अध्याय 2
भूकम्प के दौरान भवन संरचना का आचरण

Chapter 2
Structural Performance during Earthquakes

2.1 भूमिका
Introduction

भूकम्प प्राकृतिक आपदा है, जिसमें भीषणतम विनाश का कारण, मकानों में हुए नुकसान अथवा उनके ढहने से और अन्य मानव निर्मित संरचनाओं के क्षतिग्रस्त होने से होता है। अनुभव दर्शाता है कि भूकम्प के कारण होने वाली उक्त विनाश को रोकने के लिये, नये निर्माणों पर भूकम्प प्रतिरोधी उपायों के इस्तेमाल हेतु अधिनियम (earthquake resistant regulations) बनाना और उनका दृढ़ता से लागू करना ही एक सुरक्षित उपाय है। मौजूदा संरचनाओं (structures) के लिए जरूरी है कि भूकम्पीय अवरोधक क्षमता का मूल्यांकन (evaluation) कराये जाए तथा अगला भूकम्प आने से पूर्व उक्त मूल्यांकन की पृष्ठभूमि के आधार पर उनका सुदृढ़ीकरण किया जाए।

भूकम्पीय क्षति कई कारकों पर निर्भर करती है, जिनमें भूकम्प की तीव्रता (intensity), अवधि तथा जमीन के हिलने से कम्पन आवृतियों की उपस्थिति (duration and frequency content of ground motion), भूगर्भिक (geologic) स्थिति, मिट्टी की दशा (soil conditions), निर्माण की गुणवत्ता (quality of constructions) इत्यादि शामिल रहते हैं। मकान की रूपरेखा (design) ऐसी होनी चाहिए जिससे मकान की समुचित मजबूती (adequate strength), उच्च तन्यता (high ductility) तथा एक इकाई की तरह कार्य करने की क्षमता सुनिश्चित की जा सके, जब वह अत्याधिक विकृति (deformation) के अधीन भी हो।

भूकम्पीय क्षति में कई सामाजिक (sociologic) कारक भी महत्वपूर्ण होते हैं, जैसे आबादी की सघनता, भूकम्प का समय, समुदाय विशेष का ऐसी संभाव्य घटना का सामना करने की तत्परता इत्यादि।

आज तक भूकम्प के प्रत्यक्ष प्रभावों को कम करने के लिये हम अधिक कुछ नहीं कर पाये लेकिन हम भूकम्प के खतरे को कम कर सकते हैं और उससे होने वाले विनाश को भी, बशर्ते हम विविध प्रकार के मकानों के भूकम्पीय प्रदर्शन से प्राप्त जानकारी के आधार पर मकानों की रूपरेखा (design) बनायें और उनका निर्माण एवं सुदृढ़ीकरण (strengthening) करें।

भूकम्प के समय मकानों के संरचनात्मक व्यवहार के अवलोकन से हम मकान की रूपरेखा के मजबूत एवं कमजोर पहलुओं की स्पष्ट पहचान कर सकते हैं। साथ ही साथ निर्माण में आवश्यक सामग्री एवं तकनीक के वांछनीय गुणों की पहचान व निर्माण स्थल के चयन में भी यह जानकारी सहायक होगी। क्षतियों का अध्ययन विविध प्रकार की मौजूदा मकानों के सुदृढ़ीकरण के कार्य का मूल्यांकन कराये जाने में एक महत्वपूर्ण कदम का कार्य करती है।

इस अध्याय में भूकम्प की तीव्रता, जमीन के हिलने का मकानों पर प्रभाव, मकान की क्षति में स्थानीय कारण, क्षति के अन्य कारण, मकानों की ढहने की या क्षतिग्रस्त होने की (failure) प्रक्रिया(mechanisms) और क्षतियों के वर्गीकरण के आधार पर मकानों के भूकम्पीय आचरण पर विचार विमर्श किया गया है। विशेष प्रकार की संरचनाओं में क्षति के नमूनों पर आगे के अलग-अलग अध्यायों में विस्तृत विचार विमर्श किया गया है।

2.2 भूकम्प के प्रभाव
Earthquake Effects

भूकम्प जनित क्षति के चार मूल कारण हैंः- जमीन का हिलना, जमीन का फटना एवं धंसना (failure), सुनामी लहरें (समुद्र तल में भूकम्प आने से उत्पन्न पानी की ऊंची लहरें) और आग।

2.2.1 जमीन का हिलना
Ground Shaking

भूकम्प जनित क्षति का मुख्य कारण जमीन का हिलना है। जब जमीन में कम्पन होता है, जमीन की सतह पर बने मकानों में अलग-अलग मात्रा में उस कम्पन की प्रतिक्रिया होती है। यदि किसी मकान की रूपरेखा, निर्माण और सुदृढ़ीकरण भूकम्प प्रतिरोधी न किया गया हो तो भूकम्प जनित त्वरण (वेग परिवर्तन की दर) (acceleration), वेग और विस्थापन (displacement) मकानों को क्षति पहुंचा सकते हैं या उसे पूर्णतः धराशायी भी कर सकते हैं। इसलिये जमीन के हिलने का मकानों पर प्रभाव का अध्ययन भूकम्प प्रतिरोधी रूपरेखा के विकास का महत्वपूर्ण विचारणीय क्षेत्र है। भूकम्पीय रूपरेखा में भूकम्प जनित संभाव्य बलों का (design loads) निर्धारण करना अत्याधिक जटिल प्रक्रिया होती है, क्योंकि भूकम्पीय गति

(earthquake motion) अनियमित एवं अनिश्चित होती है। किन्तु विगत शक्तिशाली भूकम्पों के अनुभाव से यह पता चला है कि तर्कसंगत समुचित पद्धतियों से मकान को भूकम्प के दौरान सुरक्षित रखा जा सकता है।

2.2.2 जमीन का फटना एवं धंसना
Ground Failure

भूकम्प जनित क्षति का एक कारण जमीन के अन्दर भ्रंश क्षेत्र (fault zone) के समानान्तर धरती का फटना या भू स्खलन, जमीन का धंसना अथवा जमीन के द्रवीकरण (soil liquefaction) के रूप में दिखाई देता है।

भ्रंश क्षेत्र (फाल्ट क्षेत्र) के समानान्तर धरती का फटना बहुत सीमित लम्बाई में हो सकता है या कई सौ किलोमीटर क्षेत्र में भी हो सकता है। भ्रंश (फाल्ट) के समानान्तर जमीन का विस्थापन क्षैतिजीय (horizontal) हो सकता है अथवा ऊर्ध्वाधर (vertical) हो सकता है, या दोनों प्रकार से भी हो सकता है। यह कुछ सेंटीमीटर से लेकर कई मीटर तक हो सकता है। जमीन फटने के क्षेत्र में सीधे ऊपर बने मकान में या तो अत्याधिक क्षति होती है या पूर्णतः ढह जाता है।

