा बढी हुनुहुदैन । यदि लामो गारो बनाउनु परेको खण्डमा प्रत्येक ४ मि मा जमिनको सतहबाट नै टेवा गारो (Buttress) दिनु पर्दछ । प्रत्येक तलाको उचाइ ३ मि भन्दा बढी हुनुहुदैन । साधारणतया ढुङ्गाको गारो भएको घर सिमेन्टीको मसलामा जोडाई गरिएको छ भने २ तल्ला र माटो वा चुनाको जोडाई गरिएको छ भने १ तल्लाभन्दा अग्लो बनाउनु हुदैन । गारोको मोटाइ कम्तिमा उचाइको १/६ भाग हुनु पर्दछ (उदाहरण ९ फिट उचाइ छ भने  $9/6 \times 9 = 1.5$  फिट मोटो गारो हुने भयो) ।

ढुङ्गाको गारो भएको घरमा भूकम्पीय दृष्टिले धेरै कम-कमजोरीहरु भए तापनि हाम्रो परम्परागत प्रचलन र किफायती निर्माणले गर्दा आगामी दिनहरुमा पनि यस्ता घरहरुको निर्माण कार्य व्यापक रुपमा जारी

रहने सम्भावना देखिन्छ । तर भविष्यमा हुनसक्ने भूकम्पीय जोखिमबाट मानिसहरुको जिउ- धनको सुरक्षाको लागि माथि (क) र (ख) मा वर्णन गरिएजस्तै निर्माण विधि अवलम्बन गर्नुपर्दछ (विशेष गरी उच्च भूकम्पीय जोखिम क्षेत्रमा) । यसको अलावा माथि (ग) तथा भूकम्प जानकारी-१४मा वर्णन गरिएजस्तै विभिन्न भूकम्पीय पट्टीहरुको प्रयोगलाई जोडदार रुपमा सिफारिश गरिन्छ ।



## सम्बन्धित भूकम्प जानकारी

जानकारी १४: गारोवाला भवनमा तेर्सो पट्टी किन चाहिन्छ ?

## सन्दर्भ सामाग्री

1. NBC 202 (1994), Mandatory Rule of Thumb: Load Bearing Masonry, DUDBC, Government of Nepal
2. NBC 203 (1994), Guideline for Earthquake Resistant Building Construction: Low Strength Masonry, DUDBC, Government of Nepal
3. Brzev, S., Greene, M. and Sinha, R. (2001), "Rubble stone masonry walls with timber walls and timber roof," World Housing Encyclopedia (www.world-housing.net), India/Report 18, published by EERI and IAEE
4. IAEE, (1986), Guidelines for Earthquake Resistant Non-Engineered Construction, The ACC Limited, Thane, 2001 (See www.niceee.org).
5. IS 13828, (1993), Indian Standard Guidelines - Improving Earthquake Resistance of Low-Strength Masonry Buildings, Bureau of Indian Standards, New Delhi
6. Publications of Building Materials and Technology Promotion Council, New Delhi (www.bmtpc.org): (a) Retrofitting of Stone Houses in Marathwada Area of Maharashtra (b) Guidelines For Improving Earthquake Resistance of Housing (c) Manual for Repair and Reconstruction of Houses Damaged in Earthquake in October 1991 in the Garhwal Region of UP

लेखक : सी.वी.आर. मूर्ति, आइआइटी, कानपुर, भारत  
 प्रायोजक : भवन निर्माण सामाग्री र प्रविधि प्रवर्धन परिषद नयाँदिल्ली, भारत  
 अनुवादक : युक्त विलास मरहट्टा, नमूना इन्स्टिट्यूट अफ टेक्नोलोजी, भरतपुर, चितवन  
 परिमार्जनकर्ता : जितेन्द्र कुमार बोथरा, मियामोटो इन्टरनेशनल, न्यूजिल्यान्ड

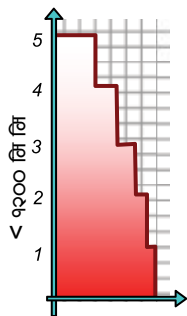
यो सामाग्री आइआइटी, कानपुर र वीएमटीपीसीको बौद्धिक सम्पत्ति हो । विषयवस्तु तोडमोड नगरी र कृतज्ञता ज्ञापन सहित यो सामाग्री पुनः प्रकाशन गर्न सकिनेछ । हाम्रो इमेल ठेगाना nicee@iitk.ac.in मा सल्लाह सुझाव पठाउन सक्नुहुनेछ । यो सामाग्री हाम्रो वेबसाइट www.nicee.org वा www.bmtpc.org मा हेर्न सकिनेछ ।

## भूकम्पले आरसीसी भवनहरूलाई कसरी असर गर्दछ ?

### आरसीसी भवनहरू

आजकाल भारत तथा नेपालमा विशेषगरी शहरी क्षेत्रमा अक्सर आरसीसी भवनहरू बनाइन्छ। आरसीसीमा मुख्य दुई निर्माण सामग्रीहरू हुन्छन् – कंक्रीट र छुट्ट। सिमेन्ट, बालुवा, गिट्टी र पानीलाई निश्चित मात्रामा मिसाएर कंक्रीट तयार गरिन्छ। फर्माको सहायताले कंक्रीटलाई चाहेको आकारमा ढाल्न सकिन्छ। त्यस्तै छुट्टालाई पनि आवश्यकता अनुसार जुनसुकै रूपमा मोड्न सकिन्छ। यसप्रकार सबलीकृत कंक्रीटबाट जटिल आकार प्रकारका संरचनाहरू पनि बनाउन सकिन्छ।

एउटा प्रतिनिधिमूलक आरसीसी भवनमा तेर्सो अङ्गहरू (बिम र छत/भुईँ), ठाडा अङ्गहरू (पिलर र गारो) र जमिनको प्रत्यक्ष सम्पर्कमा रहेको भवनको सबैभन्दा तल्लो भागमा जग हुन्छ। आरसीसी पिलर र बिमको सम्बन्धबाट निर्मित प्रणालीलाई आरसीसी फ्रेम भनिन्छ। यस्तो आरसीसी फ्रेमले भूकम्पीय धक्का प्रतिरोध गर्ने काम गर्दछ। भूकम्पले भवनमा इनर्शिया बल उत्पन्न गर्दछ, जुन भवनको पिण्डमा भर पर्दछ। भवनको पिण्ड बढे इनर्शिया बलपनि बढ्छ, पिण्ड घटे इनर्शिया बल पनि घट्छ। धेरैजसो भवनको पिण्ड भुईँ/छत सतहमा केन्द्रित हुने भएकाले भूकम्पजन्य इनर्शिया बलपनि भुईँ/छतकै सतहमा विकास हुन्छ। यो बल छतबाट बिम, बिमबाट पिलर र पिलरबाट जग हुदै जमिनमा हस्तान्तरण हुन्छ। इनर्शिया बल माथिबाट तलतिर थपिँदै जाने भएकाले तल्लो भागको गारो र पिलरले बढी भूकम्पीय भार बोक्नुपर्ने हुन्छ (चित्र १७.१)। त्यसैले तल्लो भागका गारो र पिलरहरू माथिल्लो भन्दा सुदृढ हुनेगरी डिजाइन गरिन्छ।

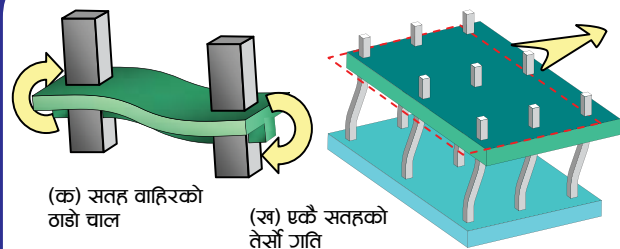


चित्र १७.१ भवनको कुल भूकम्पीय भार माथिबाट तलतिर बढ्दै जान्छ।

### भुईँ (स्ल्याब) र गारोको भूमिका

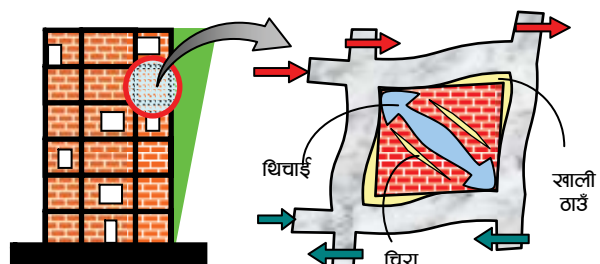
स्ल्याब भनेको एउटा तेर्सो प्लेटजस्तो अङ्ग हो जसले गर्दा भवन उपयोग गर्न सकिन्छ। प्राय एउटा तलाको बिम र भुईँको ढलान एकैचोटी गरिन्छ। आवासीय घरहरूमा छतको मोटाइ १०० देखि १५० मिमिसम्म हुन्छ। भूकम्प गएको वेलामा जब बिम तलमाथी लचकिन्छ, तब सापेक्षिक रूपमा पातला भुईँ वा छत पनि बिमसंगै लचकिन्छन् (चित्र १७.२ क)। तर, जब बिम पिलरसंगै दायाँ-बायाँ चल थाल्छ, भुईँ/छतको ढलानले बिमलाई अक्सर आफूसंगै चल वाध्य गराउँछ। भवनमा आउने भूकम्पीय तेर्सो भारलाई फ्रेम वा गारोमा हस्तान्तरण गर्ने संरचनात्मक अङ्गलाई डायफ्राम भनिन्छ। भुईँ वा छानाको ढलानले डायफ्रामको काम गर्छ। यसरी भार हस्तान्तरण गर्दा ढलान गरिएका भवनहरूमा भुईँ वा छानाको समतल

रूपमा खासै कुनै विरूपण हुँदैन। यस्तो डायफ्रामलाई दृढ डायफ्राम भनिन्छ (चित्र १६.२ ख)। संरचनात्मक डिजाइन गर्दा इन्जिनियरले यो कुरालाई ध्यान दिनु पर्दछ।



चित्र १७.२ भुईँ बिमसंगै मोडिन्छ तर सबै पिलरहरूलाई एकैसाथ चलाउँछ।

आरसीसी भवनको पिलर र भुईँ/छत ढलान गरिसकेपछि तथा कंक्रीट जमेपछि पिलर र भुईँहरूको बीचमा रहेको ठाडो खाली भागमा गारो लगाएर कोठाहरू बनाइन्छ। साधारणतया यी गारोहरूलाई भित्री गारो (पार्टिशन) भनिन्छ। बिम र पिलरसंग यसको मजबूत सम्बन्ध हुँदैन। जब भुईँको सतहमा रहेको पिलरले तेर्सो भार बोक्दछ, तिनीहरू तेर्सो दिशातिर चल खोज्छन् तर गारोहरूले यसलाई रोक्न खोज्छन्। गारोको गह्रौँ भार र मोटाइको कारण यसले उल्लेख्य तेर्सो धक्कालाई आकर्षित गर्दछ (चित्र १७.३)। तथापि गारो भुरो पदार्थबाट बनेको हुनाले तेर्सो भार बहन गर्ने क्षमता नाघ्ने वित्तकै यो चर्किन थाल्दछ। यस अर्थमा विद्युतीय परिपथमा फ्युजले गर्ने काम आरसीसी संरचनामा भित्री गारोले गर्दछ। चर्किनुभन्दा अधिसम्म यसले बिम र पिलरको भार बहन प्रक्रियामा सघाइरहेको हुन्छ। राम्रो गुणस्तरको मसला, ठीक ढङ्गले लगाइएको गारो, पिलर र गारोको बीच भागमा उचित ढंगले राखिएको मसला आदिले गारोको भूकम्पीय भार बहन गर्ने क्षमतामा महत्वपूर्ण भूमिका निर्वाह गर्दछ। तथापी मोटाइको तुलनामा धेरै अग्लो वा लम्बाइ भएको गारो पल्टिन सक्छ जसले ज्यानै लिन सक्छ। त्यस्तै जथाभावी अनियमित तरिकाले गारो लगाउँदा छोटो पिलर असर, भवन बटारिने असर आदि धेरै नकारात्मक असर पर्न सक्छ। यिनका बारेमा हामी आगामी भूकम्प जानकारीमा छलफल गर्नेछौं।



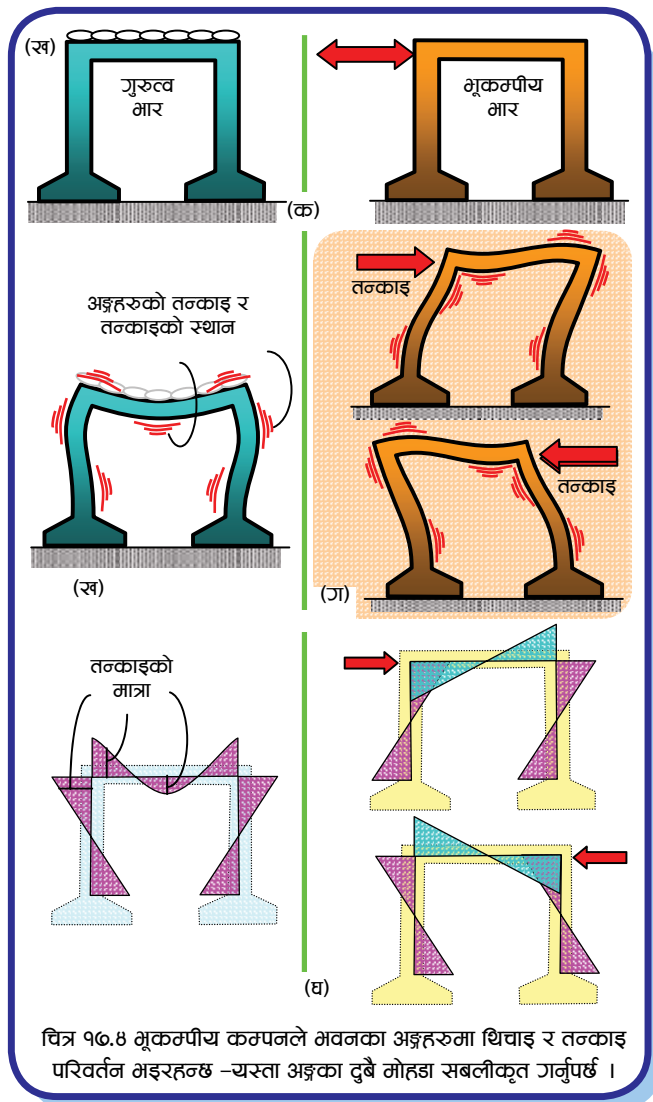
चित्र १७.३ भूकम्पको समयमा गारोहरू पिलरसंगै चल्छन्।

## तेस्रो भूकम्पीय असरहरु फरक हुन्छन्

भवनको गुरुत्व भार (भवनको आफ्नै भार र त्यसका प्रयोगकर्ता लगायत भवनमा भएका अन्य वस्तुहरुको भार) ले सबलीकृत कंक्रीटको फ्रेमलाई लच्काई विभिन्न भागहरुलाई तन्काउने र खुम्च्याउने गरिरहेको हुन्छ । तन्किएको भागमा तन्काइले उत्पन्न हुने तनाव (Tension) र खुम्चिएको भागमा थिचाइको कारणले उत्पन्न हुने दबाव (Compression) को विकास हुन्छ (चित्र १७.४ख) । गुरुत्व भारको प्रभावमा बिमको मध्यभागमा तल्लोपट्टि र बिमको छेउछेउमा माथिल्लोपट्टि तन्किन्छ । तर भूकम्पीय प्रभावमा यस्तो तन्काईको बल पर्ने स्थान फरक हुन्छ, जुन चित्र १७.४ग बाट स्पष्ट हुन्छ । विभिन्न अङ्गहरुमा उत्पन्न यस्ता सापेक्षिक तन्काइका सतहहरु (जसलाई प्रविधिक भाषामा वेन्डिङ मोमेन्ट भनिन्छ) चित्र १७.४घ मा देखाइएको छ । भूकम्पको कारणले उत्पन्न हुने वेन्डिङ मोमेन्ट कम्पनको तीव्रतामा भर पर्दछ र गुरुत्व भारले यसलाई वढाइदिन पनि सक्छ । यसरी शक्तिशाली भूकम्प गएको बेलामा बिमका छेउतिरका भागको तल र माथी दुवैपट्टि तन्काउने बलको विकास हुनसक्छ । कंक्रीटले यस्तो बललाई प्रतिरोध गर्न नसक्ने भएकाले बिमको तल र माथि दुवैभागमा डण्डी राख्नुपर्छ । त्यसैगरी पिलरको पनि सबै मोहडामा डण्डी राख्नु पर्दछ ।

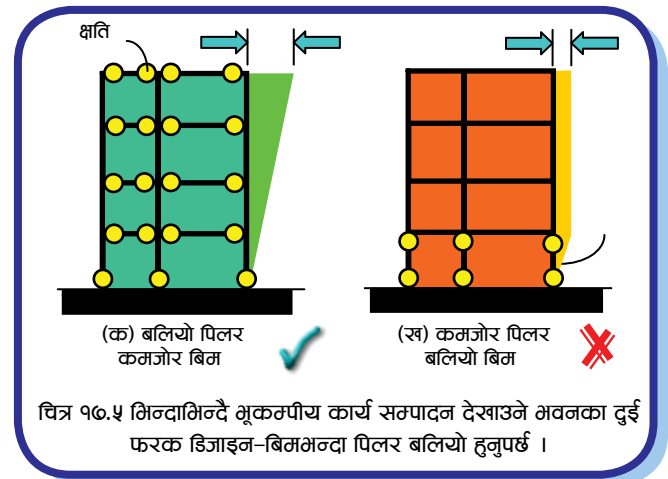
## मजबूत प्राथमिकता क्रम

भूकम्प गएको बेलामा भवन सुरक्षित रहनका लागि बिमभन्दा पिलर (जसले बिमको भार बोक्नु पर्ने हुन्छ) बलियो हुनुपर्दछ र पिलरभन्दा जग (जसले पिलरले दिएको भार बोक्नु पर्ने हुन्छ) बलियो हुनुपर्दछ ।



यसका साथै बिम र पिलर तथा पिलर र जगको जोर्नी प्रशस्त मजबूत हुनुपर्दछ जसले गर्दा बिमले पिलरमा र पिलरले जगमा सजिलैसंग भार हस्तान्तरण गर्न सकोस् ।

डिजाइन गर्दाखेरी नै यो रणनीति अपनाइएको खण्डमा पहिले बिममा नै क्षति पुग्ने सम्भावना हुन्छ (चित्र १७.५क) । बिममा पर्याप्त लचकता आउनेगरी उपयुक्त ढङ्गले डिजाइन गरिएको खण्डमा बिमको क्रमिक क्षतिको बावजूद भवन धेरै भुकेपनि र बिमहरु नराम्ररी क्षतिग्रस्त भएपनि भवन ढलिहाल्दैन । तर यसको विपरित यदि पिलर कमजोर बनाइएको छ भने कुनै एक तलामा पिलरको तल्लो र माथिल्लो भाग नराम्ररी क्षतिग्रस्त हुन्छ (चित्र ५ख) र भवन गर्लामगुलुम ढल्नपनि सक्छ । यद्यपि भवनको माथिल्ला तलाका पिलरहरु केहीपनि नभएका हुन सक्छन् ।



## सान्दर्भिक नेपाली मानक

आरसीसी भवन डिजाइनको लागि नेपाल सरकारले सन् १९९३ मा राष्ट्रिय भवन संहिताको एउटा अङ्गको रूपमा भवनमा भूकम्पीय भार पत्ता लगाउनको लागि एन्विसि १०५: १९९४ तयार पारेको छ । त्यसबाहेक आरसीसी भवनका विभिन्न भागहरुको डिजाइनको लागि इण्डियन कंक्रीट कोड (आइएस ४५६-२०००) र आरसीसी भवनको डक्टाइल डिटेल्डको लागि आइएस १३९२०-१९९३ प्रयोग गरिन्छ ।

## सम्बन्धित भूकम्प जानकारी

जानकारी ५: संरचनाहरुमा भूकम्पीय असरहरु के के हुन् ?

## सन्दर्भ सामाग्री

- Englekirk, R.E., (2003), "Seismic Design of Reinforced and Precast Concrete Buildings", John Wiley & Sons, Inc., USA
- Penelis, G.G., and Kappos, A.J., (1997), "Earthquake Resistant Concrete Structures," E&FN SPON, UK

लेखक : सी.बी.आर. मूर्ति, आइआईटी, कानपुर, भारत  
 प्रायोजक : भवन निर्माण सामाग्री र प्रविधि प्रवर्धन परिषद नयाँदिल्ली, भारत  
 अनुवादक : युक्त विलास मरहट्टा, नमूना इन्स्टिच्यूट अफ टेक्नोलोजी, भरतपुर, चितवन  
 परिमार्जनकर्ता : जितेन्द्र कुमार बोथरा, मियामोटो इन्टरनेशनल, न्यूजिल्यान्ड

यो सामाग्री आइआईटी, कानपुर र बीएमटीपीसीको बौद्धिक सम्पत्ति हो । विषयवस्तु तोडमोड नगरी र कृतज्ञता ज्ञापन सहित यो सामाग्री पुनःप्रकाशन गर्न सकिनेछ । हाम्रो इमेल ठेगाना nicee@iitk.ac.in मा सल्लाह सुझाव पठाउन सक्नुहुनेछ । यो सामाग्री हाम्रो वेबसाईट [www.nicee.org](http://www.nicee.org) वा [www.bmtpc.org](http://www.bmtpc.org) मा हेर्न सकिनेछ ।

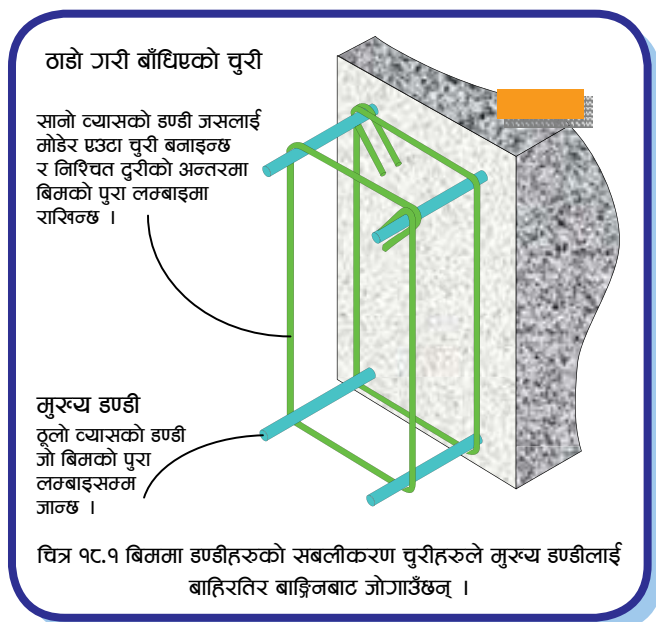


## आरसीसी भवनमा बिमले कसरी भूकम्प प्रतिरोध गर्दछ ?

### सबलीकरण र भूकम्पीय क्षति

आरसीसी भवनमा बिम भवनको तेर्सो अङ्ग र पिलर भवनको ठाडो अङ्ग हो । दुवैलाई समग्रमा एउटै अङ्गको रूपमा निर्माण गरिन्छ । यसरी बिम र पिलर आपसमा मिलेर भवनको भार हस्तान्तरण गर्ने फ्रेम तयार गर्दछन् । बिमले भवनको फ्रेमको एक अङ्गको रूपमा भूकम्पीय धक्कालाई कसरी ग्रहण गर्दछ भन्ने कुरा हामी यो खण्डमा छलफल गर्नेछौं ।

आरसीसी बिममा दुई प्रकारका छडको प्रयोग गरिन्छ (क) लामो सिधा डण्डी वा मुख्य डण्डी (ख) अलि सानो मोटाइको चुरी जसलाई निश्चित दुरीमा बिमको पुरा लम्बाइभरी मुख्य डण्डीलाई बाँध्नको लागि ठाडो गरी राखिन्छ (चित्र १८.१) ।



बिमहरू मुख्य गरी दुई किसिमका विफलता (Failure) बाट गुञ्जन्छन् :

### (क) लक्काईमा विफलन

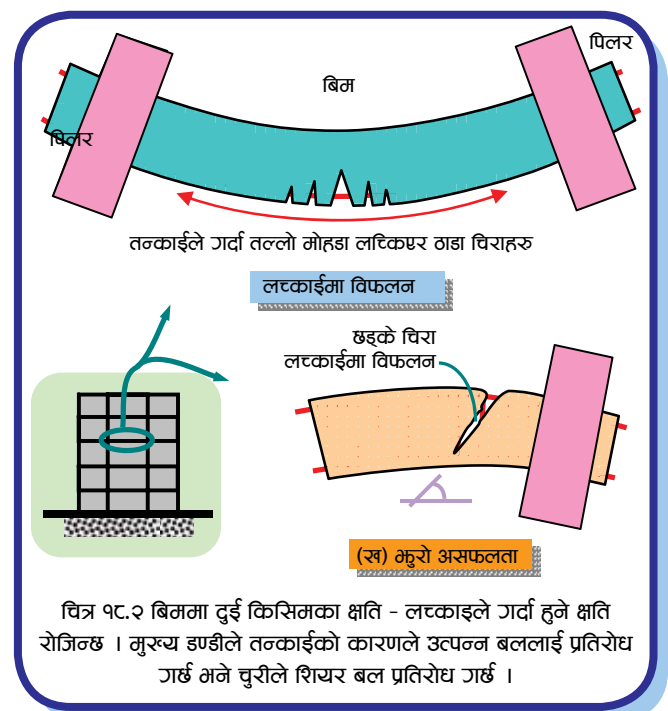
बढ्दो भारको प्रभावमा जब बिम लचकिन वा भोल्लिन थाल्छ, यो दुई प्रकारबाट विफल हुन सक्छ । पहिलो, यदि बिम तन्कने मोहडामा बढी डण्डी राखिएको छ भने खुम्चिएको वा थिचिएको मोहडामा कंक्रीट फुट्छ । यसलाई पदार्थको कडापन वा भुरोपनाले ल्याएको विफलता (Brittle Failure) भनिन्छ । यसरी बिम विफलन हुनु हुदैन । दोस्रो, यदि बिमको तन्कने मोहडामा सापेक्षिक रूपमा कम डण्डी राखिएको छ भने कंक्रीट फुट्नुभन्दा अघि नै डण्डीहरू तन्किन (Yield) थाल्छन् । डण्डी चुडिनुभन्दा अघि धेरै हदसम्म तन्कने क्षमता राख्दछ (हेर्नुहोस भूकम्प जानकारी ९) र बिममा हुने संकुचनको (Compression) पुनर्वितरण प्रक्रिया तबसम्म भइरहन्छ, जबसम्म संकुचनले गर्दा कंक्रीट फुटेर बिम विग्रदैन । यस्तो किसिमको विफलनलाई नरमपना वा लचकताले ल्याएको विफलन (Ductile Failure) भनिन्छ । त्यसैले बिम क्षतिग्रस्त हुँदा पहिलोभन्दा दोस्रो तरिकाबाट क्षतिग्रस्त होओस् भन्ने चाहना राखिन्छ । त्यसैकारणले बिमको तन्कने मोहडामा चाहिनेभन्दा बढी डण्डी राख्नु राम्रो हुँदैन । नरमपनाले ल्याएको विफलतामा बिम तन्किन शुरु भएको सतहदेखि यसको मध्य उचाइसम्म धेरै ठाडा चिराहरू देखिन्छन् ।

### (ख) शियर विफलन

बिमका लामा डण्डी तन्किनुभन्दा पहिले नै यदि बढ्दो भारको प्रभावमा बिम नभोल्लिई वा नलचकिईकनै एकैचोटी चर्किन थाल्यो भने बिमको त्यस्तो विफलनलाई शियर विफलन भनिन्छ । यो विफलन बिम-पिलर जोडीको नजिकै बिमको बीच गहिराइमा शुरु भई सतहसंग ४५ डिग्रीको कोणमा बिमको तलमाथि वारपार चर्केको देखिन्छ (चित्र १८.२ ख) । यस्तो क्षति हटाउनको लागि बिममा नजिक-नजिक चुरी बाँध्नु पर्दछ । चुरीको संख्या कम भएमा यस्तो क्षति हुन्छ । शियर विफलन भुरो (बिना कुनै संकेत बिम एक्कासी चर्केर क्षतिग्रस्त हुने) भएकाले आरसीसी बिम डिजाइन गर्दा कुनैपनि हालतमा यस्तो विफलन आउन दिनुहुदैन ।

### डिजाइन रणनीति

बिम डिजाइन गर्ने भनेपछि यसको लम्बाइ, चौडाइ, गहिराइ कति राख्ने र कस्ता निर्माण सामग्रीहरूको प्रयोग गर्ने (जस्तै डण्डीको श्रेणी, कंक्रीटको श्रेणी) भन्ने कुरा आउँछ । यी कुराहरू वास्तवमा भवनको समग्र डिजाइन रणनीति अन्तर्गत पर्दछन् । बिममा डण्डी कति राख्ने भन्ने कुरा आइएस ४५६ - २००० र आइएस १३९२० - १९९३ वा अन्य उपयुक्त संहिता अनुसार डिजाइन गरी निर्धारण गर्नु पर्दछ ।

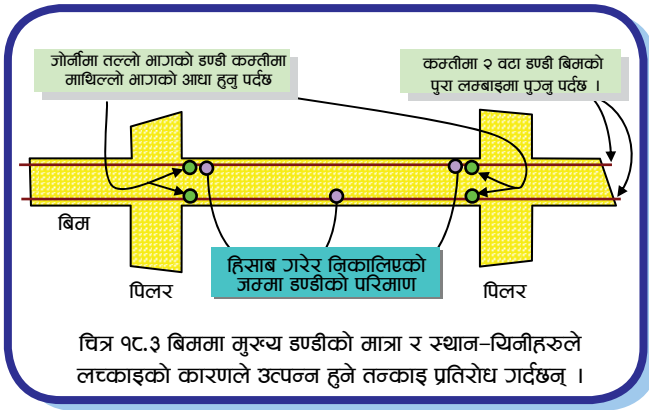


बड्याइको कारणबाट बिमको तन्कने सतहलाई चर्किनबाट जोगाउन मुख्य डण्डीहरू राखिन्छ । भूकम्प गएको वेलामा बिमको तलमाथि दुवै सतह तन्किने भएकोले (भूकम्प जानकारी १७) बिमको छेउछेउमा तल र माथि दुवै भागमा मुख्य डण्डीहरू दिनु पर्दछ (चित्र ३) साथै बिमको लम्बाइको बीच भागमा तलको सतहमा डण्डी राख्नु पर्दछ । डण्डीको विवरण सम्बन्धी भारतीय संहिता आइएस १३९२० - १९९३ ले निम्न कुराहरूको सिफारिश गर्दछ ।

(क) बिमको पुरा लम्बाइभरी कम्तिमा दुइटा तल र दुइटा माथि डण्डी राख्ने पर्दछ ।

(ख) बिमको छेउ-छेउमा तल्लो भागमा राखिएको डण्डी, माथिल्लो भागमा राखिएको डण्डीको कम्तिमा ५० प्रतिशत हुनु पर्दछ ।



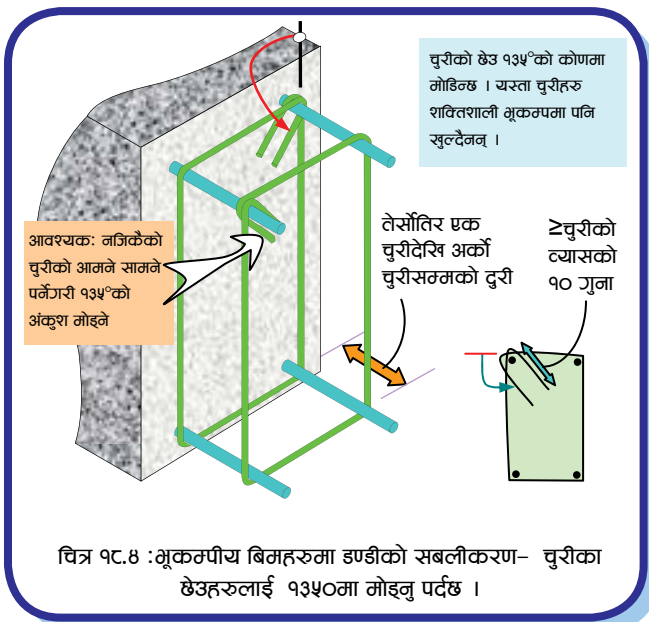


बिममा प्रयोग गरिएको चुरीले निम्न बमोजिम मुख्य तीनवटा काम गर्दछ ।

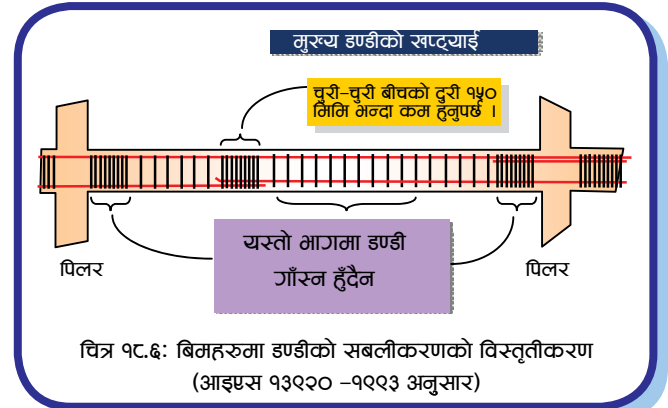
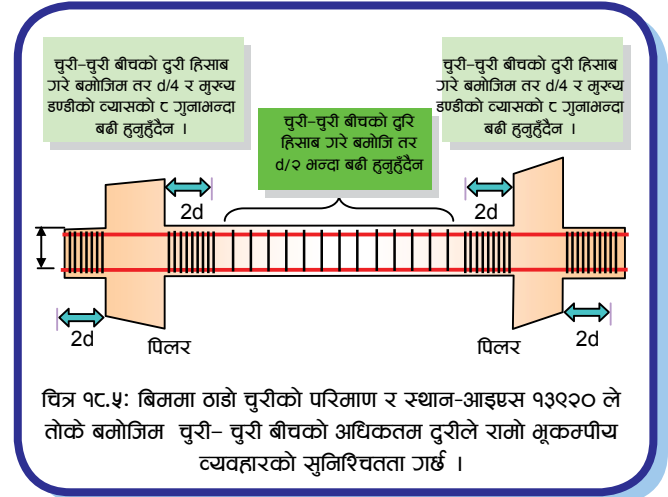
(अ) सिधा माथिबाट आउने शियर बल बहन गरेर बिममा छड्के चिरा पर्नबाट जोगाउँछ (चित्र १८.२) । (आ) बिम लचकँदा यसको कंक्रीटलाई बाहिरपट्टी बाझिनबाट जोगाउँछ । (इ) थिचिएको वा दवाबमा परेका मुख्य डण्डीहरूलाई बाझिनबाट जोगाउँछ । मध्यमदेखि उच्च भूकम्पीय क्षेत्रको लागि भारतीय मापदण्ड आइएस १३९२० -१९९३ ले आरसीसी बिममा प्रयोग गरिने चुरी सम्बन्धी निम्न आवश्यकताहरू सिफारिश गर्दछ ।

- (क) चुरीको मोटाई (व्यास) कम्तिमा ६ मिमि हुनुपर्दछ, ५ मिटरभन्दा बढी लामो बिममा चुरीको व्यास कम्तिमा ८ मिमि हुनुपर्दछ ।
- (ख) चुरीको दुवै छेउ १३५ डिग्रीको कोणमा मोड्नु पर्दछ (चित्र १८.४) र भूकम्प आएको बेलामा चुरी नखुलोस् भन्ने सुनिश्चताको लागि मोडिएका दुई छेउ पर्याप्त लम्बाइको हुनु पर्दछ ।
- (ग) बिमको कुनैपनि भागमा कति कति दुरीमा चुरी बाँध्ने भन्ने कुरा हिसाब गरेर निकालिन्छ ।
- (घ) एक चुरीदेखि अर्को चुरी बीचको अधिकतम दुरी बिमको गहिराईको आधा भन्दा कम हुनुपर्दछ (चित्र १८.५) ।
- (ङ) पिलरको मोहडाबाट बिमको गहिराईको दुई गुना पर सम्म 'घ' मा उल्लेखित दुरीको आधा दुरीको फरकमा चुरी बाँध्नु पर्दछ (चित्र १८.५) ।

फलामे डण्डी प्राय १२-१४ मिटरको लम्बाइमा पाइन्छ । यो भन्दा बढी लामो बिम छ भने छड गाँस्नु पर्ने हुन्छ । गाँसिएको ठाउँमा एउटा डण्डीले अर्को डण्डीलाई ठूलो मात्रामा भार हस्तान्तरण गर्दछ । भारतीय मापदण्ड आइ.एस.१३९२० -१९९३ ले छड गाँस्ने कामका लागि निम्न बमोजिमको सिफारिस र सुभावा पेश गरेको छ ।



(क) मुख्य डण्डीहरू पिलरको मोहडाबाट केही परमात्रै गाँस्नु पर्छ । (ख) त्यस्तो ठाउँमा डण्डी गाँस्नु हुँदैन जहाँ बढी मात्रामा डण्डी तन्किन सक्छ (जस्तो कि बिमको लम्बाइको बीच भागको तल्लो डण्डीहरू) । यसको साथ साथै डण्डी गाँसिएको ठाउँमा चुरीहरू अझ नजिक नजिक बाँध्नु पर्दछ (चित्र १८.६) ।



### सम्बन्धित भूकम्प जानकारी

- जानकारी ९: राम्रो भूकम्पीय कार्य सम्पादनको लागि भवनमा लचकता कसरी ल्याउने ?
- जानकारी १७: भूकम्पले सबलीकृत कंक्रीटका भवनहरूलाई कसरी असर गर्दछ ?

