भूकंपरोधी इमारतें

विकासशील देशों में मकानों की भूकंप से सुरक्षा पर शिक्षाप्रद लेखों की श्रृंखला

एंड्रू चार्ल्सन

प्रथम संस्करण, मार्च 2022

वर्ल्ड हाउसिंग इनसाइक्लोपीडिया द्वारा प्रकाशित, EERI

This tutorial was first published by the Earthquake Engineering Research Institute, a nonprofit corporation, in 2022. The Earthquake Engineering Research Institute is the leading non-profit membership organization dedicated to understanding earthquake risk and increasing earthquake resilience in communities worldwide.

This tutorial was written and reviewed by volunteers, all of whom participate in EERI and IAEE's World Housing Encyclopedia project.

Any opinions, findings, conclusions, or recommendations expressed herein are the author's and do not necessarily reflect the views of any organization.

Copies of this publication may be downloaded from the World Housing Encyclopedia website at http://www.world-housing.net/.

This publication is intended to be translated into other languages and to be modified as required to suit the conditions in those countries, with acknowledgement to EERI and removal of EERI's logo and branding. Permission from the publisher to disseminate part or all of this publication is unnecessary.

Acknowledgements:

This document was developed and reviewed by an international team of experts from The World Housing Encyclopedia project, who volunteered their time and knowledge. Comments from the following reviewers have been especially appreciated: Svetlana Brzev, Marjorie Greene, Shannon Spiers, Dustin Cook, Lars Abrahamczyk and Reza Imani. Thanks to Brijhette Farmer for drawing the diagrams. Unless otherwise noted, all photographs were taken by Andrew Charleson. The articles were translated in Hindi by Manish Kumar and J Kavya Harshitha. Anagha C and Anushree reviewed the translated version.

About the World Housing Encyclopedia:

The World Housing Encyclopedia (WHE) is an Encyclopedia of Housing Construction in Seismically Active Areas of the World, hosted by the Earthquake Engineering Research Institute (EERI) and the International Association for Earthquake Engineering (IAEE). The goals of the WHE are:

- To share knowledge on housing construction practices
- To encourage use of earthquake-resistant technologies
- To develop guidelines and technical resources for improving seismically vulnerable construction
- To offer services and technical support to communities across the world on earthquake resistant housing technologies

Table of Contents

अध्याय 1. भूकंप और भारत: एक परिचय
अध्याय 2. भूकंप से मकानों की आधारशिलाओं की सुरक्षा
अध्याय 3. भूकंप का प्रतिरोध करने के लिए तीन संरचनात्मक प्रणालियाँ
अध्याय 4. भूकंप के दौरान संरचनात्मक दीवारें सबसे ज्यादा प्रभावी क्यों होती हैं?
अध्याय 5. क्या दीवारें मकानों की भूकंपरोधी क्षमता बढ़ाती हैं?
अध्याय 6. प्रबलित कांक्रीट (reinforced concrete) स्तम्भ (column) और बीम वाली इमारतें भूकंप में कैसे काम करती हैं?
अध्याय 7. ईंट के मकानों को भूकंपरोधी बनाने के सिद्धांत
अध्याय 8. मकान के हिस्सों को जोड़ के भूकंपरोधी क्षमता बढ़ाना
अध्याय 9. भूकंपरोधी मकान बनाने में स्थानीय जानकारी की भूमिका
अध्याय 10. भूकंप के दौरान ईंट की दीवारों का प्रभाव
अध्याय 11. कमजोर एवं लचीली मंजिल (soft story) का संरचना प्रणाली पर प्रभाव
अध्याय 12. एक अनिरन्तर (discontinuous) दीवार का संरचना प्रणाली पर प्रभाव
अध्याय 13. एक लघु/अवरुद्ध स्तंभ (short column) का संरचना प्रणाली पर प्रभाव
अध्याय 14. भूकंप के दौरान मकान में मरोड़ (twisting) से बचाव
अध्याय 15. भूकंप के दौरान मकान आपस में टकराते क्यों हैं?
अध्याय 16. भवन निर्माण संहिताएं और मानक
अध्याय 17. मकान से सम्बंधित नियमों (regulations) की प्रमुख बातें
अध्याय 18. संहिताओं (codes) के अनुसार बने मकानों के फ़ायदे और सीमाएँ
अध्याय 19. मकानों की संरचनात्मक परिकल्पना (design) के दौरान समीक्षा का महत्त्व
अध्याय 20. मकानों के निर्माण के समय जाँच/समीक्षा का महत्त्व
अध्याय 21. मकान के ग़ैर-संरचनात्मक (non-structural) हिस्सों को नुकसान से बचाना
अध्याय 22. बने हुए मकानों की भूकंपरोधी क्षमता बढ़ाना (retrofitting)
अध्याय 23. मकानों को भूकंपरोधी बनाने के आधुनिक तरीक़े
अध्याय 24. भूकंप से सुरक्षा में शहरी नियोजन (urban planning) की भूमिका
अध्याय 25. सुनामी का मकानों पर प्रभाव

Introduction

The need for this publication became apparent after a 2019 survey of building industry stakeholders in Yogyakarta, Indonesia. One hundred and forty engineers, architects, contractors and building owners were asked to suggest changes that their building departments could make in order to improve building safety during earthquakes. The most prevalent suggestion was that building departments should take on an educational role. The survey respondents believed that information, including the earthquake hazard, effects of earthquakes on buildings, and building regulations related to building safety should be readily available to all stakeholders, as well as to the staff of building departments themselves.

The 25 information articles in this document have been written initially for people in the building industry as well as the general public of Indonesia's third largest city, Bandung. Over the years, the author has spent many months there. Although the articles are somewhat context-specific, they are intended to function like a template. The intention is that the articles will be modified to suit local contexts, including construction materials and methods. Then, if necessary, be translated into local languages, for the many earthquake-affected cities and regions in the developing world.

Having developed this educational resource of articles, The World Housing Encyclopedia seeks partners in developing countries to translate, edit as necessary and disseminate them. A partner must possess a desire to improve the earthquake-safety of local buildings, to be experienced in earthquake-resistant design, to be highly reputable and respected locally, and in a position of influence in the local building industry. After editing and translating the articles to increase their local relevance, a partner will disseminate them.

Potentially, the most strategic partner is a local or regional building department. Ideally, it would host the local version of the articles on its website, and even make printed copies available for those seeking building permits as well as the general public. Alternatively, a partner might be a government department, a national earthquake society, a consortium of university staff, or a large consulting engineering firm. A partner's input into the final local version of the articles will be acknowledged and this will help raise the partner's public profile. The partner might also offer to answer queries arising from the articles.

As well as posting the articles on a website and or printing articles for those visiting in person, additional dissemination methods are possible. For example, the articles could be published as a series of newspaper or magazine articles. Magazines read by building professionals and building and home owners could be targeted. Perhaps articles could also be promoted to appropriate professional education and construction training institutions.

Finally, some guidance for translators and editors modifying articles to suit local contexts:

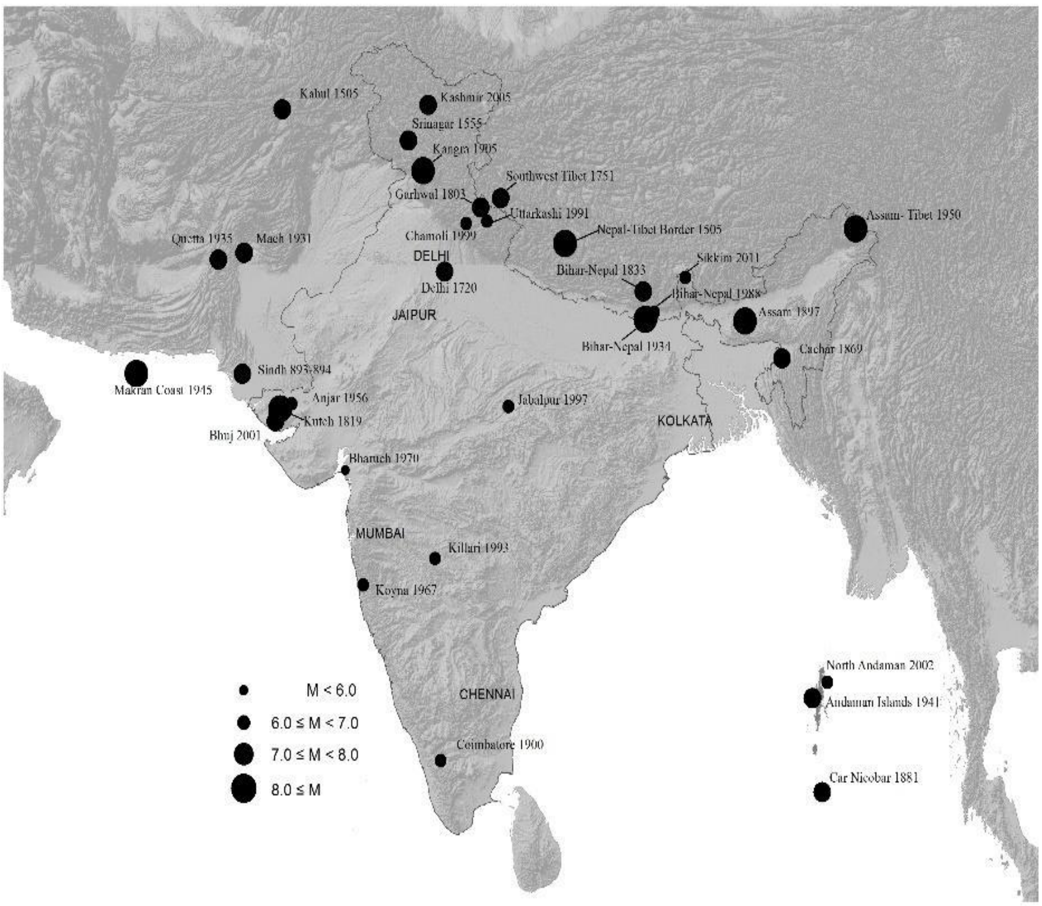
- Review suggestions for "References". Add references particularly relevant to your city or country and remove any that could be unhelpful.
- Replace any images or diagrams with those more appropriate to your local situation and remove any you consider irrelevant.
- Rephrase text as required for your country. Use local place names where appropriate to make articles as specific and as relevant as possible to your city or region. As an example, in Indonesia the phrase "local wisdom" is very popular (see Article 9), but in other countries "traditional construction" might be more appropriate.
- Review critically the content of each article to ensure your local version will be fully applicable to your readership. Check that assumptions made in the template articles are valid for you. For example, when discussing how to tie buildings together in Article 8, it is assumed that suspended concrete slabs are present. But in some countries, wooden floors are commonly used in conjunction with masonry walls.
- Consider the format in which the articles are to be published. If they are being published as one document, then there is no need to have the introductory footnote in each article. However, that footnote is appropriate when the articles are published, say, as a series in a newspaper or magazine.

- Remember that the articles are specifically written for the general public. The articles therefore are to be understood by ordinary people. In any rewriting and translation, avoid technical terms or jargon. Strive for clarity and readability.
- When you have edited and or translated the articles, please email a pdf version to The World Housing Encyclopedia (whe@eeri.org) where it will be also posted on its website.
- If you have any queries during the translation or dissemination process, please contact Andrew Charleson at Andrew.w.charleson@gmail.com. Queries related to Hindi translation can be transmitted to mkumar@iitgn.ac.in.
- Thank you to partners with The World Housing Encyclopedia to improve the earthquake safety of buildings, but especially housing, in your communities.

भूकंपरोधी इमारतें

अध्याय 1. भूकंप और भारत: एक परिचय

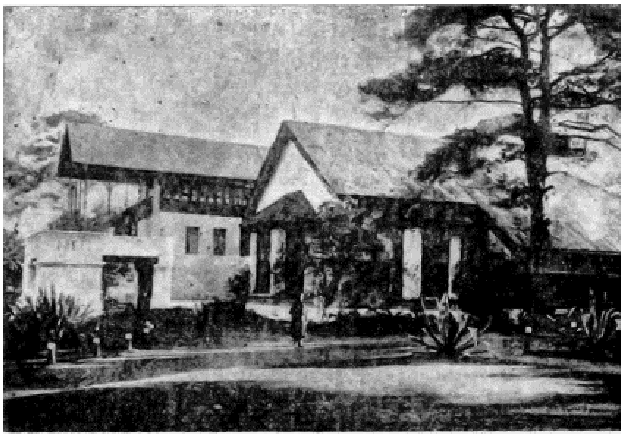
भूकंप क्यों आते हैं? हम धरती की ठोस ऊपरी परत क्रस्ट (crust) पर रहते हैं। क्रस्ट अपनी निचली परत (जिसको मैंटल (mantle) के नाम से जाना जाता है, और जो थोड़ी तरल होती है) के ऊपर धीमी गति से तैरती रहती है। दशकों या सदियों तक चलने वाली इस प्रक्रिया में क्रस्ट के बड़े हिस्सों के बीच तनाव बढ़ता जाता है। फिर एक झटके के साथ ये महाद्वीपीय अथवा अन्तर्द्वीपीय चट्टानें एक दूसरे से थोड़ी अलग हो जाती हैं। इस वजह से क्रस्ट में कम्पन होता है, जिसे हम भूकंप के रूप में देखते हैं। भारत में भूकंपों (तस्वीर 1 देखें) की वजह से जान-माल का काफी नुकसान हुआ है।



तस्वीर 1. भारतीय उपमहाद्वीप में आए कुछ बड़े भूकंप (adopted from Jain 2016 under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License available at http://creativecommons.org/licenses/by/4.0) ।

भारत के उत्तरी और उत्तर-पूर्वी हिस्सों जैसे जम्मू, कश्मीर, लद्दाख, हिमाचल प्रदेश, पंजाब, दिल्ली, उत्तराखंड, उत्तर प्रदेश, बिहार, पश्चिम बंगाल, असम, सिक्किम, और मणिपुर में मध्यम से गंभीर तीव्रता के भूकंप आते रहे हैं। एक भूकंप के दौरान धरती की सतह में हर दिशा में कम्पन होते हैं। हमें ज़मीन पर खड़े रहने में परेशानी हो सकती है। कभी-कभी भूस्खलन (landslide) और भू-द्रवीकरण (liquefaction) भी देखा गया है। हालाँकि सबसे ज्यादा समस्या मकानों के संरचनात्मक (structural) हिस्से में हुई क्षति से होती है। तस्वीर 2 में 1897 के असम भूकंप की वजह से एक सरकारी भवन में हुए नुकसान को दिखाया गया है।

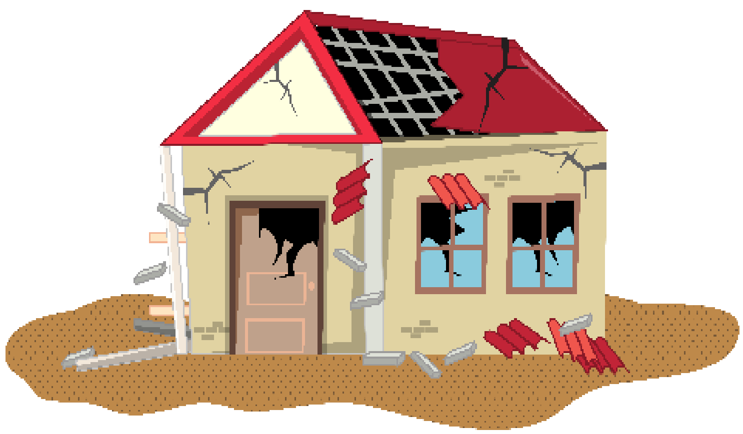
भूकंप के दौरान इमारतें सभी दिशाओं में हिलती हैं। सबसे ज्यादा विस्थापन उपरी मंजिलों में दिखता है। इस दौरान इमारतों के संरचनात्मक हिस्सों, जैसे दीवार और स्तंभ (column), में अतिरिक्त तनाव उत्पन्न होता है। इसकी तुलना एक सीधे खड़े व्यक्ति को एक साथी द्वारा धक्का दिए जाने से की जा सकती है, जिसकी वजह से उस व्यक्ति के सिर में विस्थापन पैर की अपेक्षा ज्यादा होगा। उस व्यक्ति को गिरने से बचाने के क्रम में पैर एवं अन्य अंगों की मांसपेशियों में अतिरिक्त तनाव उत्पन्न होगा । इसी प्रकार मकानों की दीवारों और स्तम्भों में भी तनाव उत्पन्न होता है । कुछ परिस्थितियों में मकान धराशायी भी हो सकते हैं, जिससे हमारी जान को खतरा हो सकता है।



(क) भूकंप से पहले

(ख) भूकंप के बाद

तस्वीर 2. 1897 के असम भूकंप से प्रभावित शिलांग, मेघालय का एक सरकारी भवन (Oldham 1899) ।



तस्वीर 3. भूकंप के झटकों के दौरान एक घर में संभावित क्षतियाँ ।

सौभाग्यवश, भूकंपरोधी मकान बनाना ज्यादा मुश्किल नहीं है। भूकंप के दौरान इमारतों में संरचनात्मक नुकसान रोका या कम किया जा सकता है। इस किताब के अगले अध्यायों में इस विषय पर ज्यादा विस्तार से चर्चा की गई है। भारत तथा दुनिया के अन्य देशों में प्रचलित सिद्धांतों और पद्धतियों का अनुपालन करने और समय पर इनमें सुधार करने से हम खुद को, अपने परिवार को और आगे की पीढ़ियों को भूकंप के खतरों से बचा सकते हैं।

भारत के अधिकांश हिस्सों में मकान के जीवनकाल में भूकंप आने की संभावना काफ़ी ज़्यादा है, शायद एक सड़क दुर्घटना की संभावना से ज़्यादा। भूकम्परोधी मकान बनाना ज्यादा मुश्किल नहीं है, लेकिन उसके लिए थोड़ी सावधानी बरतने की ज़रूरत होती है।

इस लेख श्रृंखला के बारे में:

लेखों की इस श्रृंखला में भूकंपों और इमारतों पर उनके प्रभावों के बारे में चर्चा की गई है। मकानों को भूकंपरोधी बनाने के तरीकों को भी समझाया गया है। उम्मीद है कि इस किताब से मकान मालिकों और भवन निर्माण उद्योग से सम्बंधित नीति निर्धारकों, नियंत्रकों, और अभियंताओं को मदद मिलेगी। ये लेख मूलतः World Housing Encyclopedia (http://www.world-housing.net/) के एंड्रयू चार्ल्सन और सहयोगियों द्वारा लिखे गए हैं। यह कार्य Earthquake Engineering Research Institute (https://www.eeri.org/) और International Association of Earthquake Engineering (http://www.iaee.or.jp/) द्वारा प्रायोजित है । मनीष कुमार ने भारतीय भूकंप परिदृश्य को दर्शाने के लिए मूल लेख में संशोधन किया है। इस लेख का हिंदी अनुवाद मनीष कुमार और जे. काव्य हर्षिता ने किया है।

References:

Oldham, R. D., 1899. Report on the Great Earthquake of 12th June 1897. Memoirs of the Geological Survey of India, Volume 29, pp. 1-379.

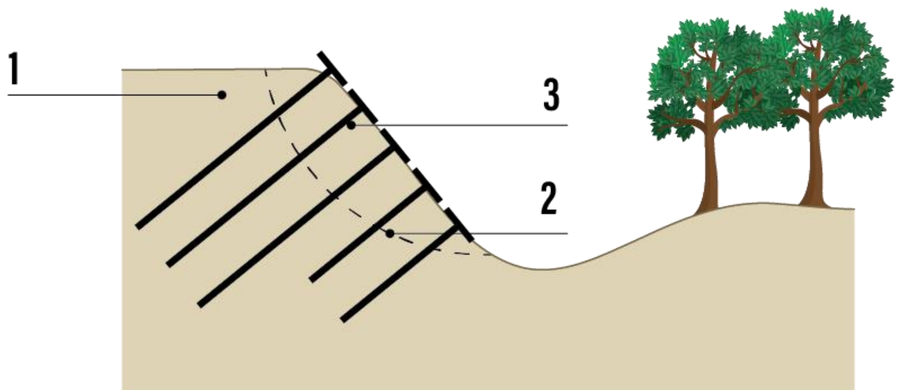
Jain, S. K., 2016. Earthquake Safety in India: Achievements, Challenges and Opportunities, Bulletin of Earthquake Engineering, Volume 14, pp. 1337-1436.

भूकंपरोधी इमारतें

अध्याय 2. भूकंप से मकानों की आधारशिलाओं की सुरक्षा

हम हर संभव कोशिश करते हैं कि हमारा घर मज़बूत चट्टानों पर बने, और हम मिट्टी और आधारशिला (foundation) की क्षमता से सम्बंधित समस्याओं से बच सकें । भूकंप के झटकों के दौरान मिट्टी का व्यवहार आश्चर्यजनक, और कभी-कभी मकानों के लिए ख़तरनाक भी हो सकता है।

मिट्टी और आधारशिला की मज़बूती को सबसे ज़्यादा ख़तरा तेज ढलानों से होता है। ऐसी जगहों पर भूस्खलन (landslide) की संभावना ज़्यादा होती है। कई बार बड़ी-बड़ी चट्टानें भी नीचे गिरती है। इन दोनों से ही मकानों और बस्तियों को काफी नुकसान पहुँच सकता है। इन समस्याओं के अभियांत्रिक (engineering) समाधान संभव हैं। उदाहरण के तौर पर ज़मीन की सतह पर जलनिकासी की यथोचित व्यवस्था कर के बारिश के पानी की वजह से होने वाले भूस्खलन से बचा जा सकता है। जैसे कि तस्वीर 1 में दिखाया गया है, लंबे ग्राउंड ऐंकर (ground anchors) का इस्तेमाल कर के भी भूस्खलन पर नियंत्रण किया जा सकता है। हालाँकि इस तरीके में काफी खर्च की सम्भावना हो सकती है।

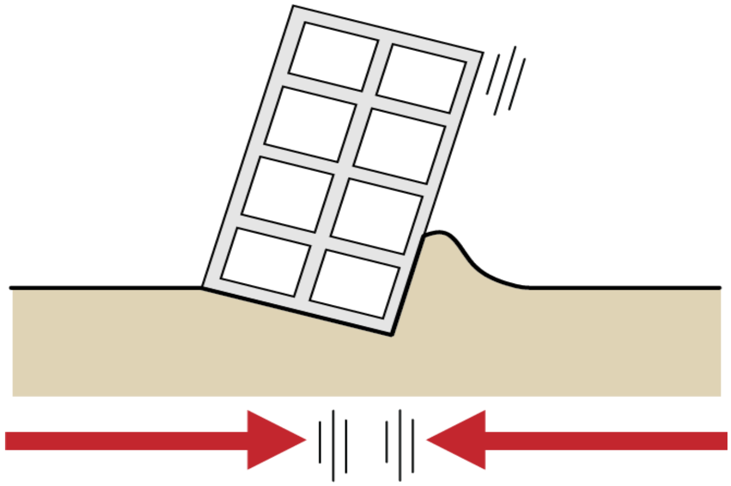


तस्वीर 1. एक अस्थिर ढलान को स्टील से बने "ground anchors" द्वारा मजबूती प्रदान करने का प्रयास ।

कई बार समतल सतहों पर भी भूकंप की वजह से आधारशिला के पास की मिट्टी में समस्याएँ आ सकती हैं। ऐसा ख़ासकर तब हो सकता है जब मिट्टी बलुई और कमजोर हो, और जलस्तर काफी ऊपर हो। भूकंप के दौरान मिट्टी और पानी आपस में मिल के कीचड़ बन जाते हैं। इस घटना को भू-द्रवीकरण (liquefaction) कहा जाता है। भूकंप के दौरान तैयार इस कीचड़ पर बने मकान धीरे-धीरे झुकने और धँसने लगते हैं, और कई बार पूरी तरह से धराशायी भी हो जाते हैं (तस्वीर 2 देखें) । इंटरनेट (Internet) पर भू-द्रवीकरण के मकानों पर प्रभाव की कई तस्वीरें और चलचित्र उपलब्ध हैं। जैसा कि 2018 के Palu Indonesia भूकंप में देखा गया था, कभी-कभी कई सारे मकान कीचड़ में बह सकते हैं या मिट्टी में समा सकते हैं।

उपरोक्त संभावित समस्याओं के मद्देनज़र आधारशिला के पास की मिट्टी की जाँच ज़रूरी है। छोटे घरों के लिए आसान जाँच की जा सकती है। बड़ी परियोजनाओं के लिए ज़्यादा सघन जाँच की ज़रूरत होती है। जाँच के परिणामों के आधार पर एक सिविल (Civil) अभियंता ये तय कर सकता है कि मिट्टी एक घर का बोझ उठा पाने में समर्थ होगी या नहीं। सामान्य तौर पर इन परीक्षणों में ज़मीन में गहरे छेद बनाए जाते हैं । यहाँ से मिट्टी के नमूने इकट्ठे किये जाते है, जिसकी प्रयोगशाला में जाँच होती है। इससे मिट्टी की संरचना समझने में मदद मिलती है। बड़ी परियोजनाओं के लिए भू-तकनीकी (geotechnical) अभियंता की सेवाएँ जरूरी हैं, जिनकी मदद से मिट्टी के परीक्षण किये जा

सकते हैं और परिणामों की विवेचना की जा सकती है। इस जानकारी का उपयोग करके आधारशिला का स्वरुप तय किया जा सकता है। भू-तकनीकी अभियंता ढलान या फिर कमज़ोर मिट्टी पर बन रहे मकानों की सुरक्षा के लिए सलाह दे सकते हैं।



तस्वीर 2. भूकंप के दौरान कमजोर मिट्टी कीचड़ में बदल सकती है, जिसके कारण मकान झुक सकते हैं ।

तस्वीर 3. प्रयोगशाला परीक्षण के लिए मिट्टी के नमूने लिए जा रहे हैं ।

मकान मालिकों के लिए आधारशिला के आस-पास की मिट्टी की समुचित जाँच करवाना बेहद ज़रूरी है। ऐसी जाँच परियोजना के संकल्पना चरण में ही होनी चाहिए। ये जाँच तब खासकर जरूरी है, जब मिट्टी कमज़ोर और बलुई हो।

इस लेख श्रृंखला के बारे में:

लेखों की इस श्रृंखला में भूकंपों और इमारतों पर उनके प्रभावों के बारे में चर्चा की गई है। मकानों को भूकंपरोधी बनाने के तरीकों को भी समझाया गया है। उम्मीद है कि इस किताब से मकान मालिकों और भवन निर्माण उद्योग से सम्बंधित नीति निर्धारकों, नियंत्रकों, और अभियंताओं को मदद मिलेगी। ये लेख मूलतः World Housing Encyclopedia (http://www.world-housing.net) के एंड्रयू

चार्ल्सन और सहयोगियों द्वारा लिखे गए हैं। यह कार्य Earthquake Engineering Research Institute (https://www.eeri.org) और International Association of Earthquake Engineering (http://www.iaee.or.jp) द्वारा प्रायोजित है । इस लेख का हिंदी अनुवाद मनीष कुमार और जे. काव्य हर्षिता ने किया है।

References:

Charleson, A. W., 2008. Seismic design for architects: outwitting the quake. Oxford, Elsevier. Chapter 7, pp. 113-123.