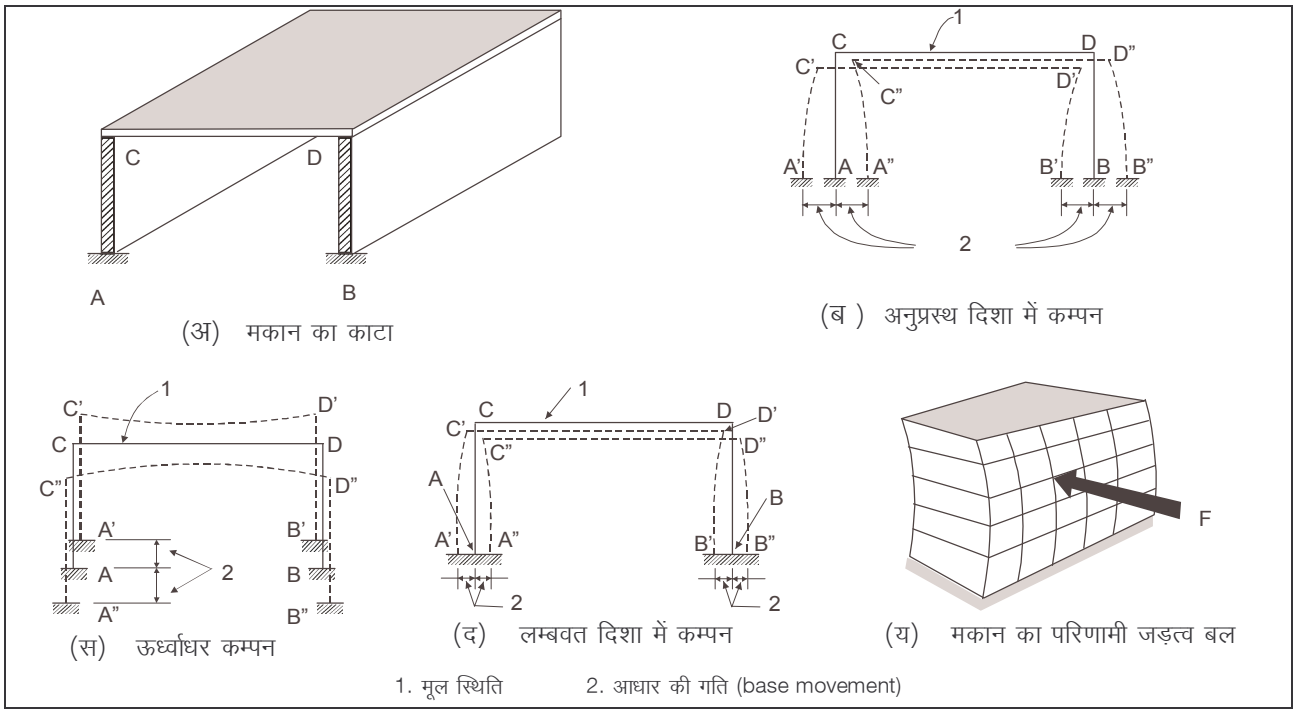
भू-स्खलन (landslide) मकानों को पूर्णतः नष्ट कर सकता है लेकिन जमीन का धंसना केवल क्षति पहुँचा सकता है। जमीन का द्रवीकरण (liquefaction) वहाँ होता है जहाँ अपेक्षाकृत कम घनत्व की समान आकार के कण वाली संतृप्त (नमी से परिपूर्ण) (saturated) रेतीली मिट्टी हो। जमीन का द्रवीकरण बाँध, पुल, जमीन के भीतर की पाइपलाइन और ऐसी जमीन पर बने मकानों के लिये विशेष महत्वपूर्ण घटना (phenomenon) है।

2.2.3 'सुनामी' अर्थात समुद्री लहरों में ऊफान
Tsunamis

'सुनामी' भूकम्पीय समुद्री तरंगे, समुद्र के नीचे के तल के अचानक गतिशील होने से उत्पन्न होती हैं। जैसे ही ये समुद्री तरंगे जमीन की ओर अग्रसर होती हैं उनकी गति कम होती जाती हैं और उनकी ऊँचाई 5 या 8 मीटर या उससे अधिक हो जाती है। निर्विवादित रूप से ये सुनामी तरंगे समुद्रतटीय मकानों के लिये बहुत ही विध्वंसकारी हो सकती हैं।

2.2.4 आग
Fire

यदि भूकम्प के बाद आग लगती है तो उसे बुझाना बहुत कठिन होता है, क्योंकि भूकम्प के साथ ही जल प्रदाय प्रणाली में अवरोध उत्पन्न हो जाते हैं और यातायात में भी अवरोध आ जाता है। इसलिये जहाँ भूकम्प में सामान्य जन एवं धन की हानि होती है वही आग लगने से महाविनाश का दृश्य उत्पन्न हो जाता है। 1923 में केन्टो भूकम्प में 70% और केवल टोक्यो में 50% मकान आग से जल गये थे और 1,00,000 से अधिक लोग आग से मारे गये थे।



चित्र - 2.1 - मकान के भूकम्पीय कम्पन और भूकम्प बलों का परिणाम।

2.3 जमीन हिलने से संरचनाओं पर प्रभाव
Ground Shaking Effect on Structures

2.3.1 जड़त्व बल
Inertia Forces

जैसा कि चित्र-2.1(अ) में बताया गया है, मकान जमीन से जुड़े होते हैं। जैसे ही मकान का आधार हिलता है उसकी उपरिरचना (superstructures) व भीतर की वस्तुएं भी हिलने लगती हैं, यानि द्रव्यमानों (masses) के जड़त्व (inertia) के कारण पूरा मकान विश्राम की स्थिति से हट कर बहुत ही अनियमित ढंग से हिलने व कम्पन करने लगता है।

जब मकान का आधार अचानक दायें हाथ की ओर गतिशील होता है तो मकान आधार के सापेक्ष (relative) रूप से बायें हाथ की ओर खिसक जाता है, चित्र-2.1(ब) जैसे कोई अदृश्य बल उसे बांई ओर ढकेल रहा है, इसे हम जड़त्व बल (inertia force) कहते हैं। वास्तव में कोई मकान को धक्का नहीं देता है, वरन् मकान अपने द्रव्यमान (mass) के जड़त्व (inertia) के कारण इधर उधर होने का प्रतिरोध करता है क्योंकि जमीन एक साथ तीन पारस्परिक लम्बवत् (mutually perpendicular) दिशाओं में गतिशील होती है, (जैसा चित्र-2.1 'ब', 'स' और 'द', में दिखाया गया है), इसलिए यह प्रक्रिया वास्तव में बहुत जटिल होती है।

2.3.2 भूकम्पीय बल
Seismic Load

उपरोक्त परिणामी पार्श्विक बल (resultantant lateral force) या भूकम्पीय बल को चित्र-2.1(य) में बल F के रूप में दर्शाया गया है। बल F चल, अचल, बर्फ, हवा एवं आघात बलों (dead, live, snow, wind, or impact load) से स्पष्टतया भिन्न होता है। जमीन की क्षैतिजीय (horizontal) गति की क्रिया वैसी ही होती है जैसे मकानों पर क्षैतिजीय (horizontal) बल का प्रभाव। इसलिये इसे 'भूकम्पीय भार' (seismic load) भी कहा जाता है। चूंकि मकान का आधार अत्याधिक जटिल ढंग से गतिशील होता है, जड़त्व (inertia) बल मकान के तमाम द्रव्यमान (mass) व मकान के अन्दर रखी वस्तुओं में उत्पन्न होते हैं। ये प्रतिवर्ति अर्थात दिशा बदलते (reversible) बल मकानों को हिलाते हैं, उसको क्षति पहुंचाते हैं और उसे ढहा भी सकते हैं। ऊर्ध्वाधर कम्पनों के कारण बीमों (beams) व स्तंभों (columns) पर अतिरिक्त सीधा खड़ा भार पड़ता है। भूकम्पीय भार गतिक (समय के साथ परिवर्तित होने वाले dynamic) होते हैं। क्योंकि प्रत्येक भूकम्प अपनी अलग विशिष्टता लिये होता है, इन भारों की पूर्व से सही भविष्यवाणी करना संभव नहीं होता है। भूकम्पीय रूपरेखा हेतु निम्नलिखित समतुल्य न्यूनतम पार्श्विक (lateral) बल का उपयोग किया गया हैं।

$$F = S.F_s.I.C.W. \qquad (2.1)$$

उपरोक्त S, F_s, I, C और W भूकम्पीय भार को प्रभावित करनेवाले अलग-अलग कारक (factors) हैं। इनकी विशद व्याख्या इसी अध्याय में आगे की गयी है।

2.3.3 भूकम्पीय भार को प्रभावित करनेवाले विभिन्न कारक
Factors Affecting Seismic Loads