### सन्दर्भ सामग्री

- IS 13920, (1993), "Indian Standard Code of Practice for Ductile Detailing of Reinforced Concrete Structures Subjected to Seismic Forces," Bureau of Indian Standards, New Delhi
- Paulay,T., and Priestley,M.J.N., (1997), "Seismic Design of Masonry and Reinforced Concrete Buildings," John Wiley & Sons, USA
- McGregor,J.M., (1997), "Reinforced Concrete Mechanics and Design," Third Edition, Prentice Hall, USA

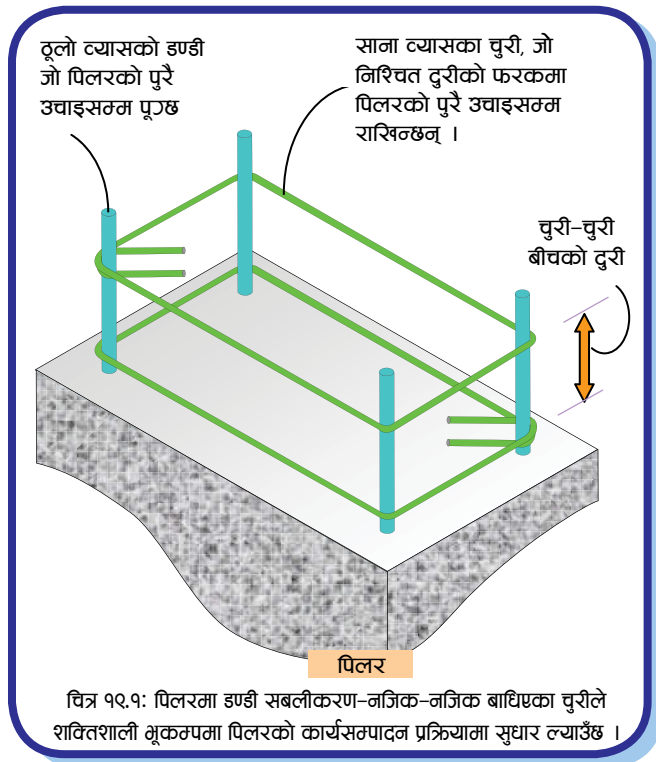
लेखक : सी.बी.आर. मूर्ति, आइआईटी, कानपुर, भारत  
 प्रायोजक : भवन निर्माण सामग्री र प्रविधि प्रवर्धन परिषद नयाँदिल्ली, भारत  
 अनुवादक : युक्त विलास मरहट्टा, नमूना इन्स्टिट्यूट अफ टेक्नोलोजी, भरतपुर, चितवन  
 परिमार्जनकर्ता : जितेन्द्र कुमार बोथरा, मियामोटो इन्टरनेशनल, न्यूजिल्यान्ड

यो सामग्री आइआईटी, कानपुर र बीएमटीपीसीको बौद्धिक सम्पत्ति हो । विषयवस्तु तोडमोड नगरी र कृतज्ञता ज्ञापन सहित यो सामग्री पुनःप्रकाशन गर्न सकिनेछ । हाम्रो ईमेल ठेगाना nicee@iitk.ac.in मा सल्लाह सुझाव पठाउन सक्नुहुनेछ । यो सामग्री हाम्रो वेबसाइट [www.nicee.org](http://www.nicee.org) वा [www.bmtpc.org](http://www.bmtpc.org) मा हेर्न सकिनेछ ।

## आरसीसी भवनमा पिलरले कसरी भूकम्प प्रतिरोध गर्छ ?

### सम्भावित भूकम्पीय क्षति

पिलर आरसीसी भवनको ठाडो अङ्ग हो । यसमा दुई किसिमका डण्डी प्रयोग गरिन्छ । (क) ठाडो गरी राखिएको लामो सिधा डण्डी (मुख्य डण्डी) (ख) अलि सानो मोटाइको चुरी जसलाई निश्चित दूरीमा पिलरको फेददेखि टुप्पासम्म मुख्य डण्डीहरूलाई बाँध्नको लागि तेर्सो गरी राखिन्छ (चित्र १९.१) । पिलरले दुई प्रकारको क्षति व्यहोनुपर्ने हुनसक्छ (१) भार र वङ्ग्याइका (Combined Compression Bending) कारण पिलर चर्किएर भत्किन थाल्छ । पिलरमा हुने यस्तो क्षतिलाई कक्षीय लचकताको विफलन (Compression Bending) भनिन्छ । (२) शियर विफलन । यो विफलन भूरो हुन्छ, त्यसैले पिलरमा यस्तो किसिमको विफलता आउने दिनु हुँदैन । यस प्रकारबाट हुने क्षति न्यूनीकरण गर्न नजिक-नजिक चुरी बाँध्नुपर्छ (चित्र १९.२ ख) ।



### डिजाइन रणनीति

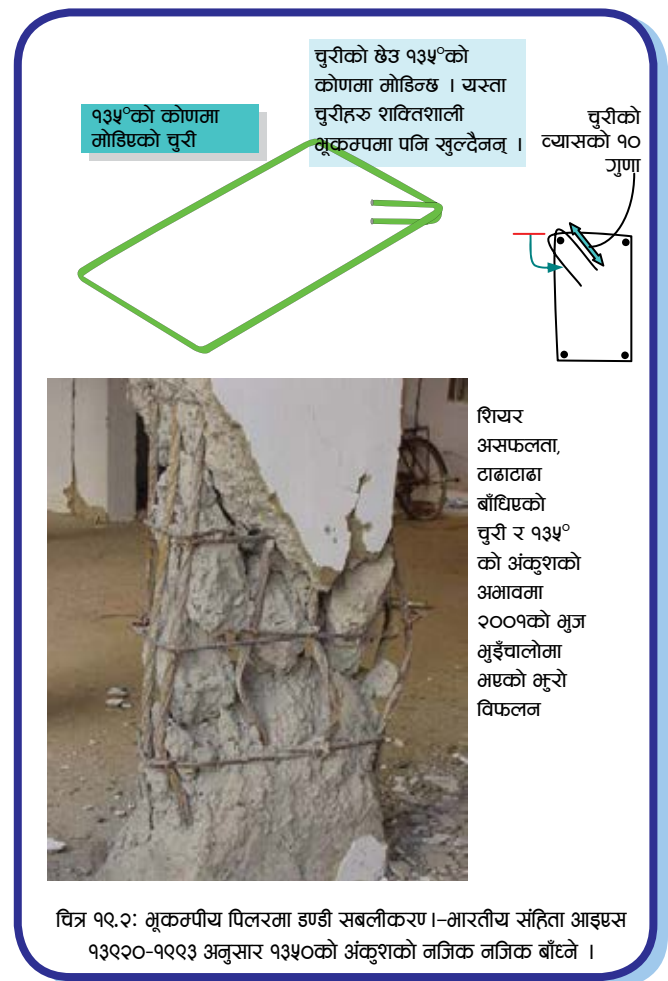
पिलर डिजाइन गर्दा निर्माण सामग्रीको छनौट (जस्तो कि कंक्रीट र डण्डीको श्रेणी) देखि पिलरको आकारप्रकार र डण्डीको परिमाण निर्धारण गर्ने कुराहरु आउँछन् । यीमध्ये पहिलो दुईपक्ष समग्र भवन डिजाइन रणनीतिकै एक हिस्सा हो । भारतीय संहिता आईएस १३९२० - १९९३ अनुसार पिलर कम्तिमा ३०० मिमि चौडा हुनुपर्छ । यदि पिलरको टेवा वा आडविहिन लम्बाइ ४ मिटरभन्दा कम र बिमको लम्बाइ ५ मिटरभन्दा कम छ भने २०० मिमिसम्म चौडाइ भएको पिलर प्रयोग गर्न सकिन्छ । पिलर भूकम्प प्रतिरोधी बनाउनका लागि कुशलतापूर्वक ठाडो छडहरु र चुरीका छडहरुको ब्यास छनौट गरी यसरी डिजाइन गर्नुपर्दछ जसले गर्दा पिलरलाई शियर विफलनबाट जोगाउन सकियोस् ।

### ठाडो डण्डीलाई चुरीले बाँध्ने

पिलरको ठाडो डण्डीलाई नजिक-नजिकको दूरीमा बाँध्ने चुरीले मुख्य तीनवटा काम गर्दछ । (१) भूकम्प गएको बेलामा उत्पन्न हुने तेर्सो धक्का

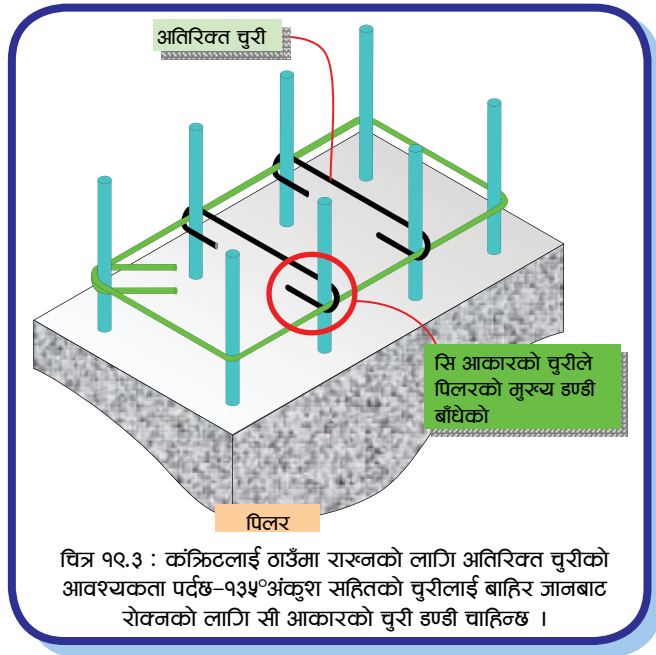
ग्रहण गरी पिलरलाई सम्भाव्य छड्के चिराबाट जोगाउनु । (२) ठाडो डण्डीलाई बाँधी अत्याधिक बाझिनबाट जोगाउनु । (३) पिलरको कंक्रीटलाई पिलरभित्रै चुरीहरुमाभ अड्याइराख्नु । चुरीको दुवै छेउ १३५ डिग्रीको कोणमा मोडेर मुख्य डण्डीलाई अंकुश लगाउनु पर्छ (चित्र १९.२) । यस्तो अंकुश पर्याप्त लम्बाइको हुनुपर्छ ताकि भूकम्प धक्काले यो नखुलोस्, पिलरको कंक्रीट नफुटोस् र पिलर वा डण्डी नवाझियोस् ।

भारतीय मापदण्ड आईएस १३९२०-१९९३ ले भूकम्प प्रतिरोधी पिलर निर्माण सम्बन्धि निम्न विवरण सिफारिश गरेको छ :



- (क) पिलरको फेद र टुप्पाको वरपर नजिकमा चुरी बाँध्नुपर्छ । वरपर भन्नाले चारपाटे पिलरको ठूलो आयाम (Larger Dimension), वा पिलरको उचाइको  $1/6$  वा  $450$  मिमिमध्ये सबैभन्दा लामो जुन छ, त्यति लम्बाइलाई सम्झनुपर्छ ।
- (ख) बिम पिलर जोर्नीबाट तल वा माथि (क) मा उल्लेखित एक चुरीदेखि अर्को चुरी सम्मको दूरी  $D/4$  भन्दा बढी हुनुहुँदैन । जहाँ  $D$  भनेको चारपाटे पिलरको सानो आयाम (चौडाइ) हो । तथापी एक चुरीदेखि अर्को चुरीसम्मको दूरी  $45$  मिमिभन्दा कम हुन जरुरी छैन र  $100$  मिमि भन्दा बढी पनि हुनुहुँदैन । पिलरको अन्य भागमा चुरीको दूरी हिसाब गरेर राखिन्छ तर  $D/2$  भन्दा बढी हुनु हुँदैन ।
- (ग) चुरी बनाउँदा  $135$  डिग्रीको कोणमा मोडिएका छेउको अंकुश, चुरी डण्डीको व्यासको कम्तिमा  $10$  गुणा हुनु पर्दछ । मोडिएको अंकुशको लम्बाइ  $45$  मिमि भन्दा कम हुनु हुँदैन ।

भवन निर्माण गर्ने क्रममा बनाइने नक्सामा चुरी सम्बन्धी विस्तृत र स्पष्ट नक्सा समावेश गर्ने हो भने निर्माण स्थलमा यसको प्रभावकारी कार्यान्वयनमा सहयोग पुग्ने देखिन्छ। यदि पिलरमा कुना/कुनाको डण्डीको दुरी ३०० मिमिभन्दा बढी छ भने भारतीय मापदण्डले १८० डिग्रीको कोणमा मोडिएको अंकुश सहितको अतिरिक्त बन्धनको सिफारिश गर्दछ। त्यस्ता बन्धन चुरीकै लागि प्रयोग गरिने डण्डीलाई छेउछेउमा १८० डिग्रीमा (लगभग अंग्रेजी अक्षर सी जस्तो आकारमा) बड्ग्याई पिलरको मोहडाको दुईओटा ठाडो डण्डीलाई चित्र ३ मा जस्तो गरी बाँधिन्छ। यसले कंक्रीटलाई ठाँउमा राख्नुको साथै मुख्य डण्डीलाई बाङ्गिनबाट पनि जोगाउँछ। निर्माण स्थलमा यसको कार्यान्वयनको लागि विशेष ध्यान दिनुपर्ने आवश्यकता देखिन्छ।



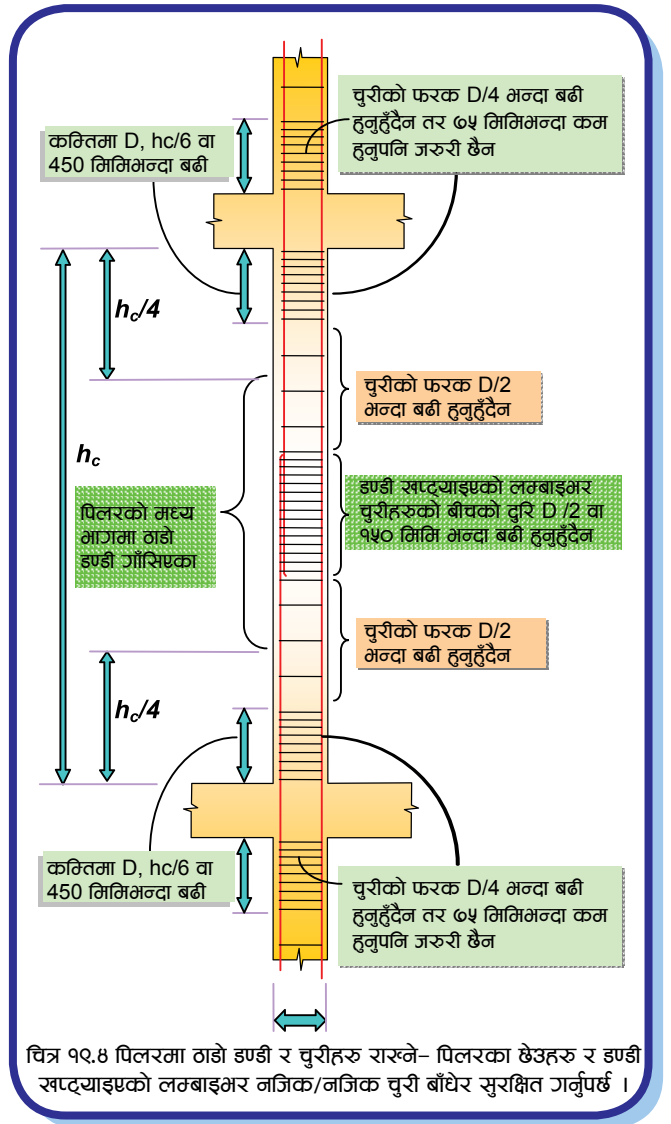
### ठाडो डण्डीको गाँसाइ

डण्डीहरु सिमित लम्बाइका मात्र उपलब्ध हुने र अन्य निर्माण सम्बन्धी कठिनाईहरुले गर्दा आरसीसी भवनहरुमा पिलरका डण्डीहरु गाँस्नुपर्ने हुन्छ। डण्डीहरु गाँस्ने सामान्य नियम के छ भने गाँस्ने दुइटो डण्डीहरुलाई निश्चित लम्बाइसम्म खप्ट्याउनु पर्छ जसलाई खप्ट्याइने लम्बाइ भनिन्छ। खप्ट्याइने लम्बाइ डण्डी र कंक्रीटको किसिममा भर पर्छ। सामान्य अवस्थामा खप्ट्याइने लम्बाइ, डण्डीको मोटाइको ५० गुना हुन्छ। यसको अतिरिक्त आइएस १३९२०-१९९३ को सिफारिश अनुसार पिलरको डण्डी पिलरको बीचतिरको भागमा मात्र गाँस्दा पाइन्छ, पिलरको फेद वा टुप्पोको वरपर हैन (चित्र १९.४)। डण्डीहरु गाँस्दा कुनैपनि तल्लामा पिलरमा भएका जम्मा ठाडो डण्डीहरुको एक पटकमा आधा डण्डीमात्रै गाँस्नु पाइन्छ। यसको अलावा डण्डी खप्ट्याइएको भागमा चुरी १५० मिमि भन्दा बढी फरकमा बाँध्नु हुँदैन।

### सम्बन्धित भूकम्प जानकारी

जानकारी १७: भूकम्पले सवलीकृत कंक्रीटका भवनहरुलाई कसरी असर गर्दछ ?

जानकारी १८: आरसीसी भवनमा बिमले कसरी भूकम्प प्रतिरोध गर्दछ ?



### सन्दर्भ सामाग्री

1. IS 13920, (1993), "Indian Standard Code of Practice for Ductile Detailing of Reinforced Concrete Structures Subjected to Seismic Forces," Bureau of Indian Standards, New Delhi
2. Paulay, T., and Priestley, M.J.N., (1992), "Seismic Design of Masonry and Reinforced Concrete Buildings," John Wiley & Sons, USA

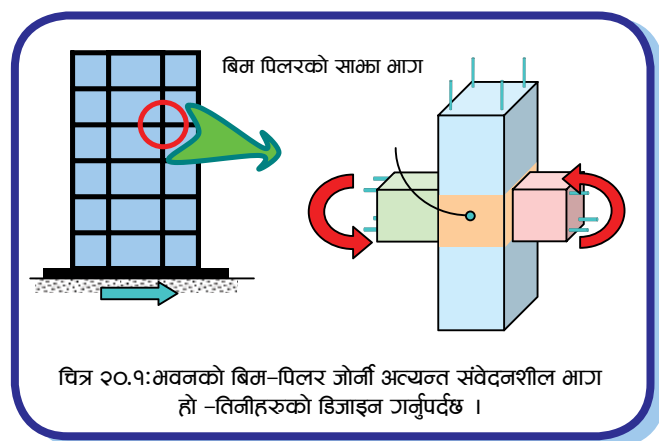
लेखक : सी.वी.आर. मूर्ति, आइआईटी, कानपुर, भारत  
 प्रायोजक : भवन निर्माण सामाग्री र प्रविधि प्रवर्धन परिषद नयाँदिल्ली, भारत  
 अनुवादक : युक्त विलास मरहट्टा, नमूना इन्स्टिट्यूट अफ टेक्नोलोजी, भरतपुर, चितवन  
 परिमार्जनकर्ता : जितेन्द्र कुमार बोधरा, मियामोटो इन्टरनेशनल, न्यूजिल्यान्ड

यो सामाग्री आइआईटी, कानपुर र वीएमटीपीसीको बौद्धिक सम्पत्ति हो। विषयवस्तु तोडमोड नगरी र कृतज्ञता ज्ञापन सहित यो सामाग्री पुनःप्रकाशन गर्न सकिनेछ। हाम्रो ईमेल ठेगाना nicee@iitk.ac.in मा सल्लाह सुझाव पठाउन सक्नुहुनेछ। यो सामाग्री हाम्रो वेबसाईट [www.nicee.org](http://www.nicee.org) वा [www.bmtpc.org](http://www.bmtpc.org) मा हेर्न सकिनेछ।

## આરસીસી ધવનમા ચિમ પિલર જોનીલે કસરી ભૂકમ્પ પ્રતિરોધ ઝર્દશ્ ?

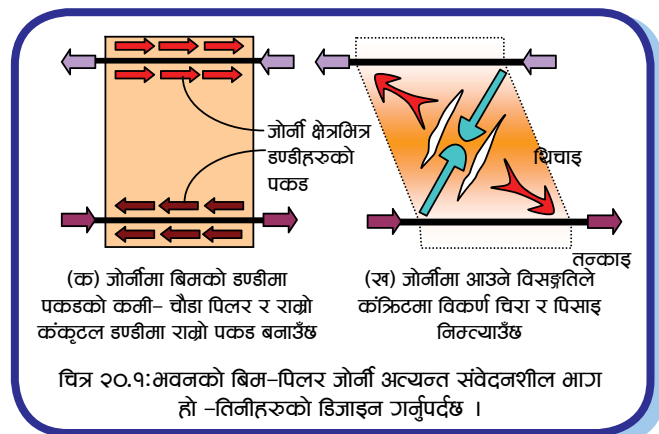
बिम पिलर जोर्नीको विशेषता के छ ?

आरसीसी भवनमा बिम र पिलर जोडिने ठाउँमा पिलरको केही भाग बिममा पर्छ, अर्थात सो ठाउँ बिम र पिलरको साझा अङ्ग बनेको हुन्छ । उक्त साझा भागलाई बिम-पिलर जोर्नी भनिन्छ (चित्र २०.१) । यसमा प्रयोग गरिएका निर्माण सामग्रीहरुको सीमित क्षमताका कारण जोर्नीको भार बहन क्षमता सीमित हुन्छ । भूकम्प गएको वेलामा जब क्षमताभन्दा बढी भार पर्दछ, यी जोर्नीहरु गम्भीर रुपमा क्षतिग्रस्त हुन्छन् । क्षतिग्रस्त जोर्नीहरु मर्मत गर्नु ज्यादै कठिन काम भएकाले यस्ता भागमा क्षति हुनै दिनुहुदैन । त्यसैले बिम पिलर जोर्नी भूकम्प प्रतिरोध गर्न सक्नेगरी डिजाइन गर्न पर्दछ ।



## जोर्नीको भुक्तम्पीय व्यवहार

भूकम्पले भवनलाई हल्लाएको वेलामा जोर्नी वरपरका बिम एकै दिशातर्फ घुम्न खोज्छन् (घडीको सुई घुम्ने दिशातर्फ वा त्यसको उल्टो दिशामा) । बिमलाई घुमाउन खोज्ने बललाई मोमेन्ट भनिन्छ । मोमेन्टको कारणले बिम पिलर जोर्नीका माथिल्ला डण्डीहरु एउटा दिशातर्फ र तल्लो डण्डीहरु त्यसको विपरित दिशातर्फ तान्निन्छन् (चित्र २०.२ क) । यस्तो बललाई कंक्रीट-छड बीचको मजबूत पकडको फलस्वरूप विकसित प्रतिरोधक बलले संतुलित गर्दछ । यदि पिलरको चौडाइ पर्याप्त छैन वा कमसल खालको कंक्रीट प्रयोग गरिएको छ भने डण्डीमा कंक्रीटको पकड कमजोर

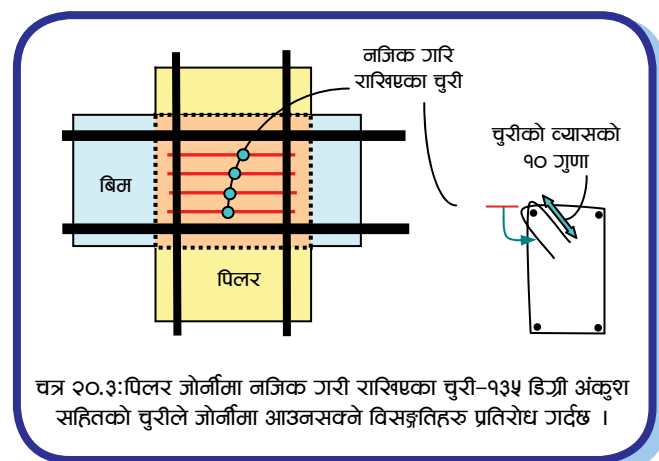


हुन्छ । यस्तो अवस्थामा जोर्नीभित्र डण्डी चिप्लिन्छन् र बिमले आफ्नो भार बहन क्षमता गमाउँछ ।

त्यसैगरी माथि उल्लेखित जोर्नीको तल र माथिको तान्ने—धकेल्ने बलको प्रभावले जोर्नीको आकारै विग्रिन सक्छ । जोर्नीमा एउटा विकर्ण तन्किने र अर्को विकर्ण थिच्चिएर छोट्टिने हुन्छ (चित्र २०.२ ख) । यदि पिलरको लम्बाइ र चौडाइ प्रयाप्त मात्रामा छैन वा पिलर सानो छ वा जोर्नी कमजोर छ भने जोर्नीमा छड्के चिरा देखिन्छ ।

## बिम-पिलर जोर्नीको सबलीकरण

जोर्नीमा छड्के चिरा पर्ने वा कर्कट फुटने समस्या दुई तरिकाबाट नियन्त्रण गर्न सकिन्छ : (१) ठूलो आकारका पिलर बनाएर (२) जोर्नीभित्र पिलरको डण्डीको वरिपरि नजिक-नजिक चुरी बाँधेर (चित्र २०.३) । चुरीले जोर्नीमा कर्कटलाई एकत्रित रूपमा राख्न मदत गर्छ र शियर बललाई प्रतिरोध गरी कर्कट चर्किन र फुटनबाट जोगाउँछ ।

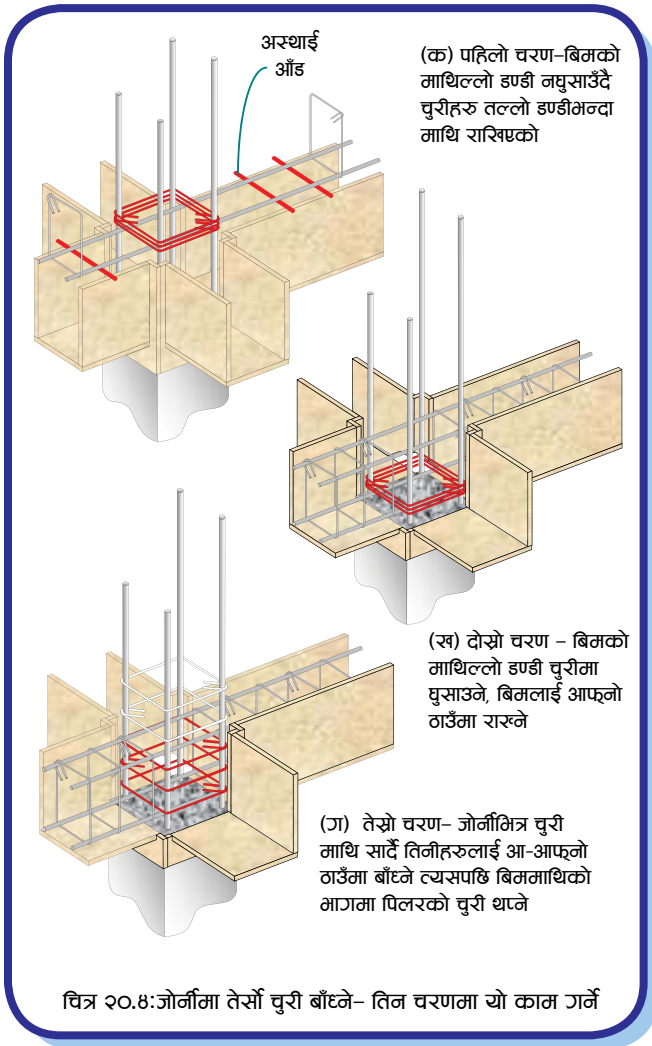


जोनीमा चुरी बाँध्न अलिक बढी मेहनत गर्नु पर्दछ । भारतीय मापदण्ड आइएस १३९२०-१९९३ ले पिलरमा तलदेखि बाँध्नै ल्याएको चुरीलाई बिम-पिलर जोनीभित्र निरन्तरता दिन सुझाव दिन्छ । व्यवहारमा यो डण्डीहरुको पिँजडा (लामो डण्डीहरु र चुरीहरु) बिमको माथि भुईँको फर्माको सतहमा पहिले बनाएर त्यो पिँजडालाई बिमको फर्माभित्र बिस्तारै फारेर गर्न सकिन्छ । चित्र २०.४-क र २०.४-ख बाट यो प्रक्रिया स्पष्ट हुन्छ । तर यदि बिमहरु लामो र जोनीमा धेरैतिरबाट आएका डण्डीहरुको भार धेरै छ भने यो विधि सधैं सम्भव नहुनपनि सक्छ ।

बिमको डण्डी अड्काउने

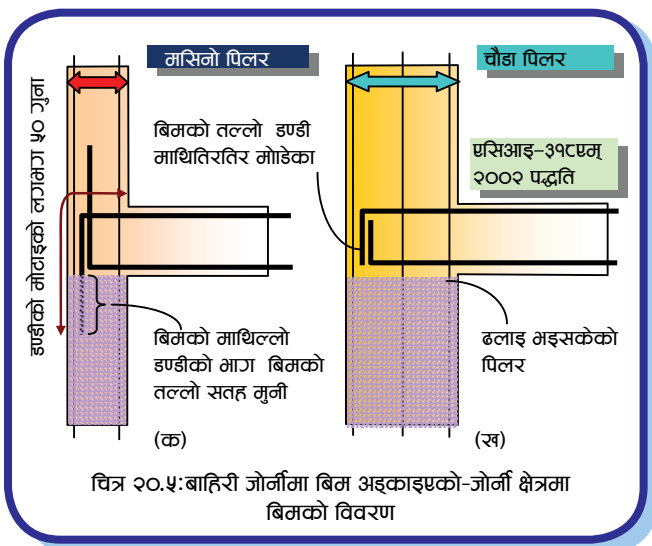
जोर्नीमा बिमको पकड मजबुत पार्नका लागि सबैभन्दा पहिले त पिलरको आकार मनासिव रुपमा ठूलो हुनुपर्छ । भूकम्प जानकारी १९ मा बताइएजस्तै ५ मिटरभन्दा लामो बिम बोक्ने पिलर वा ४ मिटरभन्दा अग्लो पिलरका लागी उच्च भूकम्पीय क्षेत्रमा बिम कम्तिमा ३००×३०० मिमि को हुनुपर्दछ । अमेरिकन क्रिकेट इन्स्टिच्यूटका अनुसार पिलरको चौडाइ कम्तिमा पनि बिमको सबैभन्दा मोटो मुख्य डण्डीको व्यासको २० गुणा हुनुपर्दछ । बिमको मुख्य डण्डी भन्नाले जोर्नीको वरपरको बिमको मुख्य डण्डी हो ।



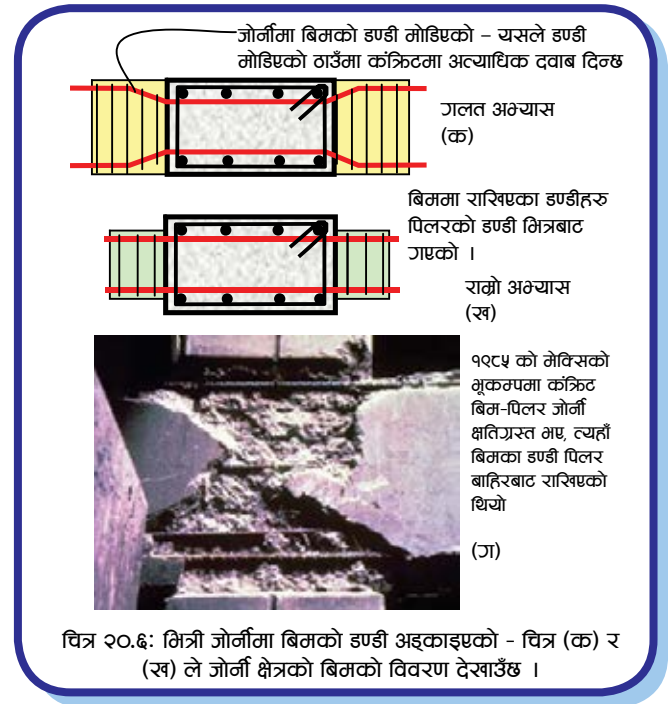


बिम गएर पिलरमा टुङ्गिने डण्डीको बाह्य जोर्नीमा (चित्र २०.५) मजबूत पकड सुनिश्चित गर्नका लागि बिमको मुख्य डण्डी बढ्याएर पिलरमा अड्काउनु पर्छ । Fe 415 (४१५ MPa को तन्काइ धान्न सक्ने) श्रेणीको डण्डीलाई यसको मोटाइको करिब पचास गुणा बढ्याउनु पर्छ । यो लम्बाइ पिलरको मोहडाबाट बढ्याइएको डण्डीको टुप्पो सम्म नापिन्छ ।

यदि पिलरको चौडाइ सानो छ र बिमको डण्डी मोटो छ भने चित्र-२०.५ क मा देखाईएभैं बिमको माथिल्लो भागको मुख्य डण्डी बिमको मुन्तिरको पिलरमा लुकाउनु पर्छ जुन निकै कठिन काम हो । यदि पिलरको आकार



ठूलो छ भने बिमको डण्डी यतिधेरै बढ्याउनु पर्दैन (चित्र २०.५ ख) । यसैले ठूलो पिलर हरेक दृष्टिकोणबाट उपयुक्त देखिन्छ । यस्तो तरिका अमेरिकी संहिता (एसिआइ ३१८ एम् २००२) मा प्रयोग गरिएको छ । भित्री जोर्नीहरुमा बिमका मुख्य डण्डीहरु (तल्लो र माथिल्लो दुवै) कतैपनि नकाटी सरासर वल्लो छेउदेखि पल्लो छेउसम्म पुग्न पर्दछ । जोर्नी क्षेत्रमा मुख्य डण्डीहरु गाँस्नु हुँदैन । यी डण्डीहरु पिलरका डण्डीहरुको भित्रपट्टि तर बनइग्याईकन सिधा राख्नु पर्दछ (चित्र २०.६) ।



## सम्बन्धित भूकम्प जानकारी

- जानकारी १७: भूकम्पले सबलीकृत कंक्रीटका भवनहरुलाई कसरी असर गर्दछ ?
- जानकारी १८: आरसीसी भवनमा बिमले कसरी भूकम्प प्रतिरोध गर्दछ ?
- जानकारी १९: आरसीसी भवनमा पिलरले कसरी भूकम्प प्रतिरोध गर्छ ?