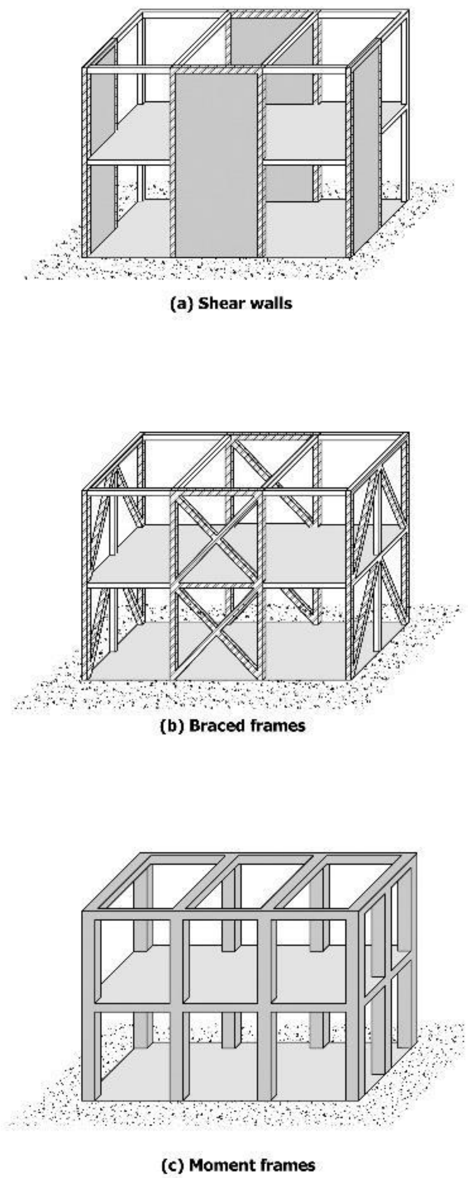
Moller, E., 2016. Demonstrate liquefaction: shaky sediments. Exploratorium Teacher Institute. https://www.youtube.com/watch?v=Kkgt-cPjBwA (accessed 8 May 2020).

Murty, C. V. R., 2005. Earthquake Tip 30: What is important in foundations of earthquake-resistant Buildings? IITK-BMTPC "Learning earthquake design and construction", NICEE, India. http://www.iitk.ac.in/nicee/EQTips/EQTip30.pdf (accessed 5 May 2020).

भूकंपरोधी इमारतें

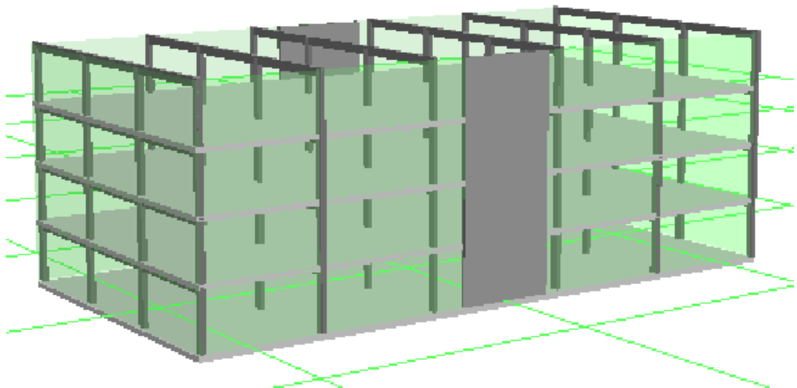
अध्याय 3. भूकंप का प्रतिरोध करने के लिए तीन संरचनात्मक प्रणालियाँ

किसी भी शहर की इमारतों में विविधताएँ होती है। कुछ मकान ऊँचे होते हैं, जबकि कुछ अन्य छोटे होते हैं। कुछ इमारतें कॉम्पैक्ट (compact) होती हैं, जबकि कुछ अन्य विशाल (जैसे कि एक मॉल) होती हैं । भले ही इमारतें मौलिक रूप से भिन्न दिखाई देती हों, लेकिन ये सारी इमारतें तीन में से किसी एक संरचनात्मक प्रणाली का उपयोग भूकंप के झटकों को झेलने में करती हैं। ये तीन प्रणालियाँ हैं: शीयर वाल (shear wall), ब्रेस्ड फ्रेम (braced frame) और मोमेंट फ्रेम (moment frame) (तस्वीर 1 देखें) ।



तस्वीर 1. तीन भूकंपरोधी संरचनात्मक प्रणालियाँ ।

जब वास्तुकार और सिविल (Civil) अभियंता एक नयी इमारत की रूपरेखा तैयार करते हैं, तब वो सामान्यतया तस्वीर 1 में दिखाई गयी तीन में से एक संरचना प्रणाली को चुनते हैं। कभी-कभी तीन में से दो संरचना प्रणालियों का उपयोग भी किया जाता है। ये दो प्रणालियाँ अलग-अलग दिशाओं में भूकंप के झटकों का प्रतिरोध करती हैं (तस्वीर 2 देखें)। ऐसी संरचनात्मक प्रणालियों से भी किसी भी दिशा में होने वाले भूकम्पीय कम्पन का प्रतिरोध संभव है।



तस्वीर 2. छः मोमेंट फ्रेम (moment frame) भवन की छोटी दिशा में भूकंप का प्रतिरोध करते हैं, जबकि भवन की लम्बी दिशा में दो शीयर वाल (shear wall) भूकंप का प्रतिरोध करते हैं (तस्वीर में छत नहीं दिखाई गयी है)।

हर संरचनात्मक प्रणाली आधारशिला (foundation) से ऊपर छत तक सीधी होती है। शीयर वाल, ब्रेस्ड फ्रेम और मोमेंट फ्रेम की सँख्या कई बातों पर निर्भर करती है, जैसे कि उस क्षेत्र में भूकंपीय गतिविधियाँ, भवन का आकार और उस क्षेत्र के लिए भवन का महत्त्व।

मोमेंट फ्रेम का इस्तेमाल काफी प्रचलित है (तस्वीर 3 देखें) । इन फ्रेम्स के बीम (beam) और स्तम्भ (column) आपस में काफी मजबूती से जुड़े होते हैं (अध्याय 6 देखें)। फ्रेम प्रणाली के माध्यम से उपलब्ध आयतन (space) के समुचित प्रयोग में सुविधा होती है। उदाहरण के तौर पर खिड़कियाँ आसानी से दी जा सकती हैं, और आंतरिक सजावट के लिए भी काफी विकल्प होते हैं । ये प्रणाली बाकी दो संरचनात्मक प्रणालियों की तुलना में काफी लचीली (flexible) होती है। इस वजह से इनमें विचलन (deflection) और क्षति तुलनात्मक रूप से ज्यादा होती है। इसके अलावा इन प्रणालियों के विश्लेषण में काफी तकनीक का इस्तेमाल होता है, और निर्माण के समय होने वाली गलतियों का इन फ्रेम्स की क्षमता पर काफी प्रभाव पड़ता है। ये प्रणालियाँ प्रबलित कांक्रीट (reinforced concrete) या फिर स्टील (steel) की बनी होती हैं। छोटे मकानों के लिए लकड़ी के बने फ्रेम्स का उपयोग भी होता है।

तस्वीर 3. दो फोर-बे (four-bay) मोमेंट फ्रेम्स (moment frames) इस मकान में भूकंपीय बलों का प्रतिरोध करेंगे। ऐसे फ्रेम्स मकान की दूसरी तरफ भी दिए जाते है।

ब्रेस्ड फ्रेम में तिरछे संरचनात्मक भाग (elements) होते हैं, जो बीम और स्तम्भ के साथ मिल के त्रिभुज बनाते हैं (तस्वीर 4 देखें)। ये भाग सामान्यतया स्टील से बने होते हैं, और इनका उपयोग छोटी ऊंचाई के मकानों (जैसे कि गोदाम) में प्रचलित है। ब्रेस्ड फ्रेम की क्षमता वेल्डिंग (welding) की गुणवत्ता पर काफी ज़्यादा निर्भर है। अगर वेल्डिंग सही तरीके से नहीं हुई है, तो ये स्टील ब्रेस बड़े भूकंप के दौरान क्षतिग्रस्त हो सकते हैं ।

तस्वीर 4. ऊपर दिखाई गयी इमारत में एक दिशा में ब्रेस्ड फ्रेम (braced frame) और दूसरी दिशा में मोमेंट फ्रेम्स (moment frames) भूकंप का प्रतिरोध करेंगे।

शीयर वाल या संरचनात्मक दीवारें (structural walls) तीनों संरचनात्मक प्रणालियों में भूकंप के प्रतिरोध की दृष्टि से सबसे मजबूत होती हैं (तस्वीर 5 देखें) । दुनिया भर में भूकम्पों के दौरान इन प्रणालियों का प्रदर्शन सबसे अच्छा रहा है। जितनी ज्यादा दीवारें होती हैं, मकान उतना ही मजबूत होता है। ऐसी स्थिति में भूकंप के दौरान मकान का विचलन भी कम होता है। ऊँचे मकानों के लिए सामान्य तौर पर शीयर वाल प्रबलित कंक्रीट से बनाये जाते हैं। छोटे मकानों के लिए संकुचित चिनाई (confined masonry) (अध्याय 4 देखें) का उपयोग पर्याप्त होता है। कई भूकंपग्रस्त देशों, जैसे कि अमेरिका एवं न्यूज़ीलैण्ड, के छोटे मकानों में प्लाईवुड (plywood) या फिर जिप्सम प्लास्टरबॉर्ड (gypsum plasterboard) से बनी संरचनात्मक दीवारों का भी उपयोग भूकंप के प्रतिरोध के लिए होता है। विशेष तकनीक से तैयार लकड़ियों, जैसे क्रॉस-लैमिनेटेड टिम्बर (cross-laminated timber), का भी मकानों में शीयर वाल की तरह उपयोग बढ़ रहा है।

तस्वीर 5. एक प्रबलित कांक्रीट (reinforced concrete) संरचनात्मक दीवार (structural wall) एक दिशा में भूकंप का प्रतिरोध करेगी। ऐसी ही एक दीवार मकान की दूसरी तरफ भी होनी चाहिए।

इस लेख श्रृंखला के बारे में:

लेखों की इस श्रृंखला में भूकंपों और इमारतों पर उनके प्रभावों के बारे में चर्चा की गई है। मकानों को भूकंपरोधी बनाने के तरीकों को भी समझाया गया है। उम्मीद है कि इस किताब से मकान मालिकों और भवन निर्माण उद्योग से सम्बंधित नीति निर्धारकों, नियंत्रकों, और अभियंताओं को मदद मिलेगी। ये लेख मूलतः World Housing Encyclopedia (http://www.world-housing.net) के एंड्रयू चार्ल्सन और सहयोगियों द्वारा लिखे गए हैं। यह कार्य Earthquake Engineering Research Institute (https://www.eeri.org/) और International Association of Earthquake Engineering (http://www.iaee.or.jp) द्वारा प्रायोजित है । इस लेख का हिंदी अनुवाद मनीष कुमार और जे. काव्य हर्षिता ने किया है।

References:

Braced Frame. Glossary for GEM Taxonomy. Global Earthquake Model. https://taxonomy.openquake.org/terms/braced-frame-lfbr.

Charleson, A. W., 2008. *Seismic design for architects – outwitting the quake*. Elsevier: Oxford. Chapter 4 "Vertical structure", pp. 63-91.

Moment Frame. Glossary for GEM Taxonomy. Global Earthquake Model. https://taxonomy.openquake.org/terms/moment-frame-lfm.

Murty, C. V. R., 2005. *How do earthquakes affect reinforced concrete buildings – Earthquake Tip 17*. IITK-BMTPC "Learning earthquake design and construction", NICEE, India. http://www.iitk.ac.in/nicee/EQTips/EQTip17.pdf (accessed 5 May 2020).

Murty, C. V. R., 2005. *Why are buildings with shear walls preferred in seismic regions?– Earthquake Tip 23*. IITK-BMTPC "Learning earthquake design and construction", NICEE, India. http://www.iitk.ac.in/nicee/EQTips/EQTip17.pdf (accessed 5 May 2020).

Wall. Glossary for GEM Taxonomy. Global Earthquake Model. https://taxonomy.openquake.org/index.php/terms/wall-lwal.

भूकंपरोधी इमारतें

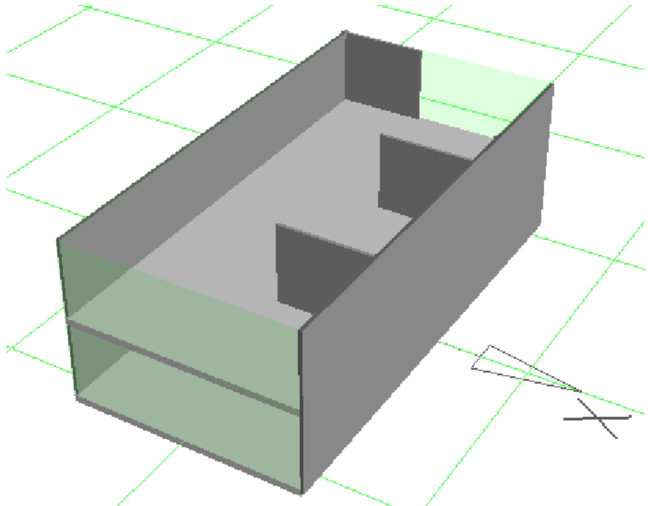
अध्याय 4. भूकंप के दौरान संरचनात्मक दीवारें सबसे ज्यादा प्रभावी क्यों होती हैं?

पिछले अध्याय में इमारतों में प्रयोग होने वाली तीन भूकंपरोधी संरचना प्रणालियों की चर्चा की गयी है । इन तीनों प्रणालियों में शीयर वाल (shear wall) संभवतः सबसे ज्यादा कारगर होते हैं, और निर्माण के समय होने वाली गलतियों का प्रभाव भी इन पर अपेक्षाकृत रूप से कम होता है। पूरी दुनिया में शीयर वाल प्रणाली का प्रदर्शन भूकंप के दौरान अच्छा पाया गया है (तस्वीर 1 देखें) । अधिकांशतः, शीयर वाल का उपयोग कम ऊंचाई के मकानों में होता है। मध्यम या ज्यादा ऊंचाई के मकानों में मुख्य रूप से मोमेंट फ्रेम (moment frame) का उपयोग ही किया जाता है । ये ध्यान देने की बात है कि भूकंप के दौरान इस संरचना प्रणाली में ज्यादा क्षति पहुँच सकती है। चिली एक ऐसा देश है जहाँ प्रायः बड़े भूकंप आते रहते हैं। वहाँ के कई मकानों में शीयर वाल का उपयोग देखा गया है, और ऐसे मकानों में भूकंप के दौरान काफ़ी कम क्षति हुई है।

तस्वीर 1. भूकंप से प्रभावित एक मकान। सफ़ेद रंग की ईंट की दीवारों के कारण क्षति कम हुई है। इस दीवार के समकोण की दिशा में एक लचीली संरचना प्रणाली है, जिसमें काफी विक्षेपण (deformation) की वजह से फसाड (façade) टूट गए हैं, और इन्हें प्लाईवुड (plywood) से ढका गया है।

शीयर वाल में उपयोग की जाने वाली वस्तु का इस्तेमाल मकान की ऊँचाई पर निर्भर करता है । एक या दो मंजिले मकानों के लिए संकुचित चिनाई (confined masonry) (अध्याय 7 देखें) का प्रयोग निर्माण में आसानी, एवं ख़र्च के हिसाब से उपयुक्त माना जाता है (तस्वीर 2 देखें) । ऐसे मकानों में टाई बीम (tie column) एवं टाई कॉलम (tie beam) का आकार मोमेंट फ्रेम्स के बीम और कॉलम की तुलना में कम होता है । जैसा कि पहले बताया गया है, दीवारों के उपयोग से मकानों में विक्षेपण (deformation) कम होता है । ऐसे मकानों में ईंट की दीवारों, विभाजक दीवारों, और मकान के बाकी हिस्सों में भूकंप के दौरान कम क्षति होती है। हालाँकि इन मकानों में आंतरिक सज्जा और प्राकृतिक रोशनी की संभावना अन्य मकानों की तुलना में कम होती है । इसके अलावा इनकी आधारशिला बनाने में ख़र्च भी ज़्यादा आता है।

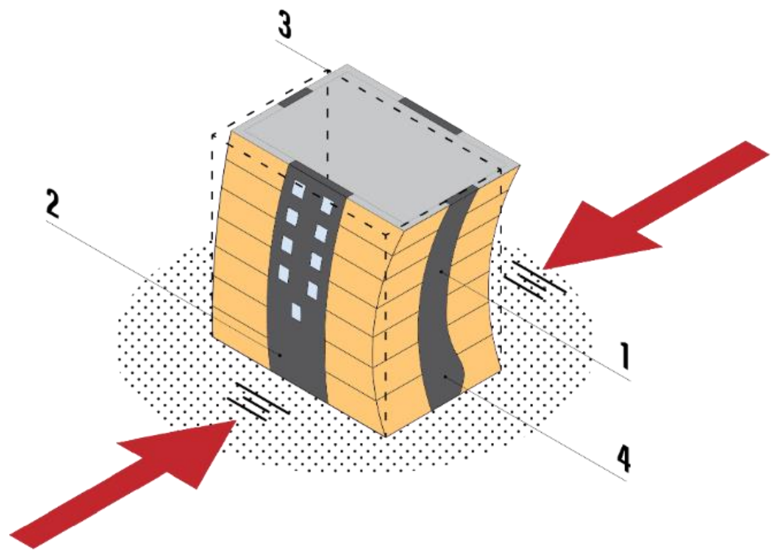
भूकंप से प्रभावित देशों में प्रबलित कंक्रीट से बनी दीवारों का प्रयोग ऊँचे मकानों में सामान्य रूप से किया जाता है। ये दीवारें मजबूत आधारशिलाओं से शुरू होकर मकान की छत तक जाती हैं (तस्वीर 3 देखें) । निचली मंजिलों में ऐसी दीवारों से होते हुए खिड़कियाँ या दरवाजे नहीं दिए जाते हैं। मकान के हर तल (floor) का शीयर वाल से मजबूती से जुड़ा होना ज़रूरी होता है।



तस्वीर 2. संकुचित चिनाई (confined masonry) से बनी दो मंजिली इमारत। लम्बी दीवारें भूकंप का प्रतिरोध मकान की लम्बी दिशा में करती हैं। तीन छोटी दीवारें लंबवत (perpendicular) दिशा में आने वाले भूकंप का प्रतिरोध करती हैं। इस तस्वीर में स्तम्भों (columns) एवं विभाजक दीवारों (partition walls) को नहीं दर्शाया गया है।

तस्वीर 3. एक निर्माणाधीन भवन। दीवारें भूकंप का प्रतिरोध अलग-अलग दिशाओं में करती हैं। एक दिशा में स्टील फ्रेम (steel frame) भी थोड़ा सहयोग करती है।

सुरक्षा की दृष्टि से शीयर वाल की लम्बाई और मोटाई पर्याप्त होनी चाहिए। पतली दीवारें भूकंप के दौरान काफी ज्यादा मुड़ सकती हैं, और क्षतिग्रस्त हो सकती हैं। अगर दीवारों की लम्बाई पर्याप्त न हो तो मकान में विक्षेपण काफी ज्यादा हो सकता हैं। ईंट से बने छोटे मकानों के लिए लम्बाई और मोटाई से सम्बंधित दिशानिर्देश उपलब्ध हैं (Meli 2011) । इसके अलावा स्टील की छड़ों को सही तरीके से रखना भी काफ़ी ज़रूरी है (Carlevaro 2018) । ऊँची इमारतों के लिए दीवारों का डिज़ाइन (design) एक प्रशिक्षित सिविल अभियंता द्वारा ही किया जाना चाहिए।



तस्वीर 4. दो पतली दीवारें भूकंप का प्रतिरोध करती हैं। हालांकि इनमें विक्षेपण (deflection) काफी ज्यादा होता है । दूसरी दिशा (2) में अपेक्षाकृत लम्बी दीवारें भूकंप का प्रतिरोध करती हैं। मकान की मूल स्थिति भी तस्वीर में विखंडित (broken) लकीरों (3) एवं (4) के माध्यम से दर्शायी गयी हैं। इससे साफ़ दिखता है कि दीवारें आधार के नजदीक काफी ज्यादा मुड़ रही हैं।

इस लेख श्रृंखला के बारे में:

लेखों की इस श्रृंखला में भूकंपों और इमारतों पर उनके प्रभावों के बारे में चर्चा की गई है। मकानों को भूकंपरोधी बनाने के तरीकों को भी समझाया गया है। उम्मीद है कि इस किताब से मकान मालिकों और भवन निर्माण उद्योग से सम्बंधित नीति निर्धारकों, नियंत्रकों, और अभियंताओं को मदद मिलेगी। ये लेख मूलतः World Housing Encyclopedia (http://www.world-housing.net) के एंड्रयू चार्ल्सन और सहयोगियों द्वारा लिखे गए हैं। यह कार्य Earthquake Engineering Research Institute (https://www.eeri.org) और International Association of Earthquake Engineering (http://www.iaee.or.jp) द्वारा प्रायोजित है । इस लेख का हिंदी अनुवाद मनीष कुमार और जे. काव्य हर्षिता ने किया है।

References:

Carlevaro, N., Roux-Fouillet, G., and Schacher, T., 2018. Guide book for building earthquake-resistant houses in confined masonry. Guide book for technical training for earthquake-resistant construction of one to two-storey buildings in confined masonry. Swiss Agency for Development and Cooperation Humanitarian Aid and Earthquake Engineering Research Institute. http://www.world-housing.net/wp-content/uploads/2018/11/Guide-book-for-building-eq-re-houses-in-cm_version-1806.pdf (accessed December 2019).

Charleson, A. W., 2008. Seismic design for architects: outwitting the quake. Oxford, Elsevier. Chapter 5, pp. 66-76.

Meli, R., Brzev, S., Astroza, M., Boen, T., et al., 2011. Seismic design guide for low-rise confined masonry buildings. EERI and IAEE. http://www.world-housing.net/wp-content/uploads/2011/08/ConfinedMasonryDesignGuide82011.pdf(accessed April 2020).

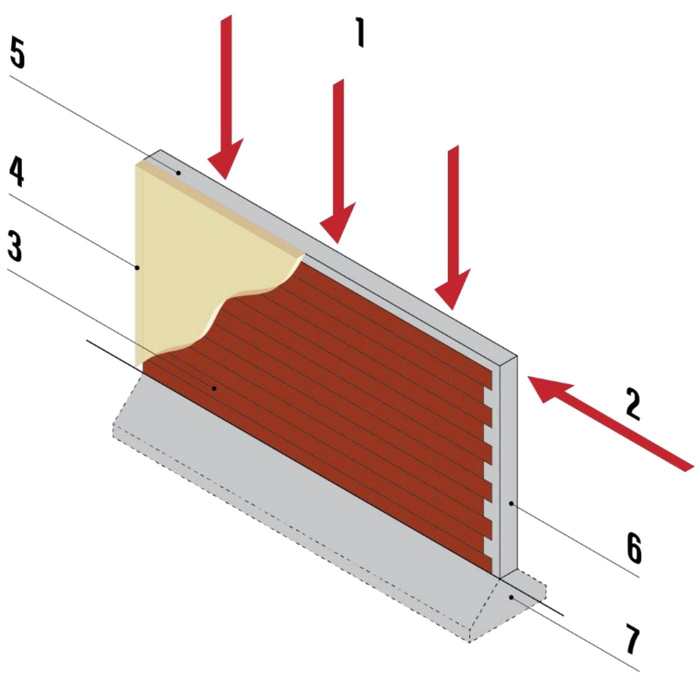
Murty, C. V. R., 2005. *Why are buildings with shear walls preferred in seismic regions?– Earthquake Tip 23.* IITK-BMTPC "Learning earthquake design and construction", NICEE, India. http://www.iitk.ac.in/nicee/EQTips/EQTip17.pdf (accessed 5 May 2020).

भूकंपरोधी इमारतें

अध्याय 5. क्या दीवारें मकानों की भूकंपरोधी क्षमता बढ़ाती हैं?

दीवारें लगभग हर मकान में होती हैं। ये बाहरी प्राकृतिक परिस्थितियों (जैसे कि तेज़ धूप एवं बारिश) से हमारी रक्षा करती हैं। भारत में अधिकांश दीवारें ईंटों से बनी होती हैं, जिनके ऊपर प्लास्टर करने के बाद उन्हें रंगा जाता है। अधिकांशतः दीवारें मकान की बाहरी सीमा पर होती हैं। लेकिन, कभी-कभी ये अंदर भी होती हैं। इन दीवारों में ही खिड़कियाँ एवं दरवाजे होते हैं, और इनके बीच की जगह में लोग रहते हैं एवं अपने रोज़ के काम करते हैं। मकान की छत एवं बाकी के तल दीवारों पर टिके होते हैं।

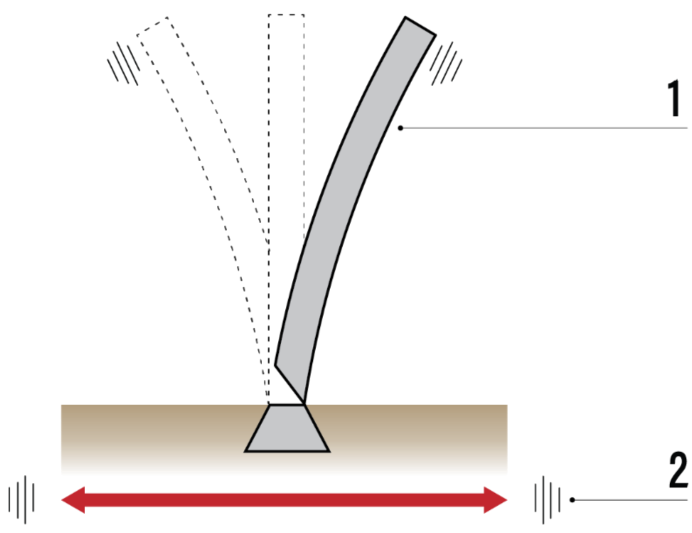
ईंट की दीवारों के कुछ फायदेमंद पहलू हैं, तो कुछ कमज़ोरियाँ भी हैं। सबसे पहले दो फ़ायदेमंद पहलुओं को देखते हैं। ईंट की दीवारें काफ़ी मज़बूत होती हैं, और अपने ऊपर आने वाले वज़न को आसानी से झेल सकती हैं। भूकंप के दौरान अपनी लम्बाई की दिशा में ये दीवारें काफी मज़बूती से प्रतिरोध पैदा कर सकती हैं। इन दीवारों की भूकंपरोधी क्षमता तब ख़ासकर ज्यादा होती है, जब ईंट की दीवारें पहले बनाई जाती हैं और प्रबलित कांक्रीट (reinforced concrete) से बने बीम (beam) और स्तम्भ (column) उसके किनारों पर ढाले जाते हैं। इस तरह की सुरक्षित संरचना प्रणाली को संकुचित चिनाई (confined masonry) कहा जाता है। भारत में इस जैसी प्रणाली का काफ़ी उपयोग होता है। कांक्रीट के बीम और स्तम्भ ईंट की दीवार को दबाव में रखते हैं, जिससे ये दीवार अपनी सतह के बाहर नहीं गिरती है। (तस्वीर 1 एवं 2 देखें) । इस तरह के कांक्रीट बीम और स्तम्भ के बिना ईंट की दीवारें भूकंप के दौरान काफ़ी असुरक्षित हो सकती हैं।



तस्वीर 1. एक दीवार गुरुत्वाकर्षण-जनित (gravity-induced) भार (1) और अपनी लम्बाई की दिशा में भूकंप-जनित (earthquake-induced) बल (2) को मजबूती से झेल सकती है। ईंट (3) की दीवारों पर प्लास्टर (4) किया गया है। इस दीवार के लिए आधारशिला (foundation) (7) दीवार की पूरी लम्बाई तक होती है। ईंट की दीवार टाई बीम (tie beam) (5) और टाई कॉलम (tie column) (6) द्वारा संकुचित (confined) की जाती है।

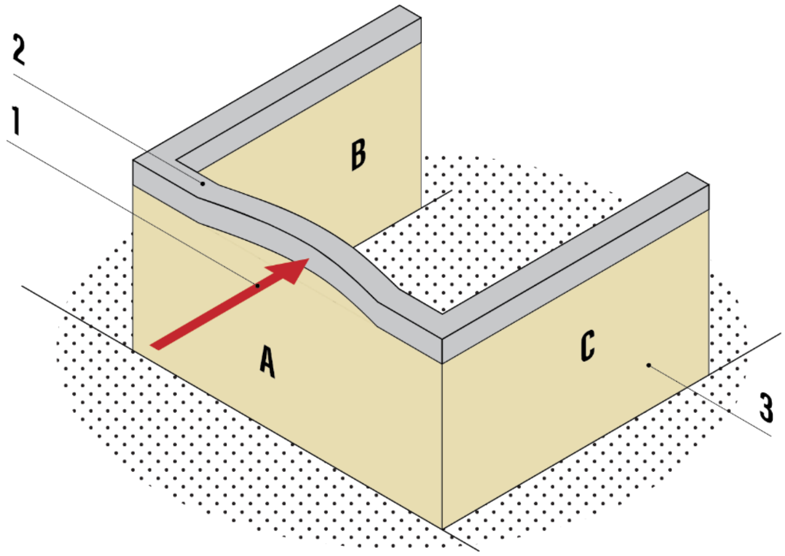
तस्वीर 2. एक निर्माणाधीन संकुचित चिनाई (confined masonry) भवन।

लेकिन, ईंट से बनी दीवारों में क्या कमज़ोरियाँ हैं? सामान्यतया दीवारों को आस-पास की लंबवत दीवारों और छत (या तल) से सहारा मिलता है। ऐसी दीवारों की भूकंपरोधी क्षमता अपनी मोटाई की दिशा में काफी कम होती है (तस्वीर 3 देखें) । इसकी तुलना ताश के पत्तों से बने घर से की जा सकती है। एक पत्ती को अगर एक या दो पत्तियों का सहारा नहीं मिलता है तो वो गिर जाती है। आप खुद भी ये प्रयोग कर के देख सकते हैं।



तस्वीर 3. दीवार की पतली विमा (1) इस तस्वीर में दिखाई गयी है, जिसकी भूकंपरोधी क्षमता इस पतली विमा की दिशा में काफी कम (2) हो सकती है ।

दीवारें एक दूसरे को पतली विमा (dimension) की दिशा में भूकंपरोधी क्षमता बढ़ाने में सहारा देती हैं। टाई बीम (tie beam) का उपयोग भी भूकंपरोधी क्षमता बढ़ाने में किया जाता है (तस्वीर 4 देखें) । ध्यान देने वाली बात है कि इन दीवारों और टाई बीम का आपस में 90° कोण पर जुड़ा होना जरूरी है, नहीं तो भूकंप के दौरान दीवार के धराशायी होने की संभावना बनी रहती है। भूकंप के दौरान अकेले टाई कॉलम (tie column) (तस्वीर 1 देखें) पतली दिशा में ज्यादा प्रभावी नहीं हो सकते हैं ।



तस्वीर 4. मकान का एक हिस्सा। दीवार A को अपनी पतली विमा (dimension) की दिशा में आने वाले भूकंप (1) से सुरक्षा में दीवारों B और C, तथा टाई बीम्स (2) से सहारा मिलता है। दीवार A के ऊपर की टाई बीम दीवारों B और C की टाई बीम से जुडी हुई है।

बड़े प्रबलित कांक्रीट (reinforced concrete) वाले मकानों में दीवारें मकान का वज़न नहीं सह सकती हैं। ऐसे मकानों में इन दीवारों को भूकंप के दौरान कमजोर (पतली) दिशा में गिरने से बचाने के लिए समुचित उपाय करने की ज़रूरत होती है।

इस लेख श्रृंखला के बारे में:

लेखों की इस श्रृंखला में भूकंपों और इमारतों पर उनके प्रभावों के बारे में चर्चा की गई है। मकानों को भूकंपरोधी बनाने के तरीकों को भी समझाया गया है। उम्मीद है कि इस किताब से मकान मालिकों और भवन निर्माण उद्योग से सम्बंधित नीति निर्धारकों, नियंत्रकों, और अभियंताओं को मदद मिलेगी। ये लेख मूलतः World Housing Encyclopedia (http://www.world-housing.net/) के एंड्रयू चार्ल्सन और सहयोगियों द्वारा लिखे गए हैं। यह कार्य Earthquake Engineering Research Institute (https://www.eeri.org/) और International Association of Earthquake Engineering (http://www.iaee.or.jp/) द्वारा प्रायोजित है । इस लेख का हिंदी अनुवाद मनीष कुमार और जे. काव्य हर्षिता ने किया है।

References:

Carlevaro, N., Roux-Fouillet, G., and Schacher, T., 2018. Guide book for building earthquake-resistant houses in confined masonry. Guide book for technical training for earthquake-resistant construction of one to two-storey buildings in confined masonry. Swiss Agency for Development and Cooperation Humanitarian Aid and Earthquake Engineering Research Institute. http://www.world-housing.net/wp-content/uploads/2018/11/Guide-book-for-building-eq-re-houses-in-cm_version-1806.pdf (accessed December 2019).