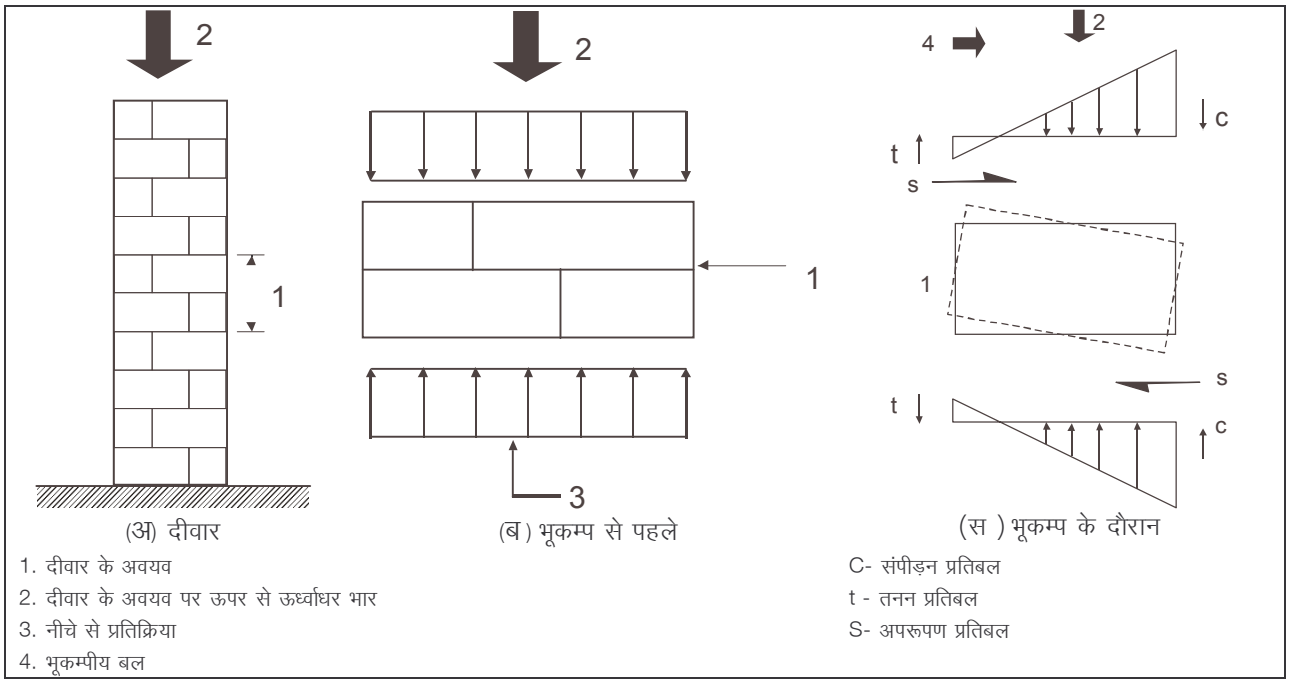
भूकम्पीय क्षेत्र कारक S क्षेत्र विशेष की भूकम्पीय तीव्रता पर निर्भर करता है। S का मान भूकम्पीय तीव्रता की समरेखाओं को नक्शे पर प्लाट कर 'आइसोलाइन' या अधिकतम त्वरण आइसोलाइन के रूप में अंकित की जाती है। यह स्पष्ट है कि जितनी अधिक भूकम्प की तीव्रता (acceleration) होगी उतना ही अधिक भूकम्पीय बल होगा।

विचाराधीन दिशा में मकान के कम्पनों की आधारभूत प्रत्यास्थ आवर्त काल (fundamental elastic period of vibration) और उस अवधि में स्थल विशेष के गुणधर्मों के अनुपात पर, और मृदा-नींव-कारक (soil foundation factor) F_s पर निर्भर करता है। एक प्रकार से F_s स्थल एवं मकान का अनुनाद (resonance) का संख्यात्मक-गुणांक (co-efficient) है।

मकान के उपयोग महत्व से संबधित कारक (occupancy importance) अथवा जोखिम का कारक (hazards-factor), मकान किस उपयोग में लाया जा रहा है, पर निर्भर करता है। जितना अधिक महत्व कारक होगा या मकान के क्षतिग्रस्त होने पर जोखिम की अधिकता ज्यादा होगी, तदानुसार I का मान (value) भी उतना ही ज्यादा (greater) होता है।

C कारक मकान की दृढ़ता (stiffness) और अवमन्दन (damping) पर निर्भर करता है। विचाराधीन द्रव्यमान (mass) जितना अधिक कड़ा (stiff) होगा उतना ही मकान के कम्पन का प्राथमिक आवर्तकाल (period of vibration) कम होगा और C की राशि (value) उतनी अधिक होगी। अवमन्दन (damping) इमारत के ऊर्जा क्षय (dissipation) करने के माप का गुण है। जितना अधिक 'अवमन्दन' होगा C की राशि उतनी ही कम होगी।

W मकान की उपरिरचना (superstructure) उसके भीतर की वस्तुओं का कुल भार है। जड़त्व बल मकान के



चित्र - 2.2 - दीवार के अवयव में प्रतिबलों का विवरण

द्रव्यमान के समानुपाती होता है। भारवाही क्रिया (loading action) का वही अंश जो द्रव्यमान युक्त होता है, मकान पर भूकम्पीय बल उत्पन्न करता है। अतः मकान की सामग्री जितनी हल्की होगी उतना ही भूकम्पीय बल कम होगा।

2.3.4 भूकम्पीय प्रतिबलों का स्वरूप
Nature of Seismic Stresses

भूकम्पीय क्षैतिज बल (horizontal force) दिशा बदलते (reversible) हैं। संरचना के अवयव जैसे दीवारें, बीम और स्तंभों इत्यादि, जो भूकम्प के पूर्व केवल ऊर्ध्वाधर भार वहन करते थे उन्हें अब क्षैतिज झुकाव (horizontal bending) और अपरूपण प्रभाव (shearing effect) का भी सामना करना पड़ता है। जब भूकम्प के कारण झुकाव का तनाव (bending tension), ऊर्ध्वाधर सम्पीड़न दबाव (vertical compression) से अधिक हो जाता है, तो परिणाम स्वरूप कुल तनन प्रतिबल (net tensile stresses) पैदा होते हैं। यदि मकान की सामग्री तनन में कमजोर है, जैसे ईंट या पत्थर की चिनाई तो दरारें पैदा होती हैं, जिससे झुकाव आघूर्ण (bending moment) का प्रतिरोधी प्रभावी क्षेत्रफल कम हो जाता है, जैसा चित्र-2.2 में दर्शाया गया है। इससे यह स्पष्ट निष्कर्ष निकलता है कि भूकम्प प्रतिरोध के लिये तनन और अपरूपक (tensile and shear) सामर्थ्य अत्यन्त महत्वपूर्ण हैं।

2.3.5 भूकम्पीय रूपरेखा में महत्वपूर्ण तथ्य
Important Parameters in Seismic Design

भूकम्पीय रूपरेखा के दृष्टिकोण से निम्नलिखित गुण एवं तथ्य महत्वपूर्ण हैं:

अ) मकानों में लगने वाली सामग्री के गुण -
   i. सम्पीड़न (compression), तनन (tension) एवं अपरूपण (shearing), में सामर्थ्य गतिकीय (dynamic) प्रभावों (effects) को समाहित करके।
   ii. सामग्री का इकाई भार (unit weight)
   iii. प्रत्यास्थता गुणांक (modulus of elasticity)

ब) सम्पूर्ण मकान प्रणाली (building system) का गतिकीय गुण धर्म (dynamic Characteristics) जैसे आवर्त काल (period), मोडस् (modes), अवमन्दन (damping) को शामिल करना ।

स) मकान के विभिन्न भागों का भार विस्थापन (load deflection) गुण-धर्मों की विशिष्टता।

2.4 भूमि स्थल की दशा का मकान की क्षति पर प्रभाव
Effect of Site Conditions on Building Damage

पूर्व भूकम्पों से यह जानकारी मिलती है कि मकान की क्षति पर उसकी भूस्थलीय स्थिति का महत्वपूर्ण प्रभाव होता है। भूकम्प के अध्ययन निरपवाद रूप से प्रायः यह बताते हैं कि झटके की तीव्रता का सीधा सम्बन्ध उस स्थान की मिट्टी