## सन्दर्भ सामग्री

1. ACI 318, (2005), "Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary," American Concrete Institute, USA
2. IS 13920, (1993), "Indian Standard Code of Practice for Ductile Detailing of Reinforced Concrete Structures Subjected to Seismic Forces," Bureau of Indian Standards, New Delhi
3. SP 123, (1991), "Design of Beam-Column Joints for Seismic Resistance," Special Publication, American Concrete Institute, USA

लेखक : सी.वी.आर. मूर्ति, आइआईटी, कानपुर, भारत  
 प्रायोजक : भवन निर्माण सामग्री र प्रविधि प्रवर्धन परिषद नयाँदिल्ली, भारत  
 अनुवादक : युक्त विलास मरहट्टा, नमूना इन्स्टिच्यूट अफ टेक्नोलोजी, भरतपुर, चितवन  
 परिमार्जनकर्ता : जितेन्द्र कुमार बोथरा, मियामोटो इन्टरनेशनल, न्यूजिल्यान्ड

यो सामग्री आइआईटी, कानपुर र बीएमटीपीसीको बौद्धिक सम्पत्ति हो । विषयवस्तु तोडमोड नगरी र कृतज्ञता ज्ञापन सहित यो सामग्री पुनःप्रकाशन गर्न सकिनेछ । हाम्रो ईमेल ठेगाना nicee@iitk.ac.in मा सल्लाह सुझाव पठाउन सक्नुहुनेछ । यो सामग्री हाम्रो वेबसाईट [www.nicee.org](http://www.nicee.org) वा [www.bmtpc.org](http://www.bmtpc.org) मा हेर्न सकिनेछ ।

## भवनमा भुईँ तल्लाको खुल्ला भागले कसरी भूकम्पीय संकट निम्त्याउँछ ?

### आधारभूत लक्षणहरू

नेपाल तथा भारतका शहरी क्षेत्रमा पिलरवाला भवनहरूको प्रयोग दिनानुदिन बढ्दै छ । यसरी बनेका मुख्यतया: व्यवसायिक भवनहरूमा गाडी राख्नको लागि भुईँतल्लाको भाग खुल्ला राख्ने गरेको पाइन्छ (चित्र २१.१) । अर्थात भुईँतल्लामा पिलरहरूको बीचमा पार्टिशन गारो (ईटा वा कंक्रीटको) लगाइएको हुँदैन । यस्ता घरलाई खुला भुईँतल्ले भवन वा स्टिल्ट मा बनेको भवन (Building on Stilt) पनि भनिन्छ ।



चित्र २१.१ : आरसीसी भवनका भुईँतल्ला पार्किङको लागि खुल्ला छाडिएको । भारतका शहरी क्षेत्रहरूमा सामान्यतया यस्तो गरिन्छ ।

खुल्ला भुईँतल्ले भवनहरूको भुईँतल्लामा पिलरमात्र र माथिल्लो तल्लामा पिलर र पार्टिशन गारो दुवै हुन्छ । यस्ता भवनका विशेषताहरू निम्नानुसार हुन्छन् ।

- (क) यस्तो भुईँतल्ला तुलनात्मक रूपमा बढी लचकदार हुन्छ । अर्को शब्दमा माथिल्लो तल्लाहरूको तुलनामा भुईँ तल्लाको तेर्सो बिस्थापन बढी हुन्छ । यस्तो किसिमको लचकदार भुईँतल्लालाई लुलो तला (Soft Storey) पनि भनिन्छ ।
- (ख) तुलनात्मक रूपमा यसको भुईँतल्ला कमजोर हुन्छ । अर्थात भुईँतल्लाले बहन गर्न सक्ने तेर्सो भूकम्पीय धक्का माथिल्लो तल्लाले बहन गर्न सक्नेभन्दा निकै कम हुन्छ । यसप्रकार खुला भुईँतल्ला कमजोर तल्ला (weak storey) पनि हुनसक्छ ।

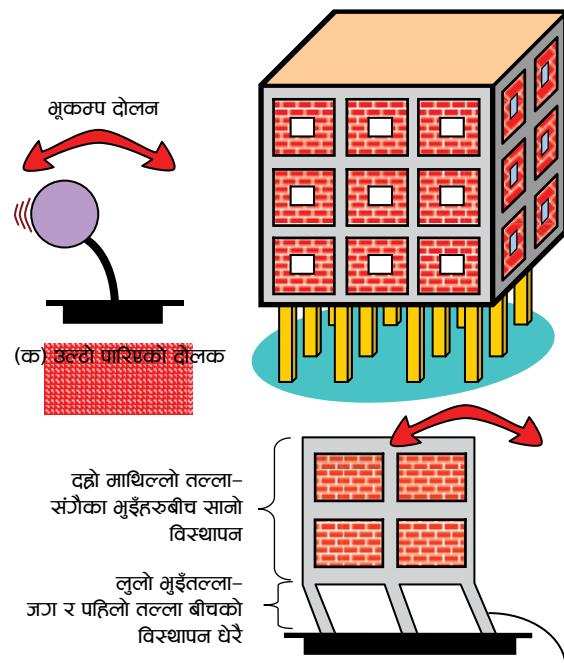
सामान्यतया खुल्ला भुईँतल्ले भवनलाई लुलो तल्ला भवन भनिन्छ, यद्यपि भुईँतल्ला लुलो र कमजोर दुवै हुनसक्छ । सामान्यतया कमजोर वा लुलो तल्ला भुईँतल्ला नै हुने गर्छ तर यस्तो अन्य तल्लाहरूमा पनि हुनसक्छ ।

### भूकम्पीय व्यवहार

विगतमा विश्वका विभिन्न भागमा गएका भूकम्पले भवनमा पुर्‍याएको क्षतिको प्रकृतिलाई अध्ययन गर्दा खुल्ला भुईँतल्ले भवनले निरन्तर रूपमा कमजोर व्यवहार देखाएको पाइन्छ । उदाहरणको लागि सन् १९९९ को टर्की, १९९९ कै ताइवान, २००३ को अल्जेरिया र २०१५ को नेपाल भूकम्पमा उल्लेख्य संख्याका यस्ता घरहरू भत्किएका थिए । हालका वर्षहरूमा नेपाल र भारतमा ठूलो संख्यामा यस्ता घरहरू बनिरहेका छन् ।

उदाहरणका लागि अहमदावादमा मात्र पनि करिब २५०० पाँच तल्ले र करिब १५०० एघार तल्लेमध्ये धेरै खुल्ला भुईँतल्ले भवन छन् । यस्ता खालका भवनहरू भूकम्पीय दृष्टिले उच्च जोखिम भएका क्षेत्रहरूमा पनि प्रशस्तै बनेका छन् । सन् २००१ मा गुजरातको भुजमा गएको भूकम्पमा एपिसेन्टरबाट २५५ किलोमिटर पर रहेको अहमदावादमा १०० भन्दा बढी खुल्ला भुईँतल्ले आरसीसी पिलरवाला घर लडेका थिए । यसबाट प्रष्ट हुन्छ कि यस्ता भवनहरू भूकम्पको दृष्टिले अत्यन्तै जोखिम अवस्थामा हुन्छन् ।

माथिल्ला तल्लाहरूमा गारोको उपस्थितिले तल्लालाई तल्लो तल्लाभन्दा बढी दरो बनाउँछ । यसप्रकार माथिल्लो तल्लाहरू एकटिकका भएर लगभग संगसंगै चल्छन् र भवनको धेरैजसो तेर्सो विस्थापन खुल्ला भुईँतल्लामा नै हुन्छ । यसरी यस्ता भवनहरू भूकम्प गएको वखत उल्टो गरी राखिएको पेन्डुलम जस्तै यताउता चल्छन् (चित्र २१.२ क) । यसो हुँदा भुईँतल्लाका पिलरहरूले गम्भीर दबाव भेल्लुपर्ने हुन्छ (चित्र २१.२ ख) । यदि पिलरहरू कमजोर छन् भने (उच्च दबाव भेल्ल सक्षम छैनन् वा तिनीहरूमा पर्याप्त नरमपना-Ductility छैन भने) तिनीहरू गम्भीर रूपमा क्षतिग्रस्त हुन सक्छन् (चित्र २१.३ क), जसले गर्दा भवन नै ढल्ने अवस्थापनि आउन सक्छ (चित्र २१.३ ख) ।



(ख) भुईँतल्लाको पिलरमा उत्पन्न गठभीर प्रतिरोधी दबाव

चित्र २१.२ : खुल्ला भुईँतल्ला भएका माथिल्ला तल्लाहरू एउटै ढिक्काको रूपमा संगै चल्छन् – यस्ता भवनहरू उल्टो पारिष्का दोलकजस्तै हुन् ।

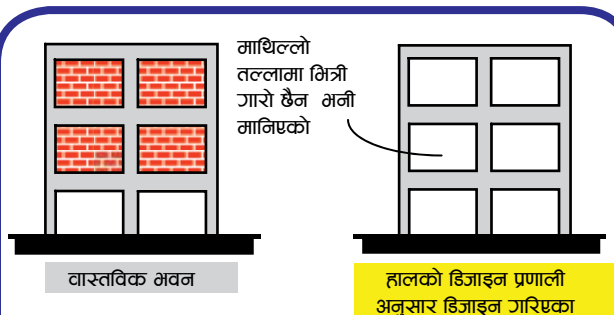




चित्र २१.३ : आरसीसी भवनमा खुल्ला भुईँतल्ला- भुईँतल्लाको पिलरमा धेरै क्षति पुग्न गई भवन पूर्ण रुपमा अतिक्रमण ।

### समस्या

खुल्ला भुईँतल्ले भवन जन्मजातै कमजोर भवन निर्माण पद्धति हो, जसमा भुईँतल्लाको दरोपना र तागत माथिल्लो तल्लाको तुलनामा एकदमै कम हुन्छ । अहिलेको चलनचल्तीमा पिलरवाला घर डिजाइन गर्दा बिम र पिलरको फ्रेम (चित्र २१.४ख) मात्र डिजाइन गरिन्छ । दरो गारोलाई (चित्र २१.४क) पूर्णरूपमा बेवास्ता गरिन्छ । यसप्रकार गरिएको भवन डिजाइनमा उल्टाईएको दोलकको प्रभाव देख्न सकिदैन । तर, भूकम्प आउँदा भवनले उल्टाईएको दोलकको व्यवहार गर्दछ र भवनमा नोक्सान पुग्दछ ।



चित्र २१.४: खुल्ला भुईँतल्ले भवन- मौजुदा डिजाइन पद्धति वास्तविक संरचनासंग मेल खाँदैन ।

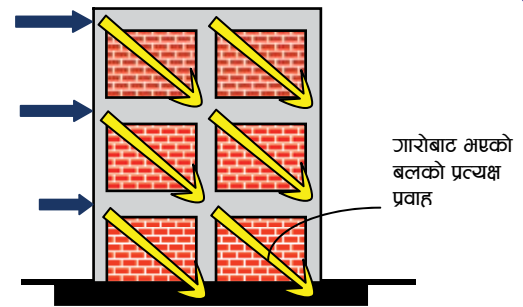
### सुधारिएको डिजाइन रणनीति

सन् २००१ को भुज भूकम्पमा कंक्रीट भवनहरूको गम्भीर क्षतिपछि भारतीय भूकम्प संहिता आईएस १८९३ (भाग १) २००२ मा लुलो तल्ला भवनसंग सम्बन्धित विशेष डिजाइन प्रावधान समावेश गराइयो ।

सबैभन्दा पहिले त यो प्रावधानले भवनलाई कुन अवस्थामा लुलो र कमजोर तल्लायुक्त भवन मान्ने भन्ने कुराको किटान गर्छ । दोस्रो, यसले बाँकी भवनको तुलनामा लुलो तल्ला बढी भारका लागि डिजाइन गर्नुपर्ने प्रावधान राखेको छ । भवन संहिताले भवनमा भएका पिलर, बिम र गारो (यदि छन् भने) मा भूकम्पीय भारको प्रभाव पत्ता लगाउन भवनलाई पिलरवाला भवन (गारो नभएको) मानी पत्ता लगाउन सकिने सुझाव दिन्छ । तथापी खुल्ला भुईँतल्ले भवनका बिम र पिलर यसरी प्राप्त गरेको बलको २.५ गुणा बढी भारको लागि डिजाइन गरिनुपर्छ ।

कुनैपनि नयाँ पिलरवाला भवनको लागि सबैभन्दा राम्रो स्थिति भनेको कुनै एक तल्लामा बलियोपना र दरोपना एक्कासी कम हुन नदिनु हो । यसले भुईँतल्लामा पनि गारो (ईटा वा कंक्रीटको गारो) लगाउनु पर्छ (चित्र २१.५) । भुईँतल्लामा माथिल्लो तल्लाका गारोहरूको निरन्तरता कायम राखी भुईँतल्लामा उल्लेख्य मात्रामा गारोहरू कम नगरेको खण्डमा कमजोर र लुलो भुईँतल्लाको डरलाग्दो प्रभावबाट भवनलाई जोगाउन सकिन्छ । यसको अर्थ यो हो कि गारोको अनुपस्थितिको कारणले भुईँतल्लाको दरोपना र प्रतिरोधी बल एक्कासी घट्नु हुँदैन ।

शक्तिशाली भूकम्पमा भवनहरूलाई ढलबाट बचाउनका लागि भइरहेको भुईँतल्लाको खुल्ला भाग उपयुक्त तरीकाबाट सुदृढ गर्नुपर्दछ । हरेक घरधनीले यस्तो सेवा प्रदान गर्न सक्ने योग्य इन्जिनियरहरूबाट उचित सल्लाह लिई भवनमा भूकम्पीय सुरक्षाको सुनिश्चित गर्नु पर्दछ ।



चित्र २१.५ : भुईँतल्लामा गारो लगाउनु खुल्ला भुईँतल्लाको समस्या हटाउने सबैभन्दा उत्तम उपाय हो ।

### सम्बन्धित भूकम्प जानकारी

- जानकारी ६: भूकम्पको समयमा भवनलाई वास्तुकलाले कस्तो प्रभाव पार्दछ ?
- जानकारी १७: भूकम्पले आरसीसी भवनहरूलाई कसरी असर गर्दछ ?

### सन्दर्भ सामाग्री

- IS 1893(Part 1) (2002), "Indian Standard Code of Practice for Criteria for Design of Earthquake Resistant Structures," Bureau of Indian Standards, New Delhi

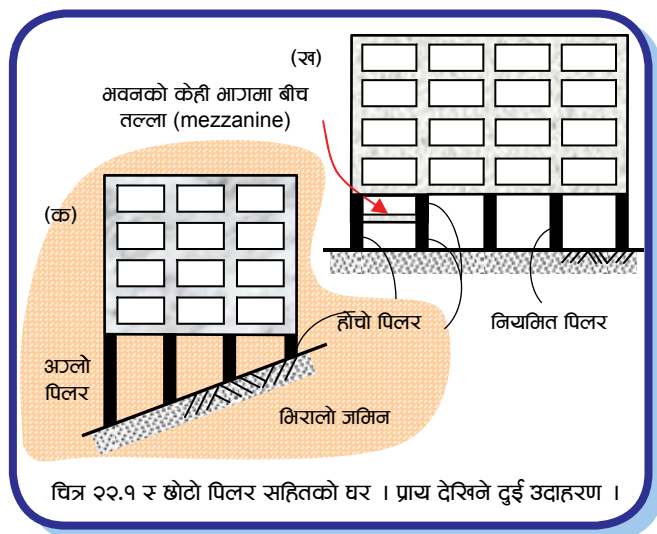
लेखक	: सी.बी.आर. मूर्ति, आइआईटी, कानपुर, भारत
प्रायोजक	: भवन निर्माण सामाग्री र प्रविधि प्रवर्धन परिषद नयाँदिल्ली, भारत
अनुवादक	: युक्त विलास मरहट्टा, नमूना इन्स्टिच्यूट अफ टेक्नोलोजी, भरतपुर, चितवन
परिमार्जनकर्ता	: जितेन्द्र कुमार बोथरा, मियामोटो इन्टरनेशनल, न्यूजिल्यान्ड

यो सामाग्री आइआईटी, कानपुर र बीएमटीपीसीको बौद्धिक सम्पत्ति हो । विषयवस्तु तोडमोड नगरी र कृतज्ञता ज्ञापन सहित यो सामाग्री पुनःप्रकाशन गर्न सकिनेछ । हाम्रो ईमेल ठेगाना [nicee@iitk.ac.in](mailto:nicee@iitk.ac.in) मा सल्लाह सुझाव पठाउन सक्नुहुनेछ । यो सामाग्री हाम्रो वेबसाईट [www.nicee.org](http://www.nicee.org) वा [www.bmtpc.org](http://www.bmtpc.org) मा हेर्न सकिनेछ ।

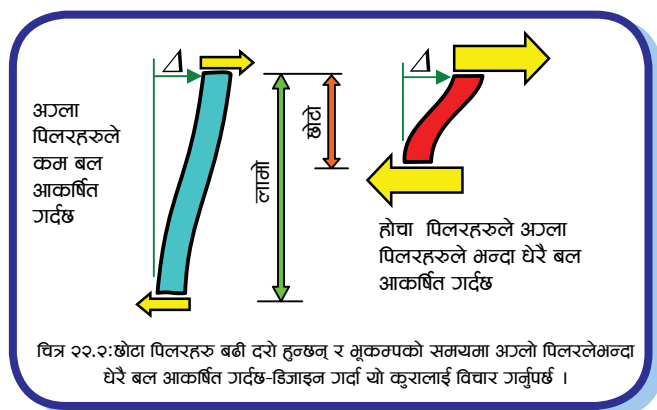
## भूकम्प गएको बेलामा होचा पिलरहरु किन बढी क्षतिग्रस्त हुन्छन् ?

### कस्ता पिलरलाई होचा पिलर भन्ने ?

आरसीसी पिलरवाला भवनहरुमा एउटै तल्लामा विभिन्न उचाइका पिलरहरु छन् भने भूकम्प गएको बेलामा अग्ला पिलरको तुलनामा होचा पिलरहरु बढी क्षतिग्रस्त हुन्छन् भन्ने कुरा विगतका दृष्टान्तहरुबाट स्पष्ट हुन्छ । होचा पिलर भएका भवनहरुको दुईवटा उदाहरण चित्र २२.१ मा देखाइएको छ । एउटा भवन भिरालो जमिनमा बनेको छ । अर्को भवनमा बीच तल्ला (mezzanine) छ ।



समान लम्बाइ र चौडाइ भएका तर फरक उचाइ भएका पिलरहरुमा अग्ला पिलरको तुलनामा होचा पिलरहरुले कमजोर भूकम्पीय व्यवहार देखाउँछन् । भूकम्प गएको बेलामा अग्ला र होचा दुवै पिलरहरु समान मात्रामा तेर्सो दिशामा चल्छन् (चित्र २२.२) । तथापी अग्लो पिलरको तुलनामा होचो पिलर बढी दुरी हुने भएकोले यसले बढी भूकम्पीय बललाई आकर्षित गर्दछ । पिलरको दरोपना भन्नुको अर्थ यसलाई बाङ्गिनु वा लचकिनु प्रतिरोध गर्ने गुण हो – पिलर जति बढी दुरी भयो त्यसलाई बङ्ग्याउन वा लचकाउन त्यति नै बढी बल चाहिन्छ । यदि होचो पिलरलाई चाहिने जति बल प्रतिरोध गर्न सक्ने गरी डिजाइन गरिएको छैन भने भूकम्प गएको बेलामा यस्ता होचा पिलरहरुमा उल्लेख्य क्षति पुग्न सक्छ । यस्तो प्रभावलाई होचो पिलर प्रभाव भनिन्छ । यस्ता होचा पिलरमा हुने क्षतिधेरै जसो विकर्ण आकारको चिराको रूपमा देखिन्छ । पिलरमा हुने यस प्रकारको क्षति शायर विफलनको कारणले हुन्छ (भूकम्प जानकारी १९ मा हेनुहोस्) ।

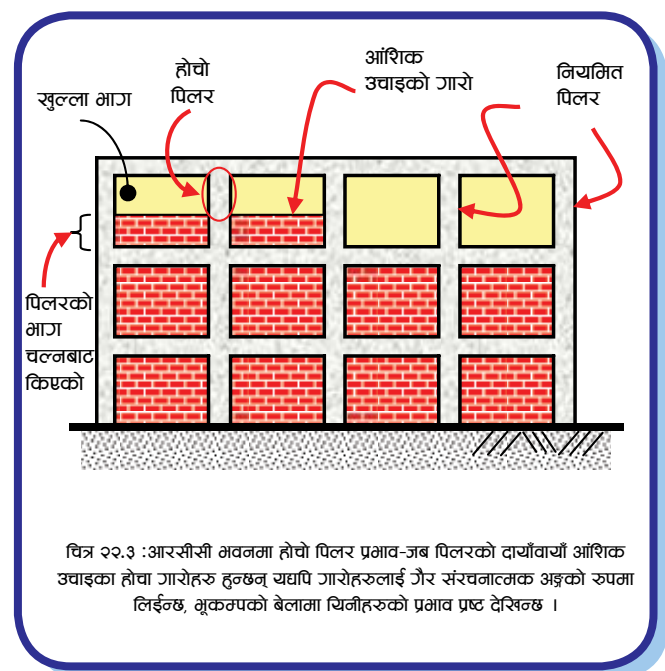


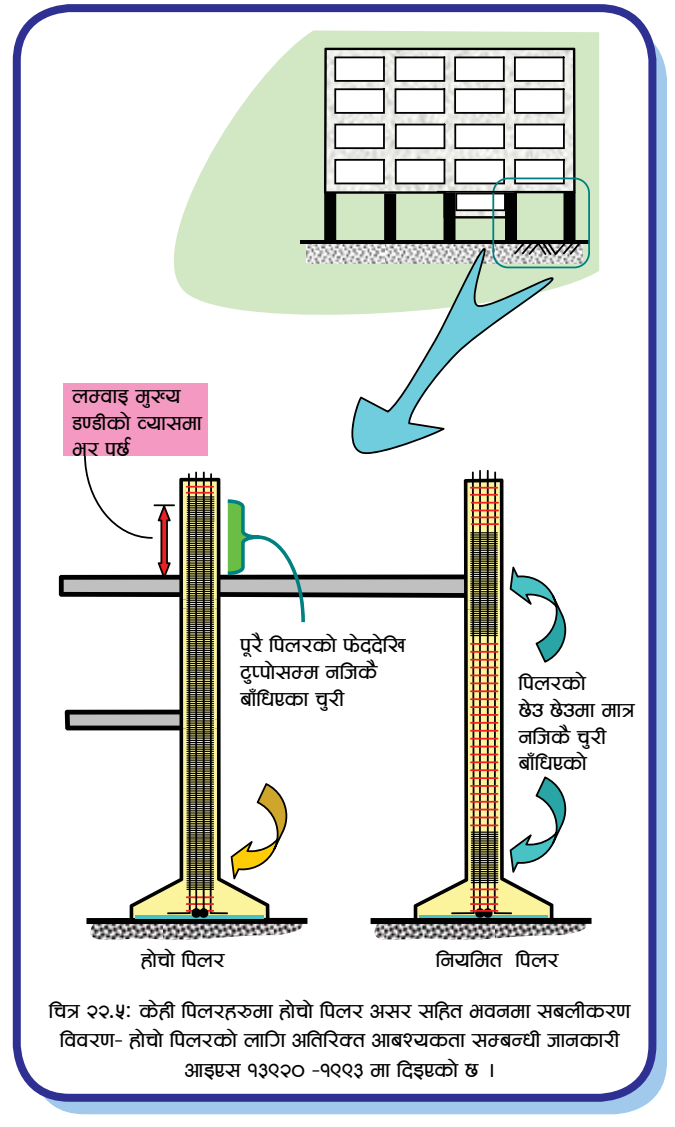
### होचा पिलरको व्यवहार

भवनमा होचा पिलरहरु हुनसक्ने धेरै परिस्थितिहरु हुन सक्छन् । भवन भिरालो जमिनमा (चित्र २२.१ क) बनेको छ भने भूकम्प गएको बेलामा छान्ना/भुईँ सहित सम्पूर्ण पिलरहरु तेर्सो दिशामा बराबर मात्रामा चल्छन् (जसलाई दृढ डायफ्राम प्रभाव भनिन्छ (भूकम्प जानकारी १७ हेनुहोस्) । एकैतलामा यदि अग्लो र होचो दुवै थरीका पिलरहरु छन् भने, छोटो पिलरले अग्ला पिलरले भन्दा धेरै गुणा बढी भूकम्पीय बल आकर्षित गर्दछन् र स्वाभाविक रूपमा अग्ला पिलरको तुलनामा बढी क्षतिको सामना गर्दछन् ।

होचो पिलर प्रभाव त्यस्तो ठाउँहरुमा पनि पर्नसक्छ जहाँ पिलरले भवनको केही भागमा बीच तल्लालाई बोक्नुपर्ने हुन्छ वा दुई नियमित तल्लाको बीचमा अर्को एक बीच तल्ला बनाइन्छ (चित्र २२.१ ख) ।

होचो पिलर प्रभाव हुनसक्ने अर्को एउटा विशेष अवस्था बारे चर्चा गरौं । भ्याल फिट गर्न सकियोस् भनेर भ्यालको तहसम्म गारो लगाएर त्यो भन्दा माथि खुल्ला छाडिएको भागमा यो प्रभाव देखिन सक्छ । यी गारोका कारणले दायाँ-बायाँका पिलरहरुमा होचो पिलर प्रभाव हुन्छ । अन्य धेरै अवस्थामा एउटै तल्लाका अरु पिलरहरु नियमित उचाइका हुनसक्छन् यदि तिनका आडमा कुनै गारो छैन भने । भूकम्प गएको बेलामा जब भुईँ वा छत तेर्सो दिशामा चल्छ, तब पिलरहरुको माथिल्लो भाग समान रूपमा बिस्थापित हुन्छन् (चित्र २२.३) । तर, दह्रो गारोहरुले गारोले दुईतिरबाट चेपिएका पिलरहरुको तल्लो भागलाई चल्न दिँदैनन् र पिलरको माथिल्लो भागमात्र मोडिनुपर्ने हुन्छ । अर्कोतर्फ नियमित उचाइका पिलरहरु तिनीहरुको पूरै उचाइमा हल्लिन्छन् । छोटो पिलरको स्वतन्त्र रूपमा बाङ्गिनु सक्ने उचाइ कम भएकोले यसले तेर्सो गति विरुद्ध बढी बलले प्रतिरोध गर्छ । फलस्वरूप नियमित पिलरको तुलनामा होचो पिलरले बढी बल आकर्षित गर्दछ । परिणामस्वरूप छोटो पिलरहरु बढी क्षतिग्रस्त हुन्छन् । चित्र २२.४ ले गारोका आंशिक उचाइका आडमा रहेका पिलरमा विकर्ण आकारको चिरा देखाउँछ ।





## समाधान

नयाँ भवनहरुमा सम्भव भएसम्म भवन निर्माणको योजनाकै चरणमा होचो पिलर प्रभाव हटाउनु पर्दछ । यदि यो हटाउनै नसकिने हो भने संरचनात्मक डिजाइनमा यसलाई सम्बोधन गर्नु पर्दछ । आरसीसी भवनमा झण्डीको विवरण सम्बन्धी भारतीय मापदण्ड आईएस १३९२०-१९९३ अनुसार होचो पिलर प्रभाव पर्नसक्ने पिलरको पूरे उचाइमा झण्डीहरुलाई विशेष तरीकाले बाँधी सबलीकरण गर्नुपर्छ । यसका लागि पूरे पिलरमा चुरीहरु नजिकै बाँध्नुपर्छ (चित्र २२.५, विस्तृत विवरण भूकम्प जानकारी १९ मा हेर्न सक्नुहुन्छ) ।

होचो पिलरको प्रभाव भएका पुराना भवनहरुमा विभिन्न तरिकाबाट पुनःसुदृढीकरण गरी भवनलाई सम्भावित भूकम्पीय क्षतिबाट जोगाउन सकिन्छ । जहाँ आंशिक उचाइका गारोहरु छन् त्यस्तो ठाउँमा पूरे गारो लगाएर खुल्ला भाग बन्द गरिदिनु सबैभन्दा सरल समाधान हुनसक्छ । यसले होचो पिलर प्रभावलाई निराकरण गर्छ । यदि यो सम्भव छैन भने स्थापित पुनःसुदृढीकरण प्रविधिबाट होचो पिलर प्रभावलाई हटाउन सकिन्छ । पुनःसुदृढीकरण सम्बन्धी डिजाइन यस सम्बन्धी पर्याप्त जानकारी भएका योग्य इन्जिनियरबाट गरिनुपर्छ ।

## सम्बन्धित भूकम्प जानकारी

जानकारी ६: भूकम्पको समयमा भवनलाई वास्तुकलाले कस्तो प्रभाव पार्दछ ?

जानकारी १७: भूकम्पले आरसीसी भवनहरुलाई कसरी असर गर्दछ ?  
जानकारी १९: आरसीसी भवनमा पिलरले कसरी भूकम्प प्रतिरोध गर्छ ?