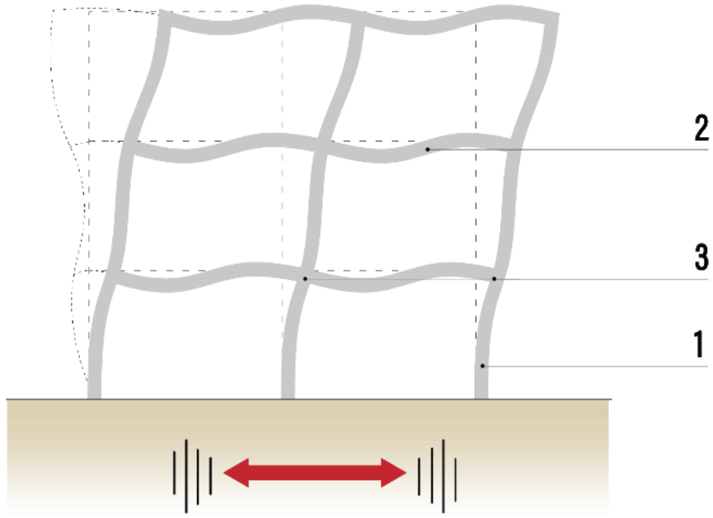
भूकंपरोधी इमारतें

अध्याय 6. प्रबलित कांक्रीट (reinforced concrete) स्तम्भ (column) और बीम वाली इमारतें भूकंप में कैसे काम करती हैं?

जैसे कि पहले चर्चा की गयी है, एक या दो मंजिल के मकानों में प्रायः ईंट की दीवारों या फिर लकड़ी के फ्रेम के साथ ईंट की दीवारों का प्रयोग होता है। लेकिन कई ऊँचे मकानों में प्रबलित कांक्रीट (reinforced concrete) के स्तम्भों (columns) और बीम्स (beams) का उपयोग किया जाता है, जिन पर मकान के तल (जैसे कि छत) टिके होते हैं। बीम (beam) सामान्यतया धरती के समानांतर (parallel) होती हैं, जबकि स्तम्भ नीचे से ऊपर की तरफ होते हैं। ऐसे ढाँचे स्टील से भी बनाये जा सकते हैं, जो मकान के ख़ुद के वज़न और भूकंप के दौरान उत्पन्न बल का प्रतिरोध करते हैं।

सबसे पहले प्रबलित कांक्रीट के ढाँचे को देखते हैं (तस्वीर 1) । इसमें बीम, स्तम्भ, छत और बाकी के तल होते हैं। इस ढाँचे के बनने के बाद दीवारें लगायी जाती है। दीवारों की तुलना में स्तम्भ काफ़ी पतले होते हैं। संरचना प्रणाली में स्तम्भों की भूमिका काफी अहम् होती है। इन पर ही सारे मकान का बोझ होता है। भूकंप के दौरान दाएं-बाएं हिलने के कारण इन स्तम्भों में वलय (bending) होता है। यह ज़रूरी होता है कि ऐसी परिस्थितियों में स्तम्भ में कोई क्षति न हो। अन्यथा, पूरे मकान के धराशायी होने की संभावना रहती है।

तस्वीर 1. एक भूकंप की स्थिति में बीम और स्तम्भ ही भूकंप का प्रतिरोध करेंगे। ध्यान दें कि इन मकानों में दीवारें और क्लैडिंग (cladding) अभी नहीं लगायी गयी हैं।



तस्वीर 2. एक स्तम्भ (1) और बीम (2) से बनी फ्रेम संरचना भूकंप के दौरान दाएं-बाएं हिलती है। ध्यान दें की वलय (bending) बीम और स्तम्भ दोनों में ही होती है। बीम और स्तम्भ के बीच का जोड़ (joint) मजबूत होना चाहिए (3)।

स्तम्भों को भूकंप के दौरान अच्छे प्रदर्शन के लिए बीम का सहारा जरूरी होता है। ये बीम तल (floor) की तुलना में मोटी होती हैं, और मज़बूती से स्तम्भों से जुड़ी हुई होती हैं। इन जोड़ों (joints) में विशेष प्रबलन (reinforcement) स्टील की जरूरत होती है। बीम और स्तम्भों से बने फ्रेम्स में स्तम्भों को बीम की तुलना में ज्यादा मज़बूत बनाया जाता है। अर्थात, जब स्तम्भ मुड़ते हैं तो बीम भी उसके अनुसार मुड़ती हैं। इस तरह से बनी इमारतें अपेक्षाकृत ज्यादा मज़बूत और कम लचीली होती हैं, और इनमें क्षति की संभावना कम होती है।

चूँकि स्तम्भ एक मकान के सबसे अहम् संरचनात्मक हिस्से होते हैं, उनकी सुरक्षा ज़रूरी होती है। अगर उनमें काफ़ी क्षति हुई है तो इससे मकान के धराशायी होने की संभावना रहती है। सामान्यतया, अभियंता स्तम्भों की सुरक्षा के लिए दो तरीक़ों का इस्तेमाल करते हैं। सबसे पहली कोशिश ये रहती है कि स्तम्भों का आकार बड़ा हो। पतले स्तम्भ भूकंप के दौरान आसानी से मुड़ जाते हैं। इसलिए स्तम्भों का मोटा होना ज़रूरी है। इसके अलावा स्तम्भों में इनकी लम्बाई की दिशा में और उसकी लंबवत (अर्थात धरती के समानांतर) दिशा में काफी स्टील की ज़रूरत होती है (तस्वीर 3 देखें) । धरती के समानांतर सतहों में स्टील की छड़ें स्तम्भों को मुड़ने या टूटने से रोकती हैं।

तस्वीर 3. स्तम्भों में कांक्रीट डालने से पहले स्टील से बनी छड़ें देखी जा सकती हैं। ये छड़ें नीचे से ऊपर की दिशा में होती हैं, और वलय (bending) का प्रतिरोध करती हैं। इसके अलावा धरती के समानांतर छड़ें कांक्रीट को टूटने और अलग होने से रोकती हैं।

स्तम्भों की सुरक्षा का दूसरा तरीका है उन्हें बीम से ज्यादा मजबूत बनाना। इसके कारण भूकंप के तीव्र झटकों के दौरान जान बूझकर बनाई गयी कमजोर बीम में क्षति पहले होती है। ये क्षति एक सीमित क्षेत्र में ही होती है। इस प्रकार स्तम्भों की सुरक्षा होती है।

इन दो तरीकों को ध्यान में रख के बनाई गयी भूकंपरोधी संरचना प्रणालियों में अपेक्षाकृत बड़े स्तम्भ और थोड़ी छोटी बीम होती हैं। इसके अलावा बीम और स्तम्भों के बीच के जोड़ (joints) काफ़ी मज़बूत होते हैं ।

इस लेख श्रृंखला के बारे में:

लेखों की इस श्रृंखला में भूकंपों और इमारतों पर उनके प्रभावों के बारे में चर्चा की गई है। मकानों को भूकंपरोधी बनाने के तरीकों को भी समझाया गया है। उम्मीद है कि इस किताब से मकान मालिकों और भवन निर्माण उद्योग से सम्बंधित नीति निर्धारकों, नियंत्रकों, और अभियंताओं को मदद मिलेगी। ये लेख मूलतः World Housing Encyclopedia (http://www.world-housing.net/) के एंड्रयू चार्ल्सन और सहयोगियों द्वारा लिखे गए हैं। यह कार्य Earthquake Engineering Research Institute (https://www.eeri.org/) और International Association of Earthquake Engineering (http://www.iaee.or.jp/) द्वारा प्रायोजित है । इस लेख का हिंदी अनुवाद मनीष कुमार और जे. काव्य हर्षिता ने किया है।

References:

Murty, C. V. R., et al., 2006. At risk: the seismic performance of RC frame buildings with masonry infill walls. California, World Housing Encyclopedia. http://www.world-housing.net/wp-content/uploads/2011/05/RCFrame_Tutorial_English_Murty.pdf (accessed 8 June 2020).

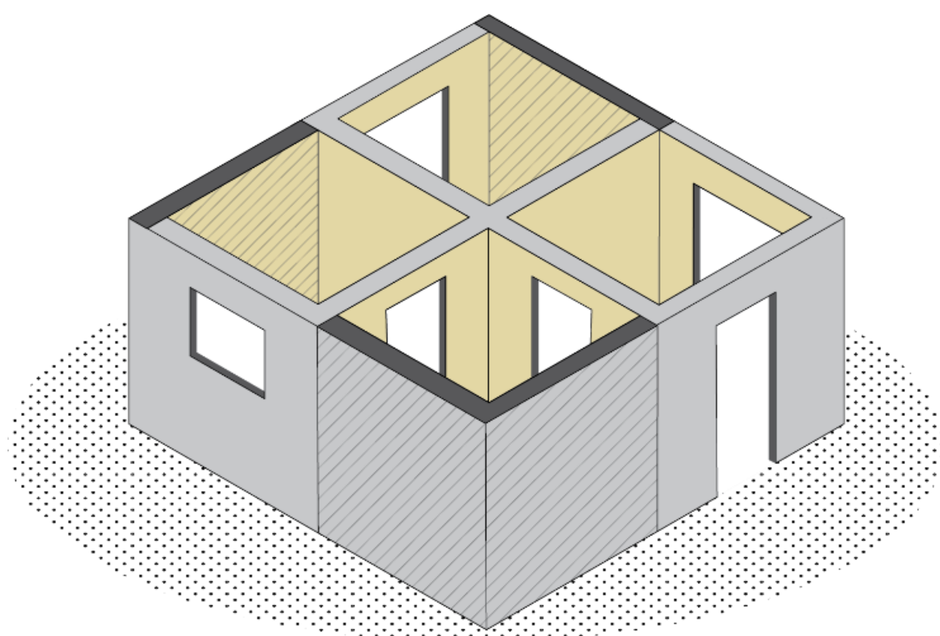
भूकंपरोधी इमारतें

अध्याय 7. ईंट के मकानों को भूकंपरोधी बनाने के सिद्धांत

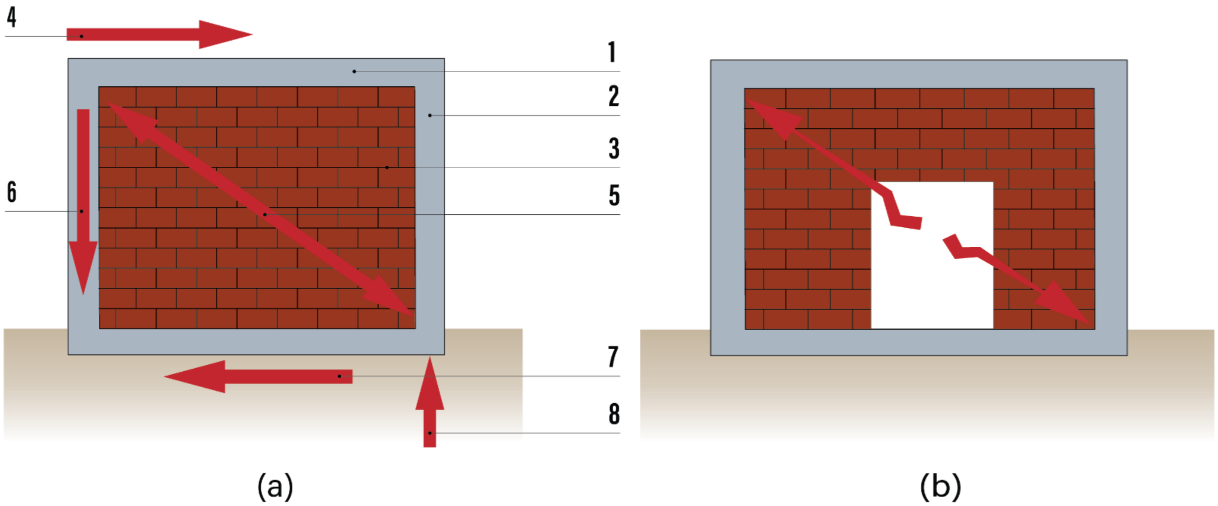
अध्याय 5 में ईंट की दीवारों के बारे में सामान्य जानकारी दी गयी है। भारत में अधिकांश छोटे मकान ईंट की दीवारों से ही बनते हैं। उस अध्याय में ये चर्चा की गयी थी कि दीवारें अपनी लम्बाई की दिशा में तो मजबूत होती हैं, लेकिन उसकी लंबवत (perpendicular) दिशा में कमज़ोर होती हैं। ईंट की दीवारों को अच्छे किस्म के सामानों (जैसे कि सीमेंट, बालू) का इस्तेमाल करके संकुचित चिनाई (confined masonry) जैसा बनाया जाना चाहिए। अर्थात, हर ईंट की दीवार की परिधि (perimeter) पर एक टाई बीम (tie beam) और टाई कॉलम (tie column) होना चाहिए। हर मंजिल में बीम उसके साथ की छत के साथ ढाली जानी चाहिए।

इन दीवारों का उपयोग हम छोटे मकानों, जैसे कि किसी दो मंजिली इमारत, में कैसे करें? सबसे पहली ध्यान रखने वाली बात ये है कि इन दीवारों का उपयोग मकान की भूकम्परोधी क्षमता बढ़ाने के लिए किया जाता है। अतः हमें निम्नलिखित चार सिद्धांतों का पालन करना चाहिए:

1. हर घर में कम से कम दो मजबूत दीवारें एक दिशा में, और दो मजबूत दीवारें उसकी लंबवत दिशा में होनी चाहिए। भूकंप के दौरान धरती हर दिशा में हिलती है। इसलिए मकान का दोनों प्रमुख क्षैतिज (horizontal) दिशाओं में मज़बूत होना आवश्यक है (तस्वीर 1 देखें) । वैसे तो हर दीवार संकुचित चिनाई से बनी होनी चाहिए, लेकिन मज़बूत दीवारों में दरवाजे या खिड़कियाँ नहीं होनी चाहिए क्यूँकि इनकी वजह से दीवारें कमजोर हो जाती हैं (तस्वीर 2 देखें) । इसके अलावा दीवारों की मोटाई पर्याप्त होनी चाहिए, जिससे कि वो पूरी ऊंचाई तक दीवारों का वज़न सह सकें। अंततः, हर मज़बूत दीवार उस मंजिल की ऊंचाई की कम से कम 50% लम्बी होनी चाहिए। Meli (2011) में इस विषय पर ज्यादा विस्तृत जानकारी उपलब्ध है।

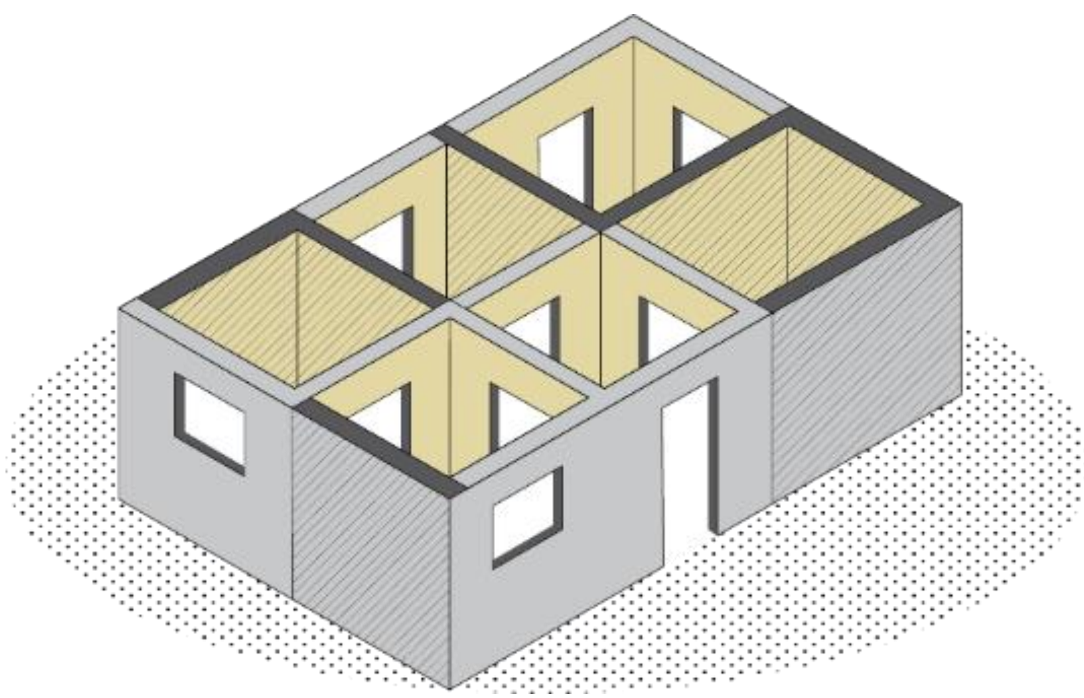


तस्वीर 1. इस छोटे से मकान में दो मजबूत दीवारें (तिरछी लकीरों से दर्शायी गयी हैं, और इनमें दरवाजे खिड़कियाँ भी नहीं हैं) भूकंप का प्रतिरोध दोनों प्रमुख क्षैतिज दिशाओं में करती हैं।



तस्वीर 2. एक मजबूत संकुचित चिनाई की दीवार में टाई बीम (1), टाई कॉलम (2) और ईंट की दीवार (3) हैं। ये दीवारें विकर्ण (diagonal) की दिशा में संकुचन (5) और टाई कॉलम में तनाव (6) के माध्यम से भूकंप (4) का प्रतिरोध करती हैं। अंततः क्षैतिज (horizontal) (7) और उर्ध्व (vertical) (8) भूकम्पीय बलों का प्रतिरोध आधारशिला के माध्यम से धरती ही करती है। इस तस्वीर के खंड (b) में दीवार में एक द्वार है, जिसकी वजह से विकर्ण की दिशा में दीवार द्वारा भूकंप का प्रतिरोध प्रभावित होता है।

2. मजबूत दीवारें हर दिशा में पूरे मकान में समान रूप से वितरित होनी चाहिए (तस्वीर 3 देखें) । एक दिशा में ज्यादा दूरी पर बनाई गयी समानांतर दीवारें भूकंप के दौरान मकान में होने वाले मरोड़ (twisting) का मजबूती से प्रतिरोध करती हैं। दोनों प्रमुख क्षैतिज दिशाओं में लम्बी और मोटी दीवारों का पर्याप्त संख्या में होना जरूरी है। दीवारों की लम्बाई, मोटाई और संख्या को मकान के आकार, और ईंटों की गुणवत्ता के आधार पर तय किया जा सकता है।



तस्वीर 3. मजबूत दीवारें मकान के हर हिस्से में बराबरी से मौजूद हैं। एक दिशा में चार तो दूसरी दिशा में तीन दीवारें भूकम्पीय बलों का प्रतिरोध करती हैं। ये दीवारें एक दूसरे से टाई बीम के द्वारा जुड़ी होनी चाहिए ।

3. टाई बीम दीवारों के ऊपरी हिस्सों को आपस में जोड़ने का काम करती हैं । ये बीम न सिर्फ दीवारों को संकुचित (confine) करती हैं, बल्कि दीवारों और टाई कॉलम को आपस में जोड़ने का काम भी करती हैं।

4. किसी एक दिशा की मजबूत दीवारें आधारशिला से छत तक लगातार होनी चाहिए। उदाहरण के तौर पर, एक दो मंजिली इमारत में दूसरी मंजिल की मजबूत दीवार पहली मंजिल की मजबूत दीवार के ठीक ऊपर होनी चाहिए । इसके अलावा दोनों मंजिलों की दीवारें भी एक जैसी होनी चाहिए।

इस लेख श्रृंखला के बारे में:

लेखों की इस श्रृंखला में भूकंपों और इमारतों पर उनके प्रभावों के बारे में चर्चा की गई है। मकानों को भूकंपरोधी बनाने के तरीकों को भी समझाया गया है। उम्मीद है कि इस किताब से मकान मालिकों और भवन निर्माण उद्योग से सम्बंधित नीति निर्धारकों, नियंत्रकों, और अभियंताओं को मदद मिलेगी। ये लेख मूलतः World Housing Encyclopedia (http://www.world-housing.net/) के एंड्रयू चार्ल्सन और सहयोगियों द्वारा लिखे गए हैं। यह कार्य Earthquake Engineering Research Institute (https://www.eeri.org/) और International Association of Earthquake Engineering (http://www.iaee.or.jp/) द्वारा प्रायोजित है । इस लेख का हिंदी अनुवाद मनीष कुमार और जे. काव्य हर्षिता ने किया है।

References:

Boen, T., et al., 2009. Buku saku Persysaratan pokok rumah yang lebih aman. PU and JICA. https://www.jica.go.jp/indonesia/indonesian/office/topics/pdf/buku_saku_0.pdf (accessed 11 April 2020).

Carlevaro, N., Roux-Fouillet, G., and Schacher, T., 2018. Guide book for building earthquake-resistant houses in confined masonry. Swiss Agency for Development and Cooperation Humanitarian Aid and EERI. http://www.world-housing.net/wp-content/uploads/2018/11/Guide-book-for-building-eq-re-houses-in-cm_version-1806.pdf (accessed December 2019).

Meli, R., Brzev, S., Astroza, M., Boen, T., et al., 2011. Seismic design guide for low-rise confined masonry buildings. EERI and IAEE. http://www.world-housing.net/wp-content/uploads/2011/08/ConfinedMasonryDesignGuide82011.pdf (accessed April 2020).

Public Works Department, 2016. Izin mendirikan bangunan Gedung, No. 05/PRT/M/2016. http://ciptakarya.pu.go.id/pbl/index.php/preview/55/permen-pupr-no-05-tahun-2016-tentang-izin-mendirikan-bangunan-gedung (accessed 11 April 2020).

For other free and downloadable detailed information, visit https://confinedmasonry.org/.