एवं परत के प्रकार से है, जिस पर मकान बना हुआ है। ठोस चट्टान और ठोस मिट्टी पर बने मकानों का, नरम जमीन पर बने मकानों की अपेक्षा भूकम्प के दौरान प्रदर्शन अच्छा होता है। इसका नाटकीय ढंग से प्रमाण मिलता है 1985 में मेक्सिको सिटी में आए भूकम्प में, जब भूकम्प के उपकेन्द्र (epicentral) से 400 किलोमीटर दूर पर नरम जमीन पर बने, मकानों में अधिक क्षति हुई। इसी प्रकार मेक्सिको सिटी में 28 जूलाई, 1957 को आये भूकम्प के अध्ययन से यह पहले से ही पता था कि नगर के मध्य में नरम जमीन पर बने मकानों में आसपास की मजबूत मिट्टी पर बने मकानों से, 5 से 50 गुना अधिक हानि होगी। इसका एक और उदाहरण 1976 में हुए तांगशान, चीन में मिला है। जहाँ मोटी मिट्टी की परत (thick soil layer) के ऊपर बनें मकानों में से 50% पूर्ण रूप से ढह गये, जबकी पहाड़ों के निकट पथरीली-जमीन पर बने मकानों में से केवल 12 प्रतिशत का विध्वंस हुआ। इसके विपरीत कोयना (भारत) में 1967 में व उत्तर यमन में 1980 में आए भूकम्पों में चट्टानों पर बनी दृढ़ चिनाई (rigid masonry) में निर्मित मकानों में मिट्टी पर बने मकानों से अपेक्षाकृत ज्यादा विनाशकारी क्षति हुई।

हाल ही में आए भूकम्पों से यह सबक मिलता है कि मकानों को पहुँचने वाली क्षति मकानों के स्थल की, भौगोलिक स्थलाकृति (topographic) से भी प्रभावित होती है। खुली और समतल जमीन पर बने मकानों में और पहाड़ों पर सीढ़ीनुमा पट्टियों वाली भूमि की अपेक्षा अलग अलग ऊँची पहाड़ियों पर, या अत्याधिक ढालू जमीन पर बने मकानों से प्रायः कम हानि होती है।

2.5 अन्य कारक जिन पर क्षति निर्भर करती है
Other Factors Affecting Damage

मकान में क्षति की मात्रा मकान की मजबूती, तन्यता (ductility), अखण्डता (integrity) और भूकम्प की तीव्रता और हिलनें के फलस्वरूप भूमि के नीचे की जमीन की दृढ़ता (stiffness) पर निर्भर करती है।

वैसे किसी भी मकान की रूपरेखा इस प्रकार की जा सकती है कि वह भूकम्प प्रतिरोधी हो बशर्ते निर्माण स्थल उपयुक्त हो। भूकम्प से मकानों में क्षति मुख्यतः इसलिए होती हैं, क्योंकि उन्हें मुख्यतः स्थितकीय बलों से उत्पन्न ऊर्ध्वाधर (गुरुत्वीय बलों से उत्पन्न) प्रतिबल (vertical stresses) वहन करने के अभिप्राय से बनाया जाता है, जबकि भूकम्प के समय उन्हें अगल-बगल किसी भी दिशा से क्षैतिज बल (horizontal force) झेलने पड़ते हैं। मकानों और मानव निर्मित अन्य संरचनाओं में होने वाली क्षति को प्रभावित करने वाले मुख्य कारक निम्नानुसार सूचीबद्ध किये जा रहे हैं।

2.5.1 मकान की आकृति अर्थात बनावट
Building Configuration

मकान के समग्र आकार में निरन्तरता एवं समरूपता (regularity and symmetry) का विशेष महत्व है। एक सन्दूक के आकार का मकान जिसका नक्शा और इलिवेशन (plan and elevation) दोनों चौकोर हों, एल-आकार तथा यू-आकार अथवा मकान से बाहर आगे निकले हुए हिस्सों वाले मकानों की अपेक्षा स्वाभाविक रूप ये अधिक मजबूत होतें हैं। बेडौल आकार के मकान के हिलनें से (घुमावदार) मुड़ना (twist) होता है जिससे क्षति में बढ़ोत्तरी होती है।

2.5.2 दीवारों में खुले हिस्सों के आकार
Opening Size

सामान्यतः दीवारों में खुले हिस्से (openings) मकान को कमजोर बनाते हैं। मकान में जितने कम खुले भाग होंगे उसमें भूकम्प के दौरान उतनी ही कम क्षति होगी। यदि मकान के आरपार बड़े आकार के खुले भाग आवश्यक हैं या खुले प्रथम मंजिल की आवश्यकता हो तो संरचनात्मक अखण्डता (structural integrity) की सुरक्षा के लिये विशेष प्रावधान किये जाने चाहिए।

2.5.3 दृढ़ता का वितरण
Rigidity Distribution

मकान की दृढ़ता (rigidity) का वितरण ऊर्ध्वाधर दिशा में (vertical) यानि ऊपर की ओर एक समान होना चाहिए, क्योंकि मकान में एक मंजिल से दूसरे मंजिल में निर्माण के समय उसकी प्रणाली में बदलाव से, क्षति की सम्भावना बढ़ जाती है। अतः इससे बचना चाहिए। बिना किसी व्यवधान के (interruption) और निर्माण सामग्री के बदलाव के, स्तंभ व अपरूपण दीवारें (shear walls) नींव से लेकर छत तक निरन्तर होनी चाहिए।

2.5.4 तन्यता
Ductility

तन्यता का अर्थ है मकान का बिना ढहे, अधिक मात्रा में झुकने, झूलने व विकृत होने की क्षमता। इसकी विपरीत अवस्था को भंगुरता (brittleness) कहा जाता है, जो मकान में या तो सम्भवतः भंगुर (brittle) सामग्री के उपयोग से या तन्य सामग्री के उपयोग के बावजूद भी संरचना के दोषयुक्त रूपरेखा के कारण होती है। भंगुर सामग्री बलों के अधीन टूट जाती है। ऐसी सामग्री के उदाहरण हैं : ईंट, एडोब या कंक्रीट ब्लाक। इसमें कोई आश्चर्य नहीं है कि पूर्व भूकम्पों में अधिकतर क्षति उन रचनाओं में हुई जो भंगुर

सामग्री युक्त और अप्रबलित चिनाई (unreinforced masonry) से बनाये गये थे और उन्हें घटिया तरीके से जोड़ा गया था। लोहे के सरिये के प्रयोग से भंगुर सामग्री की तन्यता में वृद्धि होती है। उदाहरणार्थ, प्रबलित कंक्रीट में उचित स्टील के उपयोग से एवं स्टील के तानों (ties) को कम दूरी पर रखकर तन्यता में बढ़ोत्तरी की जा सकती है।

2.5.5 नींव
Foundation

मकान जिनकी संरचनात्मक मजबूती भूकम्पों का सामना करने के लिये काफी सुदृढ़ होती है, कभी कभी नींव के दोषयुक्त रूपरेखा के कारण ढह जाती है। मिट्टी के द्रवीकरण (liquefaction) के फलस्वरूप मकान झुक (tilting) जाते हैं, दरारें पड़ जाती हैं, जमीन के ऊपर की संरचना क्षतिग्रस्त हो जाती है और नींव में असमान धंसाव (differential settlement) हो जाता है। कुछ प्रकार की नींवें दूसरी तरह की नींवों के तुलना में क्षतिग्रस्त होने के लिए अति संवेदनशील होती है उदाहरण के लिए पृथक नींव (isolated footing) के असमान धंसाव (differential settlement) होने की काफी संभावना होती है, विशेषतः जब कि आधार वाली जमीन (जिस पर मकान बनाया हो) में कई तरह की या कोमल तरह की मिट्टी हो। मिश्रित प्रकार की नींवें जो एक ही मकान के नीचे हो उसमें भी असमान धंसाव से क्षति पहुँच सकती है।