## सन्दर्भ सामाग्री

1. IS 13920, (1993), "Indian Standard code of Practice for Ductile Detailing of Reinforced concrete structures subjected to seismic forces", Bureau of Indian Standards, New Delhi

लेखक	: सी.वी.आर. मूर्ति, आइआईटी, कानपुर, भारत
प्रायोजक	: भवन निर्माण सामाग्री र प्रविधि प्रवर्धन परिषद नयाँदिल्ली, भारत
अनुवादक	: युक्त विलास मरहट्टा, नमूना इन्स्टिट्यूट अफ टेक्नोलोजी, भरतपुर, चितवन
परिमार्जनकर्ता	: जितेन्द्र कुमार बोथरा, मियामोटो इन्टरनेशनल, न्यूजिल्यान्ड

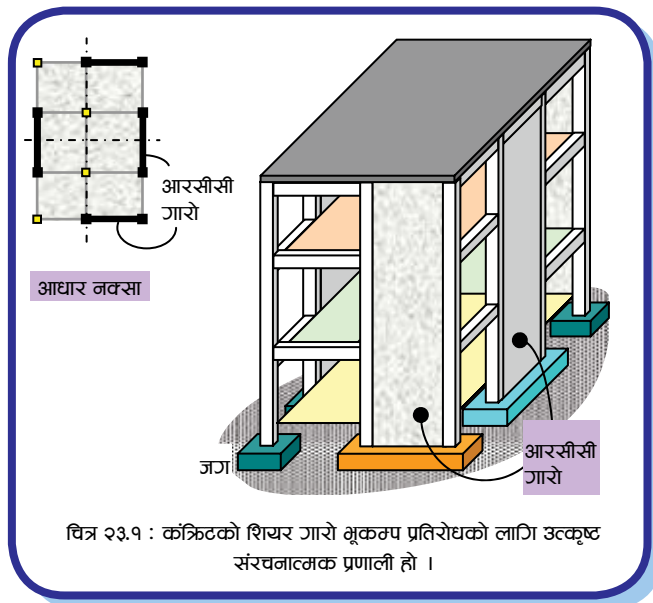
यो सामाग्री आइआईटी, कानपुर र वीएमटीपीसीको बौद्धिक सम्पत्ति हो । विषयवस्तु तोडमोड नगरी र कृतज्ञता ज्ञापन सहित यो सामाग्री पुनःप्रकाशन गर्न सकिनेछ । हाम्रो इमेल ठेगाना [nicee@iitk.ac.in](mailto:nicee@iitk.ac.in) मा सल्लाह सुझाव पठाउन सक्नुहुनेछ । यो सामाग्री हाम्रो वेबसाईट [www.nicee.org](http://www.nicee.org) वा [www.bmtpc.org](http://www.bmtpc.org) मा हेर्न सकिनेछ ।



## भूकम्पीय क्षेत्रमा शियर सबलीकृत गारो भएका भवन किन रोजिन्छन् ?

### शियर गारोवाला (shear wall) भवन भनेको के हो ?

आरसीसी पिलरवाला भवनमा छत, बिम र पिलर लगायत कैयौं अवस्थामा गारोपनि आरसीसीकै हुन्छन्, जसलाई शियर गारो भनिन्छ । यो गारो जगैदेखि भवनको पूर्ण उचाइसम्म लगाईन्छ । यसको मोटाई कम्तिमा १५० मिमि देखि (६ ईञ्च) लिएर गगनचुम्बी भवनहरूमा ४०० मिमिसम्म (१६ ईञ्च वा सोभन्दा बढी) हुनसक्छ । शियर गारो भवनका लम्बाइ र चौडाइ दुवै दिशामा बनाइन्छ (चित्र २३.१) । शियर गारो ठाडो पारेर राखिएको चौडा बिमजस्तै हो जसले भूकम्पीय भारलाई जगमा हस्तान्तरण गर्ने काम गर्छ ।



### पिलरवाला भवनमा शियर गारोका फाइदाहरू

उपयुक्त ढङ्गले डिजाइन गरिएको शियर गारो भएको भवनले विगतका भूकम्पहरूमा अत्यन्त राम्रो कार्य सम्पादन गरेको पाइन्छ । शक्तिशाली भूकम्प प्रतिरोधमा शियर गारो भएको भवनले हासिल गरेको अभूतपूर्व सफलतालाई तलको भनाईले स्पष्ट पार्दछ ।

धेरै शक्तिशाली भूकम्प प्रतिरोध गर्ने उद्देश्य राखेर शियर गारोबिना नै काँक्रिट भवन बनाउने कुरा हामी सोच्न पनि सक्दैनौं ।

—मार्क फिन्टेल, एकजना प्रतिष्ठित अमेरिकी कन्सल्टिङ इन्जिनियर

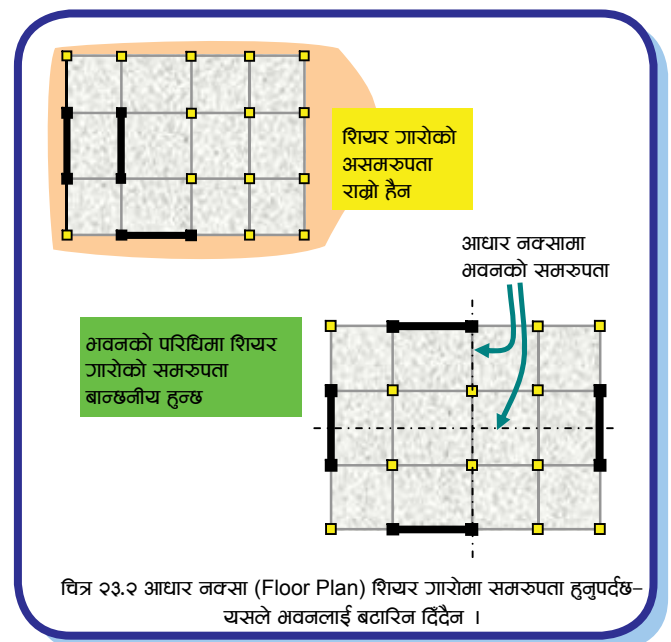
उच्च भूकम्पीय क्षेत्रमा शियर गारोमा विशेष ढङ्गले 'डिटेलिङ' गर्नु पर्दछ । 'डिटेलिङ' भन्नाले आरसीसी संरचनामा डण्डीलाई कुन ठाउँमा कति र कसरी राख्ने, कति खप्प्याउने, कसरी र कति बड्याउने आदि कुराहरूको विवरण हो । तथापि विगतका भूकम्पहरूमा भवनको व्यवहार हेर्दा के देखिन्छ भने पर्याप्त मात्रामा गारो छ र सही ढङ्गले डण्डीहरूको संयोजन गरिएको छ भने विशेष ढङ्गले छडको 'डिटेलिङ' नगरेपनि भवन भूकम्पबाट बच्न सक्दो रहेछ । धेरै भूकम्प जानसक्ने देशहरू जस्तै चिली, न्युजिल्याण्ड, संयुक्त राज्य अमेरिका जस्ता देशहरूमा शियर गारो धेरैको रोजाइ हो । गारोमा डण्डी 'डिटेलिङ' प्रक्रिया सहज र सरल भएकाले शियर गारो निर्माण गर्न सजिलो हुन्छ । भवनको संरचनात्मक र गैर संरचनात्मक (जस्तै भ्यालको शीशा, दर्राज, कम्प्युटर, पंखा आदी) अङ्गहरूको भूकम्पीय क्षति न्यूनीकरण गर्नको लागि होस् वा निर्माणको लागत खर्च घटाउनको लागी, शियर गारो प्रभावकारी मानिन्छन् ।

### शियर गारोको वास्तुकलात्मक पक्ष

धेरैजसो शियर गारो सहितको आरसीसी भवनमा पिलरपनि राखिएको हुन्छ । पिलरले गुरुत्वभार (भवनको आफ्नै भार र मानिस लगायत त्यसभित्र भएका अन्य सामान वा वस्तुहरूको भार) बोक्ने काम गर्दछ । शियर गारोले यसको लम्बाइको दिशामा ठूलो प्रतिरोधी बल तथा दरोपना प्रदान गर्छ जसले गर्दा त्यस दिशामा भवनको लचकाइ कम हुन्छ । यसो हुदा भवनको संरचनाको तथा यसमा भएका मानिस तथा सामानहरूको क्षति उल्लेख्य मात्रामा घटाउन मद्दत गर्दछ । शियर गारोले ठूलो मात्रामा तेर्सो धक्का बहन गर्नुपर्ने भएकाले तिनीहरू जहिलेपनि पल्टिन सक्ने खतरामा हुन्छन् । त्यसकारण तिनीहरूको जगको डिजाइनमा विशेष ध्यान दिनुपर्दछ । सकेसम्म शियर गारो भवनको लम्बाइ र चौडाइ दुवैतर्फ बनाउनुपर्छ । तर, यदि शियर गारो एउटा दिशामा मात्र राख्नुपर्ने भएमा अर्को दिशामा शियर गारोको सट्टा बिम र पिलरको उपयुक्त फ्रेमहरू बनाउनु पर्दछ । यस्ता फ्रेमलाई मोमेन्ट रेसिस्टेन्ट फ्रेम (Moment Resistance Frame) भनिन्छ जसले शक्तिशाली भूकम्पको प्रभावबाट भवनलाई जोगाउन मद्दत गर्दछ ।

शियर गारोमा भ्याल र ढोका राख्न सकिन्छ तर गारो भएर प्रवाह हुने भारमा कुनै किसिमको बाधा नहोस् भन्ने कुरा सुनिश्चित गर्नका लागि भ्याल र ढोका सानो हुनुपर्दछ । यसका अतिरिक्त भ्याल-ढोका र खुला भागहरू समरूप (Symmetrical) हुनु पर्दछ । साथै भूकम्पीय धक्का बहन गर्नका लागि भ्याल ढोका रहेको ठाउँमा गारोको समग्र क्रश सेक्शन क्षेत्रफल पर्याप्त छ भन्ने कुराको सुनिश्चितताका लागि डिजाइनमा विशेष ध्यान दिनु पर्दछ ।

भवनलाई बटार्न खोज्ने दुष्प्रभावलाई कम गर्नका लागि चित्र २३.२ मा देखाईएको शियर गारोको अवस्थितिमा समरूपता (Symmetrical in plan) हुनै पर्दछ । आधार नक्सामा गारोहरूलाई एक वा दुवै दिशामा समरूप देखिने गरी राख्नु पर्दछ । भवनको बाह्य परिधिमा शियर गारोहरू भएमा अझ बढी प्रभावकारी हुन्छ । यस्तो बनावटले भवनलाई बटार्न खोज्ने धक्कालाई बढी प्रतिरोध गर्न सक्छ ।

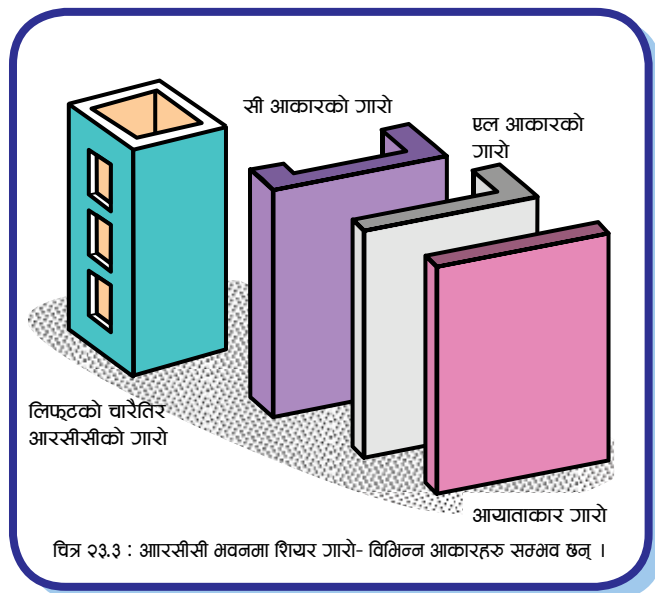


## शियर गारोको लचकतामा डिजाइन

आरसीसी बिम र पिलरजस्तै शियर गारोपनि पर्याप्त लचकता आउने गरी डिजाइन गरिएको छ भने यस्ता गारोले भूकम्पको समयमा राम्रो काम गर्न सक्छ । गारोको समग्र आकारप्रकार, डण्डीको किसिम, परिमाण र भवनका अन्य अङ्गहरूसँग यसको सम्बन्धले गारोको लचकतामा (Ductility) सुधार ल्याउन मद्दत गर्दछ । आरसीसी अङ्गहरूको लचकदार डिटेलिङ्ग सम्बन्धि भारतीय मापदण्ड (आईएस १३९२०-१९३३) ले शियर गारोको लचकताको लागि डण्डी डिटेलिङ्ग सम्बन्धी विशेष मार्गनिर्देशक सिद्धान्त सिफारिश गरेको छ ।

## गारोको समग्र ज्यामिति

शियर गारोको क्रस सेक्शन आयाताकार तर दुईमध्ये एउटा भुजा तुलनात्मक रूपमा अति लामो भएको हुन्छ (गारोलाई तेर्सो गरी काटेर हेर्दाको कल्पना गर्दा यसको मोटाइ र लम्बाइका भुजाहरूले आयाताकार रूप दिन्छन् र मोटाइको तुलनामा लम्बाइ धेरै हुन्छ) । शियर गारोको लागि साधारणतया आयाताकार क्रस सेक्शन प्रयोग गरिने भएपनि अङ्ग्रेजी अक्षर 'L' र 'U' आकारका सेक्शनपनि प्रयोग गरिन्छ (चित्र ३) । भवनको एलिभेटरको चारैतिर भएको पातलो भित्ता सहितको आरसीसी शाफ्टले पनि शियर गारोले जस्तै काम गर्छ र भूकम्प प्रतिरोध कार्यमा यसबाट फाइदा लिन सकिन्छ ।



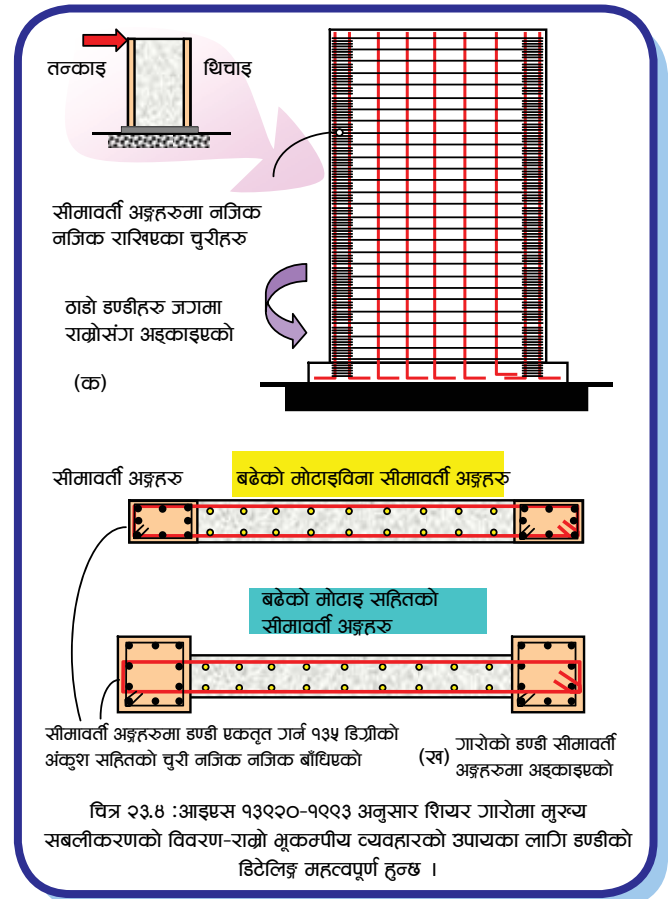
## आरसीसी गारोमा डण्डी

आरसीसी गारोमा निश्चित दूरीमा नियमित रूपमा ठाडा र तेर्सो डण्डीहरू राखिन्छ (चित्र २३.४ क) । गारोमा ठाडो र तेर्सो डण्डीहरू एक वा दुई समानान्तर तहमा राख्न सकिन्छ, त्यसलाई कर्टेन (Curtains) भनिन्छ । तेर्सो गरी राखिएको डण्डीलाई गारोको कुनामा लगेर राम्रोसँग अड्काउनु पर्छ । तेर्सो या ठाडो प्रत्येक दिशामा राखिएका डण्डीहरूको न्यूनतम क्षेत्रफल गारोको क्रस सेक्शन क्षेत्रफलको ०.००२५ गुणा हुनुपर्छ । तेर्सो दिशामा गारोको क्रस सेक्शन क्षेत्रफल यसको लम्बाइ गुणा मोटाइ र ठाडो दिशामा यसको उचाइ गुणा मोटाइ हुन्छ । प्रत्येक दिशामा ठाडो डण्डीहरूलाई गारोभरी समान दूरीमा राख्नुपर्छ ।

## समावर्ती अङ्गहरू

तेर्सो भूकम्पीय धक्काले शियर गारोलाई पल्टाउन खोज्छ, फलस्वरूप गारोका छेउतिरका भागमा (Boundry) विशाल रूपमा थिचाई र तन्काई उत्पन्न हुन्छ । शियर गारोको लचकदार व्यवहार (Ductile) सुनिश्चित गर्नका लागि गारो र यसको छेउछेउमा विशेष ढङ्गले डण्डीहरू राखी सबलीकृत गर्नुपर्दछ, ताकि यसले आफ्नो क्षमता नगुमाइकनै फर्किएर आईरहने (reversal) धक्का पनि प्रतिरोध गर्न सकोस् (चित्र २३.४ ख) ।

नजिक-नजिक चुरीहरू बाँधी विशेष रूपमा ठाडा डण्डीहरू राखी बनाइएका शियर गारोको छेउ-छेउका भागलाई सिमावर्ती अङ्ग (Boundry Element) भनिन्छ । सिमा क्षेत्रमा डण्डीहरू राखी सबलीकृत गर्ने यस्तो विधि पिलरमा गरेजस्तै हो (भूकम्प जानकारी १९ मा हेर्नुहोस्) । कहिलेकाहीँ सीमावर्ती अङ्गहरूमा शियर गारोको मोटाइ पनि बढाईन्छ । सिमावर्ती अङ्गहरू सहितका आरसीसी गारोहरूमा मोडिने क्षमता र तेर्सो बल बहन गर्ने क्षमता उच्च भएकोले सीमावर्ती अङ्गविनाको गारोभन्दा सिमावर्ती अङ्गसहितको गारो बढी भूकम्प प्रतिरोधी हुन्छ ।



## सम्बन्धित भूकम्प जानकारी

जानकारी ६: भूकम्पको समयमा भवनलाई वास्तुकलाले कस्तो प्रभाव पार्दछ ?

जानकारी १९: आर.सी.सी भवनमा पिलरले कसरी भूकम्प प्रतिरोध गर्छ ?

## सन्दर्भ सामाग्री

- IS 13920, (1993), "Indian Standard Code of Practice for Ductile Detailing of Reinforced Concrete Structures Subjected to Seismic Forces," Bureau of Indian Standards, New Delhi
- Paulay, T., and Priestley, M.J.N., (1992), "Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings," John Wiley & Sons, USA

लेखक	: सी.वी.आर. मूर्ति, आइआईटी, कानपुर, भारत
प्रायोजक	: भवन निर्माण सामाग्री र प्रविधि प्रवर्धन परिषद नयाँदिल्ली, भारत
अनुवादक	: युक्त विलास मरहट्टा, नमूना इन्स्टिट्यूट अफ टेक्नोलोजी, भरतपुर, चितवन
परिमार्जनकर्ता	: जितेन्द्र कुमार बोथरा, मियामोटो इन्टरनेशनल, न्यूजिल्यान्ड

यो सामाग्री आइआईटी, कानपुर र वीएमटीपीसीको बौद्धिक सम्पत्ति हो । विषयवस्तु तोडमोड नगरी र कृत्रिमता जापन सहित यो सामाग्री पुनःप्रकाशन गर्न सकिनेछ । हाम्रो ईमेल ठेगाना nicee@iitk.ac.in मा सल्लाह सुझाव पठाउन सक्नुहुनेछ । यो सामाग्री हाम्रो वेबसाइट [www.nicee.org](http://www.nicee.org) वा [www.bmtpc.org](http://www.bmtpc.org) मा हेर्न सकिनेछ ।

## भवनमा भूकम्पीय प्रभाव कसरी न्यूनीकरण गर्ने ?

### भूकम्पीय प्रभाव किन कम गर्नुपर्छ ?

परम्परागत भूकम्पीय डिजाइन पद्धतिले शक्तिशाली भूकम्पमा भवन नढलोस् भन्ने प्रयास गर्दछ, यद्यपि केही गैर संरचनात्मक (जस्तै भ्यालको शीशा) र संरचनात्मक अङ्गहरू क्षतिग्रस्त हुनसक्छन्। यस्तो प्रकारले बनाइएका भवनहरू भूकम्पपछि कामै नलाग्ने पनि हुनसक्छन्। अस्पताल जस्ता भवनहरू भूकम्पपछि काम नलाग्ने अवस्थामा पुगे भने भूकम्पीय सुरक्षामा थप समस्याहरू निम्त्याउँछ, किनभने यस्ता भवनहरू भूकम्पपछि पनि नियमित रूपमा सञ्चालन हुनु अति आवश्यक हुन्छ। यस्ता भवनको डिजाइन गर्दा विशेष प्रविधिको अवलम्बन गर्नुपर्दछ जसले गर्दा धेरै ठूलो भूकम्पपछि पनि यिनीहरूमा उल्लेख्य क्षति नपुगोस्। सामान्य भवनको तुलनामा यिनीहरूको भूकम्प प्रतिरोधी क्षमता उच्चस्तरको हुने भएकोले स्वाभाविक रूपमा यस्ता भवनहरूको निर्माण खर्च पनि बढी नै हुन्छ। तथापि बढाएको भूकम्पीय क्षमताले अतिरिक्त थप खर्चको औचित्य पुष्टी गर्दछ।

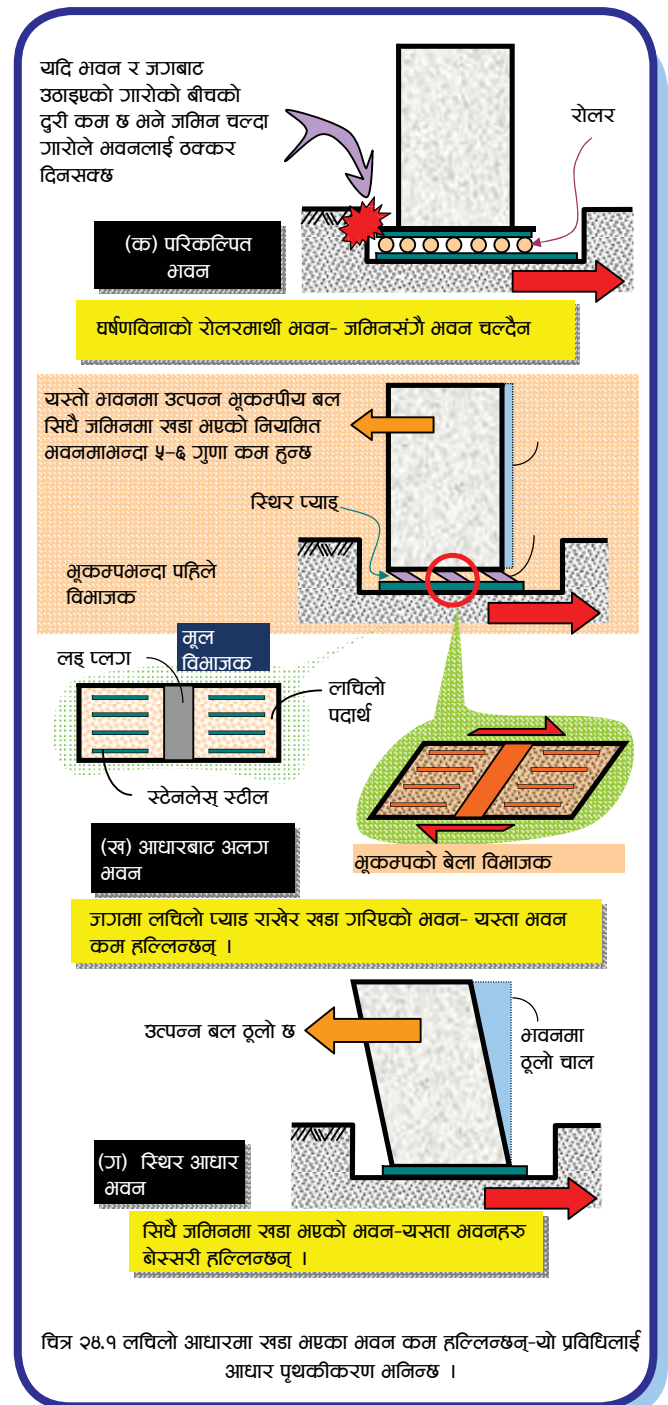
भवनलाई भूकम्पीय क्षतिबाट बचाउनको लागि दुईवटा आधारभूत प्रविधिको उपयोग गरिन्छ। (१) आधार पृथकीकरण प्रविधि र (२) भूकम्प शोषक प्रविधि। आधार पृथकीकरणको अवधारणा भनेको भवनलाई जमिनसंग अलग गर्नु हो, जसले गर्दा भूकम्पीय चाल भवनमा प्रसारण हुन नपाओस्। भइहाले पनि धेरै कम मात्रै चाल प्रसारण होओस्। जमिनको कम्पनको कारणले उत्पन्न शक्तिलाई सोस्नको लागि भवनमा जडान गरिने विशेष प्रकारको उपकरणलाई भूकम्प शोषक उपकरण भनिन्छ। यो उबडखावड बाटोमा गाडीले उफार्दा उत्पन्न झट्कालाई सोस्नको लागि गाडीमा जडान गरिने 'शक एब्जर्वर' जस्तै हो।

### आधार पृथकीकरण

आधार पृथकीकरणको अवधारणालाई घर्षणविहिन चक्कामाथि अवस्थित एक काल्पनिक भवनको उदाहरणबाट प्रष्ट पार्न सकिन्छ (चित्र २४.१ क)। जब जमिन हल्लिन्छ, चक्का स्वतन्त्र रूपमा चल्छ। तर, चक्कामाथि अडिएको भवनमा उक्त चालको प्रभाव पर्दैन। यसप्रकार भूकम्पको कारणले भवनमा कुनैपनि धक्का प्रसारण हुँदैन र भवनले भूकम्पको अनुभव नै गर्दैन। अब, यदि त्यही भवन एक लचकदार चकटीमाथि बसेको छ र उक्त चकटीले दायाँ-बायाँबाट आउने धक्का प्रतिरोध गर्छ भने (चित्र २४.१ ख) जमिनको चालको केही प्रभाव भवनमा प्रसार हुन्छ। यदि लचकदार चकटी राम्ररी डिजाइन गरिएको छ भने, भवनमाथि आउने भूकम्पीय धक्का अचल आधार भवनभन्दा निकै कम हुन्छ। भवनको जग सिधै जमिनमा वनाइएको छ भने त्यस्तो भवनलाई अचल आधार भवन (चित्र २४.१ क) भनिन्छ।

लचकदार चकटीलाई आधार विभाजक भनिन्छ जबकि यस्ता उपकरणहरू बाट सुरक्षित संरचनाहरूलाई 'आधार विभाजित भवन' भनिन्छ। आधार पृथकीकरणको मुख्य विशेषता भनेको यसले संरचनालाई लचकदार बनाउँछ। फलस्वरूप मध्यम उचाइका ईटा वा कंक्रीटको गारो भएका गह्रौं भवनहरू पनि अत्यन्तै लचकदार हुन जान्छन्। ती लचकदार चकटी (Pad) अक्सर शक्ति सोस्ने गरी डिजाइन गरिने भएकाले यसले समग्र भवन प्रणालीमा भूकम्पीय प्रभाव अझ धेरै घटाउन मद्दत गर्दछ। वजारमा विभिन्न व्यावसायिक मार्काका विभाजकहरू पाईन्छन्। त्यसमध्ये धेरैजसो ठूलोला रवरका चकटी जस्तै देखिन्छन् यद्यपि अन्य यस्ता प्रकारका विभाजकहरू पनि हुन्छन् जुन प्रयोग गर्दा भवनमा विभाजकभन्दा माथी राखिएको भाग विभाजक माथी चिप्लिन्छ। एक भाग अर्का भागको तुलनामा सधैं। कुनै निश्चित भवनको लागि सबैभन्दा उपयुक्त किसिमको उपकरण

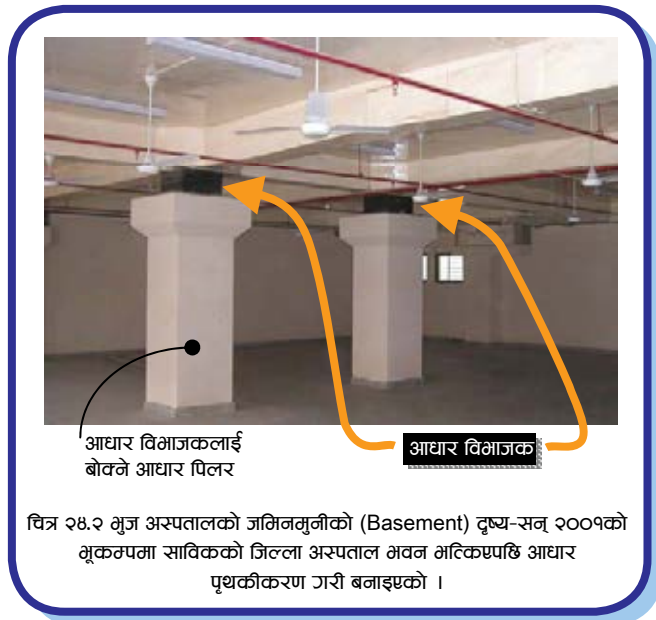
पहिचान गर्नको लागि विभिन्न कुराहरूको अध्ययनको आवश्यकता पर्दछ, साथै सबै किसिमका भवनहरूको लागि आधार विभाजक उपयुक्त नहुन पनि सक्छ। कडा माटोमा अवस्थित निम्नदेखि मध्यम उचाइका भवनको लागि आधार विभाजक सबैभन्दा उपयुक्त विकल्प हुनसक्छ जबकि धेरै अग्ला र नरम माटोमा बनेका भवनहरूका लागि आधार विभाजक उपयुक्त हुँदैन।





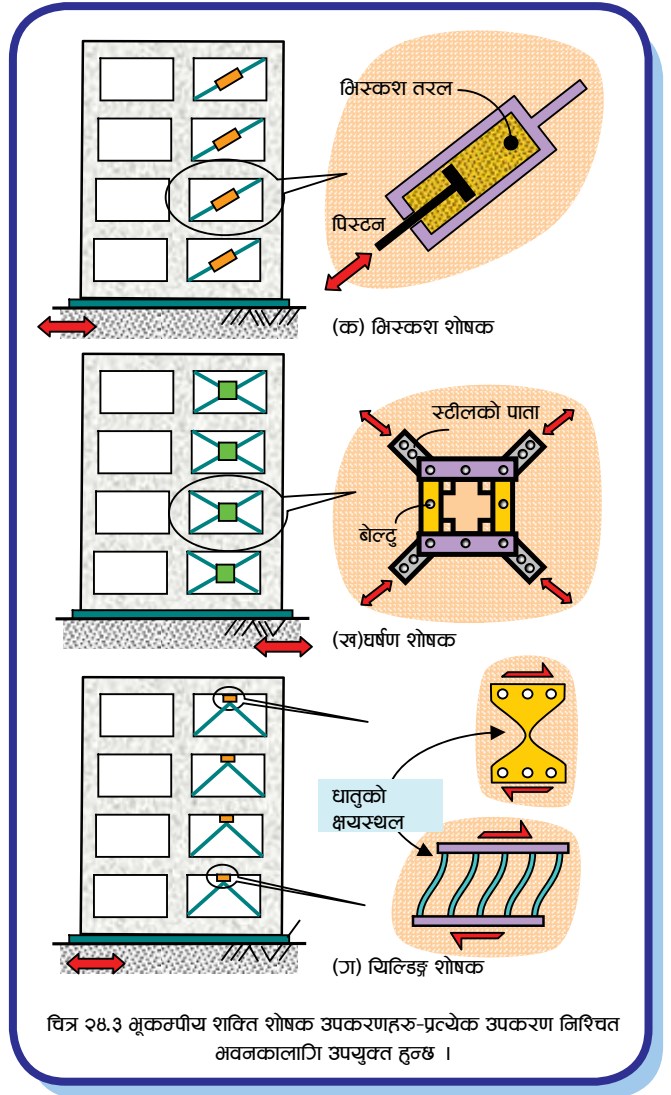
## वास्तविक भवनमा आधार पृथकीकरण

भूकम्पीय विभाजक सापेक्षिक रूपमा नौलो प्रविधि हो जसको प्रयोग विकासको क्रममा छ । सन् १९८० देखि यसको प्रयोग बढ्दै गइरहेको छ र अन्तर्राष्ट्रिय रूपमा पनि यसको मूल्याङ्कन र पुनरावलोकन भइरहेको छ । हाल आधार विभाजक प्रविधि इटाली, जापान, न्यूजिल्याण्ड र संयुक्त राज्य अमेरिका जस्ता देशहरूमा प्रयोग भइरहेको छ । महत्वपूर्ण भवनहरू (जस्तै अस्पताल, ऐतिहासिक भवनहरू) को पुनःसुदृढीकरण कार्यको लागि पनि आधार विभाजक उपयोगी हुन्छन् । हालसम्म संसारमा १००० भन्दा बढी भवनहरूमा भूकम्पीय आधार विभाजक प्रयोग गरिएका छन् । भारतमा, सन् १९९३ को किल्लरी (महाराष्ट्र) भूकम्प (ईईआरआई १९९९) पछि मात्र आधार पृथकीकरणको प्रविधि सबैभन्दा पहिले प्रदर्शन गरिएको थियो । नवस्थापित किल्लरी शहरमा कडा माटोमाथि रबरको आधार विभाजक सहित दुईवटा एक-एक तल्ले भवन बनाइयो । त्यसमध्ये एउटा स्कूल र एउटा व्यापारिक भवन थियो । दुबै भवनमा ईटाको गारो र कंक्रीटको छाना थियो । सन् २००१ को भुज (गुजरात) भूकम्पपछि आधार पृथकीकरण प्रविधियुक्त (चित्र २४.२) चारतल्ले भुज अस्पताल भवन बनाइएको थियो ।



## भूकम्प शोषक (Damper)

भवनमा भूकम्पीय क्षति नियन्त्रण गर्न र भूकम्पीय व्यवहारलाई सुधार गर्नका लागि विभिन्न संरचनात्मक अङ्गहरू (जस्तै विकर्ण बन्धन-diagonal brace) को सट्टा भूकम्प शोषक उपकरणहरू प्रयोग गर्न सकिन्छ । भूकम्प शोषक उपकरणलाई ड्याम्पर भनिन्छ । ड्याम्परले मोटर गाडीमा राखिने हाइड्रोलिक शकरले जस्तै काम गर्दछ जहाँ जुरुक्क उफार्ने फट्कालाई शकरमा भएको हाइड्रोलिक तरल बस्तुले शोषिदिन्छ र बाँकी केही अंशमात्र गाडीको चिसिभन्दा माथि प्रसारित हुन दिन्छ । यस्तै जब भूकम्पीय शक्ति ड्याम्पर भएर प्रसारित हुन्छ, केही भाग ड्याम्परले शोषिदिन्छ र भवनको हल्लाईपनि कम गराईदिन्छ । यस्ता ड्याम्परहरू अग्ला-अग्ला भवनलाई हावाको प्रभावबाट जोगाउन सन् १९६० देखि नै प्रयोग गरिँदै आएको भए तापनि भूकम्पीय प्रभावबाट भवनलाई जोगाउनको लागि सन् १९९० देखि ड्याम्परको प्रयोग भएको पाइन्छ । धेरैजसो प्रयोगमा आएका यस्ता शोषक (Damper) हरूमा भिस्कस शोषक (Viscous Damper- भूकम्पीय बलको शोषण सिलिन्डर र पिस्टन बिच हुने तरल पदार्थको प्रवाहले हुन्छ), घर्षण शोषक (Friction Dampers- भूकम्पीय बलको शोषण विभिन्न तहहरू बिच हुने घर्षणले हुन्छ) र इलिङ्ग शोषक (Yielding Dampers- भूकम्पीय बलको शोषण धातुबाट बनेका अङ्गहरूको तन्काईले हुन्छ) (चित्र २४.३) हुन् । भारतको गुडगाउँस्थित एक १८ तल्ले पिलरवाला भवनमा घर्षण शोषकको प्रयोग गरिएको छ (गुरगाउँको एक १८ तल्ले आरसीसी घरमा प्रयोग गरिएका शक्ति शोषक उपकरणहरू, हेर्नुहोस्: <http://www.palldynamics.com/main.htm>)



## सम्बन्धित भूकम्प जानकारी

जानकारी ५: संरचनाहरूमा भूकम्पीय असरहरू के के हुन् ?

जानकारी ८: भूकम्प प्रतिरोधी भवन डिजाइनको अवधारणा के हो ?

## सन्दर्भ सामग्री

EERI, (1999),

“Lessons Learnt Over Time – Learning from Earthquakes Series: Volume II Innovative Recovery in India,” Earthquake Engineering Research Institute, Oakland (CA), USA; also available at [http://www.nicee.org/readings/EERI\\_Report.htm](http://www.nicee.org/readings/EERI_Report.htm).