भूकंपरोधी इमारतें

अध्याय 8. मकान के हिस्सों को जोड़ के भूकंपरोधी क्षमता बढ़ाना

एक मकान के कई हिस्से होते हैं। कुछ हिस्से, जैसे कि तल (floor), छत, स्तम्भ (column), बीम (beam) और दीवारें, मुख्य संरचनात्मक प्रणाली में शामिल होते हैं। वहीं दूसरी तरफ, विभाजक दीवारें (partition walls), आवरण भित्तियाँ (cladding walls), और सीढ़ियाँ मुख्य संरचनात्मक प्रणाली का हिस्सा नहीं होती हैं। वैसे तो इनकी ज़रूरत मकान में होती है, लेकिन संरचनात्मक दृष्टि से मकान इनके बिना भी टिके रह सकते हैं।

एक भूकंप के दौरान मकान और इसके हिस्से काफी ज़ोर से हिलते हैं। सबसे ज्यादा झटका क्षैतिज (horizontal) दिशाओं में होने वाले कम्पन से होता है। भूकंप के झटके कई बार पूरे मकान को ही गिरा देते हैं। दुनिया के कई देशों में भूकंप के दौरान ऐसे भयावह दृश्य देखने को मिले हैं।

भूकंप के दौरान मकानों में होने वाले गंभीर नुकसान को रोका जा सकता है। इसके लिए मकान के मुख्य संरचनात्मक हिस्सों को जोड़ के रखना जरूरी है। ऐसा हर तल और छत के लिए किया जाना चाहिए। दीवारों को भी हर तल और छत पर टाई बीम के द्वारा बाँधने की ज़रूरत होती है। ये टाई बीम सामान्यतः प्रबलित कांक्रीट (reinforced concrete) की बनी होती हैं। सरल भाषा में कहा जाए तो ये मकान को एक पट्टी (belt) से बाँधने जैसा है, जिससे कि मकान के हिस्सों को फ़ैलने और गिरने से रोका जा सके (तस्वीर 1 देखें) ।

तस्वीर 1. भूकंप के दौरान एक क्षतिग्रस्त मकान को टाई बीम के माध्यम से जोड़ के रखा जा सकता है, जो कि मजबूत पट्टी (belt) की तरह काम करती हैं।

मज़ेदार बात ये है कि जब मकान के तल प्रबलित कांक्रीट के बने होते हैं तो अलग से टाई बीम की ज़रूरत नहीं पड़ती है। वैसे तो तल का मुख्य इस्तेमाल लोगों के रहने और सामान रखने की जगह के लिए होता है। लेकिन, जब भूकंप आता है तो ये तल और छत अपने-अपने स्तर पर मकान को जोड़ने या बाँधने का काम भी करते हैं (तस्वीर 2 देखें) । एक तल या छत की वजह से मकान के हिस्से साथ में हिलते हैं।

इससे मकान के हिस्सों के टूट के बिखरने की संभावना कम हो जाती है। मकान के हिस्सों को जोड़ने या बाँधने के लिए छत में अलग से स्टील देने की जरूरत भी नहीं पड़ती है।

तस्वीर 2. प्रबलित कांक्रीट से बनी छतें बीम और स्तम्भों को साथ में जोड़ती हैं, जिसकी वजह से भूकंप के दौरान मकान के सारे हिस्से क्षैतिज दिशाओं में एक साथ रहते हैं ।

कुछ मकानों में तल और छत नहीं होते हैं, या फिर लकड़ी के बने तल ईंट की दीवारों पर टिके होते हैं। ऐसे मकानों में एक स्तर को बाँध के रखना मुश्किल होता है। ऐसी स्थिति में टाई बीम काफी कारगर सिद्ध होती हैं (तस्वीर 3 देखें) । ये बीम मकान की सीमा पर और उसके भीतर की दीवारों को एक साथ जोड़ने में मदद करती हैं। इस तरह से दीवार और स्तम्भ भूकंप के समय टूट के अलग होने से बच जाते हैं । टाई बीम से बने फ्रेम एक तल या छत की तुलना में ज्यादा लचीले होते हैं, लेकिन भूकंप के दौरान काफी प्रभावी होते हैं।

तस्वीर 3. एक मकान की दीवारों को भूकंप के दौरान गिरने से रोकने के लिए सिर्फ स्तम्भ काफी नहीं होते, बल्कि तल एवं छत के स्तर पर टाई बीम की भी जरूरत होती है (From Guide book for building earthquake resistant houses in confined masonry; World Housing Encyclopedia, 2018) ।

इस अध्याय का सारांश ये है कि आधारशिला से छत के बीच मकान के हर स्तर पर मकान के हिस्सों को जोड़ के रखने की ज़रूरत होती है, जिसके लिए प्रबलित कांक्रीट से बनी समतल छत या फिर टाई बीम्स काफी कारगर सिद्ध होती हैं ।

इस लेख श्रृंखला के बारे में:

लेखों की इस श्रृंखला में भूकंपों और इमारतों पर उनके प्रभावों के बारे में चर्चा की गई है। मकानों को भूकंपरोधी बनाने के तरीकों को भी समझाया गया है। उम्मीद है कि इस किताब से मकान मालिकों और भवन निर्माण उद्योग से सम्बंधित नीति निर्धारकों, नियंत्रकों, और अभियंताओं को मदद मिलेगी। ये लेख मूलतः World Housing Encyclopedia (http://www.world-housing.net/) के एंड्रयू चार्ल्सन और सहयोगियों द्वारा लिखे गए हैं। यह कार्य Earthquake Engineering Research Institute (https://www.eeri.org/) और International Association of Earthquake Engineering (http://www.iaee.or.jp/) द्वारा प्रायोजित है । इस लेख का हिंदी अनुवाद मनीष कुमार और जे. काव्य हर्षिता ने किया है।

References:

Bothara, J., and Brzev, S., 2011. A Tutorial: Improving the Seismic Performance of Stone Masonry Buildings. Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, California, U.S.A., Publication WHE-2011-01, 78 pp. www.world-housing.net/tutorials/stone-tutorials (accessed 10 July 2020).

Charleson, A. W., 2008. Seismic design for architects – outwitting the quake. Elsevier: Oxford. Chapter "Horizontal structure", pp. 49-61.

Murty, C. V. R., 2005. Why are horizontal bands necessary in masonry buildings – Earthquake Tip 14. IITK-BMTPC "Learning earthquake design and construction", NICEE, India. http://www.iitk.ac.in/nicee/EQTips/EQTip14.pdf (accessed 5 May 2020).

Swiss Agency for Development and Cooperation SDC, 2018. Guidebook for building earthquake-resistant houses in confined masonry. http://www.world-housing.net/wp-content/uploads/2018/11/Guide-book-for-building-eq-re-houses-in-cm_version-1806.pdf (accessed 5 May 2020).

भूकंपरोधी इमारतें

अध्याय 9. भूकंपरोधी मकान बनाने में स्थानीय जानकारी की भूमिका

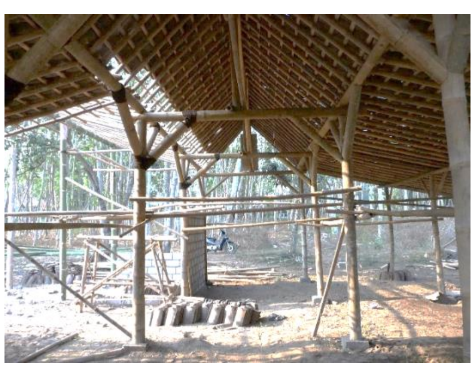
भारत एवं अन्य देशों में भूकंप के दौरान कई बार परंपरागत मकानों का प्रदर्शन आधुनिक मकानों की तुलना में ज्यादा अच्छा रहा है। परंपरागत मकानों में निर्माण सामग्री, मकानों का आकार एवं संरचना प्रणाली, और संरचनात्मक अंगों (जैसे दीवार, स्तम्भ) के बीच का जोड़ स्थानीय ज्ञान के आधार पर तय किया जाता है।

आधुनिक मकानों के शिल्पकारों एवं निर्माताओं को सोचने की ज़रूरत है कि भूकंपरोधी क्षमता बढ़ाने के लिए स्थानीय ज्ञान के किस हिस्से को नए मकानों में वापस लाना चाहिए। इसके लिए हमें परंपरागत मकानों की ख़ास बातों पर गौर करना होगा। परंपरागत मकानों में निम्नलिखित में से एक या अधिक बातें देखने को मिल सकती हैं:

- लकड़ी या बाँस से बने तल (floors), छत और दीवारें;
- मकानों का हल्का होना (वैसे तो हल्की छत के फ़ायदे हैं, लेकिन ऐसा भी नहीं होना चाहिए कि एक छत टुकड़ों में बँटी हो (जैसे कि एक टाइल वाली छत);
- बीम (beam) और स्तम्भों (columns) के बीच में लचीले जोड़ का होना; और
- मकान और इसकी नींव के बीच में लचीले या कमजोर जोड़ का होना

परंपरागत तरीकों से बने मकान प्रायः हल्के और लचीले होते हैं। ऐसे मकान भूकंप के दौरान क्षैतिज दिशाओं में काफी हिलते हैं। इसके अलावा अगर ये मकान नींव से कमजोर तरीके से जुड़े हैं, तो आंशिक रूप से भूकंप से झटकों से राहत मिल सकती है। वर्तमान भूकंपरोधी डिज़ाइन में इस तरह की बातें काफी मददगार हो सकती हैं। उदाहरण के तौर पर, भूकम्पीय बल मकान के द्रव्यमान के अनुपात में होता है। इसलिए निर्माण सामग्री का यथासंभव हल्का होना मकान के लिए अच्छा है । भूकंप के लिहाज़ से एक हल्का मकान एक भारी मकान की तुलना में ज्यादा सुरक्षित होता है।

अगर मकान मजबूत मिट्टी पर बना है, तो मकान का लचीला होना भूकंप के लिहाज से फायदेमंद हो सकता है। हालाँकि इसमें नुकसान भी हैं । ऐसे मकान भूकंप के दौरान क्षैतिज दिशाओं में ज्यादा हिलते हैं (तस्वीरें 1 और 2 देखें) । इस वजह से ऐसे मकानों में क्षति ज्यादा हो सकती है। सामान्य तौर पर मकान में ज्यादा लचीलापन नहीं होना चाहिए। मकान और नींव के बीच में लचीले जोड़ फायदेमंद हो सकते हैं, अगर मकान अपनी नींव से हर हाल में जुड़ा रहे। बेस आइसोलेशन (base isolation) नामक आधुनिक तकनीक (अध्याय 23 देखें) का इस्तेमाल महत्त्वपूर्ण मकानों (जैसे कि अस्पताल) में किया जा सकता है। इस तकनीक से अधिकांश लचीलापन और क्षैतिज विस्थापन नींव के ऊपर रखे आइसोलेशन उपकरणों (devices) में ही होता है। ये उपकरण ऐसे विस्थापन के लिए डिज़ाइन किये जा सकते हैं।



तस्वीर 1. क्षैतिज भूकंपीय झटकों के दौरान एक अत्यधिक लचीला मकान।

तस्वीर 2. परंपरागत मकानों का एक अन्य उदाहरण।

दुर्भाग्यवश, स्थानीय तरीकों को आधुनिक मकानों में शामिल कर पाने की संभावना काफी सीमित है। इसका मूल कारण है कि पुराने मकानों की तुलना में आधुनिक मकान काफी अलग हैं। अधिकांश नए मकान भारी सामग्री, जैसे कि ईंट और कांक्रीट, से बने होते हैं (तस्वीर 3 देखें) । इन मकानों को कम लचीला बनाया जाता है, जिससे कि भूकंप के दौरान नुकसान कम हो। अंततः, मकान और नींव के बीच में लचीले जोड़ देना मुश्किल और मँहगा हो सकता है।

तस्वीर 3. प्रबलित कांक्रीट (reinforced concrete) और ईंट से एक संकुचित चिनाई (confined masonry) भवन का निर्माण।

भारत में कुछ संरचना प्रणालियों, जैसे कि कश्मीर में धज्जी देवारी (Jain 2016), का प्रदर्शन भूकंप के दौरान काफी अच्छा रहा है। इस प्रणाली में लकड़ी के बने फ्रेम ईंट की दीवारों को मजबूती से बाँधते हैं। इसका असर काफी हद तक आधुनिक संकुचित चिनाई (confined masonry) मकानों जैसा होता है।

सैद्धांतिक रूप से स्थानीय ज्ञान व तकनीकों का उपयोग मकानों की भूकंपरोधी क्षमता बढ़ाने में किया जा सकता है। लेकिन, आधुनिक मकान पुराने मकानों से काफी अलग होते हैं। इस वजह से अधिकांश सिद्धांतों को प्रयोग में लाना मुश्किल होता है। मकानों का वज़न कम रखना भूकंप के दौरान सुरक्षा के लिहाज़ से काफी अच्छा है। ये बात आधुनिक मकानों के लिए भी सही है।

इस लेख श्रृंखला के बारे में:

लेखों की इस श्रृंखला में भूकंपों और इमारतों पर उनके प्रभावों के बारे में चर्चा की गई है। मकानों को भूकंपरोधी बनाने के तरीकों को भी समझाया गया है। उम्मीद है कि इस किताब से मकान मालिकों और भवन निर्माण उद्योग से सम्बंधित नीति निर्धारकों, नियंत्रकों, और अभियंताओं को मदद मिलेगी। ये लेख मूलतः World Housing Encyclopedia (http://www.world-housing.net/) के एंड्र्यू चार्ल्सन और सहयोगियों द्वारा लिखे गए हैं। यह कार्य Earthquake Engineering Research Institute (https://www.eeri.org/) और International Association of Earthquake Engineering (http://www.iaee.or.jp/) द्वारा प्रायोजित है । इस लेख का हिंदी अनुवाद मनीष कुमार और जे. काव्य हर्षिता ने किया है।

References:

Jain, S. K., 2016. Earthquake Safety in India: Achievements, Challenges and Opportunities, Bulletin of Earthquake Engineering, Volume 14, pp. 1337-1436.

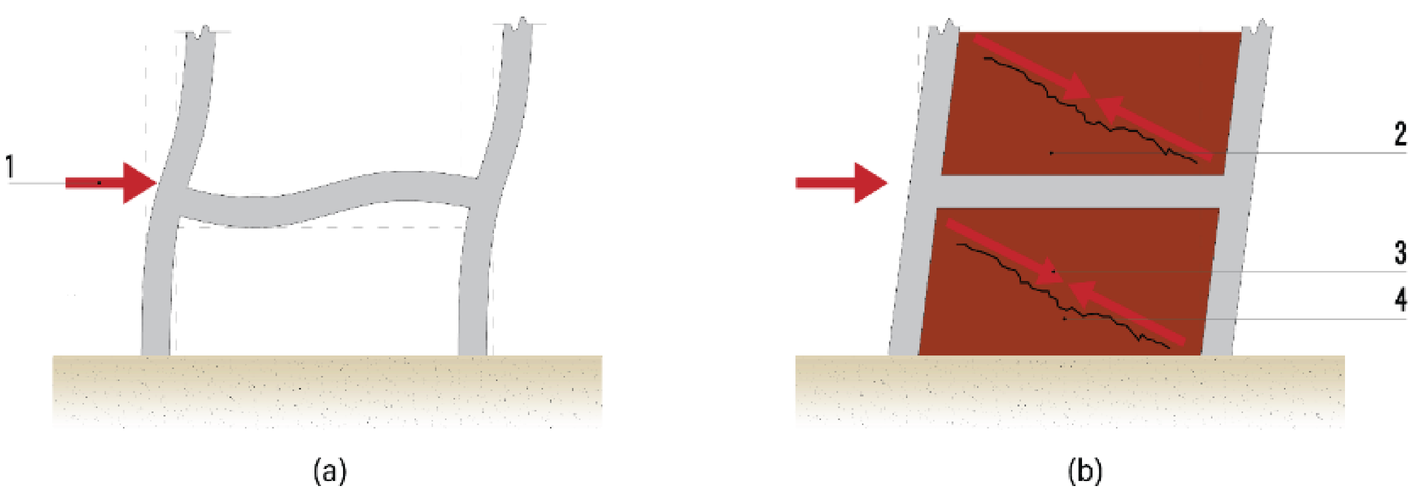
भूकंपरोधी इमारतें

अध्याय 10. भूकंप के दौरान ईंट की दीवारों का प्रभाव

कई बार ईंट की दीवारों का उपयोग फ्रेम संरचना प्रणाली में किया जाता है। ये दीवारें फ्रेम के बीम (beam) और स्तम्भों (columns) के बाद बनाई जाती हैं। प्रबलित कांक्रीट (reinforced concrete) से बने फ्रेम सामान्यतया भूकम्परोधन में प्राथमिक भूमिका निभाते हैं। इन मकानों में प्रायः ईंट की दीवारों का उपयोग इनफिल (infill) की तरह किया जाता है। ऐसे मकान संकुचित चिनाई (confined masonry) जैसे लग सकते हैं (अध्याय 7 देखें), लेकिन ये दोनों संरचना प्रणालियाँ अलग हैं।

ईंट की दीवारें मिट्टी या कांक्रीट की ईंटों से बनी होती हैं। इन ईंटों को सीमेंट मोर्टार (cement mortar) या फिर सीमेंट-चूना मोर्टार (cement-lime mortar) से जोड़ा जाता है। अगर इन दीवारों में छोटी खिड़कियाँ हों भी तो ये दीवारें मुख्य संरचना प्रणाली प्रबलित कांक्रीट फ्रेम (frame) की तुलना में काफी कठोर और मजबूत होती हैं। अक्सर इनकी वजह से भूकंप के दौरान क्षति में कमी आती है, तो कई बार इनका प्रभाव उल्टा होता है।

भूकंपीय झटकों के दौरान बीम और स्तम्भों से बने फ्रेम मुड़ते हैं, और क्षैतिज दिशाओं में हिलते हैं (तस्वीर 1a देखें) । लेकिन अगर फ्रेम के बीच में ईंट की दीवारें हो तो ये दीवारें भी भूकंपीय बलों, एवं बीम और स्तम्भों में वलय (bending) का प्रतिरोध करती हैं। इस दौरान ईंट की दीवारों के विकर्ण (diagonal) की दिशा में काफी संकुचन (compression) उत्पन्न होता है। इससे विकर्ण की दिशा में दरारें भी पड़ सकती हैं। इस संकुचन की वजह से बीम और स्तम्भों के जोड़ों (joints) के आस-पास भी दरारें पैदा हो सकती हैं (तस्वीर 1b देखें) । विकर्णीय दरारों की वजह से ये दीवारें अपनी सतह की लंबवत दिशा में आए भूकंपीय झटकों की वजह से गिर सकती हैं। कई बार इन दीवारों के कुछ हिस्से, या फिर पूरी की पूरी दीवार ही मकान के बाहर गिर सकती है (तस्वीर 2 देखें) । इंटरनेट पर “masonry infill earthquake damage” ढूँढ कर काफी सारी तस्वीरें देखी जा सकती हैं।

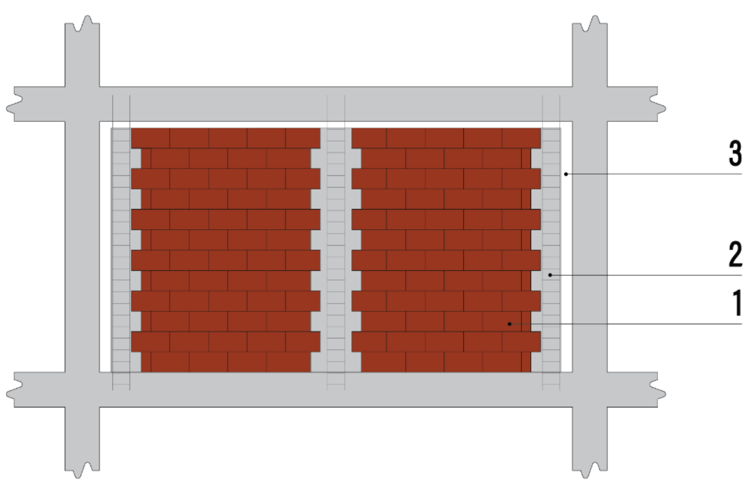


तस्वीर 1. (a) बीम और स्तम्भों से बनी एक फ्रेम भूकंप के दौरान वलयित और क्षैतिज दिशा में विकृत होती है (1) । (b) ईंट की दीवारों में (2) विकर्ण की दिशा में एक संकुचन दंड (compression strut) (3) तैयार होता है जो कि वलय और विस्थापन को कम करता है; इन दीवारों में विकर्णीय दरारें (4) भी आ सकती हैं।

तस्वीर 2. भूकंप से क्षतिग्रस्त ईंट की दीवारें, जिनमें से कुछ मकान के बाहर गिर गयी हैं।

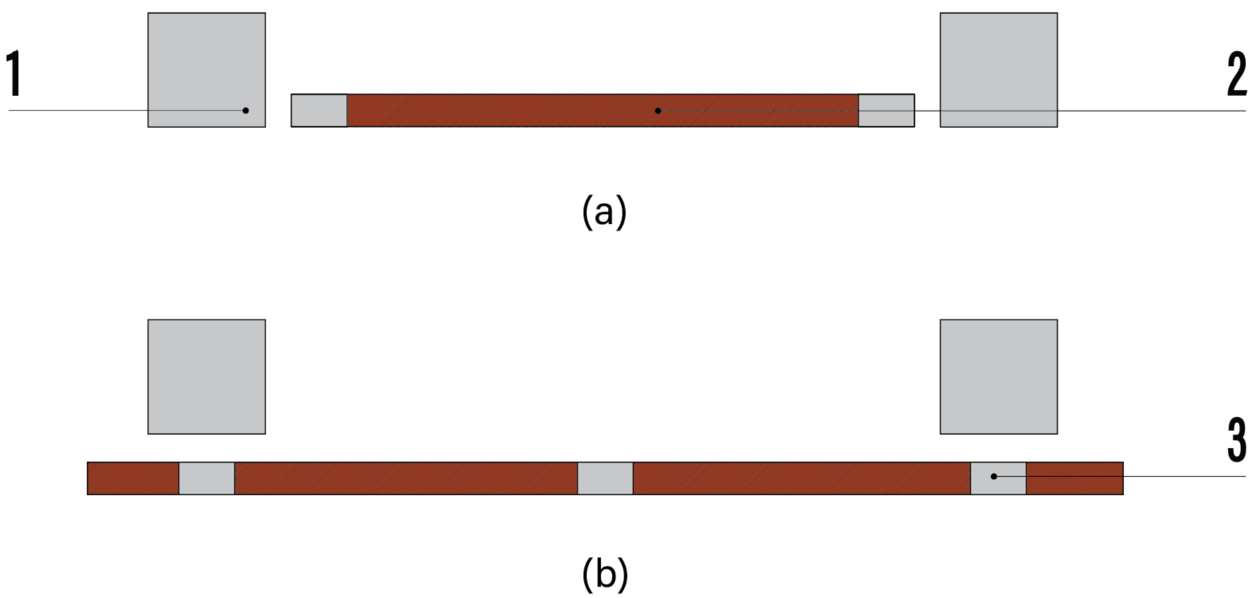
एक फ्रेम संरचना प्रणाली में ईंट की दीवारें (masonry infill walls) मददगार साबित हो सकती हैं। हालांकि इसकी कुछ शर्तें हैं। ईंट की दीवारें एक मकान में सममित (symmetric) तरीके से व्यवस्थित होनी चाहिए। इसके अलावा ये दीवारें ज़मीन से छत तक लगातार होनी चाहिए। इन दीवारों का अपनी सतह की लंबवत दिशा में गिरने से बचाव भी जरूरी है, जिसकी चर्चा आगे की गयी है। अंततः, बीम और स्तम्भों की तरह ईंट की दीवारों का डिज़ाइन भी एक योग्य सिविल अभियंता द्वारा ही किया जाना चाहिए।

जब उपरोक्त शर्तें पूरी नहीं की जाती हैं , तो इनफिल (infill) दीवारें खुद तो क्षतिग्रस्त हो ही सकती हैं और साथ में स्तम्भों को भी क्षतिग्रस्त कर सकती हैं। इस मामले में भूकंपरोधी निर्माण के विकल्प काफी सीमित हैं। एक रास्ता ये है की ईंट की दीवारों की जगह हल्की और लचीली अग्निरोधी सामग्री, जैसे की सीमेंट पट (board) का उपयोग इनफिल की तरह किया जाए। इसके अलावा ग्लेज़िंग (glazing) का उपयोग भी किया जा सकता है। इस तरीके से प्रमुख संरचना प्रणाली को क्षति से बचाया जा सकता है। कई बार ईंट की दीवारों का प्रयोग अनिवार्य होता है। ऐसी स्थिति में बीम एवं स्तम्भों के पास थोड़ी जगह छोड़ कर दीवारें बनायीं जा सकती हैं। इस जगह को समुचित पदार्थ (जैसे कि रबड़) से भरा जा सकता है (तस्वीर 3 देखें) । इस प्रणाली में बीम और स्तम्भों में वलय के लिए पर्याप्त जगह दी जा सकती है। हालाँकि दीवार को मुख्य संरचना प्रणाली से जोड़ने के लिए समुचित उपाय (जैसे कि स्टील की छड़ों से दीवार को तल (floor) से जोड़ना) भी किए जाने चाहिए। एक और रास्ता है कि दीवारों को फ्रेम के आगे या पीछे रखा जाए, जिससे कि बीम और स्तम्भों में आसानी से वलय हो सके (तस्वीरें 4 और 5 देखें) ।



तस्वीर 3. एक ईंट की दीवार (1) को अपनी सतह की लंबवत दिशा में हिलने से रोकने के लिए टाई कॉलम का प्रयोग किया गया है (2) । ये दीवार बीम और स्तम्भों से थोड़े अंतर पर बनी है (3), और इस अंतर को किसी मुलायम पदार्थ से बंद कर दिया गया है।

तस्वीर 4. एक दीवार को स्थिरता प्रदान करने के लिए एक टाई कॉलम का उपयोग (S. Brzev) ।



तस्वीर 5. भाग (a) में स्तम्भों (1) के प्लान व्यू (plan view) को दर्शाया गया है, जो कि दीवार (2) के दोनों तरफ हैं, और इस दीवार के दोनों सिरों पर छोटे स्तम्भ दीवार को स्थिरता प्रदान करते हैं। तस्वीर के भाग (b) में दीवार और स्थिरता प्रदान करने वाले स्तम्भ (3) संरचना प्रणाली के स्तम्भों से दूर रखे गए हैं, जिससे कि संरचनात्मक स्तम्भों के वलय में कोई अवरोध न हो।

इस लेख श्रृंखला के बारे में:

लेखों की इस श्रृंखला में भूकंपों और इमारतों पर उनके प्रभावों के बारे में चर्चा की गई है। मकानों को भूकंपरोधी बनाने के तरीकों को भी समझाया गया है। उम्मीद है कि इस किताब से मकान मालिकों और भवन निर्माण उद्योग से सम्बंधित नीति निर्धारकों, नियंत्रकों, और अभियंताओं को मदद मिलेगी। ये लेख मूलतः World Housing Encyclopedia (http://www.world-housing.net/) के एंड्रयू चार्ल्सन और सहयोगियों द्वारा लिखे गए हैं। यह कार्य Earthquake Engineering Research Institute (https://www.eeri.org/) और International Association of Earthquake Engineering (http://www.iaee.or.jp/) द्वारा प्रायोजित है । इस लेख का हिंदी अनुवाद मनीष कुमार और जे. काव्य हर्षिता ने किया है।

References:

Charleson, A. W., 2008. Seismic design for architects: outwitting the quake. Oxford, Elsevier, pp. 159-168.

Infilled frame. Glossary for GEM Taxonomy. Global Earthquake Model. https://taxonomy.openquake.org/terms/infilled-frame.

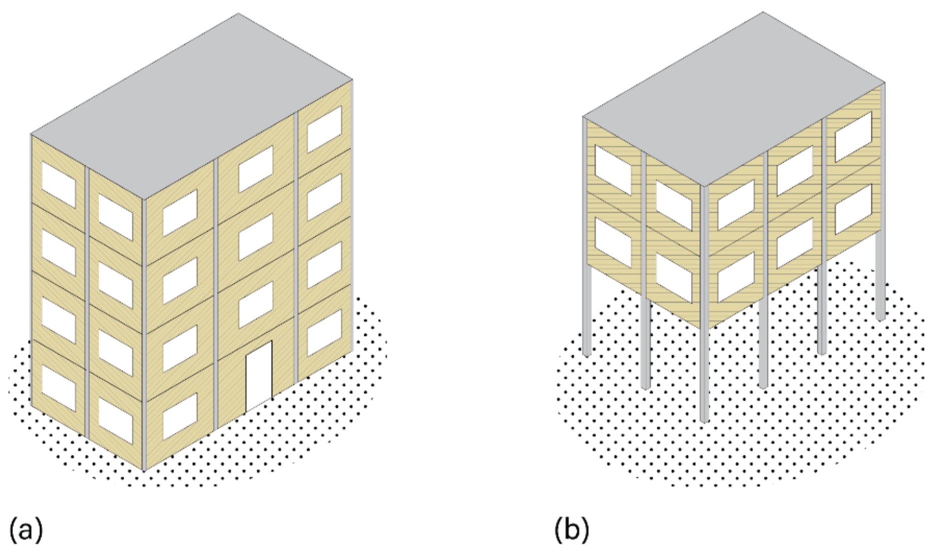
Murty, C. V. R., et al., 2006. At risk: the seismic performance of RC frame buildings with masonry infill walls. California, World Housing Encyclopedia. http://www.world-housing.net/wp-content/uploads/2011/05/RCFrame_Tutorial_English_Murty.pdf (accessed 8 June 2020).

Semnani, S. J., Rodgers, J. E., and Burton, H. V., 2014. Seismic Design Guidance for New Reinforced Concrete Framed Infill Buildings. Geohazards International. https://4649393f-bdef-4011-b1b6-9925d550a425.filesusr.com/ugd/08dab1_5710341c7b304eef9d79bfd50efe839a.pdf (accessed 8 June 2020).