बहुत कम गहराई वाली नींव मौसम के प्रभाव से क्षतिग्रस्त होती हैं विशेषतः ठंडे मौसम के इलाकों में जहाँ उन्हे जमीन के भीतर के पानी के जमने और पिघलनें का सामना करना पड़ता है।

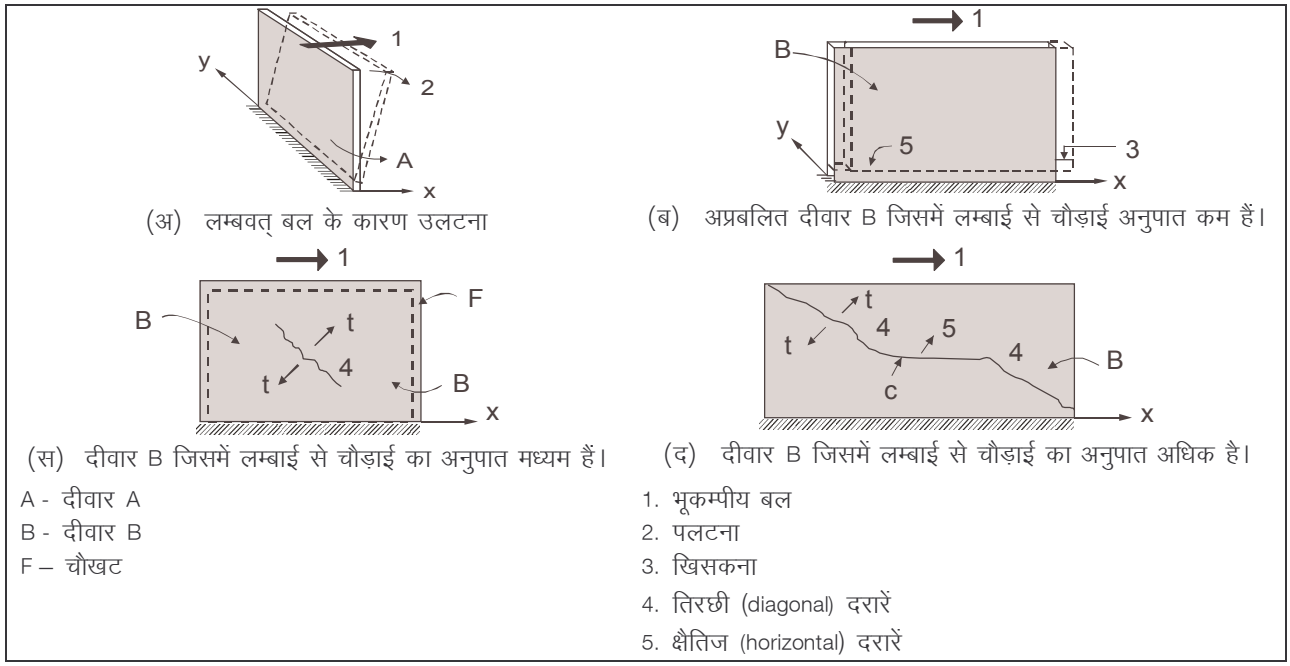
2.5.6 निर्माण कार्य की गुणवत्ता
Constuction Quality

ऐसे कई उदाहरण हैं जहाँ भूकम्प के दौरान हुई हानि का कारण घटिया निर्माण कार्य, निकृष्ट (substandard) सामग्री का उपयोग, निम्न श्रेणी की कार्यकुशलता को जाता है। इसके उदाहरण चिनाई में रद्दा (bonding) लगाने में अपर्याप्त कार्यकुशलता, 'धुर' यानि आरपार वाले पत्थर (through stone) या एक दूसरे को जोड़ने वाली इकाईयों का अभाव तथा अनुपयुक्त व अपर्याप्त निर्माण इत्यादि हैं।

2.6 भूकम्प के कारण क्षतिग्रस्त होने की प्रक्रिया
Failure Mechanisms of Earthquakes

2.6.1 चिनाई की बिना सहारें की खड़ी दीवार
Free Standing Masonry Wall

चित्र-2.3 में मुक्त बिना सहारे की खड़ी दीवार पर विचार कीजिए। चित्र-2.3(अ), दीवार A जो कि एक (दीवार पर स्वयं के भार के अलावा कोई भार नहीं है जैसे की बाउण्डरी की दीवार) मुक्त (free) खड़ी दीवार है, पर अनुप्रस्थ दिशा में जमीन के हिलने की गति का बल लग रहा है। दीवार के द्रव्यमान (mass) पर उक्त क्रियाशील बल उसको उलटने की ओर प्रवृत्त करते हैं। दीवार का भूकम्पीय प्रतिरोध, उसके भार और चिनाई मामले की तनन



चित्र - 2.3 - मुक्त (free) सिरे एवं ऊर्ध्वाधर दीवार के क्षतिग्रस्त होने (failure) की प्रक्रिया (mechanism)

सामर्थ्य (tensile strength) पर निर्भर है। स्पष्टतः यह बहुत कम है, इसलिए जमीन की गति के कारण यह दीवार उलटेगी और गिर जायेगी।

अब चित्र-2.3(ब) देखें, इस में बताई मुक्त खड़ी दीवार B जमीन से आबद्ध (fixed) है। जमीन की गति (motion) दीवार के अपने स्वयं की तल (own plane) में है। ऐसी स्थिति में, दीवार भूकम्प के बल का प्रतिरोध ज्यादा मजबूती से करती है क्योंकि दीवार झूकाव वाले तल मे अधिक लम्बी है जिसके कारण वह अधिक प्रतिरोध कर सकती है। ऐसी दीवार को 'अपरूपक दीवार' (shear wall) कहते हैं। बिना प्रबलित (unreinforced) की हुई अपरूपक दीवार में क्षति का प्रकार (failure modes) दीवार की लम्बाई से चौड़ाई के अनुपात पर निर्भर करता है। जिस दीवार में लम्बाई से चौड़ाई का अनुपात कम होगा उसमें झुकाव के तनाव (bending tension) के कारण प्रायः क्षैतिज दरारें (horizontal cracks) आती हैं और बाद में अपरूपण (shearing) के कारण दीवार फिसलेगी। जैसा कि चित्र-2.3(स) में बताया गया है, जिस दीवार में लम्बाई से चौड़ाई का अनुपात मध्यम होगा और स्थिर चौखट (bounding frame) होगी, उसमें अपरूपण (shearing) तिरछा (diagonal) होगा तदनुसार दीवार में दरारें भी तिरछी पड़ेगी।

इसके विपरीत जैसा चित्र-2.3(द) में बताया गया है, जिस दीवार का लम्बाई से चौड़ाई का अनुपात अधिक
होगा उसमें दोनों ओर तिरछी तनाव दरारें (diagonal tension cracks) आ सकती हैं व बीच के भाग में क्षैतिजीय (horizontal) दरारें भी आ सकती हैं।

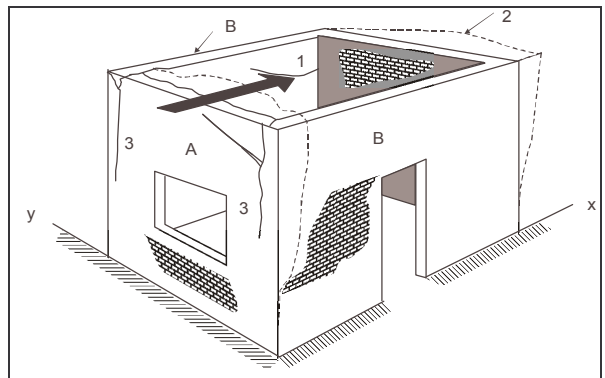
2.6.2 बिना छत के दीवारों से घिरा अहाता
Wall Enclosure Without Roof