Hanson, R.D., and Soong, T.T., (2001), “Seismic Design with Supplemental Energy Dissipation Devices,” Earthquake Engineering Research Institute, Oakland (CA), USA

Skinner, R.I., Robinson, W.H., and McVerry, G.H., (1999), “An Introduction to Seismic Isolation,” John Wiley & Sons, USA

लेखक	: सी.वी.आर. मूर्ति, आइआईटी, कानपुर, भारत
प्रायोजक	: भवन निर्माण सामाग्री र प्रविधि प्रवर्धन परिषद नयाँदिल्ली, भारत
अनुवादक	: युक्त विलास मरहट्टा, नमूना इन्स्टिच्यूट अफ टेक्नोलोजी, भरतपुर, चितवन
परिमार्जनकर्ता	: जितेन्द्र कुमार बोधरा, मियामोटो इन्टरनेशनल, न्यूजिल्यान्ड

यो सामग्री आइआईटी, कानपुर र वीएमटीपीसीको बौद्धिक सम्पत्ति हो । विषयवस्तु तोडमोड नगरी र कृतज्ञता जापान सहित यो सामग्री पुनःप्रकाशन गर्न सकिनेछ । हाम्रो ईमेल ठेगाना [nicee@iitk.ac.in](mailto:nicee@iitk.ac.in) मा सल्लाह सुझाव पठाउन सक्नुहुनेछ । यो सामग्री हाम्रो वेबसाइट [www.nicee.org](http://www.nicee.org) वा [www.bmtpc.org](http://www.bmtpc.org) मा हेर्न सकिनेछ ।

## भारपथ (Load Path) किन महत्वपूर्ण छ ?

### भारपथ (Load Path) भनेको के हो ?

भवनको संरचनाले सामान्यतया: ठाडो र तेर्सो गरी दुई प्रकारका भार बोक्दछ। ठाडो भार भवनको निर्माण सामग्री, प्रयोगकर्ता तथा भवनभित्र राखिने सामग्रीले उत्पन्न हुन्छ। यी सबैजस्तै भवनको निर्माण सामग्री, प्रयोगकर्ता तथा भवनभित्र राखिने सामग्रीको आफ्नै पिण्ड हुन्छ। यिनै पिण्डहरूले गर्दा भूकम्प जाँदा भवन र यसका अङ्गहरूमा इनर्सिया शक्ति (Inertia) उत्पन्न हुन्छ। यो शक्ति यसको उद्गम स्थलबाट भवनको ठाडो र तेर्सो संरचना तथा जग हुँदै जमिनमा पुग्छ। यसरी इनर्सिया शक्ति यसको उद्गम स्थलबाट जमिनसम्म जाने बाटोलाई भारपथ (Load Path) भन्दछन् (चित्र २५.१ क)। सामान्य भाषामा भन्दा भवनको विभिन्न अङ्गहरूबाट उत्पन्न भार भवनमुनिको जमिनसम्म पुग्ने बाटोलाई नै भारपथ भनिन्छ। भवनमा भएका पिण्डहरूदेखि जगसम्म बहु भारपथहरू हुन सक्छन्। तेर्सो भारहरू -जस्तै भूकम्प, हावाहुरीले गर्दा आउने भार, चित्र २५.१ ग) लाई जमिनसम्म पुर्‍याउनु उत्तिकै महत्वपूर्ण हुन्छ जति ठाडो भार (भवनको आफ्नै भार यसमा राखिएका सामग्रीको भार आदि, चित्र १ ग) लाई जमिनसम्म पुर्‍याउनु उत्तिकै महत्वपूर्ण हुन्छ। त्यस्तै ठाडो भार (भवनको आफ्नै भार, यसमा राखिएका सामग्रीको भार आदि, चित्र १ ख) लाई यसको उद्गम स्थलबाट जमिनसम्म पुर्‍याउनु पनि असाध्यै महत्वपूर्ण हुन्छ।

भारपथ बुझाउने संरचनागत अङ्गहरू निम्नानुसार छन्।

- तेर्सो सतहमा राखिएका तेर्सो संरचनागत अङ्गहरू : यस अन्तर्गत छत र तल्लाको ढलान, तेर्सो सतहमा राखिएका ट्रस र विकर्ण बन्धनहरू (Bracings) पर्दछन्।
- ठाडा संरचनागत अङ्गहरू : विभिन्न तहमा जोडिएका बिम र पिलर मिलेर बनेका फ्रेमहरू, गारोहरू (ईटा/दुङ्गा वा ढलानका गारोहरू) र ठाडो गरी राखिएका प्लानर ट्रसहरू (Planner Trusses) यस अन्तर्गत पर्दछन्।
- जग र जमिन : छुट्टाछुट्टै र संगै जोडिएका जगहरू, म्याट (Mat), वा पाईल (Pile), जग, माटो र चट्टानको तह।

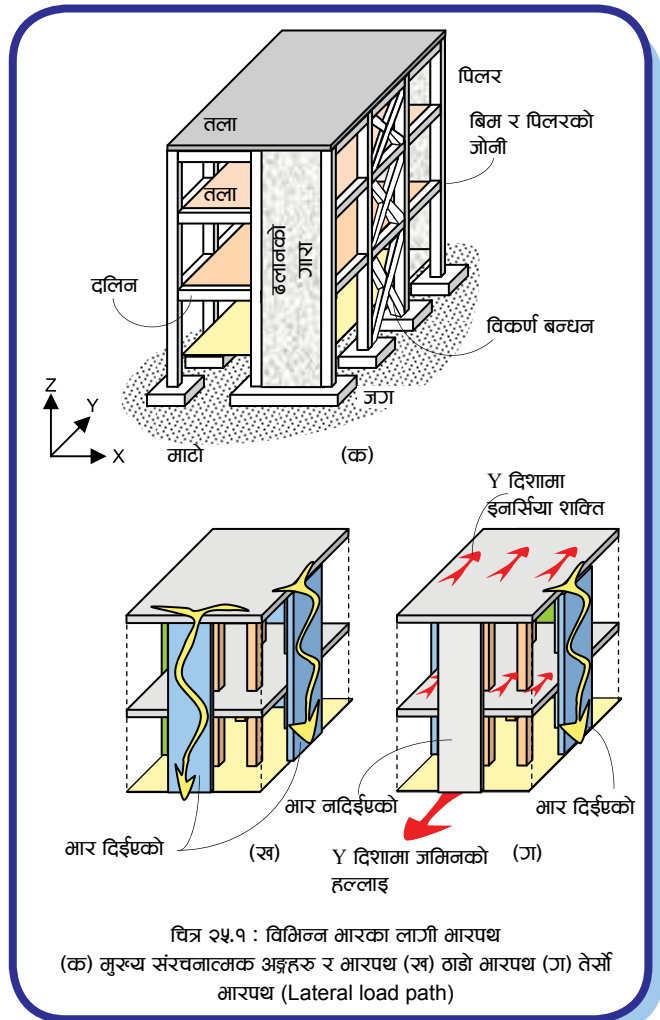
घ. माथि उल्लेखित संरचनागत भागहरूको एक आपसको संयोजन।

### भारपथ (Load Path) को महत्त्व

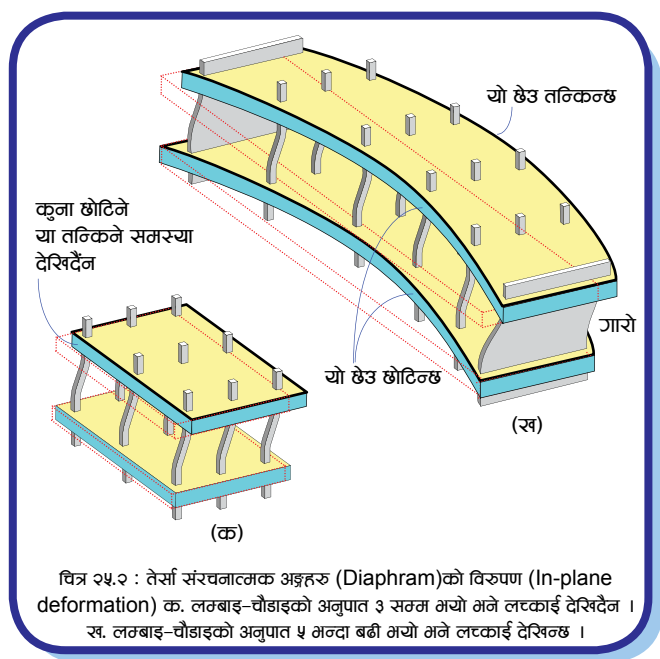
भूकम्प आएको बेलामा विना कुनै अवरोध इनर्सिया शक्ति विभिन्न संरचनात्मक अङ्गहरू हुँदै यदि जगसम्म सजिलै प्रवाह हुन सक्थ्यो भने त्यस्तो भवनमा क्षति अत्यन्त कम हुन्छ। तर, कुनै संरचनात्मक अङ्गहरूमा कुनै किसिमको अवरोध छ वा भारपथ सिधा र सजिलो छैन भने इनर्सिया शक्ति जगसम्म पुग्न धेरैबटा बाझोटिझो बाटोहरू अवलम्बन गर्नुपर्ने हुन्छ। यस्ता भवनहरूमा भुरो विफलन हुने भई भवनले भूकम्पमा धेरै नोक्सानी बेहोर्नुपर्ने हुन्छ। भूकम्पीय सुरक्षाका दृष्टिले यस्ता भवन ठिक मानिदैनन्।

### तेर्सो संरचनात्मक अङ्गहरू (Horizontal Diaphragms)

तला र छानाहरूको ढलान पातला तथा चौडा संरचनात्मक अङ्गहरू हुन्। यिनीहरू तेर्सो गरी विभिन्न तहमा फैलिएर बसेका हुन्छन्। यिनीहरूको आफ्नै पिण्डले उत्पन्न इनर्सिया शक्ति आफूलाई आँड दिने ठाडा संरचनात्मक अङ्गहरूद्वारा जगमा पठाउँछन्। भूकम्प जाँदा तल्ला र छानाको ढलानहरूले तेर्सो सतहमा रहेका बिमहरूको जस्तो प्रभाव देखाउँछन् जसले इनर्सिया शक्ति ठाडा संरचनात्मक अङ्गहरू -पिलर, संरचनात्मक गारो वा प्लानर फ्रेम) मा प्रवाह गर्दछन्। चित्र २५.२ मा



चित्र २५.१ : विभिन्न भारका लागी भारपथ (क) मुख्य संरचनात्मक अङ्गहरू र भारपथ (ख) ठाडो भारपथ (ग) तेर्सो भारपथ (Lateral load path)



चित्र २५.२ : तेर्सो संरचनात्मक अङ्गहरू (Diaphragm)को विरूपण (In-plane deformation) क. लम्बाइ-चौडाइको अनुपात ३ सँगम भयो भने लट्काई देखिदैन। ख. लम्बाइ-चौडाइको अनुपात ५ भन्दा बढी भयो भने लट्काई देखिन्छ।

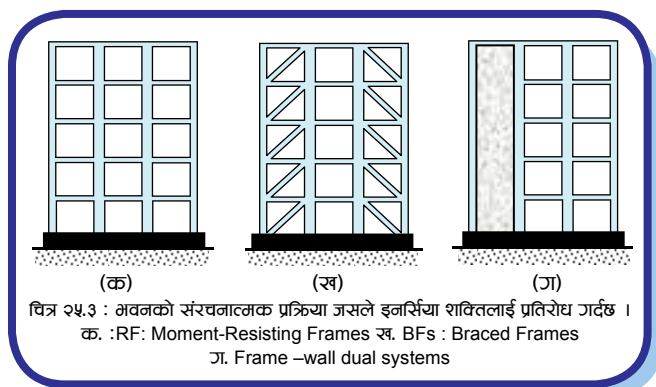
देखाईएभै लामा तला (ढलान) हरु एक पाटोमा तन्किदा अर्को पाटोमा खुम्चन्छन् र सापेक्षिक रुपमा धेरै विरूपण हुन्छ। तेर्सो दिशामा दरो भएका (In Plane Stiffness) र सापेक्षिक विरूपण (Relative Deformation) कम भएका ढलानहरुले भूकम्पीय धक्काको बेलामा भवनलाई सुरक्षित राख्न सक्दछन्। सामान्यतया: आयाताकार ढलानलाई सुरक्षित मानिन्छ। लम्बाइ र चौडाइको अनुपात १:३ भन्दा कम भएको ढलानलाई राम्रो मानिन्छ।

सामान्यतया छाना र भुईँ वा ढलानहरुमा ठूलोला खुल्ला भाग -जस्तै भ्याडका लागि बनाईने cutout जस्तो संरचना) नभएमा यिनीहरुले भूकम्पीय भट्का थेग्न र यस भट्कालाई सिधा भार पथद्वारा अन्य ठाउँ -जस्तै पिलरहरु सम्म) मा सजिलै पुर्‍याउन सक्छन्। ढलानहरुमा राखिने खुल्ला भागले भार पथलाई खल्बलाउछन् र भवन भारहरुको ठाडो संरचना -जस्तै पिलरहरु) सम्मको सिधा र सहज प्रवाहमा बाधा पुर्‍याउछन्। तल्ला वा छानाको ढलानमा भ्याड वा लिफ्ट राख्न खुल्ला भाग (Cutout) बनाउनु पर्छ। तर यस्ता भागहरु सानो र कम संख्यामा राखिनु पर्दछ। तिनीहरुको स्थान चयन गर्दा पनि सोचविचार गरेर चयन गरियो भने जोखिम कम हुन्छ। ढलानमा खुल्ला भाग राख्ने सबैभन्दा उचित स्थानचाहि भवनको मध्यभाग नै हो।

### ठाडा संरचनात्मक अङ्गहरु

भवनका प्रमुख ठाडा संरचनात्मक अङ्गहरु भनेका पिलर, विकर्ण बन्धन, संरचनात्मक गारोहरु वा यि सबैको संयोजन हो, जुन चित्र २५.३ बाट सजिलै बुझ्न सकिन्छ। तिनीहरुले गुरुत्वाकर्षण शक्ति र इनर्सिया शक्तिलाई सहज तरिकाले जगसम्म पठाउँछन् र भूकम्पको धक्का आएको बेलामा भवनलाई सुरक्षित राख्दछन्।

भूकम्प प्रतिरोधी भवन डिजाइन तथा निर्माण गर्ने विभिन्न संरचनात्मक उपायहरु छन्। तिनीहरुमध्ये प्रमुख पिलरवाला भवन (Moment Resisting Frames-MRFs), विकर्ण बन्धन भएको फ्रेम (Braced Frames-BFs), संरचनात्मक गारो (Structural Walls-SWs) वा यिनीहरु सबैको संयोजनबाट बन्ने अरु कुनै उचित डिजाइन पनि हुनसक्छ। यी संरचनात्मक उपायहरु चित्र २५.३ मा देखाईएको छ। यीमध्ये कतिपयको निर्माणमा उच्च दक्षताको खाँचो पर्दछ। संरचनात्मक गारो -Structural Walls) बनाउने तरिका अरुभन्दा अलि सहज छ र भुईँचालोको समयमा Moment Resisting Frames (MRFs) ले भन्दा यसले सामान्यतया राम्रो काम गर्दछ।



### भारपथका आधारभूत आवश्यकताहरु

जुनसुकै निर्माण सामग्री प्रयोग गरिएको भएपनि भवनको भूकम्प प्रतिरोधी क्षमता भारपथको सुदृढतामा भर पर्दछ। यो निर्माण सामग्री र शैली (गारोवाला, आरसीसी वा स्टील) भन्दा फरक कुरा हो। भूकम्पीय डिजाइन संहिताले भवनको डिजाइन गर्दा दुबै तेर्सो दिशामा भारपथ सही ढंगले डिजाइन गर्न दिशानिर्देश गरेको छ। भारपथका आधारभूत तत्वहरु निम्नानुसार छन्।

क. 'भारपथ' भवनको सबै दिशामा राम्ररी पर्नेगरी मिलाउनुपर्छ: भूकम्पको धक्का आउँदा सबै दिशामा धक्का दिनेगरी आउन सक्छ। यसलाई

ठाडो दिशा र दुई परस्पर तेर्सो दिशामा पर्नेगरी आएको रुपमा बुझिन्छ। यसर्थ ठाडो र दुबै तेर्सो दिशालाई सुहाउँदो गरी भार पथको डिजाइन गर्नुपर्छ।

ख. 'भारपथ' सरल बनाउनुपर्छ: अवरोधविहिन र प्रत्यक्ष भारपथ सबैभन्दा उत्तम मानिन्छ। भवनको लम्बाइ र चौडाइ दुबै दिशामा नियमित दुरीमा भारपथ प्रदान गर्नुपर्छ।

ग. भारपथ आधार नक्सामा समरूपता हुनेगरी मिलाउनुपर्छ: भारपथ आधार नक्सामा (Plan) समरूपता हुनेगरी मिलाउनुपर्छ। यसो गर्दा भवनका विभिन्न अङ्गहरु समान रुपमा हल्लिन्छ र क्षति कम हुन्छ। भारपथमा समरूपता भएन भने भवन बटारिने र असमान किसिमले हल्लिने हुन्छ जसले गर्दा भवनमा क्षति बढी हुन्छ।

घ. भार पथसंग संरचनात्मक अङ्गहरुको मजबुत जोडाईको आवश्यकता: ठूलो भूकम्पको बेलामा भवनका प्रत्येक संरचनात्मक अङ्गहरु साथै भार पथहरु पनि ठूलो परिक्षाबाट गुज्र्नुपर्छ। यसर्थ भारपथहरुको भवनको अन्य अङ्गहरुसंगको जोडाई मजबुत र दरिलो हुनुपर्छ जसले गर्दा भारपथ नोक्सान भएर भार प्रवाहमा नराम्रो असर नपरोस्। यो तथ्य चित्र-४ बाट अझ स्पष्ट हुन्छ।



चित्र २५.४ : ढलान र ठाडा संरचनात्मक अङ्गहरुको कमसल जोडाईको परिणाम - सन् २००९ मा भारतमा गएको भूज भूकम्पको बेलामा ढलेको ढलान घर।

### सम्बन्धित भूकम्प जानकारी

जानकारी ५: संरचनामा भूकम्पीय असरहरु के के हुन्?

जानकारी ६: भूकम्पको समयमा भवनलाई वास्तुकलाले कस्तो प्रभाव पार्दछ?

### सन्दर्भ सामग्री

1. Arnold, C; and Reitherman, R; (1982), Building configuration and Seismic Design, John Wiley, USA
2. Ambrose, J; and Vergun, D; (1999), Design for Earthquakes, John Wiley & Sons, Inc; USA

लेखक : सी.बी.आर. मूर्ति, इण्डियन इन्स्टिट्यूट अफ टेक्नोलोजी, जोधपुर, भारत  
 प्रायोजक : भवन निर्माण सामग्री र प्रविधि प्रवर्धन परिषद नयाँदिल्ली, भारत  
 अनुवादक : मिलन बगाले, भर्नाकुलर आर्किटेक्चर, काठमाडौं  
 परिमार्जनकर्ता : जितेन्द्र कुमार बोथरा, मियामोटो इन्टरनेशनल, न्यूजिल्यान्ड

यो सामग्री आइआइटी, कानपुर र वीएमटीपीसीको बौद्धिक सम्पत्ति हो। विषयवस्तु तोडमोड नगरी र कृतज्ञता ज्ञापन सहित यो सामग्री पुनःप्रकाशन गर्न सकिनेछ। हाम्रो इमेल ठेगाना nicee@iitk.ac.in मा सल्लाह सुझाव पठाउन सक्नुहुनेछ। यो सामग्री हाम्रो वेबसाइट [www.nicee.org](http://www.nicee.org) वा [www.bmtpc.org](http://www.bmtpc.org) मा हेर्न सकिनेछ।

## भवनमा भारपथ (Load Path) लाई केले नोक्सानी पुऱ्याउँछ ?

### पिलरवाला भवन (Moment Resisting Frame)

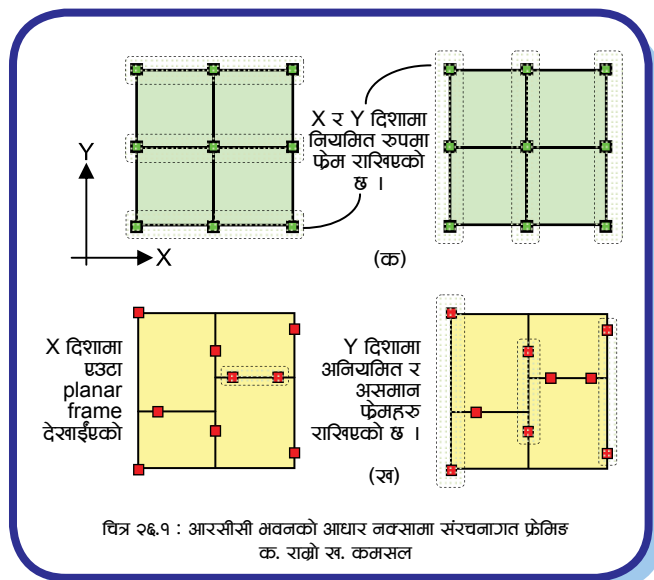
पिलरवाला भवनमा (Moment Resisting Frame) इनर्शिया शक्तिको निरन्तर प्रवाह फ्रेमहरूको ज्यामितिय आकारमा भर पर्दछ । फ्रेम ग्रिडका केही विशेषताहरू निम्नानुसार छन् ।

- चित्र-१क मा देखाईएभै भवनको आधार नक्सामा (Plan) फ्रेमहरू नियमित दुरीमा समानान्तर किसिमले दुवै दिशामा पर्नेगरी हुनुपर्छ ।
- पिलरहरू भवनको सम्पूर्ण उचाइसम्म राखिनुपर्छ । बिमहरूचाहिँ भवनको सम्पूर्ण चौडाइ ढाकिनेगरी राखिएको हुनुपर्छ ।
- आधार नक्साको दुवै दिशाहरूमा Moment Resisting Frame हरूको विचको दूरी समान हुनुपर्छ ।
- Planar Frame हरू बिमभिन्न लामो हुनुपर्छ ताकि यो दोव्रिन या लचिकन सकोस् । छोटो ढलाने बिमहरू शियर फोर्सले क्षतिग्रस्त हुनसक्छन् ।

### कमसल फ्रेम ग्रिड

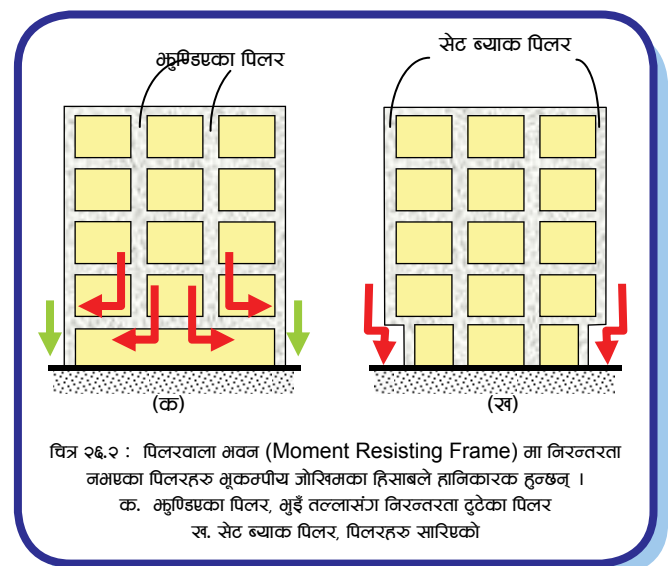
**Moment Resisting Frame** मा निरन्तर भार प्रवाहका लागी पिलर र बिमहरू एक अर्कासँग राम्ररी वारपार भएर छिचोलेर गएको हुनुपर्छ ताकि बिम र पिलरले नियमित ग्रिड बनाओस् । चित्र-१ मा दुईवटा Moment Resisting Frame प्रयोग गरी बनाईएका दुईवटा भवन देखाईएको छ । पहिलो फ्रेमको नक्सामा दुवै दिशामा समान हुने गरी फ्रेम डिजाइन गरिएको छ (चित्र २६.१क) । दोस्रो फ्रेमको नक्सामा बिम र पिलरको संयोजन अनियमित प्रकारको छ । यसमा X दिशामा सानो MRF र Y दिशामा सिमित frame action मात्र सम्भव छ (चित्र २६.१ख) । यो भूकम्प प्रतिरोधी क्षमताका हिसाबले स्वीकार्य डिजाइन होईन ।

भारपथ लामो र घुमाउरो भएमा यसले फ्रेममा तनाव एकाग्रता (stress concentration) ल्याउँछ र यसले गर्दा हुने संरचनाको प्रदर्शन (performance) राम्रो हुँदैन । फ्रेम लाईनमा निरन्तरता छैन भने (जस्तै बिम र पिलरहरू निश्चित लाईनमा नराखी जताजतै राखिएका छन् वा बिमहरू पिलरमा जोडिनुका सट्टा बिममा जोडिन्छन्) यस्तो समस्या देखिन्छ । पिलर र बिम एकैठाउँमा परेका छैनन् भनेपनि यस्तो समस्या देखिन्छ ।



ठाडा संरचनात्मक अङ्गहरूको निरन्तरताको अभाव : भुण्डिएका पिलर (Floating Columns) र सेटब्याक पिलर (Setback Pillar)

लम्बाइ वा उचाइ जतासुकै होस्, संरचनात्मक अङ्गहरूको निरन्तरताको अभावले भूकम्पको बेलामा ठूलै जोखिम निम्त्याउँछ । चित्र २६.२ क मा हेर्नुभयो भने भुईँ तल्लामा मध्यभागमा पिलरहरू छैनन् जबकी त्योभन्दा माथी पिलरहरू छन् । यस्ता पिलरलाई भुण्डिएका वा कुनै आधारविनै तैरिएका पिलरपनि भन्ने गरिन्छ । अब चित्र २६.१ ख मा छेउछेउका पिलरहरू हेर्नुहोस् । भुईँतल्ला र माथिल्लो तल्लामा पिलरहरू फरक-फरक स्थानमा छन् । अर्थात् माथी गएर पिलर बाहिर तानिएका छन् । यस्ता पिलरलाई सेटब्याक पिलर पनि भन्ने गरिन्छ । यस्ता पिलरहरू राखेमा भवनमा भारहरू उनीहरूको उद्गम स्थानबाट जगसम्म पुग्न बाङ्गोटेङ्गो बाटो अवलम्बन गर्नुपर्ने हुन्छ । यसले गर्दा बिम-पिलरको जोर्नी र पिलरहरू बाङ्गो भएको ठाउँहरूमा भुरो क्षति (Brittle Failure) हुन्छ । यसले गर्दा भवनको भूकम्प प्रतिरोधी क्षमताको क्षय हुन्छ ।



### संरचनात्मक गारोसहितको भवन

संरचनात्मक गारो (जसलाई शियर वाल पनि भन्ने गरिन्छ) लम्बाइतर्फ धेरै नै दूरो र बलियो हुन्छ । यसले भवनमा एकदमै विश्वसनीय भारपथ प्रदान गर्छ । संरचनात्मक गारोहरू प्रयोग गरी बनाईएका भवनहरूले विगतका भूकम्प राम्ररी झेलेका छन् । संरचनात्मक गारोहरूका केही विशेषताहरू निम्नानुसार छन् ।

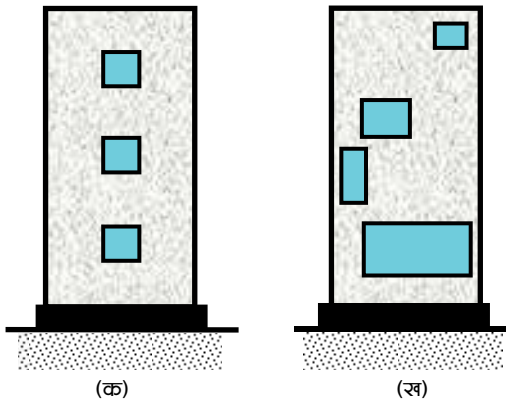
- भवनको पूरै उचाइमा बनाईने संरचनात्मक गारोहरूले तल्ला र छानामा आउने इनर्शिया शक्ति जमिनमा पुऱ्याउनका लागी प्रत्यक्ष भारपथको अवस्था सृजना गर्दछन् ।
- संरचनात्मक गारोहरू भवनको दुवै दिशातर्फ समान रूपमा छरिएर बसेका हुनुपर्छ ।
- गारोको घनत्व प्रशस्त हुनुपर्छ । गारोको क्रस सेक्सनको क्षेत्रफलको प्रतिशत भवनको आधार क्षेत्रफलको अनुपात प्रशस्त मात्रामा हुनुपर्छ ।

संरचनात्मक गारोसँग भूकम्पको थर्कन राम्ररी सहन सक्ने शक्ति हुन्छ । तर, केही यसका विचारणीय पक्षहरू पनि छन् ।



क. ठूला वा अनियमित आकार प्रकारका खुल्ला भागहरु (भ्याल-ढोकाहरु)

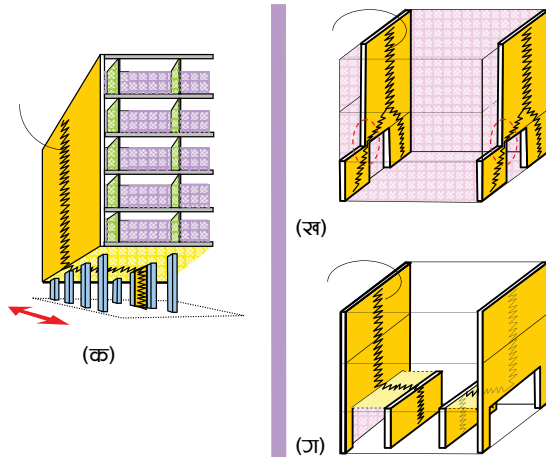
चित्र २६ मा देखाईएभैं साना र एकरूप भएका खुल्ला भागहरु भएको गारोको भूकम्पीय प्रदर्शन राम्रो हुन्छ। तर, संरचनात्मक गारोहरुमा खुल्ला भागहरु (भ्याल-ढोकाहरु) ठूला छन् र ती जथाभावी राखिएका छन् भने त्यहाँ बहु भारपथहरुको सृजना हुन्छ। यसो हुँदा भारपथ सिधा नभई घुमाउरो प्रकृतिको हुन जान्छ। यसरी भारपथ लामो र घुमाउरो हुन जाँदा गारोमा क्षतिको जोखिम बढी हुन्छ। राम्ररी नमिलाई राखिएका खुल्ला भागले गर्दा हुने यस्ता नकारात्मक प्रभाव कम गर्न डिजाइन सहितामा नै विशेष डिजाइन पद्धति राखिएका छन्।



चित्र २८.३ भूकम्पीय शक्ति शोषक उपकरणहरु-प्रत्येक उपकरण निश्चित भवनकालागि उपयुक्त हुन्छ। क. मिल्दो आकार र स्थान ख. अमिल्दो अनियमित आकार र स्थान

ख. निरन्तरताको अभाव, तल्लो तल्लाको गारोको लम्बाइमा चौडाइपछि गारोहरु सारिदा आउने समस्या

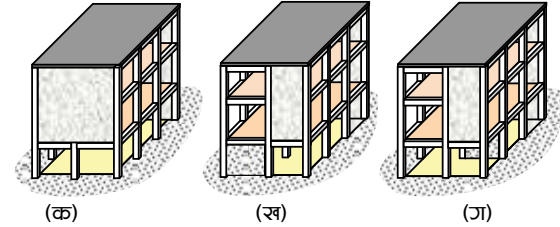
चित्र २६.४ क र २६.५ क मा देखाईएभैं कहिलेकाही भुईँ तल्लामा संरचनात्मक गारोहरु अनियमित रूपमा रहेका हुन्छन्। यिनीहरुलाई कहिले गारोकै लम्बाइ वा चौडाइको दिशामा सारिएको हुन सक्छ (चित्र २६.४ ग र २६.५ ग)। यसले आकस्मिक रूपमा भारपथ परिवर्तन गरिदिन्छ। यस्ता गारोहरु भूकम्पीय जोखिमका हिसाबले कमजोर हुन्छन्। भूकम्प प्रतिरोधी भवन डिजाइनमा यो विकल्प राम्रो मानिदैन।



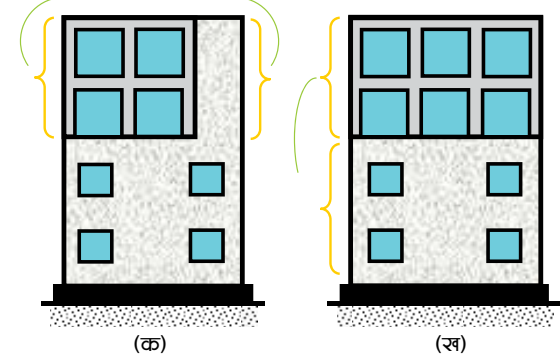
चित्र २६.८ : संरचनात्मक अङ्ग यताउता सर्न जाँदा भारपथको अवाञ्छनीय परिवर्तन र विभाजन क. out of plane-गारोहरुलाई गारोको सतहका चौडाइपछि सारिएको ख. in plane-गारोहरुलाई गारोको लम्बाइपछि सारिएको

ग. माथिल्लो तल्लामा भएको संरचनात्मक गारो सानो बनाउनु

चित्र २६.६ क मा देखाईएभैं संरचनात्मक गारो अचानक आंशिक रूपमा छोडिएमा वा चित्र २६.६ ख मा देखाएजस्तै पूर्ण रूपमा छोडिएमा भवनको दरोपना (Lateral stiffness) र ताकत (Lateral Strength) एक्कासी परिवर्तन भैदिन्छ। यो समस्या भवनको ठाडो सतहमा देखिन्छ। यस किसिमको अभ्यास भूकम्प प्रतिरोधी भवनका लागी राम्रो मानिदैन।



चित्र २६.५ : भवनका गारोहरुको गलत विन्यास। क. भुईँतल्लामा निरन्तरताको अभाव ख. गारो छुट्टै सतहमा तर लम्बाइतिर सारिएको ग. तल्लो तल्लाको गारोलाई माथिल्लो तल्लाको गारोको भित्रपट्टि सारिएको



चित्र २६.६ : संरचनात्मक गारोहरुमा मिश्रित भारपथ क. संरचनात्मक गारो आंशिक रूपमा छोडिएको ख. संरचनात्मक गारो पूर्ण रूपमा छोडिएको

सम्बन्धित भूकम्प जानकारी

- जानकारी ७ : भूकम्प आएको बेलामा घरहरु कसरी बटारिन्छन् ?  
जानकारी १८ : सबलीकृत कंक्रीट भवनमा बिमले कसरी भूकम्प अवरोध गर्दछ ?  
जानकारी २० : सबलीकृत कंक्रीट भवनमा बिम पिलर जोर्नीले कसरी भूकम्प अवरोध गर्दछ ?  
जानकारी २१ : भवनमा भुईँतल्लाको खुल्ला भागले कसरी भूकम्पीय संकट निम्त्याउँछ ?  
जानकारी २३ : भूकम्पीय क्षेत्रमा किन शियर गारो भएका भवन रोजिन्छन् ?