भूकंपरोधी इमारतें

अध्याय 11. कमजोर एवं लचीली मंजिल (soft story) का संरचना प्रणाली पर प्रभाव

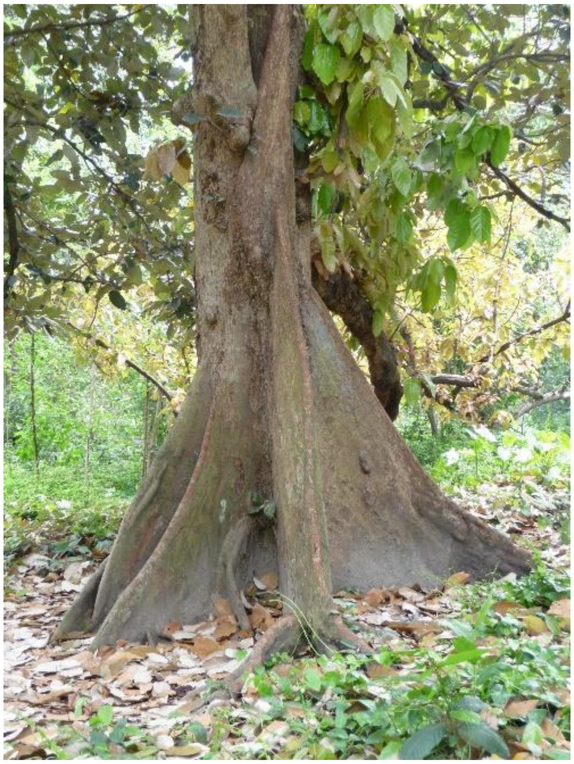
तस्वीर 1 में दिखाए गए दो मकानों की तुलना करें। इन दोनों मकानों के स्तम्भ (column) और बीम (beam) मकान का वज़न उठाने में सक्षम हैं। लेकिन क्षैतिज (horizontal) बलों का इन मकानों पर प्रभाव क्या एक जैसा रहेगा? ऐसे क्षैतिज बल तेज हवा की वजह से पैदा हो सकते हैं। लेकिन, सबसे ज्यादा क्षैतिज बल भूकंप के दौरान उत्पन्न होते हैं, जब धरती हर दिशा में हिलती है।



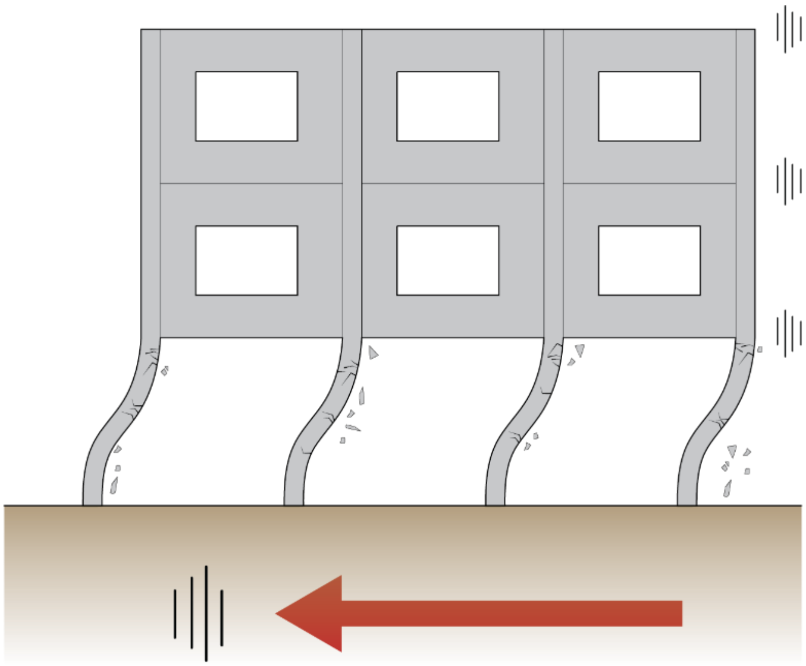
तस्वीर 1. भाग (a) में दिखाए गए मकान में इनफिल (infill) और विभाजक (partition) दीवारें हर मंजिल में हैं, जबकि भाग (b) में दिखाए गए मकान में ये दीवारें सबसे निचली मंजिल में नहीं हैं - ये मंजिल कमजोर/लचीली (soft story) है।

पहला मकान (तस्वीर 1(a) देखें) क्षैतिज बलों का प्रतिरोध करने में ज्यादा सक्षम है। हर मंजिल में प्रबलित कांक्रीट (reinforced concrete) के स्तम्भ और बीम, और दीवारें साथ में मिल के भूकंपीय बलों का प्रतिरोध करती हैं। हर मंजिल की भूकंपरोधी क्षमता लगभग समान है। वहीं दूसरी तरफ तस्वीर 1(b) में दिखाए गए मकान में सबसे निचली मंजिल पर कोई भी दीवार नहीं है, जिसकी वजह से ये मंजिल अन्य मंजिलों की तुलना में काफी कमज़ोर है। शायद इस मंजिल का उपयोग वाहनों की पार्किंग के लिए होता होगा। एक सामान्य समझ के हिसाब से सबसे नीचे की मंजिल बाकी मंजिलों की तुलना में ज्यादा मज़बूत होनी चाहिए। उदाहरण के लिए एक पेड़ के तने को देखें (तस्वीर 2) । अधिकांश पेड़ों के तने ज़मीन के पास ज्यादा मोटे होते हैं क्यूँकि वहीं पर हवा की वजह से तनाव (या दबाव) सबसे ज्यादा होता है। मकानों के निर्माण में भी इस सिद्धांत का अनुसरण किया जाना चाहिए, और मकान के निचले हिस्से को सबसे मज़बूत बनाना चाहिए।

तस्वीर 1(b) में दिखाए गए मकान में सबसे ज्यादा क्षति सबसे कमजोर हिस्से में होती है, जो कि सबसे निचली मंजिल के स्तम्भ हैं (तस्वीर 3 देखें) । ये स्तम्भ क्षैतिज दिशाओं में हिलते हैं, वलयित (bend) होते हैं, और क्षतिग्रस्त होते हैं। कई बार क्षति इतनी ज्यादा होती है कि स्तम्भ मकान का भार सहने की क्षमता खो देते हैं। फिर ये स्तम्भ टूट जाते हैं और मकान धराशायी हो जाता है। सबसे निचली मंजिल पूरी तरह से नष्ट हो जाती है। बाकी की मंजिलों में भी कुछ क्षति हो सकती है। ऐसी स्थिति में लोगों की जान जाने की संभावना काफ़ी अधिक होती है।



तस्वीर 2. अधिकांश पेड़ों के तने ज़मीन के नज़दीक सबसे ज्यादा मजबूत होते हैं।



तस्वीर 3. एक कमजोर/लचीली मंजिल (soft story) के स्तम्भ भूकंप के दौरान काफी ज्यादा वलयित (bend) होते हैं, और क्षतिग्रस्त होते हैं।

कमजोर/लचीली मंजिलों का प्रभाव बड़े भूकम्पों में सबसे ज्यादा दिखता है (तस्वीर 4 देखें) । पाठक इंटरनेट में "soft story building" की तस्वीरें देख सकते हैं। अच्छी बात ये है कि इस तरह की क्षति को रोकना संभव है। अगर अभियंता और शिल्पकार क्षेत्रीय डिज़ाइन और संरचना के दिशानिर्देशों का पालन डिज़ाइन और निर्माण में करें तो कमजोर/लचीली मंजिलों के प्रभावों से छुटकारा पाया जा सकता है, यानि कि सारी मंजिलों की क्षमता एक जैसी की जा सकती है। अधिक जानकारी के लिए "References" देखें।

कई सारे मकानों में कमजोर/लचीली मंजिल होती है (तस्वीर 5 देखें)। इन मकानों की भी भूकम्परोधी क्षमता बढ़ाना संभव है। दुनिया के कई शहरों में मकानों की भूकंपरोधी क्षमता बढ़ाने के अभियान चलाये गए हैं। इस प्रक्रिया में नयी संरचना प्रणाली, जैसे की ब्रेस्ड फ्रेम (braced frame) या प्रबलित कांक्रीट (reinforced concrete) की दीवार, का उपयोग किया जा सकता है। ऐसे तरीकों को अमल में लाना मुश्किल हो सकता है क्यूँकि ये मकान के निवासियों के लिए कष्टप्रद हो सकते हैं, और इनमे खर्च भी काफ़ी हो सकता है। नए मकानों में कमजोर/लचीली मंजिल न रखना एक ज्यादा सुविधाजनक समाधान है, जो कि शिल्पकार और सिविल अभियंता के बीच अच्छी समझ से संभव है। इससे सिविल अभियंता द्वारा अच्छी संरचनात्मक डिज़ाइन और निर्माण का खर्च भी कम आता है।

तस्वीर 4. इस मकान की सबसे निचली मंजिल कमजोर/लचीली थी, जो कि एक मध्यम तीव्रता के भूकंप में नष्ट हो गयी (N. Vesho) ।

तस्वीर 5. मकान में सबसे नीचे की मंजिल कमजोर/लचीली है।

इस लेख श्रृंखला के बारे में:

लेखों की इस श्रृंखला में भूकंपों और इमारतों पर उनके प्रभावों के बारे में चर्चा की गई है। मकानों को भूकंपरोधी बनाने के तरीकों को भी समझाया गया है। उम्मीद है कि इस किताब से मकान मालिकों और भवन निर्माण उद्योग से सम्बंधित नीति निर्धारकों, नियंत्रकों, और अभियंताओं को मदद मिलेगी। ये लेख मूलतः World Housing Encyclopedia (http://www.world-housing.net/) के एंड्रयू चार्ल्सन और सहयोगियों द्वारा लिखे गए हैं। यह कार्य Earthquake Engineering Research Institute (https://www.eeri.org/) और International Association of Earthquake Engineering (http://www.iaee.or.jp/) द्वारा प्रायोजित है । इस लेख का हिंदी अनुवाद मनीष कुमार और जे. काव्य हर्षिता ने किया है।

References:

Charleson, A.W., 2008. Seismic design for architects: outwitting the quake. Oxford, Elsevier, pp. 144-148.

Murty, C. V. R., 2005. Why are Open-Ground Storey Buildings Vulnerable in Earthquakes? Earthquake Tip 21. IITK-BMTPC “Learning earthquake design and construction”, NICEE, India. http://www.iitk.ac .in/nicee/EQTips/EQTip17.pdf (accessed 5 May 2020).

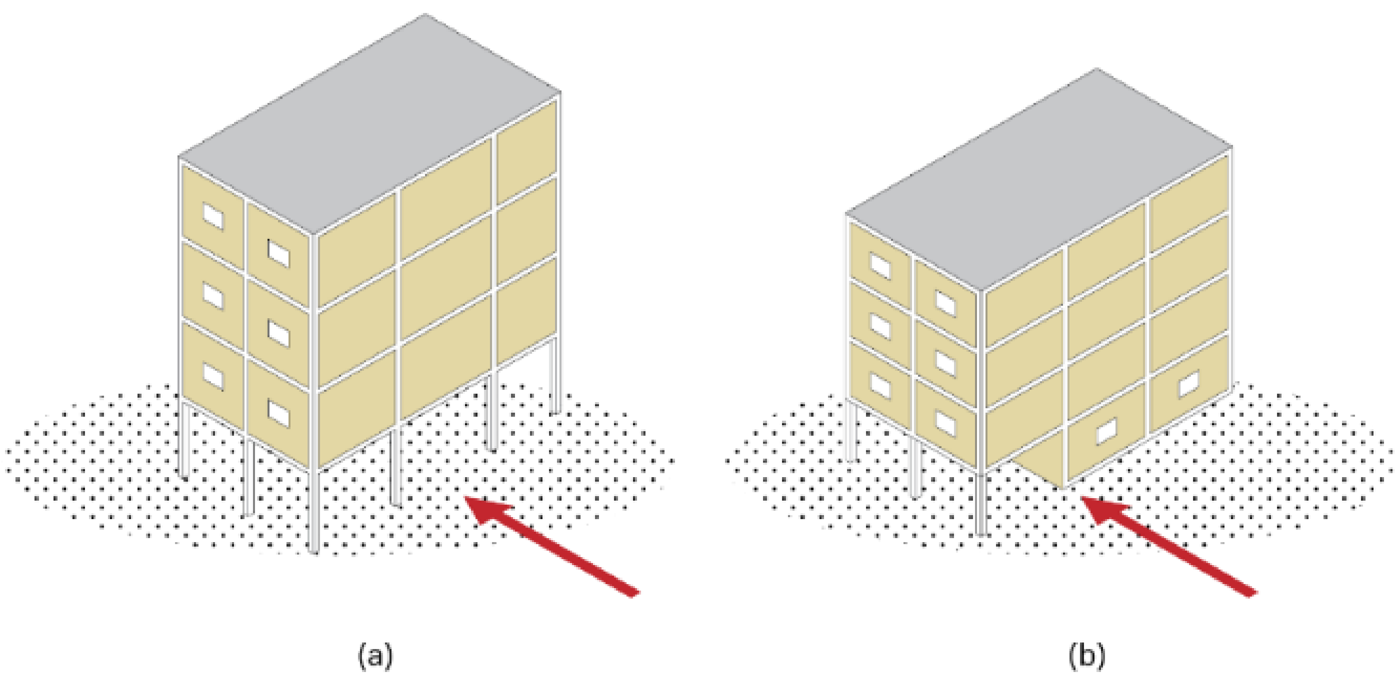
Soft Storey. Glossary for GEM Taxonomy. Global Earthquake Model. https://taxonomy.openquake.org /terms/soft-storey-sos#.

भूकंपरोधी इमारतें

अध्याय 12. एक अनिरन्तर (discontinuous) दीवार का संरचना प्रणाली पर प्रभाव

जिन मकानों में भूकंपीय बलों का प्रतिरोध करने के लिए मुख्य रूप से दीवारों का उपयोग होता है, उनके लिए ये ज़रूरी है कि दीवारें आधारशिला से ऊपर छत तक लगातार जाएँ। इस सिद्धांत का अनुपालन हर तरह की दीवार के लिए ज़रूरी है, वो चाहे प्रबलित कांक्रीट (reinforced concrete) की हो या फिर संकुचित चिनाई (confined masonry) की। ये सिद्धांत तब भी लागू होता है, जब कि दीवार ईंट की बनी हो, या फिर वो सिर्फ़ इनफिल (infill) की तरह उपयोग में आ रही हो। ये दीवारें काफी कठोर और मजबूत होती हैं। इस वजह से भूकंप के दौरान ये संरचना प्रणाली का हिस्सा बन जाती हैं।

अनिरन्तर (discontinuous) दीवारें मुख्यतः दो प्रकार की होती हैं। पहले प्रकार में दीवारें एक को छोड़ कर मकान की हर मंजिल में होती हैं (तस्वीर 1(a) देखें) । सामान्यतया सबसे नीचे की मंजिल खुली होती है। इस तरह की संरचना प्रणाली में कमजोर/लचीली मंजिल (soft story) होती है, जो भूकंप के दौरान काफी आसानी से क्षतिग्रस्त हो सकती है। कमजोर/लचीली मंजिल के संभावित दुष्प्रभावों की चर्चा अध्याय 11 में की गयी है।

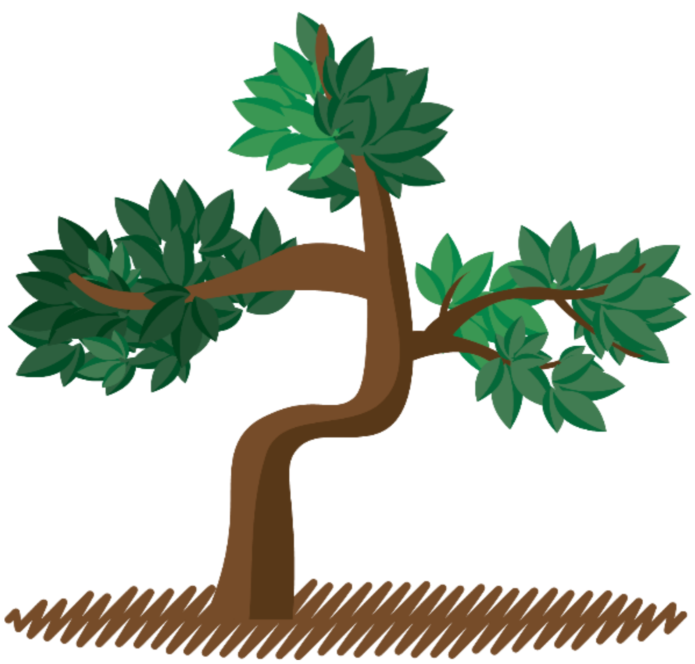


तस्वीर 1. दो तरह की अनिरन्तर (discontinuous) दीवारें। (a) सबसे निचली मंजिल में इनफिल (infill) दीवारें नहीं हैं, और (b) सबसे निचली मंजिल की दीवारें ऊपर की तुलना में थोड़ी खिसकी हुई हैं।

दूसरे तरह की अनिरन्तर (discontinuous) दीवारें अपने ऊपर की दीवारों से थोड़ी अलग स्थित होती हैं (तस्वीर 1(b) देखें)। इनफिल दीवारें हर मंजिल में हो सकती हैं, लेकिन सबसे निचली मंजिल में ये दीवारें मकान के अंदर की तरफ होती हैं। इस परिस्थिति में ऊपर की दीवारें नीचे की दीवारों से थोड़ी बाहर होती हैं, जैसा कि प्लान व्यू (plan view) में देखा जा सकता है (तस्वीर 2 देखें)। इस तरह के ओफ़्सेट (offset) की वजह से भूकंप के दौरान दीवार में क्षति आ सकती है। ये ओफ़्सेट एक पेड़ में किंक (kink) की तरह होते हैं (तस्वीर 3 देखें)। ऐसा पेड़ तेज हवाओं में टूट सकता है। एक संरचना प्रणाली के अंदर अचानक आने वाले बदलाव भूकंपरोधी क्षमता की दृष्टि से अच्छे नहीं होते हैं। तो इस समस्या का समाधान क्या है ?

ये सुनिश्चित करना ज़रूरी है कि ओफ़्सेट दीवार संरचना प्रणाली का हिस्सा नहीं है। मुख्य संरचना प्रणाली के हिस्सों में, जैसे कि बीम (beam) और स्तम्भ (columns), ओफ़्सेट दीवारों की लंबवत दिशा में आने वाले भूकंपीय बलों का प्रतिरोध करने की क्षमता होनी चाहिए। मकान की परिकल्पना के समय ही ओफ़्सेट दीवारों को ईंट की जगह अग्निरोधी और हल्की दीवारों (जैसे कि सीमेंट के पट (board)) से बनाना चाहिए। हालाँकि ऐसी दीवारों की भूकंपरोधी क्षमता काफी कम होगी। एक दूसरा तरीका ये है कि ओफ़्सेट दीवारों को मुख्य संरचना प्रणाली से अलग कर दिया जाए (अध्याय 10 देखें)।

तस्वीर 2. मकानों में ओफ़्सेट (offset) इनफिल (infill) दीवारें।



तस्वीर 3. पेड़ में एक किंक (kink) क्षेत्रीय (local) कमज़ोरी पैदा करता है।

इस लेख श्रृंखला के बारे में:

लेखों की इस श्रृंखला में भूकंपों और इमारतों पर उनके प्रभावों के बारे में चर्चा की गई है। मकानों को भूकंपरोधी बनाने के तरीकों को भी समझाया गया है। उम्मीद है कि इस किताब से मकान मालिकों और भवन निर्माण उद्योग से सम्बंधित नीति निर्धारकों, नियंत्रकों, और अभियंताओं को मदद मिलेगी। ये लेख मूलतः World Housing Encyclopedia (http://www.world-housing.net) के एंड्रयू चार्ल्सन और सहयोगियों द्वारा लिखे गए हैं। यह कार्य Earthquake Engineering Research Institute (https://www.eeri.org) और International Association of Earthquake Engineering (http://www.iaee.or.jp) द्वारा प्रायोजित है । इस लेख का हिंदी अनुवाद मनीष कुमार और जे. काव्य हर्षिता ने किया है।

References:

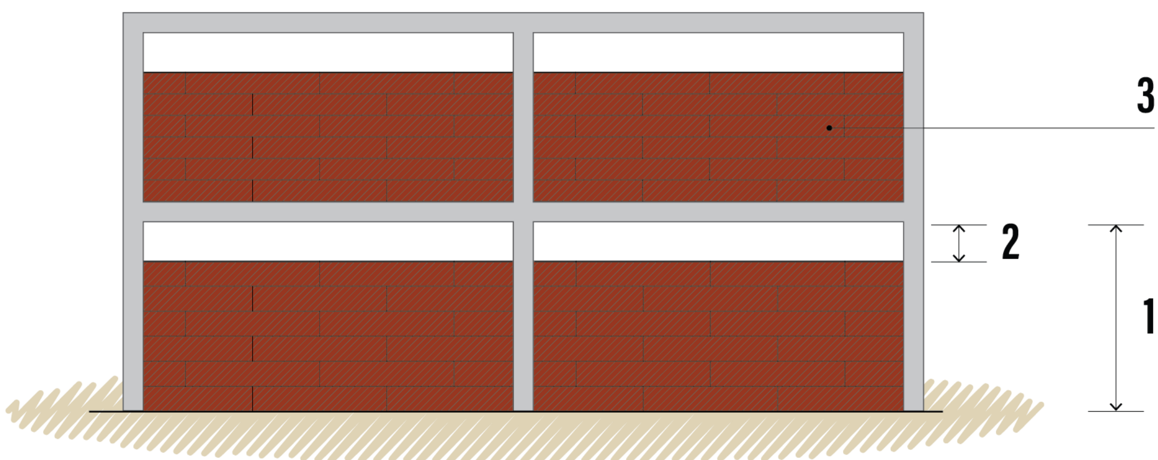
Charleson, A. W., 2008. Seismic design for architects: outwitting the quake. Oxford, Elsevier, pp. 151-153.

भूकंपरोधी इमारतें

अध्याय 13. एक लघु/अवरुद्ध स्तंभ (short column) का संरचना प्रणाली पर प्रभाव

जब एक मकान का वज़न उठाने की बात हो तो एक लम्बा स्तंभ (column) समस्या पैदा कर सकता है, ख़ासकर तब जब कि इसकी मोटाई और चौड़ाई कम हो (अर्थात, इसका क्रॉस-सेक्शन (cross-section) छोटा हो) । भूकंपरोधी क्षमता की दृष्टि से अवरुद्ध छोटी लम्बाई के स्तंभों की वजह से भी काफी समस्या हो सकती है। हालाँकि अवरुद्ध/लघु स्तंभ (short columns) खुली मंज़िल (open story) जितनी बड़ी समस्या नहीं पैदा करते, लेकिन अवरुद्ध/लघु स्तंभ वाले मकानों का प्रदर्शन भूकंप के दौरान अच्छा नहीं रहता है।

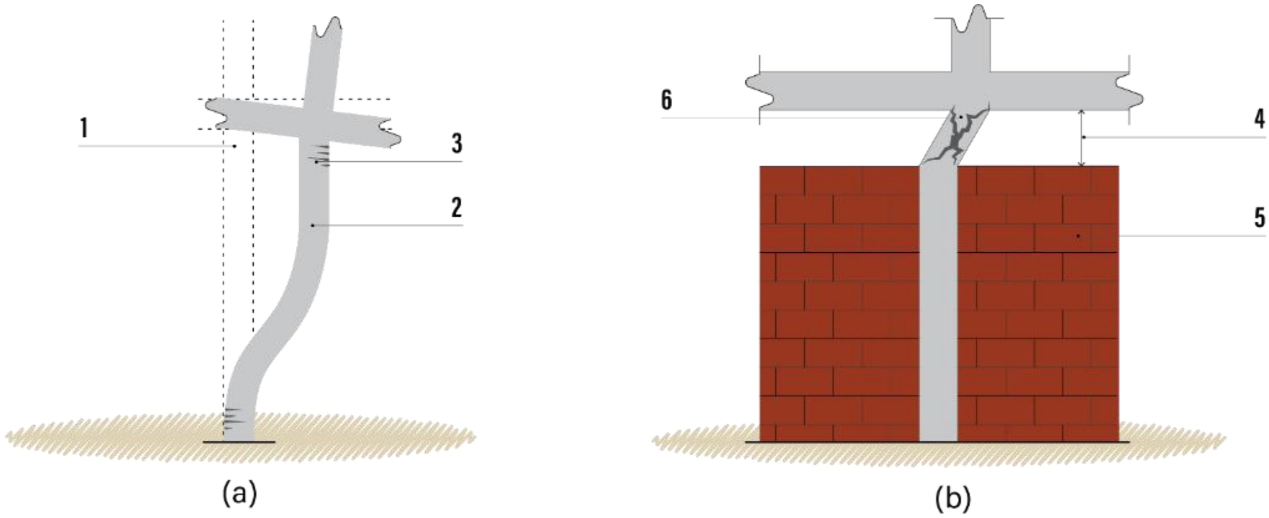
अवरुद्ध/लघु स्तंभ की स्थिति तब आती है जब एक फ्रेम के बीच की दीवार (infill wall) पूरी ऊंचाई तक नहीं जाती (तस्वीर 1 और 2 देखें) । अंग्रेज़ी में अवरुद्ध/लघु स्तंभ को कैप्टिव कॉलम (captive column) भी कह सकते हैं, क्यूँकि भूकंप के दौरान इन स्तंभों के कुछ हिस्सों में वलय (bending) दीवारों की वजह से अवरुद्ध होता है। इस वजह से स्तंभ में होने वाला अधिकांश वलय स्तंभ के एक छोटे हिस्से में ही सीमित होता है, जिसके कारण समस्या आती है!