चित्र-2.4 में दिखाए अनुसार दीवार A और B के एक साथ जुड़ी होने पर विचार कीजिये। दीवार B बल की दिशा x के लिये अपरूपक दीवार (shear wall) का कार्य करती है। वह स्वयं के जड़त्व (inertia) के अतिरिक्त दीवार A के गिरने का भी प्रतिरोध करती है। इस कारण से दीवार A ऊर्ध्वाधर स्लैब (vertical slabs) के अनुरूप कार्य करती है, जो दोनों ओर से दीवारों के आधार पर टिकी हुई है और नीचे कुर्सी तल पर टिकी है। दीवार A के द्रव्यमान (mass) भार से जड़त्व बल (inertia force) लगता है। ऊर्ध्वाधर कोनों के पास दीवार के क्षैतिज तल (horizontal plane) की दिशा में दिशा बदलते झुकाव आघूर्ण (reversible bending moments) लगते हैं जिसके लिये चिनाई में पर्याप्त मजबूती नहीं होती हैं। इसलिये जैसा चित्र में दिखाया गया है किनारों की दीवारों में दरारें हो सकती हैं और इन्हीं किनारों पर दीवारें एक-दूसरे से अलग भी हो सकती हैं।

यह स्पष्ट है कि दीवार B अपरूपक दीवार (shear wall) का कार्य करती है, जबकि दीवार A दीवार B की जोड़पट्टी (web) से सम्बद्ध पेटा (flanges) का कार्य करती है। इस प्रकार दीवार A और दीवार B के बीच का सम्बन्ध उनके प्लेट्स के अनुरूप बंधे होने के कारण टूटता नहीं हैं, तो मकान का आचरण एक सन्दूक के समान होगा। दीवार B के पृथक रूप से रहने की अपेक्षा उपरोक्त सम्बद्धीय आबद्ध स्थिति में उनका भूकम्प क्षैतिज बल (horizontal force) के विरुद्ध प्रतिरोध अधिक कारगर होगा। तथापि, बिना सुदृढ़ीकृत अहातों में, समकोण पर मिलनेवाली दीवारों के ऊर्ध्वाधर जोड़ (vertical joints) प्रायः कमजोर होते हैं क्योंकि वह दाँतेदार होते हैं और उनको निर्माण प्रणाली के समय समुचित मसाले से नहीं भरा जाता है। फलस्वरूप कोने (corner) क्षतिग्रस्त हो जाते हैं और दीवारें गिर जाती हैं। यह भी आसानी से अनुमान लगाया जा सकता है कि दीवारें जितनी अधिक लम्बी होगी, आड़ी दीवारों की उन पर टेक कम होगी, और अहाते के एक सन्दूक (box) के अनुरूप कार्य करने में कमी होगी।

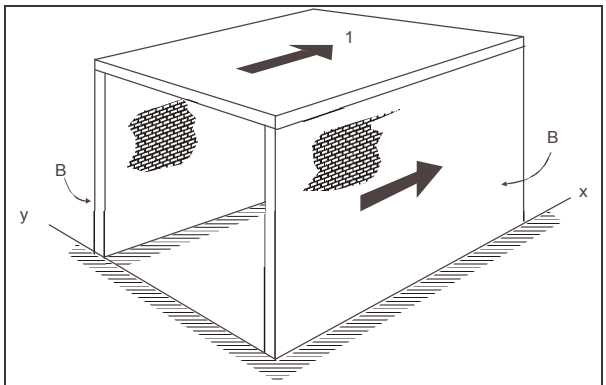
2.6.3 दो दीवारों के ऊपर छत
Roof on Two Walls

चित्र-2.5 में बताया गया है कि दो समानान्तर दीवारों B पर एक छत का स्लैब टिका हुआ है। भूकम्प का बल दीवारों की लम्बाई के समानान्तर दिशा में क्रियाशील है। यदि यह मान लिया जायें कि स्लैब और दीवार ठीक से चिपके हुए हैं, तो स्लैब का जड़त्व बल (inertia force) B दीवारों के ऊपरी सिरे पर स्थानान्तरित होगा जिससे उनमें अपरूपण और उलटने (shearing and overturning) की क्रिया होगी।



1- भूकम्पीय बल
2- दीवार A का मुड़ना/झुकाव
3- दीवार A के सिरे पर मुड़ने के फलस्वरूप आई दरारें

चित्र - 2.4 - बिना छत के चार दीवारों के कमरे के क्षतिग्रस्त (failure) होने की प्रक्रिया



1. **भूकम्पीय बल**
A - **दीवार** - A
B - **दीवार** - B

चित्र - 2.5 - दो दीवारों पर टिकी छत

अपना जड़त्व बल दोनो छोर की दीवारों को स्थानान्तरित कर सकने हेतु स्लैब को क्षैतिज तल (horizontal plane) में झुकने (bending) के लिये पर्याप्त मजबूत होना चाहिए। स्लैब की इस क्रिया को डायफ्राम क्रिया (diaphragm action) कहते हैं। प्रबलित कंक्रीट या प्रबलित ईंटों के स्लैब में स्वभावतः इतनी मजबूती होती है और वह दृढ़ डायफ्राम (rigid diaphragm) का कार्य करते हैं। फिर भी कुछ अन्य तरह की छतें जैसे लकड़ी या प्रबलित कंक्रीट की कड़ी वाली (joist) छत जो ईंट के खपरैल (टाइल) से ढकी हो लचकदार (flexible) होगी। कड़ियों (joists) को आपस में ठीक से जोड़ने के बाद उन्हें उपयुक्त तरीके से दीवार से जोड़ना होगा ताकि वे अपना जड़त्व बल (inertia) दीवार को स्थानान्तरित कर सके। साथ ही B दीवारों में अपरूपक दीवारों (shear wall) के रूप में पर्याप्त मजबूती होनी चाहिए ताकि वे छत के भार के साथ-साथ अपने स्वयं के जड़त्व बल को वहन कर सके। स्पष्टतः चित्र-2.5 में दर्शाई गयी संरचना को अपने स्वयं के तल (plane) से लम्बवत् (perpendicular) दिशा में जमीन की गति का सामना करना पड़ेगा, तो वह आसानी से ढह जायेगी क्योंकि B दीवारों में अपने तल (plane) से लम्बवत् दिशा में बहुत कम झुकाव का प्रतिरोध (bending resistance) होगा। लम्बी बैरक जैसी इमारतों में जिनमें कोई बीच की दीवारें नहीं होती हैं और छोर की दीवारें इतनी दूर होती हैं कि वे लम्बी दीवारों को कोई सहारा नहीं दे सकती हैं, तो उनकी स्थिति पूर्ववर्ती उदाहरण के समान होगी।

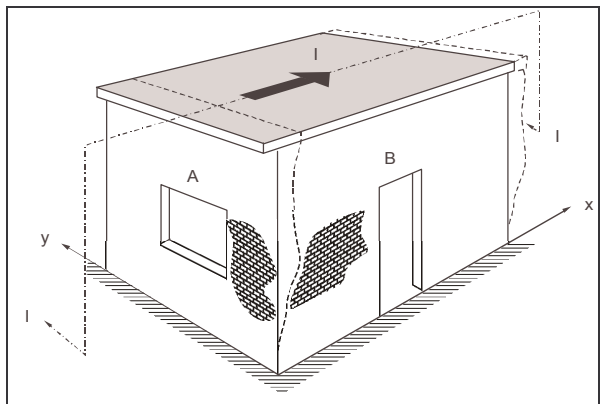
2.6.4 दीवारों से घिरे अहाते के ऊपर के छत
Roof on Wall Enclosure