सन्दर्भ सामाग्री

1. Arnold, C; and Reitherman, R; (1982), Building configuration and Seismic Design, John Wiley, USA
2. Ambrose, J; and Vergun, D; (1999), Design for Earthquakes, John Wiley & Sons, Inc; USA

लेखक : सी.वी.आर. मूर्ति, इण्डियन इन्स्टिट्यूट अफ टेक्नोलोजी, जोधपुर, भारत  
प्रायोजक : भवन निर्माण सामाग्री र प्रविधि प्रवर्धन परिषद नयाँदिल्ली, भारत  
अनुवादक : मिलन बगाले, भर्नाकुल आर्किटेक्चर, काठमाडौं  
परिमार्जनकर्ता : जितेन्द्र कुमार बोथरा, मियामोटो इन्टरनेशनल, न्यूजिल्यान्ड

यो सामाग्री आइआईटी, कानपुर र बीएमटीपीसीको बौद्धिक सम्पत्ति हो। विषयवस्तु तोडमोड नगरी र कृतज्ञता ज्ञापन सहित यो सामाग्री पुनःप्रकाशन गर्न सकिनेछ। हाम्रो ईमेल ठेगाना nicee@iitk.ac.in मा सल्लाह सुझाव पठाउन सक्नुहुनेछ। यो सामाग्री हाम्रो वेबसाईट [www.nicee.org](http://www.nicee.org) वा [www.bmtpc.org](http://www.bmtpc.org) मा हेर्न सकिनेछ।



## भूकम्पबाट गैर संरचनात्मक अङ्गहरूलाई कसरी बचाउने ?

### गैर संरचनात्मक अङ्गहरू (Non Structural Elements)

भूकम्पको समयमा भवन हल्लिदा त्यसको जोखिमबाट भवन प्रयोगकर्ता र भवनभित्र रहेका यन्त्र, उपकरण, सामग्री र सेवा प्रवाह गर्ने प्रणालीलाई जोगाउनु प्रमुख संरचनात्मक अङ्गहरूको महत्वपूर्ण काम हो। भुइँचालोले भवनलाई हल्लाउँदा थर्कनको असर भवनभित्र रहेका यन्त्र, उपकरण, सामग्री, सेवा प्रवाह गर्ने प्रणाली र अन्य पूरक अङ्गहरूमा स्वभाषिक रूपमा पर्न आउँछ। भवनभित्र रहेका यस्ता भवन अंश (पार्टिशन गारो इत्यादी) यन्त्र, उपकरण र सेवा प्रवाह प्रणालीसँग सम्बन्धित वस्तुहरूलाई गैर संरचनात्मक अङ्गहरू भनिन्छ।

गैर संरचनात्मक अङ्गहरूलाई मोटामोटी तीन भागमा विभाजन गर्न सकिन्छ।

**क. भवनभित्र राखिएका सामग्री :** यस अन्तर्गत निम्न वस्तुहरू पर्न आउँछन्। अ. दराज लगायतका विविध फर्निचरहरू। आ. फल्स सिलिड, सरसामाग्रीको खात, फ्रिज जस्ता वस्तुहरू। इ. भ्याल-ढोकाका चौकोस र खापा, प्लाईउड र आल्मुनियमले बनेका हलुका पार्टिशनहरू।

**ख. भवनका पूरक अङ्गहरू :** भवनको मूल खण्डबाट तेर्सो वा ठाडो रूपमा बाहिर निस्केका अङ्गहरू जस्तै धूवा निस्कने चिमनी, भवनको बाहिरी भागमा लगाईएको शिशा, भवनको मोहोडामा शोभा दिने प्रयोजनका लागि टाँसिने ढुङ्गा, प्यारापेट, छतमा राखिने पानी ट्याङ्की अड्याउने प्रयोजनका लागि बनाईने संरचना, घाम छेक्ने छज्जा, विज्ञापन प्रयोजनका लागि राखिने होर्डिङ बोर्डजस्ता गह्रौं संरचना आदि।

**ग. सेवा प्रवाह प्रणालीसँग सम्बन्धित :** खानेपानी प्रवाह गर्ने पाईप, बिजुलीका तार, एयर कन्डिसनका लागि बनाईएका 'डक्ट' (Duct) आकाश पानीको निकासको लागि राखिने पाईप र इलिभेटरहरू।

### गैर संरचनात्मक अङ्गहरूमा भूकम्पको असर

ठूलो भूकम्पमा भवन हल्लिँदा गैर संरचनात्मक अङ्गहरूमा निम्न प्रकारको क्षति देखिन सक्छ। (क) चिप्लिने वा खस्ने। (ख) यताउता सर्ने वा भाँचिने। गैर संरचनात्मक अङ्ग वा सामग्री संरचनात्मक अङ्गहरूसँग राम्ररी नबाँधिदा वा नजोडिदा यस्तो समस्या देखिन्छ। यसो हुन जाँदा गैर संरचनात्मक सामग्रीहरू क्षतिग्रस्त भै सेवा प्रवाहमा समेत अवरोध आउँछ। रसायन पोखिएर प्रयोगशालामा आगलागी पनि हुनसक्छ। गैर संरचनात्मक अङ्गहरूमा हुने क्षति सानो वा ठूलो दुवै हुनसक्छ। यो गैर संरचनात्मक अङ्गको उपयोगिता, महत्व र क्षमतामा भर पर्छ। उदाहरणका लागि पुस्तकालयमा राखिएका दराजहरू राम्ररी बाँधिएका छैनन् भने दराजहरू भाँचिन वा लचकिन सक्छन्। चित्र नम्बर २७.१ख मा देखाईएभैं शुरुमा किताब यताउता छरिएजस्तो मात्रै देखिएपनि अग्ला र गह्रौं दराज ढलेर मानवीय क्षतिसमेत निम्तिन सक्छ। चित्र २७.१ग मा देखाईएभैं ग्याँसका पाईपलाईनहरू टुटे भने, विद्युत कन्ट्रोल प्यानलहरू ढले भने प्रत्यक्ष-अप्रत्यक्ष रूपमा धेरै क्षति पुग्छ। भवन निर्माण पद्धतिलाई परिष्कृत बनाई भवनको भूकम्पीय क्षमता अभिवृद्धि गर्नु महत्वपूर्ण हुन्छ तर यसबाहेक गैर संरचनात्मक अङ्गहरू पनि भूकम्पको थर्कन थेग्न सक्षम हुनु जरुरी छ। कतिपय भूकम्पमा गैर संरचनात्मक क्षतिले गर्दा निकै ठूलो आर्थिक नोक्सानी बेहोर्नुपर्ने हुनसक्छ।

### गैर संरचनात्मक अङ्गहरूलाई जोखिमबाट जोगाउने उपाय

भूकम्पको समयमा गैर संरचनात्मक अङ्गहरूले प्रवेग सम्बेदनशील (acceleration-sensitive) वा विस्थापन सम्बेदनशील (displacement-sensitive) व्यवहार देखाउँछन्।

**क. प्रवेग सम्बेदनशील :** संरचनात्मक अङ्गहरूसँग गैर संरचनात्मक अङ्गहरू वा अंशहरू राम्ररी बाँधिएका वा जोडिएका छैनन् भने ती अङ्ग वा अंशहरू खस्ने, चिप्लिने आदि समस्या देखिन्छ। संग्रहालयमा राखिने ऐतिहासिक महत्वका वस्तु वा मूर्तिहरू, भवनको कुनै कुनामा राखिएको जेनेरेटरलाई उदाहरणको रूपमा लिन सकिन्छ। यस्तो समस्या नदेखियोस् भन्नाका लागि गैर संरचनात्मक अङ्गहरूलाई संरचनात्मक अङ्गहरूसँग राम्ररी बाँधिने गरी डिजाइन गरिनुपर्छ। त्यसो गरियो भने क्षति न्यून हुनजान्छ। यो बन्धनको डिजाइन त्यस गैर संरचनात्मक वस्तुको प्रवेगले गर्दा उत्पन्न शक्तिका लागि गर्नु पर्दछ।

**ख. विस्थापन सम्बेदनशील :** ठूलो भुइँचालोमा गैर संरचनागत अङ्ग बाँगिने, खुम्चने, वा तन्किने हुनसक्छ। शिशा शिशा राखेर बनाईने भवनको मोहोडा, एक तल्लाबाट अर्को तल्लामा जानेगरी राखिएका पानी र ग्याँसका पाईपहरू, मूल सडकदेखि भवनसम्म ल्याईएका बिजुलीका तार आदिलाई उदाहरणको रूपमा लिन सकिन्छ। संरचनात्मक अङ्ग तन्किदा वा बाँगिदा पनि गैर संरचनात्मक अङ्गमा क्षति पुग्छ। गैर संरचनात्मक अङ्गको संरचनात्मक अङ्गसँग सापेक्षिक विस्थापन समायोजन गर्ने हिसाबले तिनीहरूको जोडाईको डिजाइन गर्नुपर्छ।

केही गैर संरचनात्मक अङ्गहरू विस्थापन वा प्रवेग दुवै हिसाबले संवेदनशील हुन्छन्। तिनीहरूको डिजाइन गर्दा दुवै हिसाबले ख्याल पुर्‍याउनुपर्ने हुन्छ। फल्स सिलिडको उदाहरणबाट यसलाई अभ्र राम्ररी बुझ्न सकिन्छ। फल्स सिलिड भूकम्पको बेलामा खस्नेमात्रै हैन, दायाँबायाँ हल्लिदा ठोक्किन पनि सक्छ।

(क)



(ख)



(ग)



चित्र २७.१ : भुइँचालोको समयमा गैर संरचनात्मक अङ्गहरूको व्यवहार  
चित्र (क) प्रयोगशालामा रसायन पोखिएको चित्र (ख) पुस्तकालयका दराजहरू  
चित्र (ग) खानेपानीका पाईपहरू र विद्युतीय कन्ट्रोल प्यानलहरू

गैर संरचनात्मक अङ्गहरूलाई भूकम्पीय जोखिमबाट कसरी जोगाउन सकिन्छ ?

सुरक्षित हिसाबले गैर संरचनात्मक अङ्गहरू डिजाइन गर्दा ३ वटा रणनीतिहरू अवलम्बन गर्न सकिन्छ ।

#### क. गैर इन्जिनियरिङ्ग रणनीति

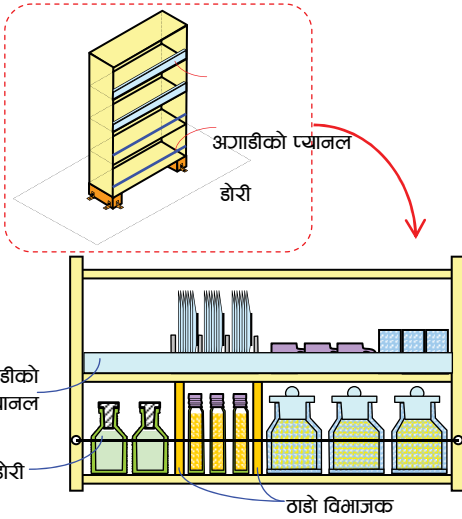
यो सामान्य किसिमको रणनीति हो । चित्र २७.२ वाट यसलाई राम्ररी बुझ्न सकिन्छ । दराजबाट सामानहरू नखसोस् भन्नाका लागी फन्ट प्यानल लगाउने, अग्ला भाडाहरू वा शिशाका सामानहरू भएको ठाउँमा डोरी राख्ने जस्ता सामान्य सुरक्षात्मक उपायहरू अवलम्बन गर्न सकिन्छ । यसो गर्दा सामानहरूलाई छुट्टाछुट्टै बाँधेर राख्न पर्दैन । गैर इन्जिनियरिङ्ग रणनीति अपनाएर गैर संरचनात्मक अङ्गहरूलाई जोगाउन सकिन्छ ।

#### ख. निर्धारण रणनीति

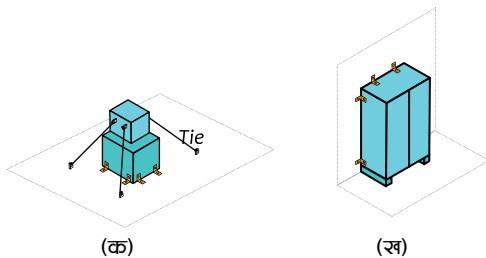
उद्योगमा निर्मित ठूला गैरसंरचनागत उपकरणहरू र अङ्गहरू जस्तै ठूलो दराज, फ्रिज, प्रयोगशालाका उपकरण र ठूलो शिशा भएका भ्यालहरूका लागी त्यसका निर्माताहरूले नै ती गैर संरचनात्मक अङ्गहरूलाई भूकम्पहरूलाई संरचनात्मक अङ्गहरूसँग जोड्न आवश्यक उपकरण र विधि उपलब्ध गराउछन् ।

#### ग. इन्जिनियरिङ्ग डिजाइन रणनीति

ठूलो र विशेष खालका गैर संरचनात्मक अङ्गहरू (जस्तै केन्द्रिय एअर कन्डिसन प्रणालीका प्लान्टहरू, भवनमा राखिएका अग्नी निरोधक पाईपहरू) को लागी विशेष इन्जिनियरिङ्ग डिजाइनको जरुरी हुन्छ (चित्र २७.४) ।

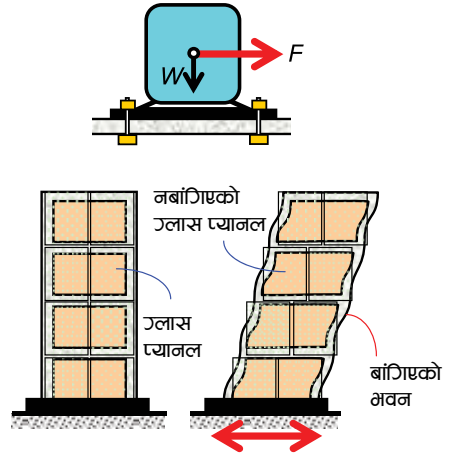


चित्र २७.२ : गैर संरचनात्मक अङ्गहरूको सुरक्षाको लागी गैर इन्जिनियरिङ्ग उपाय । यो सामान्य रणनीतिले छुट्टाछुट्टै नै, समूहगत रूपमा सुरक्षा प्रदान गर्दछ ।

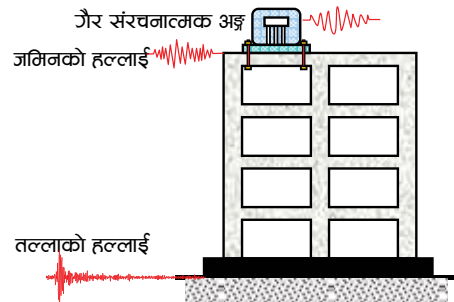


चित्र २७.३ : गैर संरचनात्मक अङ्गहरूको सुरक्षाको लागी निर्धारण (इन्जिनियरिङ्ग) उपाय । क. संरचनात्मक अङ्गसँग बाँध्ने । ख. संरचनात्मक अङ्गसँग जोड्नका लागी नटबोल्टको प्रयोग गर्ने ।

माथिल्लो तल्लाहरूमा राखिने गैर संरचनात्मक अङ्ग र त्यसको संरचनात्मक अङ्गसँगको जोडाई डिजाइन गर्दा त्यस तल्लामा आउने भूकम्पीय हल्लाईका लागी डिजाइन गर्नुपर्छ । मुख्य त भूकम्पको बेलामा माथिल्लो तल्ला भुईँ



चित्र २७.४ : गैर संरचनात्मक अङ्गहरूको सुरक्षाको लागी इन्जिनियरिङ्ग उपाय । क. कडा र बृहत गैर संरचनात्मक अङ्गका लागी फोर्स डिजाइन । ख. लचकदार र पातलो गैर संरचनात्मक अङ्गका लागी सापेक्षिक विस्थापन (relative displacement) डिजाइन ।



चित्र २७.५ : जमिनको हल्लाईभन्दा फरक गैर संरचनात्मक अङ्गको हल्लाई – गैर संरचनात्मक अङ्गको हल्लाई बढी हुनसक्छ । र, फरक प्रकृतिको पनि हुनसक्छ ।

तल्लाभन्दा बढी हल्लिन्छ, र त्यो तल्लामा भूकम्पको प्रभाव बढी देखिन सक्छ । त्यसकारण माथिल्लो तल्लाहरूमा ठाडो वा तेर्सो पारेर राखिएका गैर संरचनात्मक अङ्गहरूको डिजाइनमा विशेष ध्यान पुर्‍याउनुपर्छ । अमेरिका लगायतका केही देशले गैर संरचनात्मक अङ्गको डिजाइन र त्यसको संरचनात्मक अङ्गसँगको बन्धन सम्बन्धी प्रावधानलाई कडाईका साथ लागु गरेका छन् ।

#### सम्बन्धित भूकम्प जानकारी

जानकारी २३ : भूकम्पीय क्षेत्रमा किन शियर गारो (shear wall) भएका भवन बढी रोजिन्छन् ?

#### सन्दर्भ सामग्री

1. FEMA E-74, Reducing the Risks of Non-structural Earthquake Damage- A Practical Guide, Applied Technology Council, USA
2. Mondal G; and Jain, S.K; (2005), "Design of Non-structural Elements of Buildings: A review of codal provisions", August 2005; and "proposed Draft for IS:1893 on Design of Non-structural Elements", October 2005, The Indian concrete Journal, ACC Limited, Thane, India

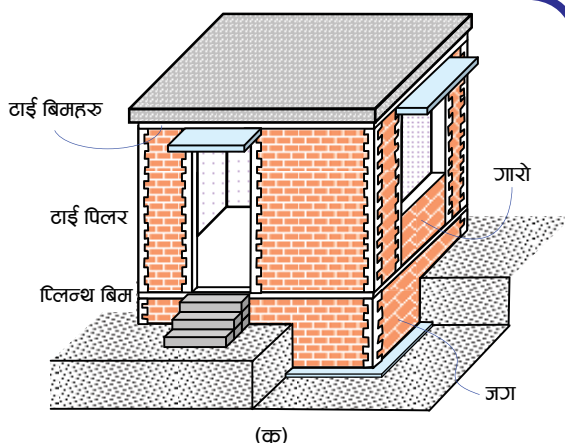
लेखक : सी.वी.आर. मूर्ति, इण्डियन इन्स्टिट्यूट अफ टेक्नोलोजी, जोधपुर, भारत  
प्रायोजक : भवन निर्माण सामग्री र प्रविधि प्रवर्धन परिषद नयाँदिल्ली, भारत  
अनुवादक : मिलन बगाले, भर्नाकुल आर्किटेक्चर, काठमाडौं  
परिमार्जनकर्ता : जितेन्द्र कुमार बोथरा, मियामोटो इन्टरनेशनल, न्यूजिल्यान्ड

यो सामग्री आइआइटी, कानपुर र बीएमटीपीसीको बौद्धिक सम्पत्ति हो । विषयवस्तु तोडमोड नगरी र कृतज्ञता ज्ञापन सहित यो सामग्री पुनःप्रकाशन गर्न सकिनेछ । हाम्रो इमेल ठेगाना nicee@iitk.ac.in मा सल्लाह सुझाव पठाउन सक्नुहुनेछ । यो सामग्री हाम्रो वेबसाईट [www.nicee.org](http://www.nicee.org) वा [www.bmtpc.org](http://www.bmtpc.org) मा हेर्न सकिनेछ ।

## बाँधिएको गारोको निर्माण पद्धति (Confined Masonry) के हो ?

**गारोलाई ढलानका बन्धनद्वारा स-सानो भागमा विभाजित गरिने भवन निर्माण प्रविधिको आधारभूत कुराहरु**

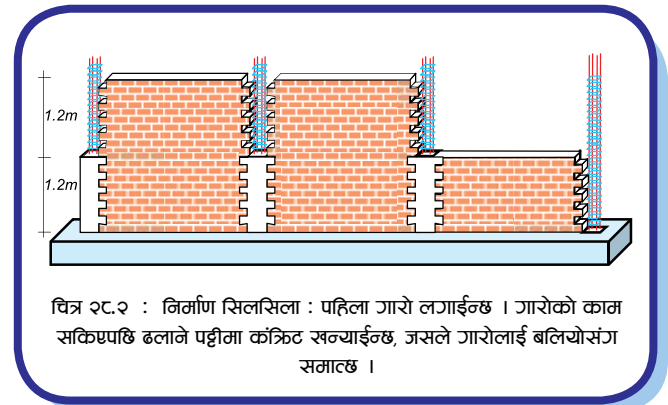
गारोलाई ढलानका बन्धनद्वारा स-सानो भागमा विभाजित गरिने भवन निर्माण प्रविधिको सामान्यतया निम्न कुरालाई समेटेको हुन्छ: चलनचल्तीको पट्टी जग (Strip Foundation), ढलान गरिएका प्लिन्थ बिम, सो माथी ईटा वा कंक्रीट ब्लकको गारो, गारोलाई ठाडो र तेर्सो दुवै दिशातिर बाँध्ने ढलाने पेट्टीहरु तथा गारोलाई बाँध्ने पेट्टीहरुसंग एकैचोटी (Monolithically) निर्माण गरिएका तला र छाना। चित्र २८.१क मा यी अंशहरु प्रष्ट रूपमा देखाइएको छ। गारोमा बनाईएका ठाडा तथा तेर्सो बन्धन (पेट्टी) हरूलाई टाई पिलर (Tie column) र टाई बिम (Tie Beam) पनि भनिन्छ। यो प्रविधि अपनाएर घर बनाउँदा प्लिन्थ बिमचाहि अनिवार्य रूपमा राख्नुपर्छ। भूकम्प अति प्रभावित क्षेत्रमा साना तथा मध्यम खाले घरहरु बनाउन यो उत्तम प्रविधि हो (चित्र २८.१ख)।



चित्र २८.१ : बाँधिएको गारो प्रयोग गरिने भवन निर्माण प्रविधि  
चित्र (क) प्रमुख अवयवहरु चित्र (ख) चिलीमा बनाईको ४ तल्लो घर

ढलानको बन्धन सहितको यो प्रविधिको मुख्य विशेषता गारोलाई स-सानो भागमा विभाजित गर्नु हो। गारोलाई स-सानो भागमा विभाजित गर्दा गारोको र दायोवायाँ ढलानका ठाडा र तेर्सो बन्धनहरु बनाईन्छन्। यो प्रविधिमा गारो लगाईसकेपछि बल्ल कंक्रीट खन्याएर बन्धनहरु बनाईन्छन्। यी बन्धनहरुले गारोलाई चल नदिई घरलाई एकटिक्का बन्न सघाउँछन् र भूकम्प आउँदा क्षति कम हुन्छ (चित्र २८.२)। यसरी बनाईएका घरहरुले

विगतका ठूलो भुइँचालो सहजै झलेका छन्। सन् २०१० मा गएको चिली भूकम्पलाई उदाहरणको रूपमा लिन सकिन्छ। ढलान र गारोवाला धेरै भवनमा क्षति पुगेपनि सो भूकम्पमा यो प्रविधि अपनाएर बनाईएका भवनमा कममात्र क्षति पुगेको थियो।



चित्र २८.२ : निर्माण सिलसिला : पहिला गारो लगाईन्छ। गारोको काम सकिएपछि ढलाने पट्टीमा कंक्रीट खन्याईन्छ, जसले गारोलाई बलियोसँग समात्छ।

गारोलाई काठका बन्धनद्वारा स-सानो भागमा विभाजित गरी घर बनाउने प्रविधि भूकम्प अति प्रभावित क्षेत्रमा पुस्तौदेखि चल्दै आएको छ। अल्पाइन-हिमालयन क्षेत्रमा यो प्रविधि निकै प्रचलनमा छ। जस्तै: भारतको काश्मिर उपत्यकाको जम्बु र काश्मिर राज्यमा 'धज्जी दिवारी' भनिने रैथाने निर्माण प्रविधि निकै चल्तीमा छ। यो गारोलाई काठका तेर्सो, ठाडा र विकर्ण बन्धनको सहायताले स-सानो भागमा विभाजित गरिने निर्माण प्रविधि हो। यसरी बनाईएका घरहरुले विगतमा ठूलो भुइँचालो सजिलै झलेका छन्, मानवीय क्षति कम गर्न निकै मद्दत पुऱ्याएका छन्। यी भवनहरुको वास्तुकला सरल छ, गुणस्तरीय निर्माण सामग्रीको प्रयोग भएको छ र निर्माण प्रविधि पनि उन्नत किसिमको छ।

**यो प्रविधि मोमेन्ट रेस्टिङ फ्रेम (Moment Resisting Frame) र बन्धन नभएका गारो लगाउने प्रविधिभन्दा फरक छ।**

यो प्रविधि गारो लगाईएका मोमेन्ट रेस्टिङ फ्रेम (Moment Resisting Frame) अर्थात पिलरवाला भवनभन्दा पूर्ण रूपमा फरक छ, जबकी दुवै निर्माण प्रविधिमा एकैखालका निर्माण सामग्री (सिमेन्ट मसला तथा ईटा वा ब्लकको गारो) को प्रयोग हुन्छ। निर्माण सम्पन्न भैसक्दा दुवै घर उस्तै देखिन्छन्। तर, यिनीहरुको निर्माण प्रविधिमा ठूलो फरक छ।

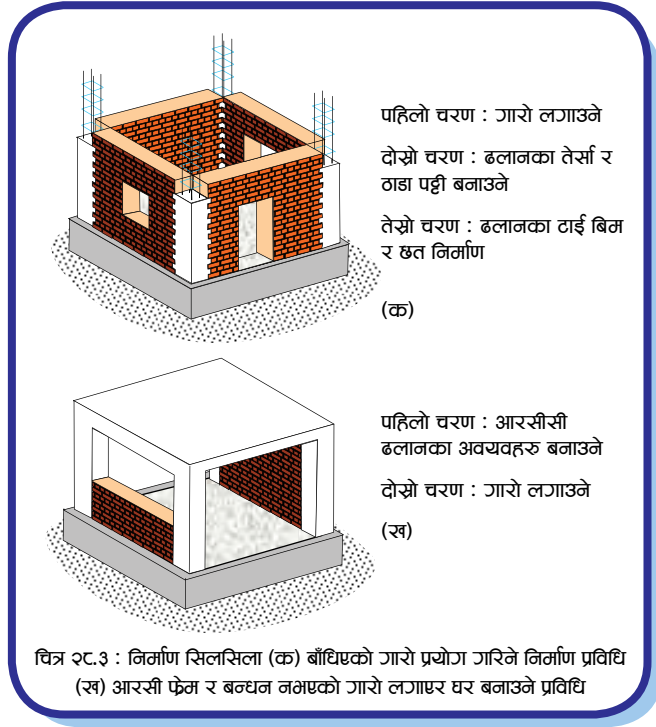
**क. फरक विशेषता वा व्यवहार (Different Behaviour)**

यो प्रविधि अपनाएर बनाईने घरहरु गारोवाला प्रकृतिका हुन् किनभने गारोले नै गुरुत्व भार र भूकम्पको बेलामा आउने तेर्सो भार (Earthquake Induced Lateral Force) लाई बहन गर्छ। यो डण्डी प्रयोग नगरीकन निर्माण गरिने गारोवाला भवनजको निर्माणजस्तै हो, जुन नेपाल र भारतमा धेरै पहिलेदेखि प्रचलनमा छ। डण्डी प्रयोग नगरीकन बनाईने गारोवाला भवनले गुरुत्व भार बोक्न सक्छ तर भूकम्पको धक्काले यिनीहरुलाई गम्भीर क्षति पुऱ्याउँछ। गारोले भूकम्पको बेलामा उत्पन्न हुने तन्काई (Tension) खप्न सक्दैन। ढलाने फ्रेमहरुभित्र (पिलरवाला भवन) पनि डण्डी नराखी गारो लगाउने प्रचलन भारत र नेपाल लगायत धेरै देशहरुमा छ (हेर्नुहोस् भूकम्प जानकारी, १७,२१,२२) जबकी न्यूजिल्याण्ड लगायतका देशमा डण्डी राखेर गारो लगाउँने तर गारोलाई पिलर र बिमबाट छुट्याउने प्रविधि प्रचलनमा छ।



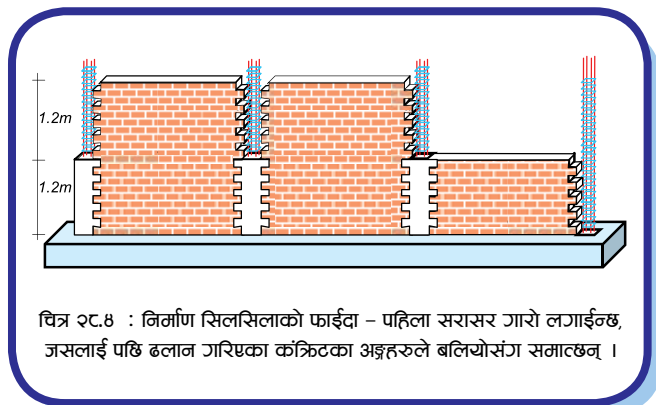
## ख. फरक निर्माण अनुक्रम वा सिलसिला (Different Construction Sequence)

मोमेन्ट रेस्टिड फ्रेम (Moment Resisting Frame) र बाँधिएको गारोको निर्माण पद्धति आधारभूत रूपमै फरक छ । ढलानको बन्धन सहितको यो निर्माण प्रविधिमा गारो र फलामे छड राख्ने काम संगसंगै गरिन्छ, र गारो तयार भएपछि बन्धनमा कंक्रीट खन्याइन्छ । तर, मोमेन्ट रेस्टिड फ्रेममा पहिला ढलानका संरचना (जग, पिलर, बिम, छत) तयार पारिन्छ । त्यसपछि, बल्ल पिलरहरूको बिचमा गारो लगाईन्छ ।



## ग. फरक डिजाइन तौरतरिका

यो प्रविधिमा ढलानका ठाडा र तेर्सो बन्धनहरूले आधारभूत रूपमा तन्कने वा खुम्चिने (Tension & Compression) व्यवहार देखाउँछन् । यिनीहरू बिचको जोडाई पिन जोडाई (Pin Joined) जस्तो हुन्छ, त्यसैले ढलानका टाई बिम र टाई पिलर फ्रेमवाला भवनका पिलर र बिमभन्दा साना हुन्छन् । ढलानको फ्रेमवाला भवनको तुलनामा यसमा डण्डी कम चाहिन्छ । यो निर्माण पद्धतिमा तोकिएका साधारण र सरल नियमहरू प्रयोग गरी साना र निश्चित आकारका कोठाहरू भएका भवन सजिलै बनाउन सकिन्छ । (हेर्नुहोस् Meli et al, 2011; Brzev, 2008) । तर, मोमेन्ट रेस्टिड फ्रेमका लागी इन्जिनियरिङ डिजाइन जरुरी छ । त्यसकारण यो प्रविधि प्रयोग गर्दा डिजाइनमा समय कम लाग्छ ।



चित्र २८.४ मा देखाईएभैं गारोलाई विभाजित गर्ने ढलाने पट्टीहरूले भुरो गारोलाई मजबुती र स्थिरता प्रदान गर्दछन् । बन्धनको प्रयोगले संरचनागत एकरूपता ल्याउँछ । त्यसकारण तुलनात्मक रूपमा कम प्राविधिक क्षमता र दक्षताको प्रयोग गरी फ्रेमवाला घरभन्दा राम्रो क्षमता भएका यस्ता घर बनाउन सकिन्छ । तुलनात्मक रूपमा कम खर्चमा बनाउन सकिने भएकोले भूकम्प प्रभावित क्षेत्रमा साना र मध्यम खालका निर्माणका लागी यी घरहरू उपयोगी छन् ।

## बाँधिएको गारो प्रयोग गरी भवन निर्माण गर्ने प्रविधि

बाँधिएको गारो प्रयोग गरी भवन निर्माण गर्ने प्रविधिको डिजाइन संहिता चिली, मेक्सिको, अर्जेन्टिना जस्ता देशहरूमा विगत ५० वर्षदेखि प्रचलनमा छ । तर, भारत, नेपाल लगायतका कैयन देशमा यो प्रविधिको अभ्यास भएको छैन । त्यसैले ती देशहरूमा डिजाइन संहिताहरू पनि बनाईएको थिएन । पछिल्लो समय केही संहिताहरू बन्ने क्रममा छन् (हेर्नुहोस् Brzev, 2008; Schacher, 2009) । धेरैजसो भवन संहिताहरूले यो निर्माण पद्धति प्रयोग गरी बनाईने साना भवनहरूका लागी निर्धारित निर्देशिकाहरूले बास्तुकला, संरचनागत र निर्माणगत पक्ष बताउँछन् भने अग्ला भवनहरूका लागी प्राविधिक डिजाइन पद्धति प्रदान गर्दछन् । यी डिजाइन संहिताहरू प्रयोगशाला परिक्षण, विश्लेषणात्मक अनुसन्धान र विगतका भुईँचालोमा यस्ता भवनहरूको कार्यकुशलता प्रदर्शनमा आधारित छन् ।

## सम्बन्धित भूकम्प जानकारी

- जानकारी १२ : ईट्टाको गारोवाला घरले भूकम्पको समयमा कस्तो व्यवहार देखाउँछ ?
- जानकारी १३ : किन गारोवाला भवनहरूको संरचनात्मक स्वरूप साधारण हुनुपर्दछ ?
- जानकारी १७ : भूकम्पले सबलीकृत कंक्रीटका भवनहरूलाई कसरी असर पार्दछ ?
- जानकारी २९ : बाँधिएको गारो प्रयोग गरिने भवन निर्माण प्रविधिको आधारभूत विशेषताहरू के के हुन् ?