तस्वीर 1. एक मकान के एक हिस्से की तस्वीर, जिसमें अवरुद्ध/लघु स्तंभ हैं। भूकंप के दौरान पूरी ऊँचाई (1) तक वलयित (bend) होने के बजाय वलय सिर्फ खिड़की (2) तक ही सीमित होता है। स्तम्भ के बाकी हिस्सों में ईंट की दीवारें (3) वलय का प्रतिरोध करती हैं।

सामान्य ऊँचाई के स्तंभ भूकंप के दौरान क्षैतिज (horizontal) दिशाओं में आराम से वलयित (bend) हो सकते हैं। इस दौरान स्तंभों में मामूली दरारें आ सकती हैं। दूसरी तरफ, जब एक स्तंभ में वलय दीवारों की वजह से आंशिक रूप से अवरुद्ध होता है तो जितनी वलय विकृति (bending deformation) पूरे स्तंभ में होनी चाहिए थी, वो बस उसके एक छोटे से हिस्से में ही सीमित रह जाती है। एक छोटे हिस्से में ज्यादा क्षैतिज विकृति की वजह से स्तंभ में संरचनात्मक क्षति होती है। इसके अलावा एक अवरुद्ध/लघु स्तंभ काफी कठोर होता है, जिसकी वजह से इसमें वलय कम हो पाता है और ये एक गाज़र की तरह कट जाता है। स्तम्भ में विकर्णीय (diagonal) दरारें उत्पन्न होती हैं और कांक्रीट क्षतिग्रस्त क्षेत्र से टूट कर गिर जाता है (तस्वीर 4 देखें) । मकान थोड़ा गिर जाता है और बाद में उसे ध्वस्त करना पड़ता है। इस तरह की क्षति की तस्वीरें इंटरनेट (internet) पर “short column effect” ढूँढ कर देखी जा सकती हैं।

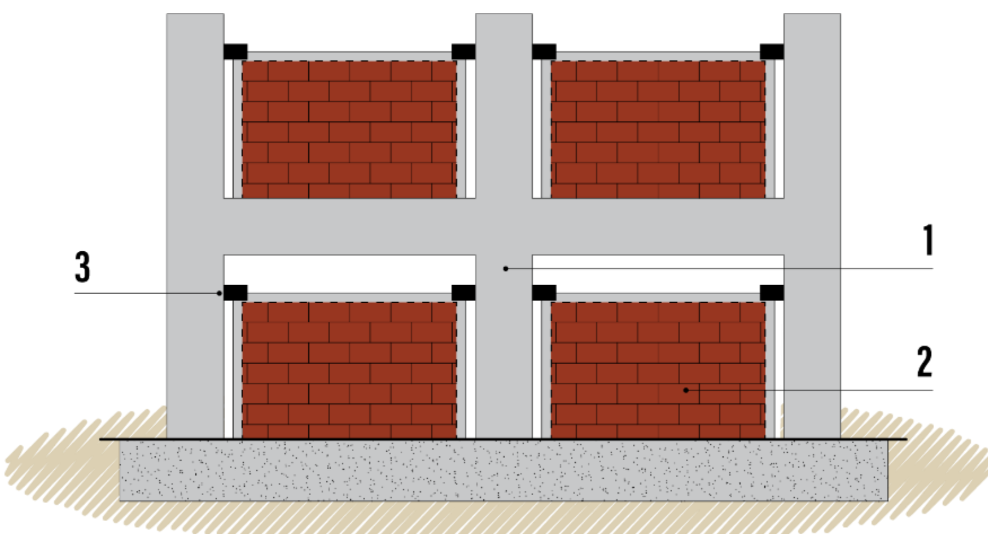
तस्वीर 2. सामान्य ऊँचाई के स्तंभ (column) आधी ऊँचाई की दीवारों की वजह से छोटे हो गए हैं। इसका प्रभाव इन स्तंभों की भूकंपरोधी क्षमता पर पड़ता है।



तस्वीर 3. (a) भूकंप के दौरान (1) सामान्य ऊँचाई का स्तंभ क्षैतिज दिशा में विस्थापन (2) के दौरान वलयित (bent) होता है। इस प्रक्रिया में स्तंभ में दरारें (3) उत्पन्न हो सकती हैं, लेकिन ये तब भी मजबूत रह सकता है। तस्वीर के भाग (b) में दीवार के ऊपर की खिड़की (4) और ईंट की दीवारों (5) की वजह से स्तंभ में गंभीर दरारों और क्षति को दर्शाया गया है।

तस्वीर 4. भूकंप में क्षतिग्रस्त अवरुद्ध/लघु स्तंभ ।

अवरुद्ध/लघु स्तंभ से बचाव के कई तरीके हैं। खिड़कियों की लम्बाई को कम किया जा सकता है जिससे कि इनके किनारे स्तंभों से काफ़ी दूर रहें। इसके अलावा दीवारों को हल्के और अग्निरोधी सामग्री, जैसे कि सीमेंट पट (cement board), से बनाया जा सकता है। ऐसी दीवारें स्तंभों को पूरी ऊंचाई तक सामान्य तरीके से वलयित (bend) होने से रोक नहीं पाएंगी। एक और तरीका ये हो सकता है कि दीवारों को स्तंभों से अलग कर दिया जाए। स्तंभ और दीवार के बीच की जगह को उचित तरीके से किसी मुलायम सामग्री (जैसे कि रबड़) का उपयोग कर के बंद किया जा सकता है। भूकंप के दौरान इस तरह की दीवारों को स्थायित्व प्रदान करने के लिए अलग से उपाय किए जाने चाहिए (तस्वीर 5 देखें) ।



तस्वीर 5. एक प्रबलित कांक्रीट (reinforced concrete) फ्रेम (frame) में संभावी अवरुद्ध/लघु स्तंभ (1) और टाई कॉलम (tie column) और टाई बीम (tie beam) द्वारा संकुचित (confined) ईंट की दीवारें। ईंट की दीवारें स्तंभों से अलग हैं, लेकिन ऊपरी कोने पर स्तंभों से स्टील के ब्रेकेट्स (brackets) के माध्यम से स्तंभ से जुडी हुई हैं (3) । इस प्रणाली में स्तंभों और दीवारों के बीच विस्थापन संभव है, और ये ब्रेकेट्स दीवारों को भूकंप के दौरान बाहर गिरने से भी रोकते हैं।

इस लेख श्रृंखला के बारे में:

लेखों की इस श्रृंखला में भूकंपों और इमारतों पर उनके प्रभावों के बारे में चर्चा की गई है। मकानों को भूकंपरोधी बनाने के तरीकों को भी समझाया गया है। उम्मीद है कि इस किताब से मकान मालिकों और भवन निर्माण उद्योग से सम्बंधित नीति निर्धारकों, नियंत्रकों, और अभियंताओं को मदद मिलेगी। ये लेख मूलतः World Housing Encyclopedia (http://www.world-housing.net) के एंड्रयू चार्ल्सन और सहयोगियों द्वारा लिखे गए हैं। यह कार्य Earthquake Engineering Research Institute (https://www.eeri.org) और International Association of Earthquake Engineering (http://www.iaee.or.jp) द्वारा प्रायोजित है । इस लेख का हिंदी अनुवाद मनीष कुमार और जे. काव्य हर्षिता ने किया है।

References:

Charleson, A. W., 2008. Seismic design for architects: outwitting the quake. Oxford, Elsevier, pp.148-151.

Murty, C. V. R., 2005. Why are Short Columns more Damaged During Earthquakes? Earthquake Tip 22. IITK-BMTPC "Learning earthquake design and construction", NICEE, India. http://www.iitk.ac.in/nicee/EQTips/EQTip17.pdf (accessed 5 May 2020).

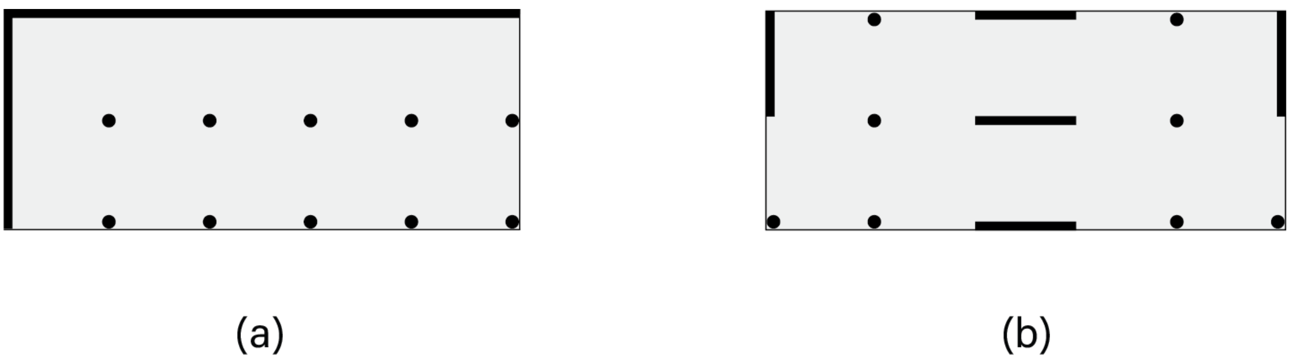
Short Column. Glossary for GEM Taxonomy. Global Earthquake Model. https://taxonomy.openquake.org/terms/short-column-shc.

Video: Captive column by Cale Ash, Academy of Earthquake Safety. https://www.youtube.com/watch?v=kRG3XwOvzuo.

भूकंपरोधी इमारतें

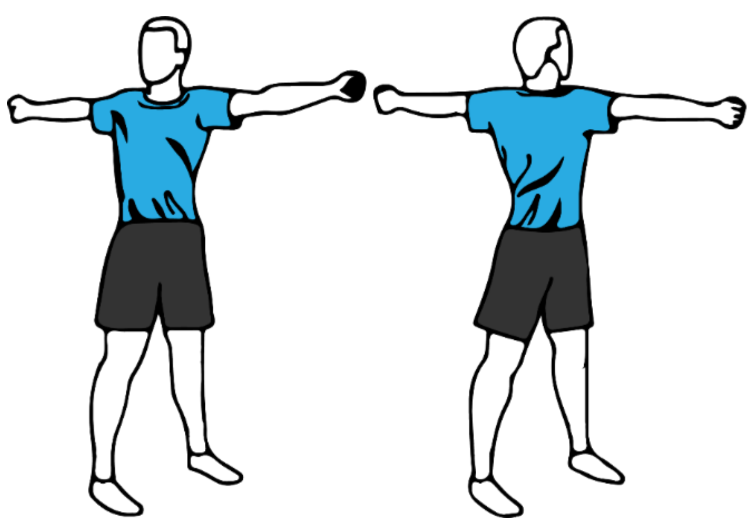
अध्याय 14. भूकंप के दौरान मकान में मरोड़ (twisting) से बचाव

भूकंप के दौरान हर मकान में कुछ हद तक मरोड़ (torsion/twisting) होते हैं । इस मरोड़ का मतलब है कि अगर एक मकान को ऊपर से देखा जाए तो ये अपनी मूल स्थिति की तुलना में थोड़ा घूम (rotate) जाता है । भूकंप के दौरान तो मकान में मरोड़ आते ही हैं । लेकिन इस मरोड़ का परिमाण काफी बढ़ जाता है अगर मकान में सममिति (symmetry) न हो (तस्वीर 1(a) देखें) ।



तस्वीर 1. दो मकानों के प्लान (plan) दर्शाए गए हैं। भाग (a) में दोनों क्षैतिज (horizontal) दिशाओं में भूकंप का प्रतिरोध एक-एक दीवार करती है। ये दीवार मकान के क्षेत्रफल की तुलना में सममित (symmetric) नहीं है, और इस वजह से इसमें भूकंप के दौरान काफी ज्यादा मरोड़ होगा। तस्वीर के भाग (b) में दोनों प्रमुख क्षैतिज दिशाओं में दीवारें सममित रूप से दी गयी हैं। इस मकान में भूकंप के दौरान मरोड़ लगभग नहीं होगा।

इस समस्या को समझने के लिए एक प्रयोग कर सकते हैं। अपने शरीर का उपयोग ये समझने के लिए कर सकते हैं कि मकान को कैसा अनुभव होता होगा। तो सबसे पहले सीधे खड़े हो के अपनी बाँहों को फैलाते हैं। फिर अपने सर और कन्धों को बारी-बारी से दोनों तरफ घुमाते हैं (तस्वीर 2 देखें)। आप अपने शरीर में मरोड़ का अनुभव कर सकते हैं।

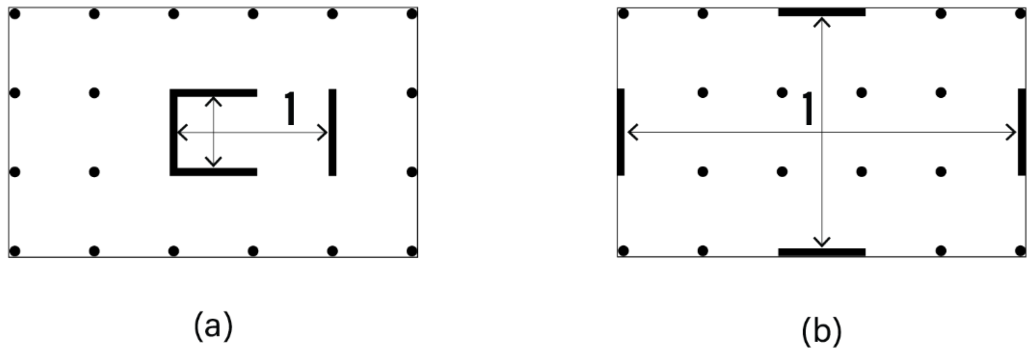


तस्वीर 2. अपने शरीर को घुमा के मरोड़ (twisting/torsion) का अनुभव करना।

एक जब आप अपने शरीर को घुमाते हैं, तो आप महसूस कर सकते हैं कि आपके हाथ कितने घूमे हैं (उदाहरण के तौर पर आपके कानों की तुलना में) । कहने का मतलब है कि आपके कान इस घुमाव के केंद्र (यानि कि सर) के पास हैं, जबकि आपकी उँगलियाँ इस केंद्र से दूर। इसलिए तस्वीर 2 वाले प्रयोग में आपके हाथों में आपके कान की तुलना में विस्थापन ज्यादा होता है। अब आप अपने शरीर की तुलना एक ऊँची इमारत से करें (तस्वीर 3 देखें) । इस इमारत में कांक्रीट (concrete) का बना एक केंद्र है और इसके आस पास एक फ्रेम संरचना है। कल्पना करें कि आपकी बाँहों की लम्बाई तक में उस मकान के कई सारे स्तम्भ (column) हैं। जब आप या वो मकान मुड़ते हैं, तो जो स्तम्भ केंद्र से ज्यादा दूर हैं उनमें तुलनात्मक ज्यादा विस्थापन होता है। इस प्रक्रिया में इन स्तम्भों को काफी क्षति पहुँचती है।

तस्वीर 3. एक प्रबलित कंक्रीट (reinforced concrete) के केंद्रीय ढाँचे वाली निर्माणाधीन इमारत।

सिविल अभियंताओं और शिल्पकारों के पास मकान में मरोड़ को नियंत्रित करने और स्तम्भों में क्षति कम करने के दो रास्ते हैं। सबसे पहला तरीका ये है कि भारवाहक (load-bearing) दीवारें, स्तम्भ और फ्रेम एक सममित रूप से पूरे मकान में हों (तस्वीर 1(b) देखें)। दूसरा तरीका ये है कि हर प्रमुख क्षैतिज (horizontal) दिशा में एक दूसरे से पर्याप्त दूरी पर कम से कम दो मजबूत दीवारें हों। अगर ये दीवारें मकान की परिधि पर हैं तो उससे मकान में भूकंप के दौरान होने वाले मरोड़ में काफ़ी कमी आ सकती है। इन तरीकों से स्तम्भों में अत्यधिक विस्थापन को रोका जा सकता है (तस्वीर 4 देखें)।



तस्वीर 4. दो मकानों के प्लान (plan) दर्शाए गए हैं । तस्वीर के भाग (a) में भूकंपरोधी दीवारें लगभग सममित (symmetric) रूप से दोनों दिशाओं में उपलब्ध कराई गयी हैं | हालाँकि ये दीवारें अपेक्षाकृत नजदीक (1) हैं । दूसरी तरफ भाग (b) में दीवारें सबसे ज्यादा दूरी (1) पर हैं, जिसकी वजह से मकानों में भूकंप के दौरान मरोड़ पर अच्छा नियंत्रण संभव होगा ।

इस लेख श्रृंखला के बारे में:

लेखों की इस श्रृंखला में भूकंपों और इमारतों पर उनके प्रभावों के बारे में चर्चा की गई है। मकानों को भूकंपरोधी बनाने के तरीकों को भी समझाया गया है। उम्मीद है कि इस किताब से मकान मालिकों और भवन निर्माण उद्योग से सम्बंधित नीति निर्धारकों, नियंत्रकों, और अभियंताओं को मदद मिलेगी। ये लेख मूलतः World Housing Encyclopedia (http://www.world-housing.net) के एंड्रयू चार्ल्सन और सहयोगियों द्वारा लिखे गए हैं। यह कार्य Earthquake Engineering Research Institute (https://www.eeri.org) और International Association of Earthquake Engineering (http://www.iaee.or.jp) द्वारा प्रायोजित है । इस लेख का हिंदी अनुवाद मनीष कुमार और जे. काव्य हर्षिता ने किया है।

References:

Charleson, A. W., 2008. Seismic design for architects: outwitting the quake. Oxford, Elsevier, pp. 128-132.

Murty, C. V. R., 2005. How Buildings Twist During Earthquakes?: Earthquake Tip 7. IITK-BMTPC “Learning earthquake design and construction”, NICEE, India. http://www.iitk.ac.in/nicee/EQTips/EQTip07.pdf (accessed 5 May 2020).

Torsion eccentricity. Glossary for GEM Taxonomy. Global Earthquake Model. https://taxonomy.openquake.org/terms/torsion-eccentricity-tor.

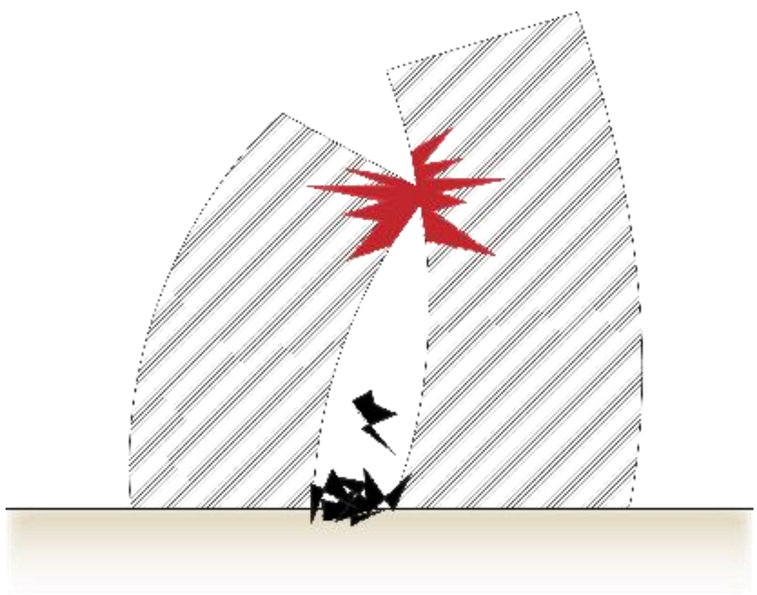
भूकंपरोधी इमारतें

अध्याय 15. भूकंप के दौरान मकान आपस में टकराते क्यों हैं?

कभी आपने लोगों से खचाखच भरे सार्वजनिक वाहनों (जैसे कि बस या रेलगाड़ी) में सफ़र किया है? आप बाकी लोगों के बगल में खड़े होते होंगे। जब बस या रेलगाड़ी अपनी गति या दिशा बदलती है, तो हर कोई हिलता है। इस दौरान आप अपने सहयात्री से टकरा जाते हैं।

कुछ ऐसा ही भूकंप के दौरान होता है। जब ज़मीन हिलती है तो मकान में विचलन (deformation) ज़मीन की तुलना में थोड़ा ज्यादा होता है। दूसरी बात ये है कि मकान हमेशा एक तरीके से नहीं हिलते हैं। एक भूकंप के दौरान एक मकान बाईं तरफ जा सकता है तो उसके बगल वाला मकान दाईं तरफ। ये सब भूकंप और उन मकानों की प्रकृति पर निर्भर करता है। सामान्य तौर पर भूकंप के दौरान ऊँचे मकानों में विचलन अपेक्षाकृत ज्यादा होता है।

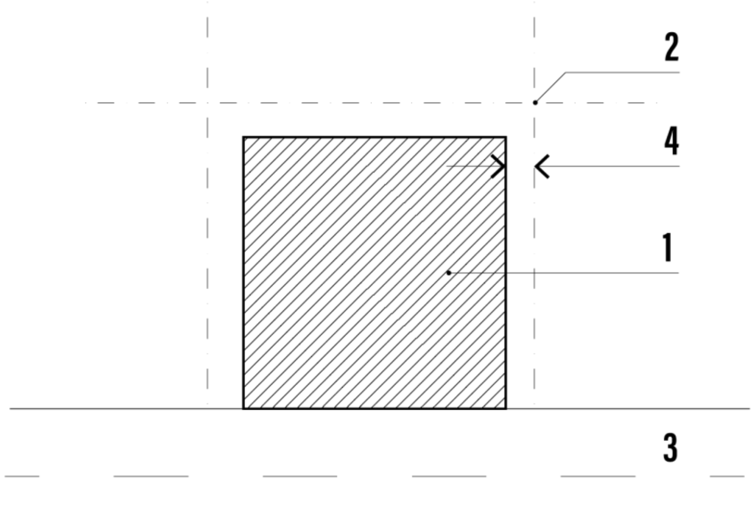
अगर मकान एक दूसरे के काफ़ी करीब बनाये गए हैं, तो स्वाभाविक है कि भूकंप के दौरान इनके आपस में टकराने की संभावना रहेगी। अगर दो मकान आपस में टकराते हैं, तो इससे क्षति भी हो सकती है (तस्वीर 1 और 2 देखें) । इंटरनेट (Internet) पर "earthquake building pounding" ढूँढ कर मकानों के आपस में टकराने की वजह से होने वाली क्षति की तस्वीरें देखी जा सकती हैं।



तस्वीर 1. दो मकानों के बीच अपर्याप्त जगह की वजह से भूकंप के दौरान ये आपस में टकरा रहे हैं।

मकानों को भूकंप के दौरान आपस में टकराने से रोकने का तरीका बड़ा सरल है। मकानों को अपने ज़मीन की सीमा में और अंदर ले जाना चाहिए। हालाँकि इसकी जरूरत उस सीमा पर नहीं होती जहाँ सड़क है। मकान के चारों तरफ इतनी ख़ाली जगह होनी चाहिए कि मकान भूकंप के दौरान अपनी ज़मीन की सीमा में ही रहे और पास के मकानों से ना टकराये (तस्वीर 3 देखें) । इस तरह के प्रावधान दुनिया के कई शहरों में देखने को मिलते हैं।

तस्वीर 2. दो मकानों में भूकंप के दौरान टकराव हुआ है, जिसमें एक में क्षति तुलनात्मक रूप से ज्यादा हुई है।



तस्वीर 3. एक मकान का प्लान व्यू (plan view) (1) जो कि ज़मीन की सीमाओं (2) के भीतर और एक सड़क (3) के पास है। मकान तीन किनारों से थोड़ी दूरी (seismic gap) (4) पर बना है।

दो मकानों के बीच की इस दूरी को प्रायः भूकंपीय अंतर (seismic separation gap) कहा जाता है। सवाल ये है कि ये दूरी कितनी होनी चाहिए। ये अंतर मकान की ऊंचाई और उसके लचीलेपन पर निर्भर करता है। काफी ज्यादा लचीले मकानों के लिए भूकंपीय संहिताओं (codes) में ये अंतर मकान की ऊंचाई का 2% तक रखने के प्रावधान होते हैं। इस प्रकार एक चार मंजिले मकान के लिए ये अंतर 240 mm का होगा। इससे कम अंतर देना भी संभव होगा अगर मकान को कुछ कम लचीला बनाया जाए, जो कि ज्यादा स्तम्भ या दीवारों के माध्यम

से किया जा सकता है। जब मकान काफी नजदीक होते हैं तो इस अंतर को एक मुलायम पदार्थ से भरा जा सकता है (तस्वीरें 4 और 5 देखें)।

तस्वीर 4. दो मकानों के बीच अंतर (seismic separation gap) में एक मुलायम पदार्थ।

तस्वीर 5. तस्वीर 4 के मुलायम पदार्थ का नजदीक से एक दृश्य।

अगर मकानों के बीच का अंतर कम है तो भूकंप के दौरान दो मकानों के बीच टकराव को रोकना काफी मुश्किल है। अगर इन मकानों के तल (floors) एक ही ऊंचाई पर हैं तो क्षति की संभावना थोड़ी कम होती है। वहीं दूसरी तरफ क्षति ज्यादा होती है अगर एक मकान के तल दूसरे मकान के स्तम्भों (columns) से टकराते हैं। इसका एक समाधान ये है कि परिधि पर के स्तम्भों के पास मकान के अंदर एक अतिरिक्त स्तंभ बनाया जाए।

इस लेख श्रृंखला के बारे में:

लेखों की इस श्रृंखला में भूकंपों और इमारतों पर उनके प्रभावों के बारे में चर्चा की गई है। मकानों को भूकंपरोधी बनाने के तरीकों को भी समझाया गया है। उम्मीद है कि इस किताब से मकान मालिकों और भवन निर्माण उद्योग से सम्बंधित नीति निर्धारकों, नियंत्रकों, और अभियंताओं को मदद मिलेगी। ये लेख मूलतः World Housing Encyclopedia (http://www.world-housing.net) के एंड्रयू चार्ल्सन और सहयोगियों द्वारा लिखे गए हैं। यह कार्य Earthquake Engineering Research Institute (https://www.eeri.org) और International Association of Earthquake Engineering (http://www.iaee.or.jp) द्वारा प्रायोजित है । इस लेख का हिंदी अनुवाद मनीष कुमार और जे. काव्य हर्षिता ने किया है।

References:

Charleson, A. W., 2008. Seismic design for architects: outwitting the quake. Oxford, Elsevier, pp. 137-139.

Pounding potential. Glossary for GEM Taxonomy. Global Earthquake Model. https://taxonomy.openquake.org/terms/pounding-potential-pop.

भूकंपरोधी इमारतें

अध्याय 16. भवन निर्माण संहिताएं और मानक

भवन निर्माण के लिए संहिताओं (codes) और मानकों (standards) का पहला उद्देश्य होता है कि मकान सुरक्षित रहें । इसके अलावा इन दस्तावेज़ों के सही उपयोग से मकान में होने वाली कमियों (जैसे कि मकान के जीवन काल में बीम (beam) में अत्यधिक विकृति) से बचा जा सकता है, और इससे मकान में उपयोग होने वाली सामग्रियों का उपयोग भी एक प्रभावी तरीके से किया जा सकता है। संहिताएं और मानक आम तौर पर विश्वविद्यालयों के प्राध्यापकों एवं शोधकर्ताओं, प्रतिष्ठित अभियंताओं, सरकारी विभागों के उच्चाधिकारियों एवं मकान निर्माताओं द्वारा सामूहिक रूप से तैयार किए जाते हैं । ये लोग बाहर की संहिताओं और मानकों में होने वाले बदलावों पर भी नज़र रखते हैं। अगर ये बदलाव स्थानीय परिस्थितियों के अनुकूल हों, तो उन्हें संहिताओं और मानकों में सम्मिलित कर लिया जाता है। जब ये दस्तावेज़ छप जाते हैं, तो इनको टिकाऊ और आर्थिक रूप से प्रभावी निर्माण के लिए नवीनतम दिशानिर्देशों के रूप में देखा जा सकता है।

तस्वीर 1. एक प्रयोगशाला में प्रबलित कंक्रीट (reinforced concrete) से बने स्तंभों (columns) और बीम्स (beams) का परीक्षण।

हर उद्योग की तरह निर्माण उद्योग में भी समय समय पर बदलाव होते रहते हैं। नई सामग्रियां, निर्माण की नई तकनीकें और डिज़ाइन (design) के नए तरीक़े लगातार विकसित किए जाते हैं। भवन निर्माता और शोधकर्ता लगातार नवोन्मेष (innovation) करते रहते हैं। इसका मतलब है कि संहिताओं और मानकों का नवीनीकरण लगातार होना चाहिए। ऐसा नहीं होने से मकान असुरक्षित और ज्यादा ख़र्चीले हो सकते हैं।

संहिताएं श्रेष्ठतम निर्माण पद्धतियों को स्थापित करती हैं। इन संहिताओं का उपयोग आपकी और आपके समुदाय की सुरक्षा के लिए आवश्यक है। ऐसा नहीं करने के काफी गंभीर परिणाम हो सकते हैं। उदाहरण के तौर पर अगर एक डॉक्टर आपकी समुचित जाँच (जैसे कि रक्त चाप, एक्सरे) न कराये तो आपके रोग की पहचान ग़लत हो सकती है। इस परिस्थिति में आपको गलत दवाइयाँ पड़ सकती हैं, जो कि आपकी बीमारी में प्रभावी नहीं होंगी और आपकी बीमारी और भी बढ़ेगी। संहिताएँ और मानक आपका सहारा बनते हैं।

तस्वीर 2. इस मकान में पूर्वप्रतिबलित कांक्रीट (prestressed concrete) का नए तरीके से इस्तेमाल हुआ है।

संहिताओं का अनुपालन करना मुश्किल परिस्थितियों में सबसे ज़्यादा ज़रूरी होता है, खासकर तब जब कि व्यक्तिगत जानकारी और अनुभव सीमित हो। भूकंपरोधी मकानों का डिज़ाइन एवं निर्माण ऐसी ही एक परिस्थिति है। किसी शिल्पकार, अभियंता या भवन निर्माता ने शायद व्यक्तिगत रूप से नहीं देखा है कि भूकंप के दौरान मकानों में क्या होता है, और कैसे क्षति धीरे-धीरे बढ़ती जाती है और अंत में मकान धराशायी हो जाता है। न ही अधिकांश भवन निर्माताओं ने प्रयोगशालाओं में स्तंभों, बीम्स और मकानों पर होने वाले अन्वेषणों को देखा है, जिसमें भूकंप के दौरान अलग-अलग संरचना प्रणालियों के प्रदर्शन का परीक्षण होता है। संहिताएँ लोगों के व्यक्तिगत अनुभव, जानकारी और बुद्धिमत्ता की सीमाओं की दृष्टि से काफ़ी उपयोगी साबित हो सकती हैं । संहिताओं का अनुपालन सुरक्षित निर्माण का एक मात्र तरीका है।