अब ध्यान दीजिए चित्र-2.6 में दर्शाए गये एक अहाते पर, जो चारों ओर से दीवारों से घिरा है और उसके ऊपर छत हैं। वहाँ बताए अनुसार भूकम्पीय बल x अक्ष की दिशा में कार्यशील है। यदि छत दृढ़ (rigid) हो और एक क्षैतिजीय (horizontal) डायफ्राम के रूप में आचरण करे, तो उसके जड़त्व बल का वितरण चारो दीवारों में उसकी दृढ़ता (stiffness) के अनुपात में होगा। x दिशा में B दीवार A दीवारों से अधिक दृढ़ हैं, जिसके कारण छत का पूरा जड़त्व B दीवारों पर लगभग पूर्णतः स्थानान्तरित हो जायेगा। ऐसी स्थिति में, ऊपरी छत के कारण A दीवारों की प्लेट के रूप में कार्यक्षमता कम हो जायेगी और A दीवारों का क्षैतिजीय झुकाव (horizontal bending) कम हो जायेगा। इसके विपरीत यदि छत लचकदार (flexible) हो तो छत का जड़त्व उन दीवारों पर स्थानान्तरित हो जायेगा जिस पर वह आधारित हैं, और A दीवारों की प्लेट के रूप में क्रियाशील होने का आधार या तो बहुत कम हो जायेगा या शून्य हो जायेगा। पार्श्विक बलों के प्रतिरोध में अहाता इस बार भी एक सन्दुक की तरह व्यवहार करता है और जैसे-जैसे अहाते के लम्बाई व चौड़ाई बढ़ती जायेगी उसकी उपरोक्त कार्यक्षमता कम होती जायेगी।

2.6.5 छत और फर्श
Roofs and Floors

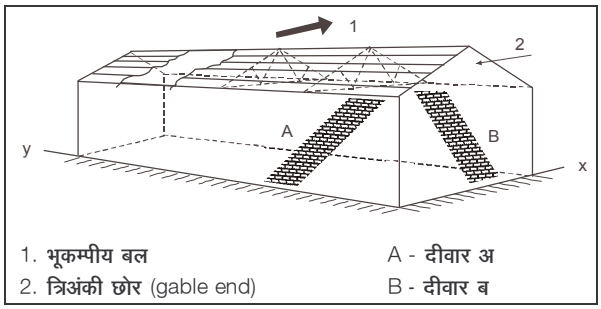
भूकम्प जनित जड़त्व बल (inertia force) का मकान ऊर्ध्वाधर अवयवों में उनके दृढ़ता (stiffness) के अनुपात में वितरण हो सकता है, बशर्ते छत और फर्श इतने दृढ़ (rigid) हो कि वे क्षैतिजीय डायफ्राम (horizontal diaphragms) का कार्य कर सकें। अन्यथा छत और फर्श का जड़त्व केवल उन ऊर्ध्वाधर अवयवों तक जाएगा जिस पर वे टिके हैं। इसलिये छत और फर्श की दृढ़ता (stiffness) व अखण्डता (integrity) का भूकम्प प्रतिरोध में अलग महत्व हैं।

दृढ़ और समतल छत और फर्श जो चिनाई से बंधे या जोड़े गये (bonded and tied) हो का दीवार पर सकारात्मक प्रभाव होता है। ऐसी छत या फर्श के उदाहरण हैं, स्लैब या



1. **भूकम्पीय बल**
A - दीवार A
B - दीवार B

चित्र - 2.6 - चार दीवारों पर टिकी छत



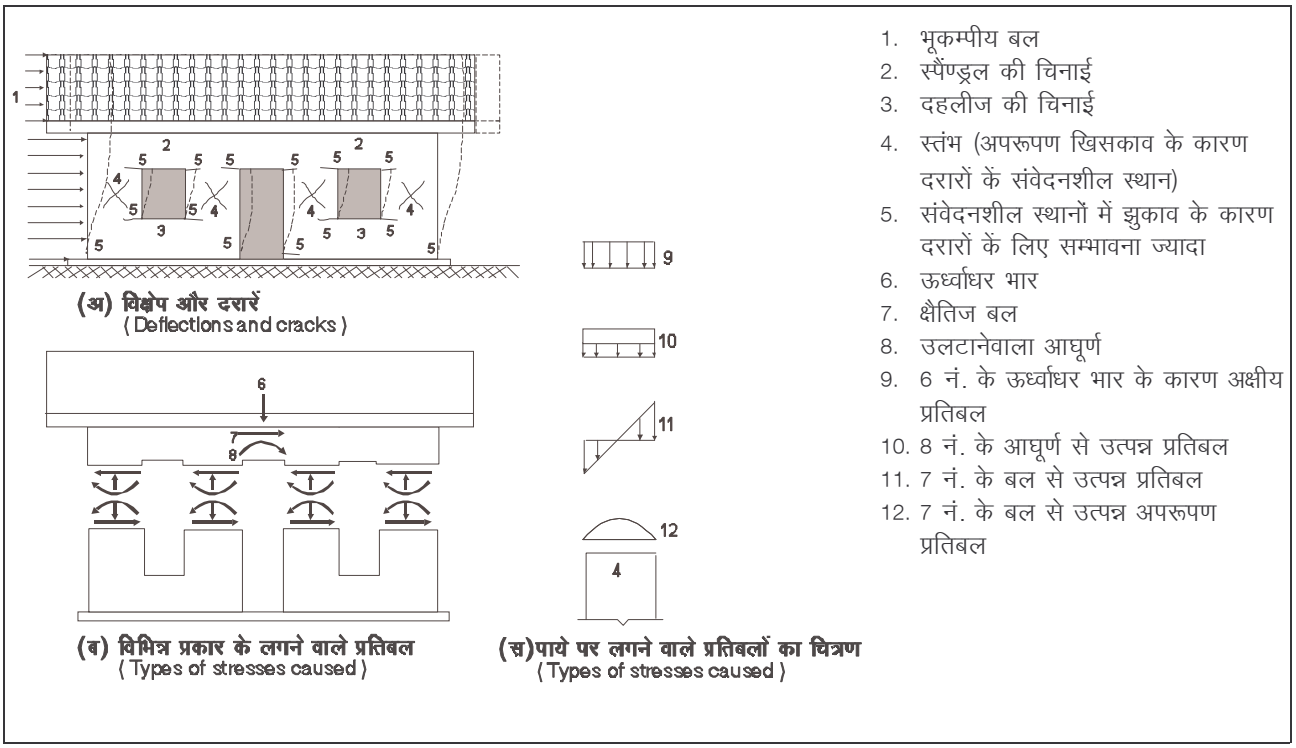
चित्र - 2.7 - कैंची वाली छत के लम्बे मकान

स्लैब और बीम (beam) निर्माण जो दीवार पर सीधे निर्मित किये गये हों या जैक मेहराब के फर्श या छत जिनमें क्षैतिजीय (horizontal) तानों (ties) का प्रावधान हो और जो दीवारों के ऊपर अच्छी गुणवत्ता के मसाले द्वारा चिने गये हों। अन्य प्रकार की छतें या फर्श जो चिनाई की दीवारों पर मात्र टिके रहते हैं, केवल घर्षण के माध्यम से ही, भूकम्पीय बल का प्रतिरोध करेंगे, और यह भूकम्प की तीव्रता पर निर्भर करेगा कि यह प्रतिरोध पर्याप्त है या नहीं। यदि फर्श लकड़ी की कड़ियों से बनी हो, जिनकी मध्य बिन्दु से मध्य बिन्दु की दूरी 20 से.मी. हो या 25 से. मी. हो, और उनके सीधे ऊपर ईंट के खप्पर डाले गये हो और उन पर मिट्टी का आवरण किया गया हो, तो ऐसे फर्श में खप्पर कड़ियों को जुड़े नहीं रख सकते हैं। इसलिये भूकम्प के दौरान कड़ियों के इधर-उधर खिसकने की सम्भावना रहती है, जिस कारण खप्पर गिर सकते हैं और लोगों को चोट लग सकती है व सम्पत्ति की हानि हो सकती है। पूर्व निर्मित (Prefabricated) प्रबलित कंक्रीट के अवयवों से बनी फर्श में यदि सभी अवयवों को एक दूसरे से उपयुक्त रूप से जोड़ा न गया तो ऐसे फर्श का आचरण भी वैसा ही होगा जैसा उपरोक्त उदाहरण में बताया गया है। ऐसी स्थिति में आधार देने वाली दीवारों के बीच सापेक्ष विस्थापन (relative displacement) के कारण छतें नीचे गिर सकती हैं।