## सन्दर्भ सामाग्री

- Brzev, S.N; (2008), Earthquake-Resistant confined Masonry Construction, National Information Center of Earthquake Engineering, IIT Kanpur, [www.nicee.org](http://www.nicee.org)
- Meli, R; et al (2011), Seismic Design Guide for Low-Rise Confined Masonry Buildings, Earthquake Engineering Research Institute, and International Association for Earthquake Engineering
- Schacher, T; (2009), Confined Masonry for one and two storey buildings in low-tech environments, A guideline for technicians and artisans, National Information center of Earthquake Engineering, IIT Kanpur, [www.nicee.org](http://www.nicee.org)

लेखक : सी.बी.आर. मूर्ति, इण्डियन इन्स्टिट्यूट अफ टेक्नोलोजी, जोधपुर, भारत  
प्रायोजक : भवन निर्माण सामाग्री र प्रविधि प्रवर्धन परिषद नयाँदिल्ली, भारत  
अनुवादक : मिलन बगाले, भर्नाकुल आर्किटेक्चर, काठमाडौं  
परिमार्जनकर्ता : जितेन्द्र कुमार बोथरा, मियामोटो इन्टरनेशनल, न्यूजिल्यान्ड

यो सामाग्री आइआइटी, कानपुर र बीएमटीपीसीको बौद्धिक सम्पत्ति हो । विषयवस्तु तोडमोड नगरी र कृतज्ञता ज्ञापन सहित यो सामाग्री पुनःप्रकाशन गर्न सकिनेछ । हाम्रो इमेल ठेगाना [nicee@iitk.ac.in](mailto:nicee@iitk.ac.in) मा सल्लाह सुझाव पठाउन सक्नुहुनेछ । यो सामाग्री हाम्रो वेबसाइट [www.nicee.org](http://www.nicee.org) वा [www.bmtpc.org](http://www.bmtpc.org) मा हेर्न सकिनेछ ।

## बाँधिपको गारो प्रयोग गरिने भवन निर्माण प्रविधिका मुख्य विशेषताहरू

### बाँधिपको गारो प्रयोग गरिने भवन निर्माण प्रविधिको क्षेत्र

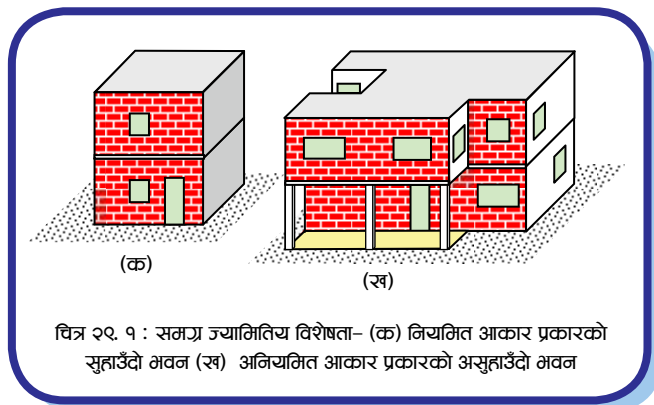
यो प्रविधि साना र मध्यमखाले भवन निर्माणका लागि उचित मानिन्छ । यी घरहरू थोरै इन्जिनियरिङ्ग दक्षता र कम प्राविधिक सुपरिवेक्षणमै निर्माण गर्न सकिन्छ । डिजाइन संहिता र इन्जिनियरिङ्ग दक्षताको प्रयोग गरी कतिपय देशले यो प्रविधिको प्रयोग गरी ६ तलासम्मका भवन बनाउन अनुमति दिएका छन् । व्यवसायिक भवन वा ठूलो कोठा भएका भवन निर्माणका निमित्त यो प्रविधि त्यति उपयोगी मानिदैन ।

### वास्तुकला निर्देशिका (Architectural Guidelines)

वास्तुकलाको विन्यास (Architectural configuration) ले भूकम्पको बेलामा भवनले देखाउने व्यवहार गम्भीर रूपमा निर्धारण गर्दछ ।

#### क. समग्र ज्यामिति (Overall Geometry)

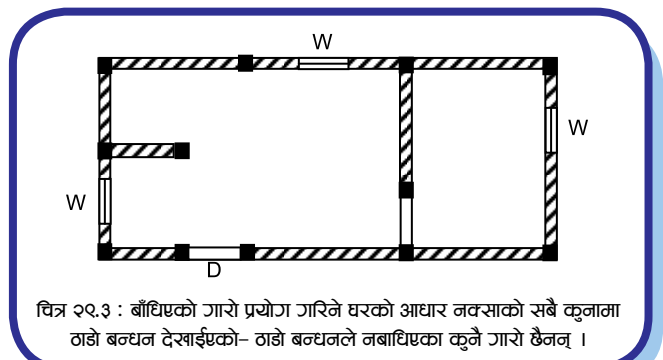
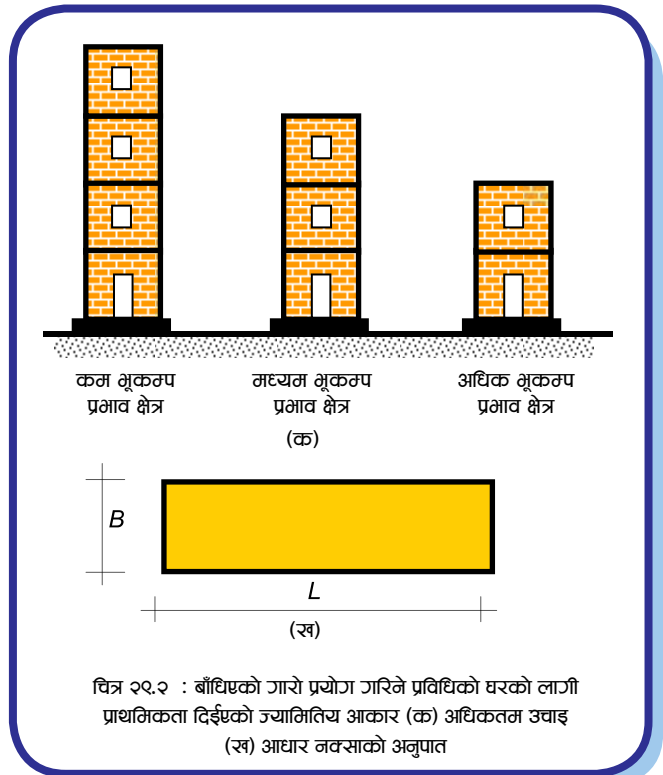
घरको आधार नक्सा र मोहोडा नियमित आकारप्रकारको हुनुपर्छ । निम्नलिखित कुरा मिलाएर बनाईएको खण्डमा यस्ता घरले भूकम्पको बेलामा राम्रो क्षमता देखाउँछन् । (अ) आयातकार घर । (आ) पुनःप्रवेश्य कोण (Re-Entrant Corners) नभएको र चोसाचोसी ननिस्केको भित्री बनावट । (इ.) चित्र २९.१क मा देखाईएकै घण्टी मिलेको गारो । चित्र १ख मा देखाईएकै पुनः प्रवेश्य कोण भएका, चोसाचोसी भएका, गारोका भागहरू बाहिर निस्केका घरहरू भूकम्पीय दृष्टिकोणले सुरक्षित मानिदैनन् । यस्ता घरमा भूकम्पको बेलामा क्षति पुग्ने सम्भावना बढी हुन्छ ।



आधार नक्साको स्वरूप अनुपात (Plan Aspect Ratio) अर्थात भवनको लम्बाइ र चौडाइको अनुपात (लम्बाइ/चौडाइ) ४ गुणाभन्दा बढी हुनु हुँदैन (चित्र २९.२) । लामालामा भवन बनाउँदा भवनलाई टुक्र्याउनु पर्दछ ताकि लम्बाइ/चौडाइ को ४ गुणाभन्दा बढी नहोस् । प्रत्येक तलाको उचाइ ३ मिटरभन्दा बढी हुनु हुँदैन । मेक्सिको, चिली र पेरुका बढी भूकम्पीय जोखिम क्षेत्रमा ६ तलासम्मका यस्ता भवन निर्माण गरिएका छन् । भारतमा भूकम्पीय जोखिमका हिसाबले तेस्रो, चौथो र पाँचौ क्षेत्रमा चाहि क्रमशः ४, ३ र २ तल्ले यस्ता घर बनाउन सिफारिश गरिएको छ । नेपालमा भूकम्पीय जोखिमका हिसाबले भूकम्पीय क्षेत्र A र B मा २ तलासम्म र भूकम्पीय क्षेत्र C मा ३ तलासम्मका यस्ता भवन बनाउन सिफारिश गरिन्छ । हाल भारत र नेपालमा यो डिजाइन संहिता उपलब्ध छैन (चित्र २९.२) ।

### गारोको विन्यास (Wall Configuration)

बाँधिपको गारोवाला भवनमा सबै गारोहरू चित्र ३ मा देखाईएकै समरूप



वा सममित (Symmetrical) हुनुपर्छ । सबै गारोहरू भुइँ तल्लादेखि माथिल्लो तल्लासम्म एकै ठाउँमा एकै रूपले रहेको हुनुपर्छ । गारोहरू कुनै तलामा पनि खण्डित हुनु हुँदैन ।

गारोमा भएका भ्याल ढोकाजस्ता खुल्ला भागहरूले भवनको भूकम्प प्रतिरोधी क्षमतालाई कमजोर बनाउँछन् । त्यसकारण खुल्ला भागहरू सकेसम्म कम र साना बनाउनुपर्छ । यिनीहरूको स्थान चयन गर्दापनि राम्ररी सोचविचार गर्नुपर्छ । खुल्ला भागलाई ढलानका चौकुने बन्धनले बाँध्नुपर्छ । तत्र ठूला खुला भागसहितका गारोहरू नबाँधिपको मानिन्छन् । हरेक तल्लामा भ्याल-ढोकाहरू यताउता नपारी एकै लाईनमा मिलाउनु पर्छ ।

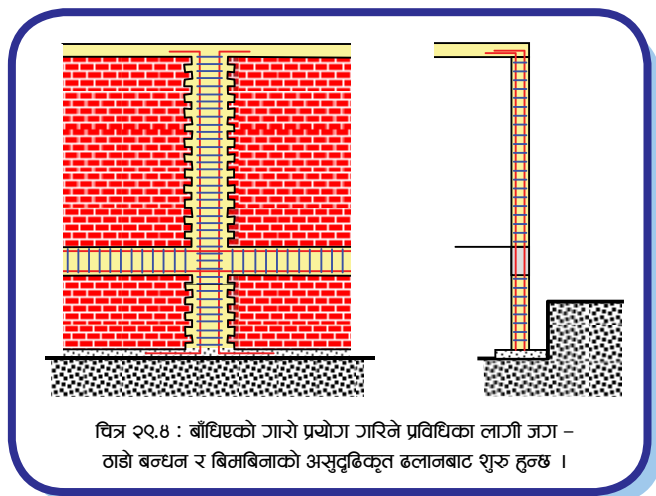
### संरचनागत निर्देशिका

भवनमा लगाईने गारोको मोटाइ भार र गारोको शक्तिमा भर पर्दछ । यसलाई राम्ररी हिसाब गरिनुपर्छ । गारोको मोटाइ कम्तिमा ११० मिमि



हुनुपर्छ । गारोको उचाइचाहि मोटाइको २५ गुणाभन्दा बढी हुनु हुँदैन । तलाको उचाइ ३ मिटरभन्दा बढी हुनु हुँदैन । गारोको मोटाइ बढाईएको छ भनेपनि गारोको उचाइ ३ मिटरभन्दा बढी राखिनु हुँदैन । मुख्यतः सबै गारोहरु ढलानका बन्धनले बाधिएको हुनुपर्छ । भुयाल र ढोकाको दुबैपट्टि र गारोहरु जोडिने ठाउँमा टाई पिलर राख्नुपर्छ । साथै सबै गारोलाई टाईबिमले तल र माथी दुबैतिर बाँध्नुपर्छ । तेर्सो र ठाडा बन्धनले राम्ररी बाँधिएको गारोले भवनको भूकम्पी प्रतिरोधी क्षमतालाई बढाउँछ ।

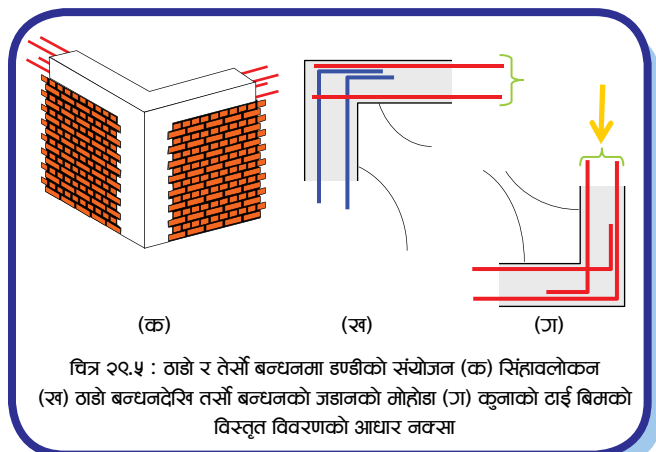
भूकम्प प्रतिरोधी क्षमता अभिवृद्धिका लागि भवनको दुबै दिशामा बाँधिएको गारोको उचित घनत्व हुनुपर्छ । यो विभिन्न तत्वमा निर्भर रहन्छ, जस्तै जमिनको प्रवेग (Acceleration), तल्लाको संख्या, गारोको तन्कने र खुम्चने शक्ति यसका उदाहरण हुन् । गारोको घनत्व २ देखि ५ प्रतिशतसम्म हुन आउँछ । प्लिनथ बिमको उचाइचाहि घटीमा ३०० मिलिमिटर हुनुपर्छ (चित्र २९.४)



बाँधिएको गारोवाला भवनको जग बनाउनका लागि विभिन्न विकल्पहरु छन् । जस्तै : (१) सबलीकृत टाई पिलर-प्लिनथ बिमबाट शुरु हुन्छ (घरको जगमा बिम नै छैन) । (२) सबलीकृत टाई पिलर जगको बिमबाट शुरु हुन्छ (घरमा प्लिनथ बिम छ) । (३) सबलीकृत टाई पिलर जगको असबलीकृत ढलानबाट शुरु हुन्छ (घरमा प्लिनथ बिम छ) । यी सबैमध्ये तेस्रो विकल्प बढी प्रयोगमा छ (चित्र ४) ।

ढलानका ठाडा बन्धनहरु (Tie Column) गारोको मोटाइ बराबरकै चौडा हुनुपर्छ । पाकेको ईट्टाको प्रयोग गरी बनाईने गारोको चौडाइ सामान्यतया: २३० मिमि हुने गर्छ । तर, यसको आधा चौडाइ बराबरको गारो लगाउने चलनपनि प्रशस्त छ । यो प्रचलन मेक्सिको र ईण्डोनेशियामा बढी छ ।

गारोको जोर्नीमा चाहि ठाडा बन्धनहरु वर्गाकार किसिमका (२३० x २३० मिमि) हुनुपर्छ । तर, भुयाल-ढोकाको छेउछेउमा ठाडा बन्धनहरुको मोटाइ गारो बराबरकै भएपनि चौडाइचाहि कम अर्थात ११५ x २३० मिमि



हुनसक्छ । ठाडा र तेर्सो बन्धनको जोडाई राम्ररी मिलेको हुनुपर्छ । चित्र २९.५ बाट यो तथ्य अझ राम्ररी प्रष्टिन्छ ।

ठाडो बन्धन (Tie column) मा घटीमा १० मिमि व्यासका ४ वटा मुख्य डण्डी राखिनुपर्छ । यी डण्डीहरुलाई ६ मिमिको चुरी (रिङ्ग) ले २०० मिमिको दूरीमा बाँध्नुपर्छ (चित्र ६क) र पिलर तथा बिमको जोर्नीको नजिक-नजिकमा चुरीहरु राख्नुपर्छ । जोर्नीको नजिक चुरी १०० मिमिको फरकमा राख्नुपर्छ । चुरीहरुमा १३५ डिग्रीको हुँक पनि बनाउनुपर्छ । बिम र पिलरमा राखिने डण्डीको संख्या लगभग उति नै हुन्छ ।

### निर्माण सम्बन्धी निर्देशिका

गुणस्तरीय निर्माण सामाग्रीको प्रयोग, राम्रो कार्य सम्पादनको सुनिश्चितता, निष्ठापूर्वक वास्तुकलागत र संरचनागत निर्देशिकाको पालना यो निर्माण प्रविधिको लागि अत्यन्त जरुरी छ । चित्र ५क मा देखाईएभैं गारो र ठाडो बन्धन जोडिने ठाउँमा गारोमा दाँती बनाउनु पर्छ । यसले गारोहरु ठाडा बन्धनको बिचमा सुरक्षित तवरले बलियोसंग बाँधिएको कुरा सुनिश्चित गर्छ । डण्डीको दूरी नजिकको ईटाबाट २५ मिमि भन्दा कम र ७५ मिमिभन्दा ज्यादा हुनु हुँदैन ।

गारो लगाउँदा पूरै गारो लगाएर एकै पटकमा पिलर ढलान गर्नु हुँदैन । गारो एक दिनमा अधिकतम १.२ मिटरमात्रै लगाउनुपर्छ । थप १.२ मिटर गारो उठाउनुभन्दा पहिले पिलर ढलान गर्नुपर्छ । एकपटकमा १.२ मिटरसम्म ढलान गर्दा ढलानलाई राम्ररी खाद्वन सकिन्छ । खासगरी लठ्ठी वा घोचाले कंक्रीट खाद्वने प्रचलन भएका ठाउँलाई त यो प्रविधिको राहत दिन्छ ।

ठाडो बन्धनमा कंक्रीट राम्रोसंग खन्याउन सकियोस् भनेर फर्मालाई गारो संगै सटाएर राम्ररी राख्नु पर्दछ । यो निर्माण प्रविधिको सबैभन्दा सबल पक्ष नै गारो र पिलर बिचको बलियो बन्धन हो । काठ वा स्तिलबाट बनेका फर्मा जडान गर्दा निकै ध्यान पुर्‍याउनु जरुरी छ । कंक्रीट खन्याउनुअघि गारो र फर्मा राम्ररी मिले-नमिलेको सुनिश्चित गर्नुपर्छ ।

### सम्बन्धित भूकम्प जानकारी

जानकारी १२ : ईट्टाको गारोवाला घरले भूकम्पको समयमा कस्तो व्यवहार देखाउँछ ?  
जानकारी २८ : बाँधिएको गारो प्रयोग गरिने भवन निर्माण प्रविधि के हो ?

### सन्दर्भ सामाग्री

- Brzev, S.N; (2008), Earthquake-Resistant confined Masonry Construction, National Information Center of Earthquake Engineering, IIT Kanpur, [www.nicee.org](http://www.nicee.org)
- Meli, R; et al (2011), Seismic Design Guide for Low-Rise Confined Masonry Buildings, Earthquake Engineering Research Institute, and International Association for Earthquake Engineering
- Blondet, M. (Ed.) (2005), Construction and Maintenance of Masonry Houses- for Masons and craftsmen, Earthquake Engineering Research Institute Institute (USA), Pontificia Universidad Catolica del peru (Peru) and SENCICO (Peru)

लेखक : सी.वी.आर. मूर्ति, इण्डियन इन्स्टिट्यूट अफ टेक्नोलोजी, जोधपुर, भारत  
प्रायोजक : भवन निर्माण सामाग्री र प्रविधि प्रवर्धन परिषद नयाँदिल्ली, भारत  
अनुवादक : मिलन बगाले, भर्नाकुलर आर्किटेक्चर, काठमाडौं  
परिमार्जनकर्ता : जितेन्द्र कुमार बोथरा, मियामोटो इन्टरनेशनल, न्यूजिल्यान्ड

यो सामाग्री आइआइटी, कानपुर र बीएमटीपीसीको बौद्धिक सम्पत्ति हो । विषयवस्तु तोडमोड नगरी र कृतज्ञता ज्ञापन सहित यो सामाग्री पुनःप्रकाशन गर्न सकिनेछ । हाम्रो इमेल ठेगाना [nicee@iitk.ac.in](mailto:nicee@iitk.ac.in) मा सल्लाह सुभावा पठाउन सक्नुहुनेछ । यो सामाग्री हाम्रो वेबसाइट [www.nicee.org](http://www.nicee.org) वा [www.bmtpc.org](http://www.bmtpc.org) मा हेर्न सकिनेछ ।

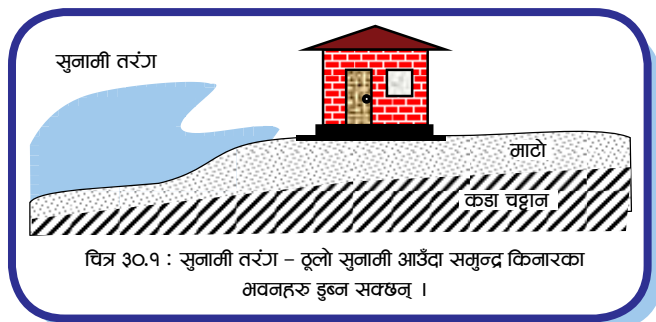
## भूकम्प प्रतिरोधी भवनको डिजाइनमा जगको महत्व कस्तो छ ?

### भूकम्प प्रतिरोधी भवन निर्माणका लागी जमिनको छनौट

भूकम्प प्रतिरोधी भवन निर्माणका लागी छनौट गरिएको जमिनमा भूकम्पको प्रभावद्वारा कुनै पनि क्षति नपुग्ने कुरा सुनिश्चित गर्नु पर्दछ ।

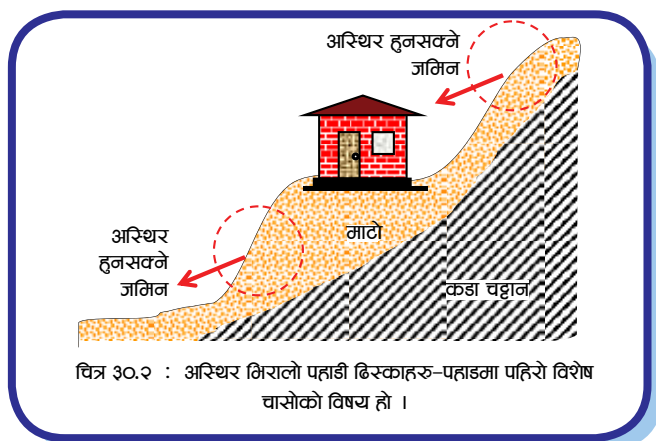
सबैभन्दा उपर्युक्त घडेरीहरु निम्नानुसारका हुन्छन् ।

- धाँजा फाट्ने सम्भावित क्षेत्रबाट टाढा ।
- नजिकैको समुन्द्रबाट सुनामीको लहर आउन सक्ने सम्भावित क्षेत्रभन्दा माथी (चित्र ३०.१) ।
- भूकम्पको बेलामा हुन सक्ने आगलागीलाई मध्यनजर गर्दै जंगल वा काठका ठूलूला गोदाम राखिएको क्षेत्रभन्दा पर ।
- भूकम्पले क्षति पुऱ्याउनसक्ने जमिन जस्तै तरलीकरण, धस्सिन या भास्सिन सक्ने वा पार्श्व फैलावट हुन सक्ने जमिन नभएको (हेर्नुहोस् भूकम्प जानकारी ३१) ।



माथि उल्लेखित समस्या नदेखिएपनि सामान्यतया सुरक्षित देखिने पहाडी भेगका ठाडा भीरहरुमा भूकम्पको समयमा पहिरो जान सक्छ (चित्र ३०.२) । माटोका कमजोर तटबन्धहरु भूकम्पको प्रभावले तरलीकरण वा पार्श्व फैलावट हुनसक्छन् । पहाडी भूभागमा भीरबाट ठूलूला चट्टान वा पहाडको ढिक्का नै खस्ने समस्यापनि देखिन्छ ।

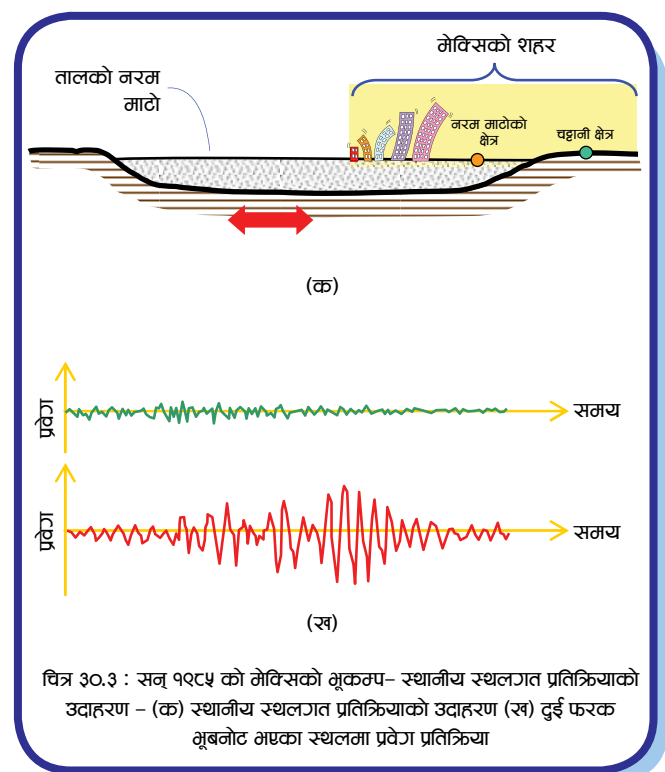
भूकम्पको बेलामा धेरै लामा भवन र भोलुङ्गे पूलजस्ता चौडाइ कम भएका संरचनामूनिर्को जमिन हल्लिदा संरचनाको सबै स्थानमा भूकम्पीय धक्काको गति एकै नहुन सक्छ । एउटै संरचनाको फरक-फरक स्थानमा फरक किसिमको धक्का पुग्दा यसले संरचनामा अन्य असरहरु पनि ल्याउँछ । यो कुरालाई विशेष ख्याल राखी डिजाइन गर्नुपर्छ ।



### भूकम्पमा भूखण्ड हल्लिदा घडेरीमा पर्ने असर

भवनले चर्चेको क्षेत्रको माटोको तह स्थिर छ भनेपनि भूकम्पको तरंग जमिनमूनिर्को चट्टानबाट माटोको सतहसम्म आईपुग्दा भूकम्पीय तरङ्गको प्रकृतिमा परिवर्तन हुनसक्छ । यो परिघटनालाई स्थलगत प्रभाव भनिन्छ । यदि आधार सतहको चट्टानको हल्लाई मध्यम खालको छ भनेपनि जमिनसम्म आईपुग्दा भूकम्पीय तरंगको गति बढ्न सक्छ । भवनको डिजाइन गर्दा यो तथ्यलाई ख्याल राख्नु जरुरी छ । भूकम्पको स्थलगत प्रभावलाई पहिलोपल्ट पहिलोपल्ट सन् १९१८ को कुच (भारत) भूकम्पमा ख्याल गरिएको थियो । सन् १९८५ को भूकम्पमा मेक्सिको शहरमा स्थलगत प्रभाव प्रष्टसंग बुझिने गरि देखिएको थियो । नरम माटोले भरिएको तालको सतहमा जमिनले देखाउने प्रतिक्रिया (Ground Response) कडा चट्टानी भेगमा भन्दा ७-८ गुणा बढी थियो (चित्र ३) । अधिकतम प्रवेग (Peak Ground Acceleration) लाई जमिनको हल्लाईको तिब्रता नाप्ने मापनको रुपमा प्रयोग गरिन्छ । सन् १९८५ मा मेक्सिकोमा गएको भुइँचालोमा कडा चट्टानी भेगमा भन्दा नरम जमिनको अत्यधिक प्रवेग देखिएको थियो (चित्र ३०.३ख) ।

जमिनमा भूकम्पीय हल्लाईको विस्तारण (Amplification of ground motion) माटोको विशेषता जस्तै अपरुण मापन (shear modulus), माटोको भूकम्पीय शक्ति शोषण गर्ने क्षमता, माटोको तहहरु र ती तहहरुको फरकफरक विशेषता, गिलो वा सुख्खापन, खादिएको वा खुकुलोपन र जमिनको हल्लाईको गति (Ground Motion) को विशेषतामा निर्भर रहन्छ । सामान्यतया: कडा माटोमा विस्तारण कम हुन्छ भने नरम माटोमा बढी हुन्छ । भूकम्पीय डिजाइन संहिताले विभिन्न प्रकृतिको माटो भएका जमिनका लागी फरक-फरक डिजाइन मापदण्ड दिन्छ साथै माटोलाई कसरी वर्गीकरण गर्ने भन्ने पनि बताउँछ ।



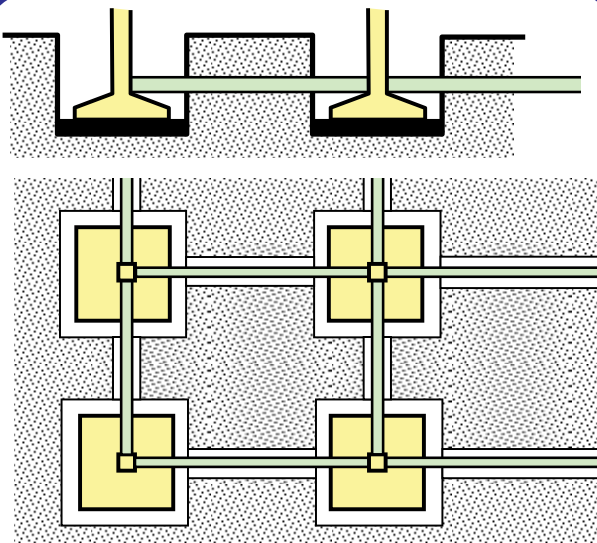
## जगको भूकम्पीय सुरक्षात्मक डिजाइन (Seismic Design of Foundations)

बलियो र खदिलो जमिनमाथी बनाईएको राम्रो जगले नै भूकम्पको बेलामा भवनमा कम क्षति पुग्ने कुराको सुनिश्चितता दिन्छ । जग राम्रो भएन भने जति नै बलियोसंग जगमाथीको संरचना बनाएपनि त्यो सुरक्षित रहदैन । गुरुत्व भारका लागी जग डिजाइन गर्दा लागु हुने सबै सिद्धान्तहरू भूकम्पीय भारका लागी जग डिजाइन गर्दापनि लागु हुन्छन् । जग डिजाइन इन्जिनियरिङ्ग सम्बन्धी सिद्धान्तहरू जस्तै जमिनको क्षमता (Bearing Capacity of soil), जमिन दबिने मापदण्ड (Settlement Criteria) आदि भूकम्प प्रतिरोधी भवन निर्माणका लागीपनि सान्दर्भिक हुन्छन् । कुनैपनि ठूला संरचना निर्माण परियोजनाका लागी भौगर्भिक अध्ययन जरुरी हुन्छ । परम्परागत रूपमा चलिआएका मानक र शंकु घुसाउने (Standard and cone penetration) बाहेक निर्माणस्थलमै गरिने अन्य परिक्षण जस्तै अपरुण लहर वेग परिक्षण (Shear wave velocity test), दबाव मिटर परिक्षण (Pressure meter test) पनि गर्न सकिन्छ ।

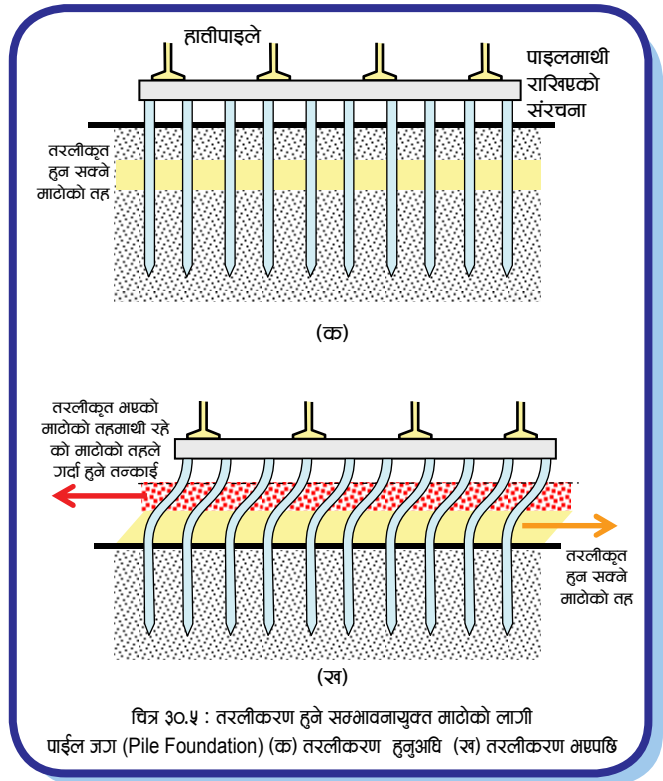
भौगर्भिक अवस्था तथा संरचनागत विन्यास र भारको आधारमा सुहाउँदो किसिमको जगको छनौट गरिनुपर्छ । यदि कडा प्रकृतिको माटो छ भने प्रत्येक पिलरको तल राखिने हात्तीपाईले (Isolated Footing) प्रयाप्त हुनसक्छ । तर, जगहरूलाई एक आपसमा टाई बिमद्वारा बाँध्नुपर्दा टाई बिमलाई चित्र ३०.३ मा देखाईएभैं जगको माथी वा जगसंगै राख्न सकिन्छ । तर, माटो नरम प्रकृतिको छ भने राफ्ट (Raft) वा पाईल (Pile) जग राख्नुपर्ने हुनसक्छ ।

यदि जमिन तरलीकरण हुने सम्भावना छ भने या त जमिनमा सुधार ल्याउनुपर्छ अथवा जग राम्ररी डिजाइन गरिएको हुनुपर्छ । चित्र नम्बर ४ मा देखाईएभैं यसो गर्न सकियो भने जोखिमयुक्त माटोको तह तरलीकरण भएपनि भवनमा क्षति पुग्दैन । जस्तै पाईल (Pile) र वेल (Well) जग डिजाइन गर्दा तरलीकृत हुनसक्ने तहहरूको माटोको कठोरता (Stiffness) र तागत (Strength) लाई नजरअन्दाज गरिनुपर्छ ।

पार्श्व फैलावट (Lateral Spreading) हुन सक्ने क्षेत्रमा भवनले चर्चिने क्षेत्रभन्दा बाहिरको जमिनबारे पनि अध्ययन गर्नु जरुरी हुन्छ । भवन बनाउने जमिन सानो भएमा यो अझ बढी जरुरी हुन्छ । जगमा पर्न सक्ने भार विश्लेषण गर्दा तरलीकरण हुने माटोले लगाउन सक्ने पार्श्व जोर (Lateral Thrust) लाई पनि विचार गरिनुपर्छ ।



चित्र ३०.८ : माटो तरलीकृत नहुने अवस्थाका लागी जगको राम्रो डिजाइन-ढलानका टाई बीम पिलरको मध्यभागबाट पृथक जगको माथी राखिएको ।



## जगको क्षमता डिजाइन (Capacity Design of Foundation)

ठूलो भूकम्प गैसकेपछि जगको चेकजाँच गर्न र मर्मतसम्भार गर्न सजिलो हुँदैन । अझ, जगमा हुने क्षतिले भवनको स्थिरतामा पनि प्रभाव पार्दछ । त्यसैले भूकम्पीय डिजाइन गर्दा ठूलो भुईँचालोमा जगमा क्षति नपुग्नेगरी गरिनुपर्छ । नोक्सान हुने नै भए सो पिलरमा गराउनु पर्छ । यो धारणा 'क्षमता डिजाइन अवधारणा' (Capacity Design Concept) बाट आएको हो (हेर्नुहोस् भूकम्प जानकारी-९) । जग डिजाइन गर्दा पिलर वा संरचनागत गारोको अधिकतम तागत (Ultimate Flexural Capacity) भन्दा बढी भारको लागी डिजाइन गर्नुपर्छ ।

## सम्बन्धित भूकम्प जानकारी

जानकारी ०९ : राम्रो भूकम्पीय कार्य सम्पादनका लागी भवनमा नरमपना कसरी ल्याउने ?

जानकारी ३९ : भूकम्पको बेलामा भवनहरू किन भास्सिन्छन् ?