संहिताओं में मकान के डिज़ाइन और निर्माण के अलग-अलग स्तरों से जुड़े दिशानिर्देश होते हैं (तस्वीर 3 देखें)। सिविल अभियंताओं और शिल्पकारों को डिज़ाइन एवं निर्माण के दौरान संहिताओं और मकानों का उपयोग अनिवार्य रूप से करना चाहिए। भवन निर्माताओं को ये सुनिश्चित करना चाहिए कि निर्माण सामग्री और निर्माण के तरीके भी मानकों के अनुरूप हैं। मानकों का अनुपालन करना आपके हित में हैं। अगर इसमें कोई त्रुटि रह जाती है तो आपका मकान भूकंप के दौरान शायद सुरक्षित नहीं होगा। संहिताओं और मानकों में दिए दिशानिर्देशों का अनुपालन हर हाल में होना चाहिए।

तस्वीर 3. एक निर्माणाधीन मकान की आधारशिला । अभियंताओं ने संहिताओं का उपयोग प्रबलन (reinforcing) स्टील के परिमाण और उनकी सही जगह तय करने के लिए किया है।

इस लेख श्रृंखला के बारे में:

लेखों की इस श्रृंखला में भूकंपों और इमारतों पर उनके प्रभावों के बारे में चर्चा की गई है। मकानों को भूकंपरोधी बनाने के तरीकों को भी समझाया गया है। उम्मीद है कि इस किताब से मकान मालिकों और भवन निर्माण उद्योग से सम्बंधित नीति निर्धारकों, नियंत्रकों, और अभियंताओं को मदद मिलेगी। ये लेख मूलतः World Housing Encyclopedia (http://www.world-housing.net) के एंड्रयू चार्ल्सन और सहयोगियों द्वारा लिखे गए हैं। यह कार्य Earthquake Engineering Research Institute (https://www.eeri.org) और International Association of Earthquake Engineering (http://www.iaee.or.jp) द्वारा प्रायोजित है । इस लेख का हिंदी अनुवाद मनीष कुमार और जे. काव्य हर्षिता ने किया है।

भूकंपरोधी इमारतें

अध्याय 17. मकान से सम्बंधित नियमों (regulations) की प्रमुख बातें

मकानों से जुड़े नियम (regulations) संहिताओं (codes) और मानकों (standards) द्वारा स्थापित होते हैं। इनका पालन करना हमारी सुरक्षा के लिए जरूरी होता है, और इससे मकानों का एक सुरक्षित और स्वस्थ तंत्र (network) बनाया जा सकता है। उदाहरण के तौर पर एक समुदाय में मकानों का इस्तेमाल घर, अस्पताल, विद्यालय, दुकानों इत्यादि के लिए होता है, और इसके सफल संचालन के लिए हर मकान का सुरक्षित होना जरूरी होता है। मकानों से जुड़े नियमों का पालन कर के मकानों को भूकंप से सुरक्षित बनाया जा सकता है।

तो मकानों से जुड़े नियमों में क्या होना चाहिए? इन नियमों को भूकंपरोधी क्षमता बढ़ाने की दिशा में किस तरह से प्रभावी बनाया जा सकता है? इसके लिए निम्नलिखित पाँच सुझाव हैं:

1. **सामाजिक परिस्थितियों और अपेक्षाओं को परिलक्षित करना:** मकानों से जुड़े नियम समाज के हिसाब से होने चाहिए, और इसमें सांस्कृतिक एवं आर्थिक परिस्थितियों का ध्यान रखा जाना चाहिए। इसके अलावा समाज की अपेक्षाएं भी परिलक्षित होनी चाहिए (तस्वीर 1 देखें) । कम आमदनी वाले देशों के नियम ज्यादा आमदनी वाले देशों की तरह नहीं हो सकते। एक व्यापक चर्चा के आधार पर नियामकों को स्थानीय परिस्थितियों के अनुकूल और आर्थिक रूप से किफ़ायती बनाया जाना चाहिए। ये भी ज़रूरी है कि संहिताओं में स्थानीय निर्माण के तरीकों को शामिल किया जाए। कई बार इस तरह के निर्माण व्यक्तिगत स्तर पर बिना अभियंताओं की मदद के किए जाते है। ऐसे मकान परंपरागत भी हो सकते हैं। कई बार ऐसे मकान खण्डों में भी बनाये जाते हैं (तस्वीर 2 देखें)।

तस्वीर 1. लोग ऐसे मकानों में रहना चाहते हैं जो भूकंप के दौरान सुरक्षित हों।

तस्वीर 2. संहिताएं और उनका अनुपालन इस तरह के मकानों को भूकंप के दौरान सुरक्षित रखने के लिए जरूरी है ।

2. **निष्पक्षता:** ये बेहद जरूरी है कि संहिताएं हर पक्ष के दृष्टिकोण समुचित रूप से समाहित करें । ऐसा नहीं होना चाहिए कि कोई एक समूह या उत्पादक उन नियमों से नाजायज़ लाभ उठाये।

3. **दस्तावेज़ों का सरलता से उपलब्ध होना एवं स्पष्ट भाषा का प्रयोग:** मकानों से जुड़े नियम आसानी से सभी सम्बद्ध लोगों और समूहों को (जैसे कि सिविल अभियंता, शिल्पकार, भवन निर्माता) उपलब्ध होने चाहिए। इन दस्तावेज़ों का इस्तेमाल प्रशिक्षण के लिए भी ज़रूरी है। इन दस्तावेज़ों को इंटरनेट (internet) पर भी उपलब्ध कराया जा सकता है। इन नियमों की भाषा और उनके अर्थ काफी स्पष्ट होने चाहिए, और पाठकों को आसानी से समझ में आने चाहिए। इन नियमों का पारदर्शी होना काफी ज़रूरी है।

4. **बदलती परिस्थितियों एवं नयी जानकारियों को समाहित करना:** हालाँकि भवन निर्माण उद्योग में बदलाव काफी धीरे होते हैं (अगर इनकी तुलना IT जैसे उद्योगों से की जाए तो), मकानों से जुड़े नियमों का सामयिक बना रहना ज़रूरी है। ऐसा नहीं होने से नए अनुसंधान करने की संभावना कम हो जाती है, और निर्माण के ज्यादा अच्छे और किफ़ायती तरीके व्यवहार में नहीं आ पाते हैं। निर्माण के असुरक्षित तरीकों में भी लगातार सुधार लाना जरूरी है जो कि मकान बनाने से जुड़े नियमों (regulations) के माध्यम से किया जा सकता है (तस्वीर 3 देखें) । ये नियम एक समय पर उपलब्ध तकनीकी ज्ञान, और भवन निर्माण उद्योग की क्षमताओं और व्यवहार के हिसाब से बनाये जाने ज़रूरी हैं।

तस्वीर 3. मकानों से जुड़े नियमों में नयी सामग्रियों के उपयोग के लिए सुरक्षित और व्यावहारिक तरीके बताये जा सकते हैं। उदाहरण के तौर पर तस्वीर में कम वज़न की ईंटें देखें।

5. **व्यापक नियामक प्रक्रिया से सामंजस्य:** मकानों से जुड़े नियमों के अनुपालन के लिए कानूनी और प्रशासनिक व्यवस्था का होना ज़रूरी है। इन नियमों को प्रभाव में लाने के लिए समुचित जानकारी और प्रवर्तन (enforcement) ज़रूरी है। सारे सम्बद्ध समूहों (जैसे कि मकान निर्माता, मकान मालिक, प्रशासक, अभियंता) के ज्ञानवर्द्धन के लिए हर स्तर पर भवन निर्माण उद्योग से जुड़े एवं अन्य विशेषज्ञों की मदद ली जा सकती है। सरकारी विभागों की मदद भी ली जा सकती है, लेकिन उनकी प्राथमिक भूमिका नियमों के किफ़ायती और पारदर्शी तरीके से अनुपालन कराने में है।

इस लेख श्रृंखला के बारे में:

लेखों की इस श्रृंखला में भूकंपों और इमारतों पर उनके प्रभावों के बारे में चर्चा की गई है। मकानों को भूकंपरोधी बनाने के तरीकों को भी समझाया गया है। उम्मीद है कि इस किताब से मकान मालिकों और भवन निर्माण उद्योग से सम्बंधित नीति निर्धारकों, नियंत्रकों, और अभियंताओं को मदद मिलेगी। ये लेख मूलतः World Housing Encyclopedia (http://www.world-housing.net) के एंड्रयू चार्ल्सन और सहयोगियों द्वारा लिखे गए हैं। यह कार्य Earthquake Engineering Research Institute (https://www.eeri.org) और International Association of Earthquake Engineering (http://www.iaee.or.jp) द्वारा प्रायोजित है । इस लेख का हिंदी अनुवाद मनीष कुमार और जे. काव्य हर्षिता ने किया है।

References:

Hoover, C. A. and Greene, M. eds, 1996. Construction quality, Education, and Seismic Safety. EERI, Oakland, U.S.A., 68pp.

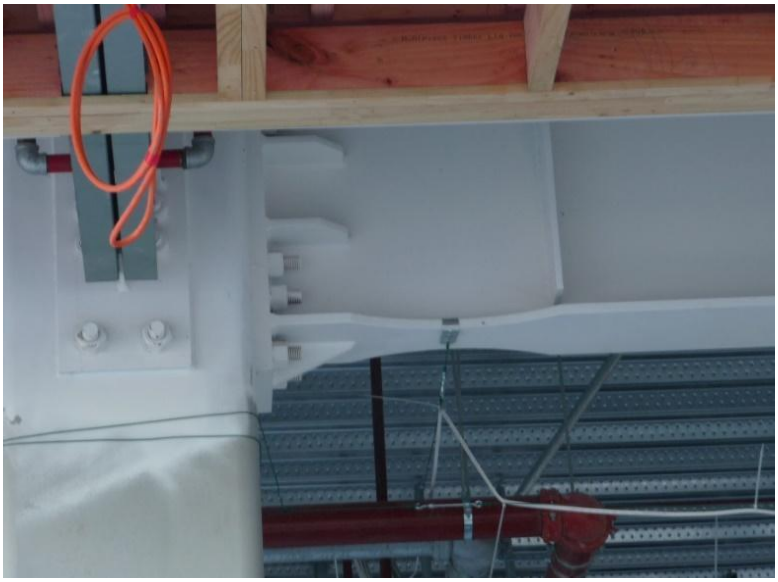
Moullier, T., 2015. Building regulation for resilience: managing risks for safer cities. Word Bank Group and GFDRR, Washington, U.S.A. 136 pp. https://www.preventionweb.net/publications /view/48493 (accessed 23 April 2020).

भूकंपरोधी इमारतें

अध्याय 18. संहिताओं (codes) के अनुसार बने मकानों के फ़ायदे और सीमाएँ

भूकंप से सुरक्षा के लिए एक मकान की तकनीकी परिकल्पना या डिज़ाइन (design) एवं निर्माण स्थानीय संहिताओं (codes) के अनुसार होना ज़रूरी है। अगर ऐसा नहीं होता है, तो मकान मध्यम या बड़े भूकंपों के दौरान क्षतिग्रस्त या धराशायी हो सकते हैं। ध्यान देने वाली बात ये है कि संहिताओं के आधार पर बने मकानों में भी भूकंप के दौरान काफी क्षति हो सकती है। इसके कई कारण हैं, जिन्हें आगे समझाया गया है।

संहिताओं के अनुरूप बने मकानों में भूकंप के दौरान होने वाली क्षति का पहला कारण है कि संहिताएँ न्यूनतम मानक तय करती हैं। ऐसे मकान भूकंपरोधी (earthquake-resistant) हो सकते हैं, लेकिन भूकंप-प्रमाणित (earthquake-proof) नहीं। संहिताओं को तैयार करने वाले विशेषज्ञ ऐसा मानते हैं कि भूकंपरोधी क्षमता को बहुत ज्यादा बढ़ाना आर्थिक रूप से संभव नहीं हो पायेगा। इसीलिए एक मकान की तकनीकी परिकल्पना सबसे भीषण भूकंप के अनुसार नहीं की जाती है। मकान के जीवन काल में ऐसे भूकंपों के आने की संभावना काफ़ी कम होती है। इसलिए सामान्य तौर पर मकानों की डिज़ाइन का आधार तुलनात्मक एक छोटा भूकंप होता है - जैसे कि वैसा भूकंप जिसकी सम्भावना 50 वर्षों (एक औसत मकान की जीवन सीमा) में 10% हो। एक तरह से देखा जाए तो संहिताओं का प्राथमिक उद्देश्य लोगों का जीवन बचाना है, न कि मकान की सुरक्षा । इसका मतलब है कि एक बड़े भूकंप के दौरान संहिताओं के हिसाब से बनाये गए मकान धराशायी नहीं होंगे, लेकिन उनमें गंभीर क्षति हो सकती है जिसकी मरम्मत करना काफी ख़र्चीला भी हो सकता है।



तस्वीर 1. एक निर्माणाधीन मकान में बाएँ हिस्से पर एक स्तंभ दर्शाया गया है और स्टील की एक बीम इस स्तंभ से जुड़ी है। ध्यान दीजिये कि बीम की निचली प्लेट (flange) चौड़ाई में छोटी कर दी गयी है। इसी कमजोर क्षेत्र में भूकंप के दौरान संरचनात्मक फ्यूज़ (structural fuse) बनेगा। इस हिस्से में स्टील में काफी विकृति आ सकती है, लेकिन ये टूटेगा नहीं।

एक छोटे भूकंप को आधार बनाकर डिज़ाइन करने के अलावा संहिताओं के अनुसार एक मकान का डिज़ाइन भूकंपीय बल सम्भावी भूकंपीय बलों से काफी कम होता है । इसका मतलब है कि डिज़ाइन भूकंपीय परिस्थिति में मकानों के स्तंभ (columns), बीम्स (beams) और दीवारों में क्षति तो आ सकती है, लेकिन वो अचानक से टूट के धराशायी नहीं होने चाहिए । अभियंता कई बार संरचनात्मक फ्यूज़ (structural fuse) की बातें करते हैं, खासकर बीम में (तस्वीर 1 देखें) । जिस प्रकार एक विद्युत् परिपथ (circuit) में फ्यूज़ नाज़ुक

विद्युतीय यंत्रों एवं मशीनों की सुरक्षा करता है, उसी प्रकार कम महत्त्वपूर्ण हिस्से (जैसे कि बीम) में उपस्थित संरचनात्मक फ्यूज़ मकान के ज्यादा महत्त्वपूर्ण हिस्सों (जैसे कि स्तंभ) की सुरक्षा करते हैं। अगर मकानों की तकनीकी कल्पना एवं निर्माण ऐसा हो जिससे मकानों में कोई क्षति न हो, तो उन मकानों को लगभग पाँच गुणा ज़्यादा मजबूत होना होगा। इसका अर्थ ये होगा कि मकान के स्तंभ और बीम अपने सामान्य आकार से काफ़ी ज्यादा बड़े होंगे।

संहिताओं के अनुसार बनने के बावज़ूद मकानों में भूकंप के दौरान होने वाली क्षति का तीसरा कारण आवरण (cladding) एवं विभाजक (partition) दीवारों में होने वाली क्षति है। इसके अलावा कमरों के अंदर सामानों और मशीनों को भी क्षति पहुँच सकती है। भूकंप के दौरान तल (floors) क्षैतिज (horizontal) दिशाओं में हिलते हैं। इस वजह से ईंट की दीवारों में क्षति हो सकती है। इसके अलावा छोटे-छोटे सामान भी इधर-उधर छिटक सकते हैं (तस्वीर 2 देखें) ।

तस्वीर 2. अगर डिज़ाइन सही तरीके से न की गयी हो, तो भूकंप के दौरान मकानों के भीतर ईंट की दीवारों में काफी क्षति हो सकती है ।

संहिताएँ बड़े भूकंपों की संभावनाओं एवं इसके आधार पर होने वाली डिज़ाइन और निर्माण पर होने वाले ख़र्च के बीच संतुलन बनाने की कोशिश करती हैं। ये संहिताएँ मकान के प्रकार के अनुसार न्यूनतम मानक तय करती हैं। उदाहरण के तौर पर, एक अस्पताल की संरचनात्मक क्षमता एक कार्यालय भवन की तुलना में ज्यादा होती है। चूँकि संहिताएँ न्यूनतम मानक ही तय करती हैं, एक मकान मालिक अपने मकान को भूकंप के दौरान एक ज्यादा बेहतर प्रदर्शन के लिए बनवा सकते हैं। इस तरह संरचनात्मक प्रणाली थोड़ी ज्यादा मजबूत होगी। या फिर इन मकानों में विशेष भूकंपरोधी यंत्रों, जैसे कि भूकंपीय पृथक्करण (seismic isolation), का इस्तेमाल किया जा सकता है (अध्याय 23 देखें) । भारत में इस तकनीक का इस्तेमाल कई मकानों में किया गया है, और धीरे-धीरे इसका इस्तेमाल बढ़ता ही जा रहा है। इस तकनीक से बने मकान थोड़े ज्यादा ख़र्चीले हो सकते हैं । लेकिन, ऐसे मकानों की ख़ासियत ये होती है कि इनमें क्षति काफ़ी कम होती है और भूकंप के तुरंत बाद ही इन मकानों में रोज़मर्रा के काम वापस शुरू किये जा सकते हैं । इस तरह के मकानों के लिए भूकंप के दौरान होने वाली गंभीर क्षति का बीमा करवाना भी संभव हो पायेगा।

तस्वीर 3. बिहार के पटना में भूकंपीय पृथक्करण (seismic isolation) तकनीक से बना पुलिस मुख्यालय (source: https://www.jagran.com/bihar/patna-city-bihar-police-hq-shifted-in-its-new-hightech-building-know-its-specialities-jagran-special-18522551.html)

तस्वीर 4. एक वृत्ताकार (circular) रबड़ बेयरिंग (bearing) में कई सारे पतले स्टील प्लेट होते हैं। हर प्लेट के ऊपर और नीचे रबड़ की पट्टी होती है। इस तरह के उपकरण मकान में हर स्तंभ के नीचे डाल कर मकान को भूकंप से क्षैतिज (horizontal) दिशाओं में पृथक (isolate) किया जा सकता है।

इस लेख श्रृंखला के बारे में:

लेखों की इस श्रृंखला में भूकंपों और इमारतों पर उनके प्रभावों के बारे में चर्चा की गई है। मकानों को भूकंपरोधी बनाने के तरीकों को भी समझाया गया है। उम्मीद है कि इस किताब से मकान मालिकों और भवन निर्माण उद्योग से सम्बंधित नीति निर्धारकों, नियंत्रकों, और अभियंताओं को मदद मिलेगी। ये लेख मूलतः World Housing Encyclopedia (http://www.world-housing.net) के एंड्रयू चार्ल्सन और सहयोगियों द्वारा लिखे गए हैं। यह कार्य Earthquake Engineering Research Institute (https://www.eeri.org) और International Association of Earthquake Engineering (http://www.iaee.or.jp) द्वारा प्रायोजित है । इस लेख का हिंदी अनुवाद मनीष कुमार और जे. काव्य हर्षिता ने किया है।

भूकंपरोधी इमारतें

अध्याय 19. मकानों की संरचनात्मक परिकल्पना (design) के दौरान समीक्षा का महत्त्व

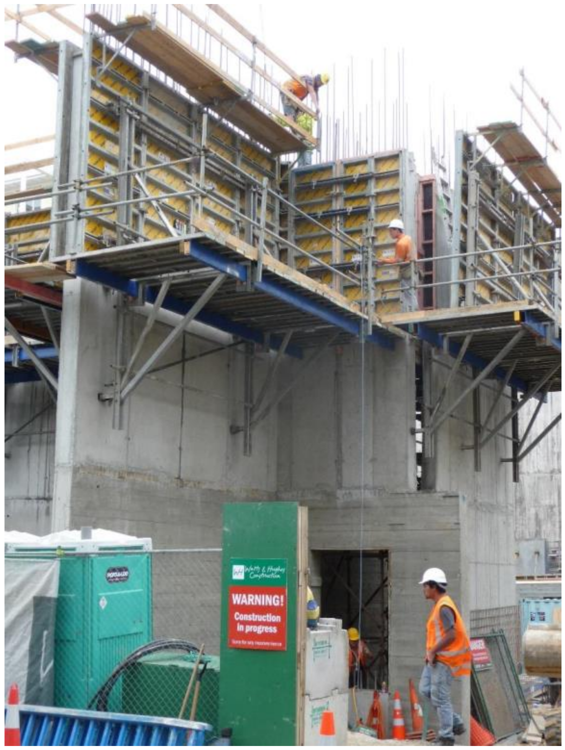
लोगों से ग़लतियाँ होती हैं। अधिकांश ग़लतियों के परिणाम ज़्यादा गंभीर नहीं होते हैं, लेकिन कुछ ग़लतियों के ज़रूर होते हैं। इन ग़लतियों के कई कारण होते हैं। ये ग़लतियाँ अनजाने में हो सकती हैं, जैसे कि ध्यान, एकाग्रता अथवा जानकारी के अभाव में। कुछ ग़लतियाँ जान-बूझ कर भी की जाती हैं। कई बार लोग आर्थिक बचत या फ़ायदे के लिए अनुचित रास्ता (shortcut) लेते हैं और योजनाओं का अनुपालन सही तरीके से नहीं करते हैं। भवन निर्माण उद्योग में होने वाली ग़लतियों से लोगों का जीवन ख़तरे में पड़ सकता है, ख़ासकर बड़े भूकंप के दौरान । तकनीकी परिकल्पना अथवा डिज़ाइन (design) या निर्माण के समय इन ग़लतियों का पता आसानी से नहीं चल पाता है। लेकिन इन ग़लतियों की वजह से ये तय हो सकता है कि मकान खड़ा रहेगा या फिर धराशायी हो जाएगा (तस्वीर 1 देखें) ।

तस्वीर 1. अगर कई सारी स्टील की छड़ें प्रबलित कंक्रीट (reinforced concrete) की दीवार में न हों तो गंभीर क्षति हो सकती है।

कई औद्योगिक प्रतिष्ठान ऐसी दिक्कतों से बचने तथा सुरक्षा बढ़ाने के लिए समीक्षाओं की एक व्यापक प्रक्रिया का अनुपालन करते हैं। वैमानिकी उद्योग इसका अच्छा उदाहरण है। आप अगर सह विमान परिचालक का कार्य विवरण पढ़ें तो देखेंगे की जाँच (check) करना उनके काम का एक बड़ा हिस्सा होता है। उड़ान से सम्बंधित ऐसे कई पहलू होते हैं जिनकी जाँच जरूरी होती है। अगर एक पहलू, जैसे कि ईंधन, की जाँच छूट गयी तो इसके परिणाम भयंकर हो सकते हैं। इसलिए जाँच सूचियाँ (checklists) सुरक्षा के लिहाज से काफ़ी महत्त्वपूर्ण होती हैं।

हम में से किसी को अपने काम की जाँच दूसरों से करवाना पसंद नहीं है। लेकिन ये प्रक्रिया ज़रूरी है, ख़ासकर तब जब कि गलतियों के परिणाम भयंकर हों। मकानों की तकनीकी परिकल्पना और निर्माण भी एक ऐसा ही क्षेत्र है। एक सिविल अभियंता के लिए एक मकान का डिज़ाइन करना काफी आसान है, अगर सिर्फ़ मकान और इसके अंदर के लोगों और वस्तुओं का ध्यान रखना हो। एक बड़े भूकंप के दौरान होने वाले विचलन और विस्थापन को ध्यान में रखते हुए मकान का डिज़ाइन थोड़ा मुश्किल है। इसके लिए थोड़ी ज्यादा जानकारी, समझ

और अनुभव की जरूरत है । इस प्रक्रिया में ग़लतियों की संभावना बनी रहती है। इसीलिए मूल डिज़ाइन अभियंता से स्वतन्त्र एक समीक्षा की जरूरत होती है। जोड़-घटाव, योजनाओं और बाकी विवरणों की जाँच/समीक्षा ज़रूरी है। इससे ये सुनिश्चित किया जा सकता है कि मकानों की परिकल्पना एवं निर्माण संहिताओं और मानकों के अनुरूप हैं (तस्वीर 2 देखें) ।



तस्वीर 2. इन प्रबलित कंक्रीट (reinforced concrete) की दीवारों की जाँच/समीक्षा डिज़ाइन और निर्माण दोनों स्तरों पर किए गए थे। इससे ये सुनिश्चित हुआ की संरचनात्मक परिकल्पना और निर्माण योजनाबद्ध तरीके से हुए हैं।

आप अपने सिविल अभियंता से पूछें कि कौन सी जाँच/समीक्षाएँ हुई हैं। ये भी पूछें कि ये जाँच किसने की है। क्या ये जाँच स्वतंत्र रूप से हुई है? उदाहरण के तौर पर, क्या किसी दूसरे औद्योगिक प्रतिष्ठान के अभियंता ने इसकी जाँच की है। अगर ये नहीं हुई है, तो ये होनी चाहिए भले ही इसके लिए ज्यादा पैसे लगें। इस तरह की समीक्षा के बाद निर्माण के दस्तावेज़ सम्बद्ध सरकारी कार्यालयों में अनुमति के लिए जमा किए जाते हैं। अगर सरकारी विभाग इन दस्तावेज़ों की तकनीकी जाँच नहीं भी करता है तो आप एक हद तक आश्वस्त हो सकते हैं कि मकान में यथोचित भूकंपरोधी क्षमता है। हाँ ये ध्यान देने की जरूरत है कि निर्माण उन दस्तावेज़ों में बताई गयी तकनीकी परिकल्पना डिज़ाइन के अनुरूप ही हो।

इस लेख श्रृंखला के बारे में:

लेखों की इस श्रृंखला में भूकंपों और इमारतों पर उनके प्रभावों के बारे में चर्चा की गई है। मकानों को भूकंपरोधी बनाने के तरीकों को भी समझाया गया है। उम्मीद है कि इस किताब से मकान मालिकों और भवन निर्माण उद्योग से सम्बंधित नीति निर्धारकों, नियंत्रकों, और अभियंताओं को मदद मिलेगी। ये लेख मूलतः World Housing Encyclopedia (http://www.world-housing.net) के एंड्रयू चार्ल्सन और सहयोगियों द्वारा लिखे गए हैं। यह कार्य Earthquake Engineering Research Institute (https://www.eeri.org) और International Association of Earthquake Engineering (http://www.iaee.or.jp) द्वारा प्रायोजित है । इस लेख का हिंदी अनुवाद मनीष कुमार और जे. काव्य हर्षिता ने किया है।

भूकंपरोधी इमारतें

अध्याय 20. मकानों के निर्माण के समय जाँच/समीक्षा का महत्त्व

अध्याय 19 में मकान की तकनीकी परिकल्पना अथवा डिज़ाइन (design), योजना एवं नियमों के अनुपालन से सम्बंधित जाँच और समीक्षा (checks) पर ज़ोर दिया गया था। उस चर्चा में ये कहा गया था कि मकान के निर्माण की अनुमति लेने से पूर्व ऐसी समीक्षा ज़रूरी है। और, निर्माण के पहले तो हर हाल में ऐसी जाँच और समीक्षा हो जानी चाहिए। इससे मकान के मालिक को ये तसल्ली रहती है कि संहिताओं का अनुपालन हुआ है, और मकान में यथोचित भूकंपरोधी क्षमता है।

अगली चुनौती मकान के निर्माण के दौरान आती है। बाकी लोगों की तरह, मकान बनाने वाली कम्पनियाँ (companies) भी जाने या अनजाने में ग़लतियाँ करती हैं। उनमें से कई तो जान बूझकर संरचनात्मक डिज़ाइन का अनुपालन नहीं करती है। कई बार वो स्टील की छड़ें हटा देती हैं, उन्हें गलत तरीके से मोड़ देती हैं, कांक्रीट (concrete) में कम सीमेंट (cement) का उपयोग करती हैं, या फिर ख़राब गुणवत्ता की ईंटों का इस्तेमाल करती हैं (तस्वीर 1 देखें)। जाँच और समीक्षाओं के बिना एक नया मकान भी भूकंप के दौरान असुरक्षित हो सकता है। आपको ख़राब गुणवत्ता वाले असुरक्षित निर्माण कई जगह मिल जायेंगे (तस्वीर 2 देखें)। लेकिन अगर मकान बनाने वाली कंपनी योजना एवं डिज़ाइन का अनुपालन करती है, तो मकान के भूकंप के दौरान सुरक्षित रहने की संभावना रहती है।