2.6.6 लम्बी इमारत जिसमें कैंचीदार छत हो
Long Building with Roof Trusses

चित्र-2.7 में दर्शाई एकल एक सिरे से दूसरे सिरे तक के विस्तार (single span) की कैंचीदार छत वाली लम्बी इमारत पर ध्यान दीजिए। कैंचीदार छत दीवार A पर टिकी हुई है। दीवारें B त्रिअंकी (gabled) हैं ताकि वे अतिंम छोर के खण्ड के पर्लिन को ग्रहण कर सकें। यदि उदाहरणार्थ जमीन की गति x अक्ष के समानान्तर हैं तो जड़त्व बल (inertia forces) चादरों से पर्लिन, पर्लिन से कैंचियों को व कैंचियों से दीवार A को स्थानान्तरित हो जायेंगें।

अतिंम छोर पर पर्लिन कुछ बल सीधा त्रिअंकी सिरों को स्थानान्तरित कर देते हैं। यदि कैंचियों को बोल्टों द्वारा स्थिर नहीं किया गया तो भूकम्पीय बल के अधीन कैंचियाँ दीवारों पर फिसलने लगेंगी। ऐसी स्थिति में दीवार A जिसको दीवार B से कोई अधिक सहारा नहीं मिलता हैं, गिर सकती है। इसे रोकने के लिए दीवार A को ऊर्ध्वाधर झुकाव (vertical bending) का प्रतिरोध करने हेतु मजबूत



चित्र - 2.8 - खुले हिस्सों की अधिकता वाली अपरूपण दीवार की विकृतियाँ (deformation)

बनाना होगा। यह या तो केन्टिलीवर व्यवस्था के द्वारा किया जा सकता है अथवा अन्य व्यवस्था से जैसे कैंचियों के बीच में क्षैतिजीय पट्टियाँ (horizontal bracing) लगाकर ताकि बल क्षैतिज दिशा में दीवार B को स्थानान्तरित किया जा सके।

यदि जमीन की गति Y दिशा में होती है तो दीवार A अपरूपण दीवारों (shear walls) का कार्य करेंगी और सभी बल उन पर स्थानान्तरित हो जायेंगे। ऐसी स्थिति में पर्लिन बन्धन (bracing) तानें और टेक लगाने (ties and strut) का कार्य करते हैं और छत का जड़त्व बल त्रिअंकी सिरों को स्थानान्तरित हो जायेगा।

इसके फलस्वरूप त्रिअंकी छोरों (gable end) को क्षति पहुँच सकती हैं। यदि त्रिअंकी तिकोना (gable triangle) स्थिरता की दृष्टि से कमजोर हो तो उसमें कम तीव्रता के भूकम्प में भी क्षति हो सकती हैं। यदि छत की कैंचिओं में अपर्याप्त बन्धन (bracing) हो तो वे दीवारें संपूर्ण रहते हुए भी उलट सकती हैं।

2.6.7 अपरूपक दीवारें जिसमें खुले हिस्से हों (दरवाज़े, खिड़कियाँ)
Shear Wall with Openings

प्रायः मकानों में अपरूपक दीवारें (shear walls) ही पार्श्विक (lateral) भूकम्प प्रतिरोधी अवयव का कार्य करती हैं। उनकी क्रिया समझने के लिये चित्र-2.8 देखें जिसमें तीन खुले हिस्से (openings) वाली अपरूपण दीवार दर्शाई गयी है। यह स्पष्ट है कि खुले हिस्से के बीच के स्तंभ नीचे की दीवार का भाग (जिसमें दहलीज तक चिनाई है) या ऊपर का भाग से अधिक लोच वाले (flexible) हैं। क्षैतिज (horizontal) भूकम्पीय बलों से विक्षेपित (deflected) भाग भी चित्र में बताए गये हैं। खुले हिस्से के शीर्ष या निचले भाग के स्तर की दीवार के अंश सबसे ज्यादा तनाव व संपीड़न (compression) से प्रभावित होते हैं और स्तंभो के मध्य भाग के अंश मे सबसे अधिक अपरूपण होता है। क्षैतिज बलों के दिशा परिवर्तन से वह हिस्से जो तनाव और संपीड़न प्रतिबलो से प्रभावित होते हैं उन में भी दिशा परिर्वतन हो जाती है। अतः देखा गया है कि तनाव खुले हिस्सों (दरवाजे, खिड़कियों) के पाखे (jambs) व दीवार के कोनों पर होता है।

तालिका 2.1
क्षतियों का वर्गीकरण

श्रेणी	क्षति का वर्गीकरण Damage category	क्षति की मात्रा का सामान्य विवरण Extent of damage in general	भूकम्प के पश्चात की कार्यवाही एवं सुझाव Suggested post earthquake actions
0	कोई क्षति नहीं (No damage)	कोई क्षति नहीं।	कोई कार्यवाही अवश्यक नहीं।
I	अल्प गैर संरचनात्मक क्षति (Slight non-structural damage)	पलस्तर में बारीक दरारें सीमित क्षेत्र में पलस्तर के टुकड़ों का गिरना।	मकान को खाली कराना अवश्यक नहीं, केवल वास्तु शिल्पीय मरम्मत आवश्यक
II	अल्प संरचनात्मक क्षति (Slight structural damage)	दीवारों में छोटी दरारें, विस्तृत क्षेत्र में पलस्तर के बड़े टुकड़ों का गिरना, ऐसे भागों को क्षति, जो संरचनात्मक महत्व के नहीं हैं, जैसे चिमनी, बाहर निकली हुई कोर्निस इत्यादि. जिससे संरचना की भार वहन करने की क्षमता में कोई विशेष कमी नहीं होती।	मकान को खाली कराने की आवश्यकता नहीं हैं। टिकाऊपन (durability) प्राप्त करने के लिये वास्तुशिल्पीय मरम्मत आवश्यक होगी।
III	मध्यम प्रकार की संरचनात्मक क्षति (Moderate structural damage)	दीवारों में बड़ी गहरी दरारें, दीवारों, स्तंभों और पायों में व्यापक दरारें, चिमनी का झुकना या गिरना, संरचना की भार वहन करने की क्षमता में आंशिक कमी।	मकान को खाली कराना होगा उसके जीर्णोद्धार और सुदृढ़ीकरण के पश्चात ही उसमें पुनः रहना सम्भव होगा। संरचनात्मक जीर्णोद्धार एवं भूकम्पीय सुदृढ़ीकरण आवश्यक है, उसके पश्चात ही वास्तुशिल्पीय मरम्मत की जा सकती हैं।
IV	भीषण संरचनात्मक क्षति (Slight structural damage)	दीवारों के बीच बड़ी दरारें में खाली स्थानों (gaps) का पाया जाना; भीतरी या बाहरी दीवारों का गिरना, मकान के विभिन्न भागों के आपस कें बंधन की क्षति, लगभग 50% के आसपास मुख्य-मुख्य संरचनात्मक अवयवों में क्षति होना। मकान का खतरनाक स्थिति में पहुंचना।	मकान को खाली कराना या तो मकान को पूर्णतः गिराना होगा या बड़े पैमाने पर जीर्णोद्धार एवं सुदृढ़ीकरण कार्य किये जाने की बाद ही पुनः रहने लायक हो सकेगी।
V	मकान का गिरना/या ढहना (Collapse)	मकान के बड़े भाग का या पूरी मकान का गिरना/या ढहना	स्थल के मलबे को हटा कर पुनर्निर्माण।

2.7 भूकम्पीय क्षति के वर्ग
Earthquake Damage categories

इस भाग की तालिका 2.1 में पूर्व भूकम्पों के अनुभव पर आधारित क्षति का वर्गीकरण एवं सरल वर्णन दिया गया है। साथ में प्रत्येक वर्ग की क्षति के लिये भूकम्प के पश्चात् उपयुक्त कार्यवाही के सुझाव भी दिये गये हैं।

■■■