## सन्दर्भ सामाग्री

1. Kramer, S.L.; (1996), Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice Hall, Inc; New Jersey, USA
2. Towhata, I.; (2008), Geotechnical Earthquake Engineering, Springer-Verlag, Berlin

लेखक : सी.बी.आर. मूर्ति, इण्डियन इन्स्टिट्यूट अफ टेक्नोलोजी, जोधपुर, भारत  
 प्रायोजक : भवन निर्माण सामाग्री र प्रविधि प्रवर्धन परिषद नयाँदिल्ली, भारत  
 अनुवादक : मिलन बगाले, भर्नाकुलर आर्किटेक्चर, काठमाडौं  
 परिमार्जनकर्ता : जितेन्द्र कुमार बोथरा, मियामोटो इन्टरनेशनल, न्यूजिल्यान्ड

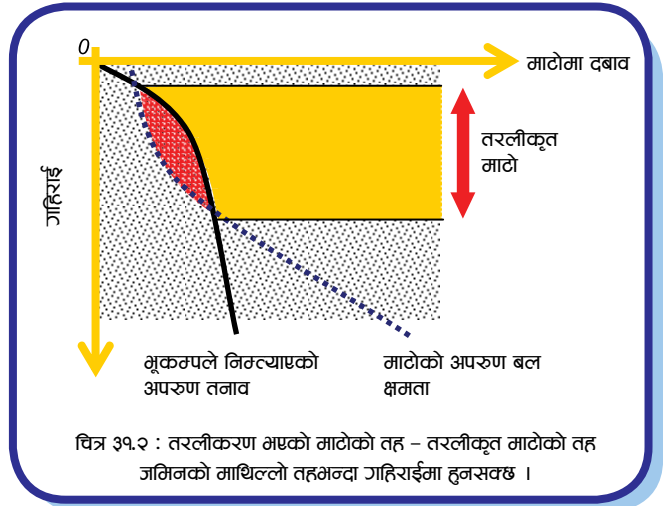
यो सामाग्री आइआइटी, कानपुर र वीएमटीपीसीको बौद्धिक सम्पत्ति हो । विषयवस्तु तोडमोड नगरी र कृतज्ञता ज्ञापन सहित यो सामाग्री पुनःप्रकाशन गर्न सकिनेछ । हाम्रो इमेल ठेगाना nicee@iitk.ac.in मा सल्लाह सुझाव पठाउन सक्नुहुनेछ । यो सामाग्री हाम्रो वेबसाईट [www.nicee.org](http://www.nicee.org) वा [www.bmtpc.org](http://www.bmtpc.org) मा हेर्न सकिनेछ ।



## भूकम्पको समयमा भवनहरु किन जमिनमा भास्सिन्छन् ?

### माटोको तरलीकरण भनेको के हो ?

भूकम्पको समयमा पानीमा डुबेको बलौटे खुकुलो माटोले बनेको जमिनमा विशेष परिस्थिति सृजना हुन आउँछ । भूकम्प जाँदा तेर्सो हल्लाई वा थर्कन कमजोर माटोमुनिको आधार चट्टान हुँदै त्यसमाथीको कमजोर सतहमा फैलिदै जान्छ । पानीमा डुबेको खुकुलो माटोका कणहरुको बीचमा पानी भरिएको हुन्छ । भूकम्पको ठूलो धक्कामा खुकुलो बलौटे माटोका कणहरु नजिक आई माटोको घनत्व बढ्न खोज्छ, यसो हुँदा पानीमा दबाव बढ्छ । तर पानीको कस्सिने वा खुम्चने गुण हुँदैन । चित्र ३१.१क मा देखाईएभैं माटोमा रहेको पानीले तुरन्त निकास नपाएपछि पानीमा दबाव बढ्छ । यसले माटोको तहको प्रभावी दबाव (Effective stress) लाई कम गरिदिन्छ । कतिपय समयमा त यस्तो प्रभावी दबाव शून्यसम्म पुग्छ । यस्तो अवस्थामा माटोले आफ्नो अपरुण बल (Shear stress) पूरै गुमाउन सक्छ, किनकि माटोको भार बोक्ने तागत यसमा भएको प्रभावी दबावमा पर्छ । र, माटो बाक्लो तरल पदार्थमा रुपान्तरित हुन्छ । यसो हुने प्रक्रियालाई नै जमिनको तरलीकरण भनिन्छ । यस्तो कमजोर भूखण्डमा उभिएका भवन ढल्न वा जमिनमै ढल्न सक्छन् (चित्र १ख) । माटोको गुण (Soil Properties) र जमिनको गतिको विशेषता (Ground motion Characteristics) अनुसार भूकम्पले जमिनको केही गहिराईसम्म अपरुण दबाव (Shear Stress) देखाउन सक्छ । जहाँ यो दबाव माटोको अपरुण बल (Shear Strength) भन्दा बढी हुन्छ, यो गहिराईभन्दा माथी जमिन तरलीकरण हुन्छ (चित्र ३१.२) ।

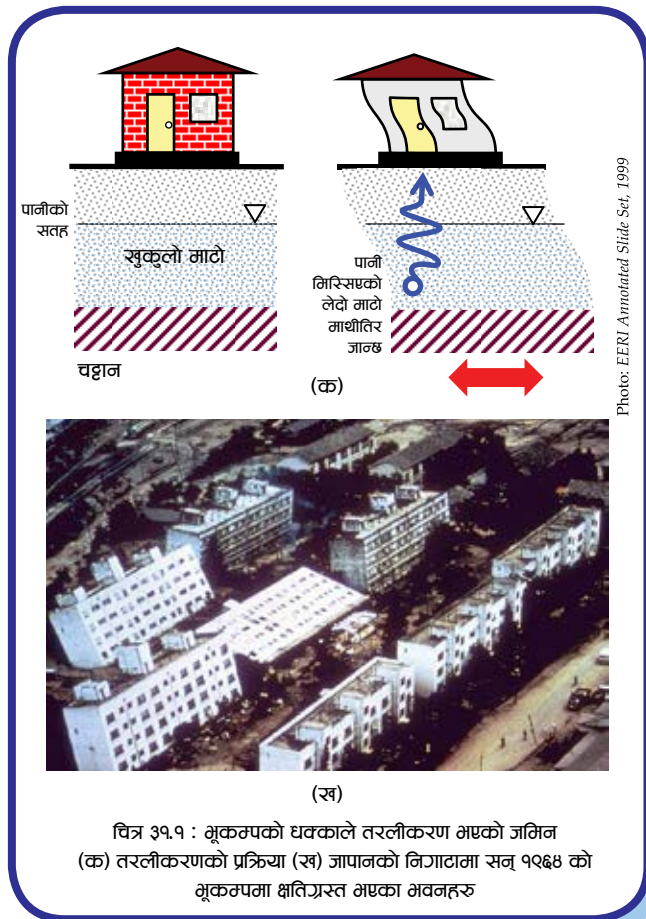


### तरलीकरणको भौतिक परिणाम (Physical Consequence of Liquefaction)

तरलीकरणको समयमा खुकुलो बलौटे माटो र पानी मिस्रिएको दलदले भूखण्डले तरल पदार्थको जस्तो गुण देखाउँछ । तरलीकृत भएको जमिन समतल हुन खोज्छ । यसले गर्दा तालको गहिराई घट्ने र बाँधहरु ढल्न सक्छन् । यसले संरचनाहरुमा असाध्यै हानिकारक प्रभाव ल्याउँछ ।

### (क) संरचनाहरु भास्सिने वा माथी उठ्ने (Sinking and uplifting of structure)

जब पानी र खुकुलो बलौटे माटोको मिश्रण तरलीकरण हुन्छ, संरचनाहरु चित्र ३ मा देखाईएभैं ढल्न वा जमिनमा धस्सिन खोज्छन् । कतिपय सन्दर्भमा भवनको कुनै भागमात्र ढल्न खोज्छ र भवन ढल्किन्छ । कतिपय समयमा जमिनमुनिका संरचना माथी उठ्ने समस्यापनि देखिन्छ । तरलीकरण भएको जमिनको तुलनामा भूमिगत संरचनाको घनत्व कम भएमा त्यस्ता संरचना जमिनमाथी आउँछन् ।

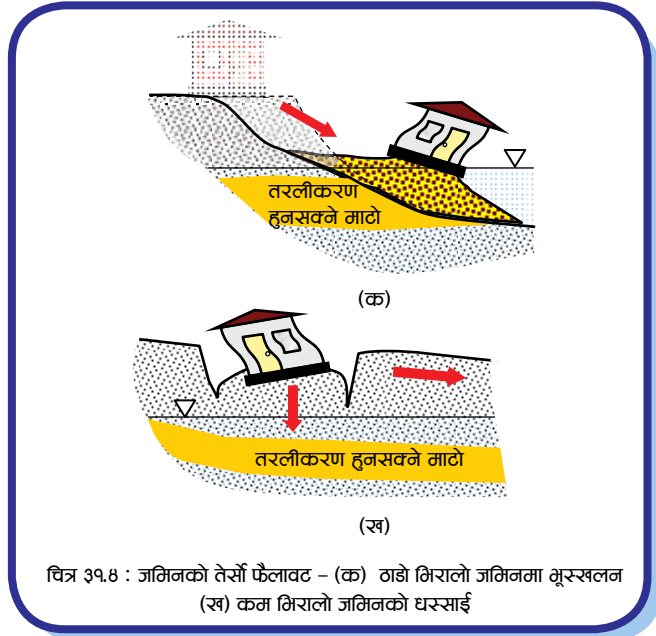


चित्र ३१.३ : जमिनमा दबेका र जमिनमाथी उठेका संरचना- भास्सिएको भवन, जमिनमाथी उठेको शौचालयको दयाङ्गी, सन् १९६४ को निगाहा भूकम्प, जापान

### (ख) माटोको फैलावट र पार्श्व विफलता (Slope Failures and Lateral Spreading)

जब जमिनभन्दा तलको सतहको माटोले भार बहन क्षमता गुमाउँछ, त्याभन्दा माथीको जमिनको तह तेर्सो दिशातिर चल्न वा चिप्लिन खोज्छ । यो समस्या पाँच डिग्रीभन्दा बढी भिरालोपन भएका खुकुलो माटोले बनेका जमिनमा बढी देखिन्छ । चित्र ३१.४क मा देखाईएभैं भिरालो जमिनमा ठूलो भूखण्डको भार थाम्न नसकेर खुकुलो बलौटे माटो

भएको ठाउँमा ठूलो पहिरोपनि जान सक्छ। जमिन खुकुलो वा खाँदिएको भएपनि जमिनको सतहको भिरालोपन ३ डिग्रीभन्दा कम छ भने ठूलो माटाका टुक्राहरू अगाडी बढ्ने क्रममा यसभन्दा पछाडी रहेको माटाका ठूलो टुक्राहरूलाई टुक्रा बनाउँछ। यसले गर्दा यस्तो ढिक्कामा बनेका संरचनाहरू धस्सिन वा अस्थिर हुन सक्छन्। माटोको तर्सो फैलावटको कारणले भूखण्ड यताउता सर्दा यसले संरचनाहरूको जगमा दबाव बढाई जगमा गम्भीर क्षति पुऱ्याउन सक्छ।



### तरलीकरणलाई प्रभाव पार्ने तत्वहरू (Parameters Influencing Liquefaction)

माटो तरलीकृत हुने प्रक्रिया तलका तत्वहरूमा भर पर्दछ।

#### (क) माटोको गुण (Soil Properties)

पानीमा डुबेको, एकै आकारको कण भएको खुकुलो बलौटे माटोमा तरलीकरणको समस्या बढी हुने सम्भावना रहन्छ। बलौटे माटोमा पनि बालुवासंग धेरै मसिनो माटो (Silt) मिसिएको छ भने तरलीकरण हुनसक्छ। खुकुलो बलौटे माटोले बनेको भूखण्ड तरलीकरण हुने सम्भावना बढी हुन्छ। यसैगरी मसिनो कणहरूबाट बनेको माटो ठूला कणबाट बनेको माटो, गिट्टी, चिम्ट्याईलो माटोभन्दा ज्यादा तरलीकृत हुने सम्भावना हुन्छ।

#### (ख) भूकम्पका थर्कनका विशेषताहरू (Earthquake Shaking Characteristics)

भूकम्पको थर्कनको तीव्रता बढ्दै जाँदा माटोमा दबाव तथा खुम्च्याई बढ्छ र माटो तरलीकरण हुनसक्छ। ठूलो र लामो समयको थर्कनले पनि माटोमा दबिने र खुम्चिने प्रक्रिया धेरैपटक र जोडले हुन्छ। जसले गर्दा तरलीकरण हुने सम्भावना बढी हुन्छ।

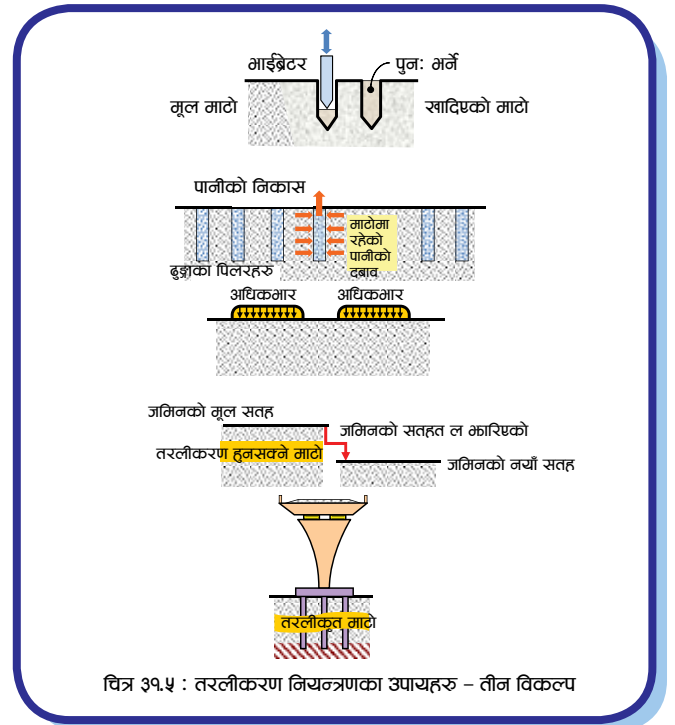
#### (ग) भौगर्भिक अवस्था (Geologic Conditions)

केही भौगर्भिक प्रकृयाहरूले पनि एकै आकारका माटाका कणहरूलाई एकै ठाउँमा थुप्रो लगाउँछ। जस्तै हावाले उडाएर थुप्रिएका माटाका कणहरू मिलेर बनेको भूखण्ड (Aeolian Soil), नदीले जम्मा पारेको माटोको तहत थुप्रिएर बनेको भूखण्ड (Fluvial Soil) हरू कमजोर प्रकृतिका हुन्छन्। यस्ता जमिन तरलीकरण हुने सम्भावना बढी हुन्छ।

#### तरलीकरणलाई नियन्त्रण गर्ने उपायहरू

तरलीकरणलाई नियन्त्रण गर्न निम्न लिखित उपायहरू अवलम्बन गर्न सकिन्छ।

(क) माटोको तरलीकरण प्रतिरोधी क्षमता बढाउने : यसका लागि खुकुलो माटोको घनत्व बढाउनुपर्छ। घनत्व बढाउनाका लागि चित्र ५६ मा देखाईएभैं भाइब्रेटरको सहायताले माटोलाई खदिलो पार्न सकिन्छ,



जुन प्रक्रियालाई Vibro Compaction भनिन्छ। त्यो बाहेक Impact Compaction भन्ने उपायपनि अवलम्बन गर्न सकिन्छ, यसका लागि हाइड्रोलिक ह्यामरको प्रयोग गरिन्छ। यस बाहेक प्रेसर ग्राउटिङ (Pressure Grouting—जमिनलाई खदिलो बनाउन रसायनिक पदार्थको प्रयोग) द्वारा पनि तरलीकरणलाई नियन्त्रण गर्न सकिन्छ।

(ख) जमिनमा भूकम्पको असर कम गर्ने उपाय अपनाउन सकिन्छ। तरलीकरण पानीको उपस्थितिमा मात्र हुने भएकोले पानीको निकास खोली तरलीकरण प्रकृतिलाई निर्मूल पार्न सकिन्छ। यसका लागि चित्र ५६ मा देखाईएभैं दुइका पिलर प्रयोग गरिन्छ। सोही चित्रमा देखाईएभैं जमिनमाथी भार थप गरी (Surcharge) माटोमा रहेको पानीलाई बाहिर पठाउन सकिन्छ।

(ग) तरलीकरण हुने माटोको तह नै हटाउनु अर्को उत्तम विकल्प हुनसक्छ। अथवा तरलीकरण हुने माटोको तह नै छिचोल्ने गरी स्थिर पाईल (Anchor Pile) प्रयोग गरेर पनि तरलीकरणको असरलाई कम गर्न सकिन्छ।

#### भूकम्पसंग सम्बन्धित जानकारी

जानकारी ३० : भूकम्प प्रतिरोधी भवनको डिजाइनमा जगको महत्व कस्तो छ ?

#### सन्दर्भ सामग्री

1. Kramer, S.L.; (1996), Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice Hall, Inc; New Jersey, USA
2. Towhata, I.; (2008), Geotechnical Earthquake Engineering, Springer-Verlag, Berlin

लेखक : सी.वी.आर. मुर्ति, इण्डियन इन्स्टिट्यूट अफ टेक्नोलोजी, जोधपुर, भारत  
 प्रायोजक : भवन निर्माण सामग्री र प्रविधि प्रवर्धन परिषद नयाँदिल्ली, भारत  
 अनुवादक : मिलन बगाले, भर्नाकुलर आर्किटेक्चर, काठमाडौं  
 परिमार्जनकर्ता : जितेन्द्र कुमार बोथरा, मियामोटो इन्टरनेशनल, न्यूजिल्यान्ड

यो सामग्री आइआईटी, कानपुर र बीएमटीपीसीको बौद्धिक सम्पत्ति हो। विषयवस्तु तोडमोड नगरी र कृतज्ञता ज्ञापन सहित यो सामग्री पुनःप्रकाशन गर्न सकिनेछ। हाम्रो ईमेल ठेगाना nicee@iitk.ac.in मा सल्लाह सुझाव पठाउन सक्नुहुनेछ। यो सामग्री हाम्रो वेबसाइट www.nicee.org वा www.bmtpc.org मा हेर्न सकिनेछ।



## भूकम्प प्रतिरोधी भवन निर्माणमा गुणस्तर किन महत्वपूर्ण छ ?

### गुणस्तर र भूकम्पीय सुरक्षा

भूकम्पको समयमा भवनको सुरक्षाको सुनिश्चितताको लागि गुणस्तरता असाध्यै महत्वपूर्ण छ। भूकम्प प्रतिरोधी भवन निर्माणका लागि निर्माणको हरेक चरणमा उपर्युक्त कदम चाल्नु जरुरी छ। यसो हुन सकेन भने भवनको जुन अंश वा खण्ड कमजोर छ, भूकम्पको बेलामा त्यै भाग भत्कन सक्छ।

भूकम्पबाहेक अरु किसिमका भार बोक्नका लागि भवन निर्माणमा गुणस्तरता चाहिन्छ। तर, यहाँ एउटा महत्वपूर्ण फरक छ। गुरुत्व भारका लागि डिजाइन गरिएको भवनमा आउनसक्ने गुरुत्व भारभन्दा बढी (२ वा ३ गुणा) का लागि डिजाइन गरिन्छ। यस कारणले भवनमा केही कमजोरीहरु भएपनि भवनमा नोक्सान भई हाल्दैन। किनकी डिजाइन बढी गुरुत्व भारका लागि गरिएको हुन्छ।

अर्कोतर्फ, भूकम्पको प्रभाव प्रतिरोध गर्न भवन डिजाइन गर्दा तेस्रो भूकम्पीय भार भूकम्प आउँदा हामीले अनुभव गर्ने थर्कनभन्दा धेरै कम थर्कनका लागि डिजाइन गरिन्छ। यो डिजाइन गरिने भार भूकम्पको समयमा भवनमा कुनै नोक्सान नहुनका लागि डिजाइन गरिने भारभन्दा १० गुणासम्म कम हुन सक्छ। यसो हुनुको कारण भूकम्प बिरलैमात्र आउने भएकोले हो।

भूकम्प प्रतिरोधी मापदण्ड ख्याल नगरी बनाईने सामान्य भवनहरु ठूलो भूकम्प जाँदा धेरै क्षतिग्रस्त हुन्छन्। भवनका हरेक संरचनागत अङ्गहरुले भूकम्पको बेलामा कुनै न कुनै भार बोक्ने पर्ने हुन्छ। ठूलो भूकम्पको बेलामा यी अङ्गहरु कठिन परिक्षाको घडीबाट गुज्रिन्छन्। यसकारण संरचनागत अङ्गहरुमा हुने कमजोरीले गर्दा परिणाम यिनीहरुमा समयपूर्व (Premature), अनावश्यक (Unwanted) वा सुनिश्चित गर्न नसकिने (Unwarranted) क्षतिहरु हुन सक्छन् किनकी भवन कम भूकम्पीय भारका लागि डिजाइन गरिएको हुन्छ। भूकम्प गैसकेपछि कम गुणस्तरीय निर्माणको असर प्रष्ट रुपमा देखिन्छ। कमसल निर्माणका नकारात्मक परिणामहरु आफै प्रष्टिन्छन्। त्यसकारण भूकम्प प्रतिरोधी निर्माणमा गुणस्तरीय निर्माणको अति धेरै महत्व छ।

### गुणस्तर नियन्त्रण भनेको के हो ?

गुणस्तर नियन्त्रण गर्नु भनेको विज्ञानसम्मत अवधारणामा आधारिक र व्यवसायिक रुपमा अधिकतम स्वीकार्य भएका मानक सिद्धान्तको प्रयोग गर्नु हो। भूकम्प प्रतिरोधी भवन निर्माणको प्रत्येक चरणमा यसको पालना गर्नु जरुरी छ। ती चरणहरु निम्नानुसार छन्।

#### (क) संरचनागत विन्यास अवधारणा (Conceptualizing Structural Configuration)

भवनको उचित विन्यासको लागि वास्तुकार (Architect) र संरचनागत इन्जिनियर (Structural Engineer) को काममा राम्रो सामञ्जस्यता जरुरी छ ताकि भवनको राम्रो ढाँचा डिजाइन गर्न सकियोस्।

#### (ख) संरचनाको डिजाइन (Designing the Structure)

संरचनागत डिजाइन गर्दा संरचनागत इन्जिनियरले असाध्यै सावधानी अपनाउनु जरुरी छ। संरचनागत विश्लेषण गर्दा केही त्रुटी भएमा त्यसले भवन निर्माणमा नराम्रो परिणाम निम्त्याउँछ। संरचना डिजाइन गर्दा मानक सुरक्षात्मक अवधारणा र डिजाइन मापदण्ड पालना गर्नुपर्ने हुन्छ।

#### (ग) संरचनागत नक्साको तयारी

संरचनागत इन्जिनियर र नक्सांकन गर्ने व्यक्ति (Draftperson)ले बृहत्तर रुपमा सही नक्सा र त्यसका विस्तृत विवरणहरु तयार पार्नु पर्दछ।

#### (घ) निर्माण सामाग्रीको छनौट

विशिष्टीकरणमा (Specification) उल्लेख भएअनुसारका गुणस्तरीय सामाग्रीको छनौट निर्माण व्यवसायीले गर्नुपर्दछ। यो कुरामा उसले पूर्ण रुपमा ध्यान दिनुपर्छ।

#### (ङ) निर्माणस्थलमा संरचनागत नक्साको रुपान्तरण

सक्षम निर्माण इन्जिनियर (Construction Engineer)ले ईमान्दारीपूर्वक नक्सामा भए बमोजिमका कुरालाई निर्माणका क्रममा पूर्ण रुपमा पालना गराउनु पर्दछ। नक्सामा भएको विवरणको प्रतिबिम्ब निर्माण स्थलमा झल्कनु पर्दछ। यसका लागि तालीम पाएका दक्ष निर्माणकर्मीको खाँचो पर्दछ।

#### (च) निर्माणपछिका गतिविधि सञ्चालनको दायित्व

मर्मत कार्य हेर्ने इन्जिनियरले निर्माण सकिएपछिको मर्मतसम्बन्धी दीर्घकालिन योजना बनाई लागु गर्नुपर्छ। निर्माणपछि संरचनागत क्षति रोक्न र भवनलाई अरु किसिमका क्षति (पानी चुहिने लगायतका समस्या) पुग्नुबाट बचाउन यसो गरिनु जरुरी छ।

### गुणस्तरको सुनिश्चितता भनेको के हो ?

डिजाइन र निर्माणको क्रममा व्यवसायिक दक्षता भएका परामर्शदाताहरुलाई तेस्रो पक्षका रुपमा नियुक्त गरी तिनीहरुद्वारा निष्पक्ष ढंगले स्वतन्त्र रुपमा अनुगमन र मूल्याङ्कन गराइनुपर्दछ। यो टीममा डिजाइन र निर्माण कार्यमा संलग्न व्यक्तिहरु रहनु हुँदैन। यो टीमले निर्माण कार्यको गुणस्तरको सुनिश्चितता गर्दछ। माथी उल्लेखित सबै चरणमा तेस्रो पक्षबाट अनुगमन र मूल्याङ्कन गराउनु जरुरी छ।

### गुणस्तरको सुनिश्चितता कसरी गर्न सकिन्छ ?

भवन कार्यात्मक (Functional), सुरक्षित र टिकाउ भएको सुनिश्चितताको लागि घरधनी र निर्माण व्यवसायी व्यवसायी जिम्मेवार हुनुपर्छ। यसबाहेक त्यो भवन हेर्दा सुन्दर र कम लागतमा निर्माण भएको पनि हुनुपर्छ। भवन निर्माण प्रक्रियामा संलग्न सबै जनाबाट राम्रो काम भयो भनेमात्रै गुणस्तरको सुनिश्चितता गर्न सकिन्छ। वास्तुकार (Architect), संरचनागत इन्जिनियर (Structural Engineer), नक्सांकन गर्ने व्यक्ति (Draftperson), निर्माण व्यवसायी, निर्माण स्थलमा खटिने इन्जिनियर (Site Engineer), निर्माणकर्मी (सिकर्मी, डकर्मी, ज्यामी) मर्मत कार्यका लागि जिम्मेवार इन्जिनियर (Maintenance Engineer) सबैले निर्माण मापदण्ड र संहिताको राम्ररी पालना गर्नुपर्दछ। कुनै एउटा गतिविधि बढी महत्वपूर्ण र अर्को गतिविधि कम महत्वपूर्ण भन्ने हुँदैन। भूकम्प अति प्रभावित क्षेत्रमा जतिसुकै राम्ररी वा बढी भारका लागि भवन डिजाइन गरिएपनि गुणस्तरीय निर्माण कार्य हुन सकेन भने त्यसले भूकम्पीय सुरक्षाको सुनिश्चितता दिँदैन। एउटा मात्रै सरोकारवालाबाट लापरवाही हुन गयो भनेपनि भवनको पूर्ण सुरक्षात्मक क्षमता खतरामा पर्न जान्छ।

घरधनीले निम्न कार्यका लागि दक्ष परामर्शदाताको परामर्श सेवा लिनु जरुरी छ।

- (क) निर्माण स्थलमा हुने भूकम्पीय जोखिमको राम्रो बुझाई र आकलन ।
- (ख) प्रचलित मापदण्ड, निर्देशिका र विशिष्टीकरण अनुसारको उपर्युक्त डिजाइन ।
- (ग) स्वतन्त्र परामर्शदाता वा विज्ञहरुबाट समीक्षा ।
- (घ) गुणस्तरीय निर्माण सामग्रीको खरिद ।
- (ङ) होशियारीपूर्वक भवनको निर्माण ।
- (च) निर्माण कार्यको स्वतन्त्र मूल्याङ्कन ।
- (छ) भवनलाई जेको लागी डिजाइन गरिएको हो, त्यसैका लागी उपयोग ।

यी कुनैपनि चरणमा सम्झौता गरियो भने भवन उपयोग गर्ने व्यक्तिको जीवन खतरामा पर्न सक्छ । भवनभित्रका सामग्रीहरुमा पनि क्षति पुग्न सक्छ ।

माथी उल्लेखित कुराहरुको पूर्ण पालनाको लागी सक्षम र व्यवसायिक वास्तुकार र इन्जिनियरहरुको खाँचो पर्दछ । ती व्यवसायिक व्यक्तिहरूसँग यस्तै प्रकृतिको काम गरेको राम्रो अनुभव हुनु जरुरी छ ।

भूकम्प प्रतिरोधी भवन डिजाइन र निर्माण कार्यमा घरधनीले विभिन्न समस्या भेल्लेपनि हुन्छ । ती निम्नानुसार छन् ।

#### (क) सक्षम/ योग्य वास्तुकार र इन्जिनियर खोज्ने काम

भूकम्प प्रतिरोधी भवन निर्माणसँग सम्बन्धित विभिन्न मापदण्ड र विशिष्टीकरणहरु (Specifications) छन् । तीबारे इन्जिनियर र वास्तुकारलाई राम्रो ज्ञान हुनु जरुरी छ । वास्तुकार र इन्जिनियरका लागी लागु गरिएको पाठ्यक्रममा विश्वविद्यालयहरुले भूकम्प प्रतिरोधी भवन डिजाइनसँग सम्बन्धित अध्ययनको सुनिश्चितता गरेका छैनन् । त्यसकारण अभ्यासगत सबै वास्तुकार र इन्जिनियरले भूकम्प प्रतिरोधी भवन निर्माणसँग सम्बन्धित कुराहरु जानेकै छन् भनेर ठोक्नु गर्नपनि सकिदैन । त्यसैले योग्य र सक्षम इन्जिनियर तथा वास्तुकार खोज्ने क्रममा घरधनीले भ्रष्ट बेहोर्नुपर्ने हुनसक्छ । त्यसकारण सरकारले नै राम्रो प्रणाली विकास गरी यस्तो अभ्यास गर्ने इन्जिनियर र वास्तुकारहरुका लागी क्षमतामा आधारित लाइसेन्स प्रणाली लागु गर्नुपर्छ, जसले घरधनीलाई भूकम्प प्रतिरोधी भवन डिजाइनमा सघाउन सकून् ।

#### (ख) भवन सहिताको पालना र नगरपालिकाद्वारा अनुगमन र नियन्त्रण

स्थानीय निकायमा वास्तुकार र इन्जिनियर नियुक्त हुनु जरुरी छ, जसले भवन सहिता र उपनियमहरु (Byelaws) को पालना गराउन सकून ताकि भवनको सुरक्षा सुनिश्चित गर्न सकियोस् । तर, व्यवसायिक व्यक्तिहरुको स्वयमसेवी कार्यबाट मात्र यो सम्भव छैन । यसको परिपालनाका लागी स्थानीय पदाधिकारीहरु जिम्मेवार हुनुपर्छ । तर, तालीमप्राप्त प्राविधिकको अभावमा धेरै हदसम्म यो सम्भव नहुन सक्छ । यसको अर्को विकल्पको रूपमा भूकम्प सुरक्षा अभिवृद्धिका लागी स्वतन्त्र परामर्शदाताबाट पनि डिजाइन र निर्माणको समीक्षा गराउन सकिन्छ ।

#### (ग) जोखिम आँकलन अध्ययन

भूकम्पको जोखिम आँकलन गर्दा सबै खाले अनिश्चितताहरु विचार पुऱ्याइनु पर्छ । ससाना भवनहरुका लागी राष्ट्रिय भवन सहिता लागु गराउनु उपर्युक्त हुन्छ । तर, बढी महत्वका ठूलो भवन बनाउने प्रयोजनका लागी सक्षम भूगर्भविद्, भूकम्पविद्, भौगर्भिक ज्ञान राख्ने इन्जिनियर, संरचनागत इन्जिनियरको परामर्श सेवा लिनु जरुरी हुन्छ ।

डिजाइन नक्सालाई ईमान्दारीतापूर्वक भवनको रूपमा निर्माण स्थलमा रुपान्तरण गर्ने कार्य सहज छैन । तर, भूकम्पीय सुरक्षाको सुनिश्चितताको लागी यसो हुनु जरुरी छ । घरधनीले सक्षम निर्माणकर्मीको छनौट गर्न जरुरी छ, जसले भवन निर्माणसम्बन्धी रणनीतिहरु अवलम्बन गर्दै भूकम्प प्रतिरोधात्मक भवन निर्माण गर्न सकून् । निर्माणकर्मीले गुणस्तर नियन्त्रणका उपाय भवन निर्माणको प्रत्येक चरणमा अवलम्बन गराउनु

जरुरी छ । तर, भवन निर्माणमा प्रयोग हुने समस्त सामग्रीहरु प्रयोग गर्नुअघि स्वतन्त्र निकायले गुणस्तरको सुनिश्चितता गर्नु जरुरी छ । निर्माण स्थलमा खटिएका इन्जिनियरले पनि सुपरीवेक्षण गर्ने क्रममा ती सामग्रीको गुणस्तरीयता जाँच गर्नु जरुरी छ । इन्जिनियरले भूकम्पीय सुरक्षात्मक डिजाइन र निर्माणका पक्षबारे राम्ररी जाने-बुझेको हुनुपर्छ । यो सबै हुनका लागी क्षमतामा आधारित निर्माण इन्जिनियर लाइसेन्स प्रणाली र निर्माणकर्मीका लागी पनि प्रमाणपत्र लागु हुनु जरुरी छ ।

#### व्यवसायिक मर्यादा (Professional Ethics)

भूकम्प प्रतिरोधी डिजाइन र निर्माण कार्य त्यतिबेला मात्रै सम्भव हुन्छ, जब यस कार्यमा संलग्न सबैजनाले उच्च व्यवसायिक मर्यादाको पालना गर्दछन् । राम्रो निर्माणकार्य त्यतिबेला मात्रै सफलतापूर्वक सम्पन्न हुन्छ, जब निम्नलिखित ३ वटा नुटी रोक्न सकिएको हुन्छ— अभिप्रायगत नुटी, अवधारणगत नुटी र कार्यान्वयनमा नुटी । अभिप्रायगत वा नियतवश गरिने नुटी व्यवसायिक मर्यादासँग जोडिएको विषय हो । तर, अवधारणागत र कार्यान्वयनमा हुने नुटी व्यक्तिको क्षमतासँग सम्बन्धित विषय हुन् । तर, आफ्नो व्यवसायिक दक्षता र क्षमता बाहिरको कामको जिम्मा लिनु र त्यसमा रमाउनु व्यवसायिक मर्यादाभित्र पर्दैन । यदि कोही प्राविधिकले सही प्रक्रिया पालना गर्न नसक्ने महसुस गर्दागर्दै पनि काममा संलग्न भैरहन्छ भने त्योपनि व्यवसायिक मर्यादाभित्र पर्दैन । र, कोही इन्जिनियर संरचनागत लागत घटाउन प्रचलित सहिताको पालना गर्दैन भने त्यो कार्यपनि व्यवसायिक मर्यादाभित्र पर्दैन ।

सार्वजनिक उपयोगका लागी बनाईएका संरचनाहरु राज्यले दिएका सुविधाको रूपमा नागरिकले सुरक्षित मानी निर्वाध रूपले उपयोग गर्दछन् । उदाहरणका लागी पुललाई सुरक्षित मानी सबैले पुलमाथी गाडी हाँक्छन् । त्यसकारण त्यस्ता संरचनाको डिजाइनमा उच्च इन्जिनियरिङ्ग मर्यादाको पालना हुनु जरुरी छ । यी कुराहरु कानूनी भन्दापनि व्यवसायिक मर्यादासँग बढी निकट छन् । तर, कतिपय अवस्थामा यस्ता अठ्ठराको उन्मूलन गर्नुपर्ने पनि हुन्छ । नीतिनियम र प्रक्रियाका केही उदाहरण यसप्रकार छन् । (क) क्षमतामा आधारित लाइसेन्स प्रणाली, जसले अभ्यास गर्ने व्यक्तिको डिजाइन र निर्माणसम्बन्धी न्यूनतम सीपको सुनिश्चितता गर्छ । (ख) नियमन गर्ने प्रणाली, जसले गल्ती गर्नेलाई तुरन्त दण्डसजाय गर्न सकोस् । यस्ता प्रावधानहरु कतिपय देशमा लागु भैसकेका पनि छन् । भारत, नेपाल लगायतका देशमा पनि यी व्यवस्था लागु हुनु जरुरी छ ।

#### भूकम्पसँग सम्बन्धित जानकारी

जानकारी ०९ : राम्रो भूकम्पीय कार्य सम्पादनका लागी भवनमा नरमपना कसरी ल्याउने ?

#### सन्दर्भ सामग्री

1. Bellet, D; (2006), Fundamental concepts and Principles for Assuring Acceptable performance of Schools and the Education system, Chapter 10, Keeping school safe in Earthquakes, Overseas Press India Private Limited, New Delhi

लेखक : सी.बी.आर. मूर्ति, इण्डियन इन्स्टिट्यूट अफ टेक्नोलोजी, जोधपुर, भारत  
 प्रायोजक : भवन निर्माण सामग्री र प्रविधि प्रवर्धन परिषद नयाँदिल्ली, भारत  
 अनुवादक : मिलन बगाले, भर्नाकुल आर्किटेक्चर, काठमाडौं  
 परिमार्जनकर्ता : जितेन्द्र कुमार बोहरा, मियामोटो इन्टरनेशनल, न्यूजिल्यान्ड

यो सामग्री आइआइटी, कानपुर र बीएमटीपीसीको बौद्धिक सम्पत्ति हो । विषयवस्तु तोडमोड नगरी र कृतज्ञता ज्ञापन सहित यो सामग्री पुनःप्रकाशन गर्न सकिनेछ । हाम्रो इमेल ठेगाना nicee@iitk.ac.in मा सल्लाह सुझाव पठाउन सक्नुहुनेछ । यो सामग्री हाम्रो वेबसाईट [www.nicee.org](http://www.nicee.org) वा [www.bmtpc.org](http://www.bmtpc.org) मा हेर्न सकिनेछ ।



नेपाली संस्करण अनुवाद तथा प्रकाशन :

संयुक्त राष्ट्रसंघीय विकास कार्यक्रम/बृहत्तर विपद जोखिम व्यवस्थापन कार्यक्रम  
डेस्क परियोजना कार्यालय,सञ्चय कोष भवन,चौथो तल्ला, ललितपुर, नेपाल  
फोन : ०१५००४१७६/७८