तस्वीर 1. स्टील की एक छड़ की जाँच हो रही है। ये देखना जरूरी है कि निर्माण सामग्री मानकों के अनुरूप है।

कई बार आपके आस-पास के भवन निर्माण विभागों के द्वारा निर्माण के दौरान सामग्रियों की गुणवत्ता स्थापित करने के लिए कुछ नियम बनाए जाते हैं। अगर ऐसा है, तो उन नियमों का पालन करें। अगर ऐसा नहीं है, तो जिस सिविल अभियंता ने आपके मकान का डिज़ाइन किया है उनसे निर्माण के दौरान निरीक्षण करने का निवेदन करें। इसका मतलब है कि अभियंता को समय-समय पर निर्माण क्षेत्र जा कर विभिन्न गतिविधियों का अवलोकन करना होगा - ख़ासकर किसी महत्त्वपूर्ण कार्य के दौरान (तस्वीर 3 देखें)। उदाहरण के तौर पर स्तंभों में कांक्रीट डालने और फॉर्मवर्क (formwork) लगाने के पहले स्टील की छड़ों का अवलोकन किया जा सकता है। अपने अभियंता से यह भी पूछें कि निर्माण कार्य में क्या-क्या बदलाव होने चाहिए, जिससे कि निर्माण के अंत में यह स्थापित किया जा सके कि डिज़ाइन और बाकी नियमों का पालन हुआ है।

तस्वीर 2. इस स्तंभ (column) की छड़ें कई मायनों में संहिताओं और मानकों के अनुरूप नहीं हैं। एक मध्यम अथवा बड़े भूकंप के दौरान इसमें गंभीर क्षति की काफी संभावना है।

तस्वीर 3. निर्माण कार्य के दौरान एक अभियंता को बार-बार निर्माण क्षेत्र पर जाना चाहिए। इससे ये सुनिश्चित किया जा सकता है कि निर्माण योजना एवं मानकों के अनुरूप है।

कुछ लोग निर्माण के दौरान गुणवत्ता सुनिश्चित करने में होने वाले ख़र्च को बचाना चाहते हैं। इन परिस्थितियों में गलतियों और अनधिकृत बदलावों का पता नहीं चल पाता। मकान में पर्याप्त भूकंपरोधी क्षमता के लिए डिज़ाइन की बारीक़ियों पर ध्यान देना काफ़ी ज़रूरी है। क्यों अपने आप और दूसरों को ख़राब निर्माण की वजह से भूकंप के ख़तरे में डालें? पैसों की बचत आगे चल के जानलेवा हो सकती है।

इस लेख श्रृंखला के बारे में:

लेखों की इस श्रृंखला में भूकंपों और इमारतों पर उनके प्रभावों के बारे में चर्चा की गई है। मकानों को भूकंपरोधी बनाने के तरीकों को भी समझाया गया है। उम्मीद है कि इस किताब से मकान मालिकों और भवन निर्माण उद्योग से सम्बंधित नीति निर्धारकों, नियंत्रकों, और अभियंताओं को मदद मिलेगी। ये लेख मूलतः World Housing Encyclopedia (http://www.world-housing.net) के एंड्रयू चार्ल्सन और सहयोगियों द्वारा लिखे गए हैं। यह कार्य Earthquake Engineering Research Institute (https://www.eeri.org) और International Association of Earthquake Engineering (http://www.iaee.or.jp) द्वारा प्रायोजित है । इस लेख का हिंदी अनुवाद मनीष कुमार और जे. काव्य हर्षिता ने किया है।

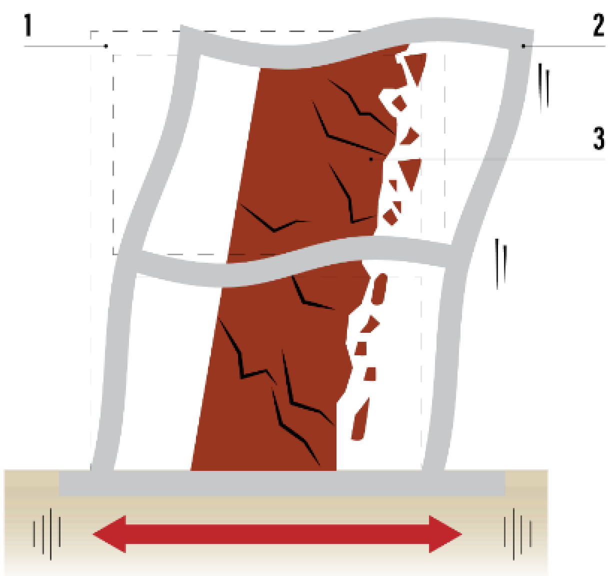
भूकंपरोधी इमारतें

अध्याय 21. मकान के ग़ैर-संरचनात्मक (non-structural) हिस्सों को नुकसान से बचाना

इस संकलन के अधिकांश अध्याय भूकंप के दौरान मकानों की संरचना प्रणाली (structural system) एवं और मकानों में रहने वाले लोगों की सुरक्षा पर केंद्रित हैं। उस चर्चा का मुख्य उद्देश्य है संरचना प्रणाली को भूकंप के दौरान गंभीर नुकसान से बचाना। अगर संरचना प्रणाली सुरक्षित रहती है तो इससे लोगों की जान को खतरा भी कम हो जाता है। इस स्थिति में भूकंप के बाद मकानों की संरचना प्रणालियों की किफ़ायती रूप से मरम्मत करना भी संभव हो सकता है। लेकिन मकान के बाकी हिस्सों में होने वाली क्षति का क्या किया जाए?

अगर ख़र्च के आधार पर देखें तो मुख्य संरचना प्रणाली का हिस्सा पूरे मकान का करीब 30% हो सकता है, जबकि मकान के बाकी हिस्सों की क़ीमत 70% तक हो सकती है। मकान के इन हिस्सों को सामान्य भाषा में गैर-संरचनात्मक तत्त्व (non-structural elements) कहा जाता है । इसके अंतर्गत चिमनी, छतों की टाइल्स (tiles), आवरण दीवारें (claddings), ग्लेज़िंग (glazing), विभाजक दीवारें (partition walls), फाल्स सीलिंग्स (false ceilings), एवं मैकेनिकल (mechanical) और विद्युतीय (electrical) यन्त्र आ सकते हैं। इसके अलावा हमें मकान के अंदर की बाकी चीज़ों के बारे में भी सोचना चाहिए, जो कि काफ़ी मँहगी हो सकती हैं। ये गैर-संरचनात्मक तत्त्व सिर्फ ख़र्चीले ही नहीं होते हैं, बल्कि भूकंपों के दौरान इनमे क्षति जानलेवा भी हो सकती है या हमें चोट भी पहुँचा सकती है।

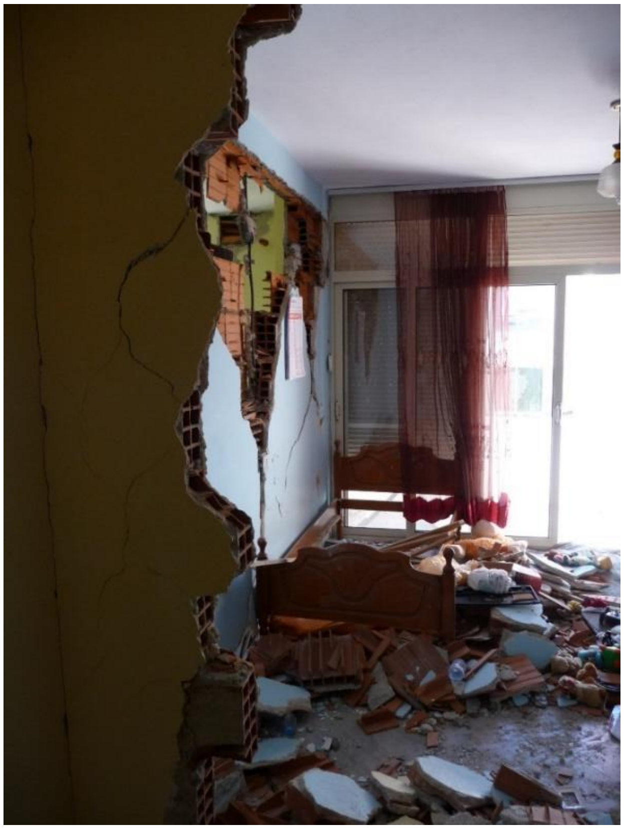
गैर-संरचनात्मक हिस्सों में क्षति के दो कारण हैं। सबसे पहला कारण है संरचना प्रणाली (structural system) का क्षैतिज (horizontal) दिशाओं में विकृत (deform) होना। इसके अलावा इन क्षतियों का दूसरा कारण है संरचना प्रणाली में भूकंप के दौरान त्वरण (acceleration)। इंटरनेट (internet) पर “nonstructural earthquake damage” ढूँढ़ने पर कई सारी तस्वीरें मिल सकती हैं।



तस्वीर 1. भूकंप के पहले (1) और दौरान (2) एक संरचनात्मक फ्रेम (structural frame) । तल (floors) के ऊपर और नीचे की विभाजक (partition) दीवारें (2) फ्रेम में विकृति की वजह से क्षतिग्रस्त हो सकती हैं।

भूकंप के दौरान क्षैतिज विस्थापन (deflection) और विकृतियों (deformations) की वजह से ईंट की आवरण और विभाजक (partition) दीवारें क्षतिग्रस्त हो सकती हैं। जब एक ऊपरी तल (floor) निचले तल की तुलना में ज्यादा विस्थापित होता है तो ऐसी दीवारों में क्षति की संभावना रहती है (तस्वीर 1 देखें)। ये ध्यान देने की बात है कि संरचनात्मक फ्रेमवर्क्स (structural frameworks) इस तरह

की दीवारों की तुलना में काफ़ी लचीले होते हैं। इन दीवारों में क्षति को कम करने के लिए उन्हें भी लचीला बनाया जा सकता है, या फ़िर उन्हें स्तंभों (columns) और ऊपर के तल से अलग किया जा सकता है। हालाँकि, इन दोनों स्थितियों में ही वास्तु परिकल्पना (architectural design) में काफ़ी सावधानी बरतने की ज़रूरत होती है।



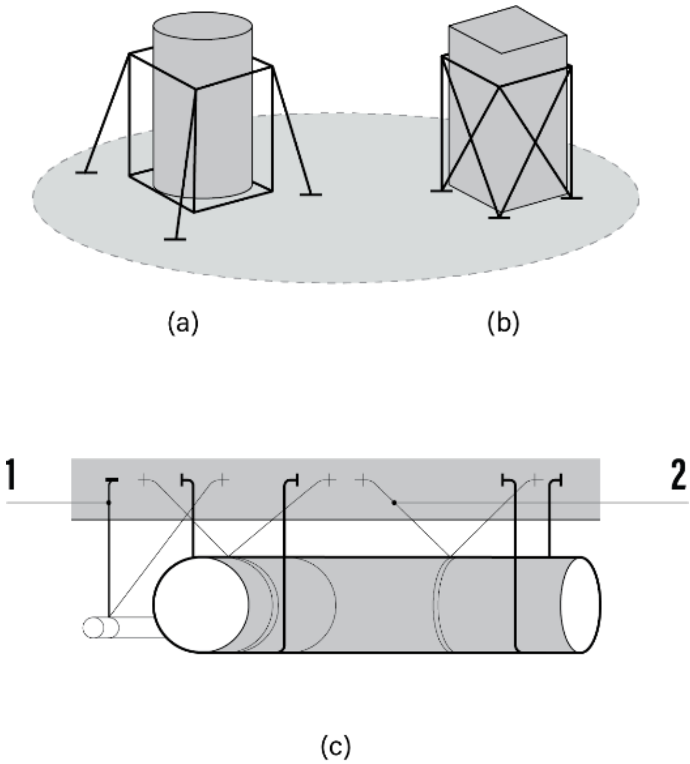
तस्वीर 2. भूकंप के दौरान क्षतिग्रस्त दीवारें जानलेवा हो सकती हैं।

तस्वीर 3. ईंट से बनी एक चिमनी छत के पास से टूट कर नीचे गिर गयी है। चिमनी का बाकी बचा हिस्सा भी क्षतिग्रस्त है (N. Allaf) ।

अधिकांश गैर-संरचनात्मक तत्त्व भूकंप के दौरान त्वरण की वजह से क्षतिग्रस्त होते हैं। काफी तीव्र कम्पन की वजह से ये तत्त्व टूट सकते हैं। उनके जोड़ भी अलग हो सकते हैं, जिसकी वजह से वो गिर सकते हैं (तस्वीर 2 - 4 देखें)। मकान के अंदर की वस्तुएँ अगर किसी तल या दीवार से मजबूती से नहीं जुड़ी हैं तो वो छिटक कर दूर जा सकती हैं। इस क्रम में या तो किसी को चोट पहुँच सकती है या फिर वो वस्तुएँ

भी टूट सकती हैं। पिछले भूकंपों से हमें ये सीख मिली है कि गैर-संरचनात्मक तत्त्वों को तल, दीवारों या स्तम्भों से मज़बूती से जोड़ के रखना चाहिए। पानी की टंकियों, और सारे उपकरणों को हर हाल में बाँध के रखना चाहिए। नहीं तो भूकंप के दौरान वो ख़िसक या पलट सकते हैं। कई बार इस वजह से उन उपकरणों में तो नुकसान शायद उतना नहीं होता है, लेकिन बाकी चीज़ों को ज्यादा क्षति पहुँच सकती है। जैसे कि उपकरणों के हिलने के दौरान शार्ट-सर्किट (short-circuit) की वजह से आग लग सकती है। FEMA E-74 रिपोर्ट में गैर-संरचनात्मक तत्त्वों को संरचना प्रणाली से जोड़ के रखने के सामान्य तरीके बताए गए हैं। इनमें से कई तरीकों पर आने वाला ख़र्च तुलनात्मक रूप से कम है। ऐसे में बुद्धिमानी इसी में है इन किफ़ायती तरीकों का यथोचित उपयोग किया जाए।

तस्वीर 4. इस मकान की अधिकांश आवरण दीवारें और ग्लेज़िंग एक भूकंप के दौरान क्षतिग्रस्त हो गयीं।



तस्वीर 5. पानी के टैंक (a) और उपकरणों (b) को भूकंप के दौरान क्षति से बचाने के लिए मुख्य संरचना प्रणाली से जोड़ना ज़रूरी है। इसके अलावा, तस्वीर के भाग (c) में पाइप और डक्ट्स (ducts) को हैंगर तारों (hanger wires) (1) के साथ अन्य तारों से भी सहारा (2) मिल रहा है ।

इस लेख श्रृंखला के बारे में:

लेखों की इस श्रृंखला में भूकंपों और इमारतों पर उनके प्रभावों के बारे में चर्चा की गई है। मकानों को भूकंपरोधी बनाने के तरीकों को भी समझाया गया है। उम्मीद है कि इस किताब से मकान मालिकों और भवन निर्माण उद्योग से सम्बंधित नीति निर्धारकों, नियंत्रकों, और अभियंताओं को मदद मिलेगी। ये लेख मूलतः World Housing Encyclopedia (http://www.world-housing.net) के एंड्रयू चार्ल्सन और सहयोगियों द्वारा लिखे गए हैं। यह कार्य Earthquake Engineering Research Institute (https://www.eeri.org) और International Association of Earthquake Engineering (http://www.iaee.or.jp) द्वारा प्रायोजित है । इस लेख का हिंदी अनुवाद मनीष कुमार और जे. काव्य हर्षिता ने किया है।

References:

Charleson, A. W., 2008. Seismic design for architects: outwitting the quake. Oxford, Elsevier, pp. 173-186.

FEMA, 2012. Reducing the Risks of Nonstructural Earthquake Damage—A Practical Guide (FEMA E-74) https://www.fema.gov/media-library-data/1398197749343-db3ae43ef771e639c16636a48209926e/FEMA _E-74 _ Reducing _the_Risks_of _Nonstructural_Earthquake_Damage.pdf.

Murty, C. V. R., 2005. How can Non-structural Elements be protected against Earthquakes? Earthquake Tip 27. IITK-BMTPC "Learning earthquake design and construction", NICEE, India. http://www.iitk.ac.in/ nicee/EQTips/EQTip27.pdf (accessed 5 May 2020).

Nonstructural. Mitigation Center. Earthquake Engineering Research Institute. https://mitigation.eeri.org/category/structures/non-structural-abc-testing.

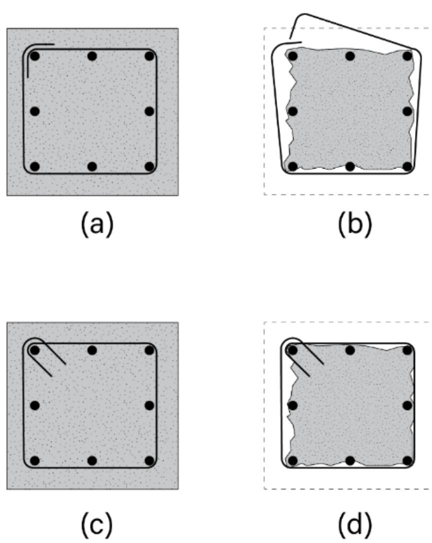
भूकंपरोधी इमारतें

अध्याय 22. बने हुए मकानों की भूकंपरोधी क्षमता बढ़ाना (retrofitting)

भारत और दुनिया के बाकी हिस्सों में मकान संहिताओं (codes) और मानकों (standards) के हिसाब से बनाये जाते हैं। फिर भी कई मकान भूकंपरोधी क्षमता के लिहाज़ से असुरक्षित रह जाते हैं। ऐसा इसलिए होता है कि कुछ नियमों का पालन नहीं हो पाया, या फिर संहिताओं में सुधार होने की वजह से मकानों के लिए आवश्यक भूकंपरोधी क्षमता में वृद्धि हो गयी। इस तरह के मकानों की मज़बूती बढ़ाने की प्रक्रिया को रेट्रोफिटिंग (retrofitting) कहते हैं। इस प्रकिया की तुलना एक बीमार व्यक्ति के स्वास्थ्य में सुधार हेतु की गयी शल्य चिकित्सा (surgery) से की जा सकती है। दरअसल इस तरह की कई परियोजनाओं को सिस्मिक सर्जरी (seismic surgery) भी कहा गया है।

भूकंपीय क्षेत्रों में मकानों की रेट्रोफिटिंग की ज़रूरत कई कारणों से पड़ सकती है । उदाहरण के तौर पर, अगर किसी मकान को असुरक्षित पाया जाता है तो उसकी रेट्रोफिटिंग ज़रूरी हो जाती है। व्यापक स्तर पर ऐसा करने से पूरे शहर के मकानों को सुदृढ़ किया जा सकता है, और किसी बड़े भूकंप के दौरान संभावित जान-माल की क्षति और उससे होने वाले अवसाद को कम किया जा सकता है। रेट्रोफिटिंग आने वाले भूकंप के दौरान जीवन, आशियाने और रोज़गार को बचाने का एक मात्र तरीका है। सामान्य तौर पर ज्यादा महत्त्वपूर्ण मकानों, जैसे कि अस्पतालों और विद्यालयों, को रेट्रोफिटिंग में प्राथमिकता दी जाती है।

रेट्रोफिटिंग के पहले चरण में मकान की स्थिति का आकलन किया जाता है। एक अनुभवी अभियंता मकान की गंभीर ख़ामियों को तुरंत समझ जाता है। उदाहरण के तौर पर, एक लचीली मंजिल (soft story) (अध्याय 11 देखें) या फिर अनिरन्तर दीवारों (discontinuous walls) (अध्याय 12 देखें) की वजह से एक बड़े भूकंप में मकान धराशायी हो सकता है। मकान की उम्र से भी तत्कालीन प्रचलित निर्माण पद्धतियों का पता चल सकता है। उदाहरण के तौर पर, कांक्रीट से बने भूकंपरोधी मकान 1980s में बनने शुरू हुए थे। निर्माण में प्रयुक्त सामग्री को समझना भी काफी महत्त्वपूर्ण है। अगर पिछले भूकंपों के दौरान प्रदर्शन को देखा जाए तो गैर-प्रबलित (unreinforced) ईंट की दीवारों से बने मकानों में रेट्रोफिटिंग की ज़रूरत सबसे पहले होगी।



तस्वीर 1. भाग (a) में एक स्तम्भ (column) का अनुप्रस्थ (cross-section) दर्शाया गया है जिसमें 90° वलय (bend) हैं । भूकंप के दौरान ऐसे स्तम्भ में क्षति होना तय है, जिसकी वजह से वो वलय खुल जाएगा और टाई (tie) बेकार हो जाएगी (भाग (b) देखें) । भाग (c) में टाई को संहिताओं (codes) के हिसाब से 135° पर मोड़ा गया है। अगर भूकंप के दौरान स्तम्भ क्षतिग्रस्त हो भी जाता है तब भी टाई प्रभावी रहेगा (d)।

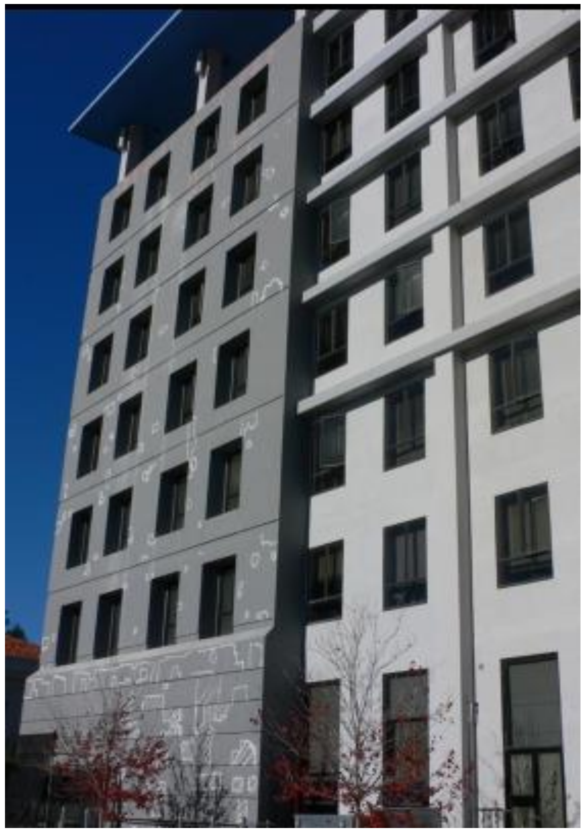
अगर शुरुआती आकलन से रेट्रोफिटिंग की ज़रूरत महसूस होती है तो फ़िर एक विस्तृत जाँच की जा सकती है। मकान के कुछ संरचनात्मक तत्त्वों को आंशिक रूप से तोड़ कर देखने से पता चल सकता है कि स्टील की छड़ों को सही तरीके से लगाया गया है या नहीं (तस्वीर 1 देखें) ।

एक महत्त्वपूर्ण सवाल ये है कि रेट्रोफिटिंग किस स्तर तक की जाए। क्या मकान को इतना मज़बूत बनाया जाना चाहिए जिससे कि वो आधुनिकतम संहिताओं के अनुरूप हो जाए, या फिर थोड़ी कम स्तर की रेट्रोफिटिंग से भी काम चल सकता है? हालाँकि कम स्तर की रेट्रोफिटिंग से भूकंप के दौरान ज्यादा क्षति का खतरा रहता है। चूँकि रेट्रोफिटिंग एक ख़र्चीली प्रक्रिया है, कई बार समझौते करने पड़ते हैं। इन सारी बातों का ध्यान रेट्रोफिट की योजनाएँ और विवरण तैयार करने में रखा जाता है ।

एक मकान की रेट्रोफिटिंग कई तरीकों से की जा सकती है। हर मकान को अलग तरीके से देखने की ज़रूरत होती है, ठीक वैसे जैसे कि एक डॉक्टर अपने हर एक मरीज़ को अलग तरीके से देखता है। कुछ मकानों में अन्य मकानों की अपेक्षा ज्यादा मरम्मत करने की ज़रूरत होती है। उदाहरण के तौर पर कुछ मकानों में नए संरचनात्मक (structural) दीवारें या फिर ब्रेसेस (braces) दोनों दिशाओं में लगाने पड़ सकते हैं (तस्वीरें 2 - 5 देखें)। वहीं कुछ दूसरे मकानों में सिर्फ एक दिशा में ही ये संरचनात्मक तत्त्व (elements) लगाने की ज़रूरत होती है। कुछ और मकानों में सिर्फ भारी ईंट की दीवारों की जगह हल्की दीवारें लगाने से काम हो जाता है। कई बार मकान को किसी भी तरह से पर्याप्त भूकंपरोधी क्षमता नहीं दी जा सकती है, और इसकी जगह एक नया मकान बनाने की जरूरत होती है। इंटरनेट पर “retrofitting building for earthquakes” ढूँढ़ने से कई उदाहरण मिल सकते हैं।

तस्वीर 2. इस अस्पताल की रेट्रोफिट में दोनों दिशाओं में दो नयी संरचनात्मक दीवारें और उनकी आधारशिलाएं (foundations) बनायी गयीं।

कुल मिला के रेट्रोफिटिंग एक ख़र्चीली प्रक्रिया है। हर स्थिति में ये कर पाना संभव भी नहीं हो पाता। हालाँकि मिट्टी से बने घरों (adobe housing) को मजबूत बनाने के तुलनात्मक सस्ते तरीके उपलब्ध हैं (Vargas-Neumann 2011) । वैसे तो कई बार हमारे पास सीमित संसाधन और उपाय होते हैं, जिसकी वज़ह से हमें असुरक्षित मकानों में रहना पड़ सकता है। लेकिन, भविष्य के लिए मकानों की भूकम्परोधी क्षमता सुनिश्चित करना भी ज़रूरी है। इस तरह से समय के साथ धीरे-धीरे सारे मकानों में भूकंपरोधी क्षमता आ पाएगी।



तस्वीर 3. इस मकान के आखिरी हिस्से में तुलनात्मक मोटी संरचना देखी जा सकती है जो कि पुराने फ्रेमवर्क (framework) के ऊपर कांक्रीट का नया फ्रेमवर्क है।

तस्वीर 4. रेट्रोफिट के लिए स्टील के ब्रेसेस लगाए गए हैं।

तस्वीर 5. इस ईंट की दीवार में लकड़ी के तल को स्टील के ब्रेस लगा के मज़बूती प्रदान की गयी है।

इस लेख श्रृंखला के बारे में:

लेखों की इस श्रृंखला में भूकंपों और इमारतों पर उनके प्रभावों के बारे में चर्चा की गई है। मकानों को भूकंपरोधी बनाने के तरीकों को भी समझाया गया है। उम्मीद है कि इस किताब से मकान मालिकों और भवन निर्माण उद्योग से सम्बंधित नीति निर्धारकों, नियंत्रकों, और अभियंताओं को मदद मिलेगी। ये लेख मूलतः World Housing Encyclopedia (http://www.world-housing.net) के एंड्रयू चार्ल्सन और सहयोगियों द्वारा लिखे गए हैं। यह कार्य Earthquake Engineering Research Institute (https://www.eeri.org) और International Association of Earthquake Engineering (http://www.iaee.or.jp) द्वारा प्रायोजित है । इस लेख का हिंदी अनुवाद मनीष कुमार और जे. काव्य हर्षिता ने किया है।

References:

Charleson, A. W., 2008. Seismic design for architects: outwitting the quake. Oxford, Elsevier, pp. 187-205.

Retrofit. Mitigation Center. Earthquake Engineering Research Institute. https://mitigation.eeri.org/category/structures/retrofit-abc-testing.

Murty, C. V. R., et al., 2006. At risk: the seismic performance of RC frame buildings with masonry infill walls. California, World Housing Encyclopedia. http://www.world-housing.net/wp-content/uploads/2011/05/RCFrame_Tutorial_English_Murty.pdf (accessed 8 June 2020).

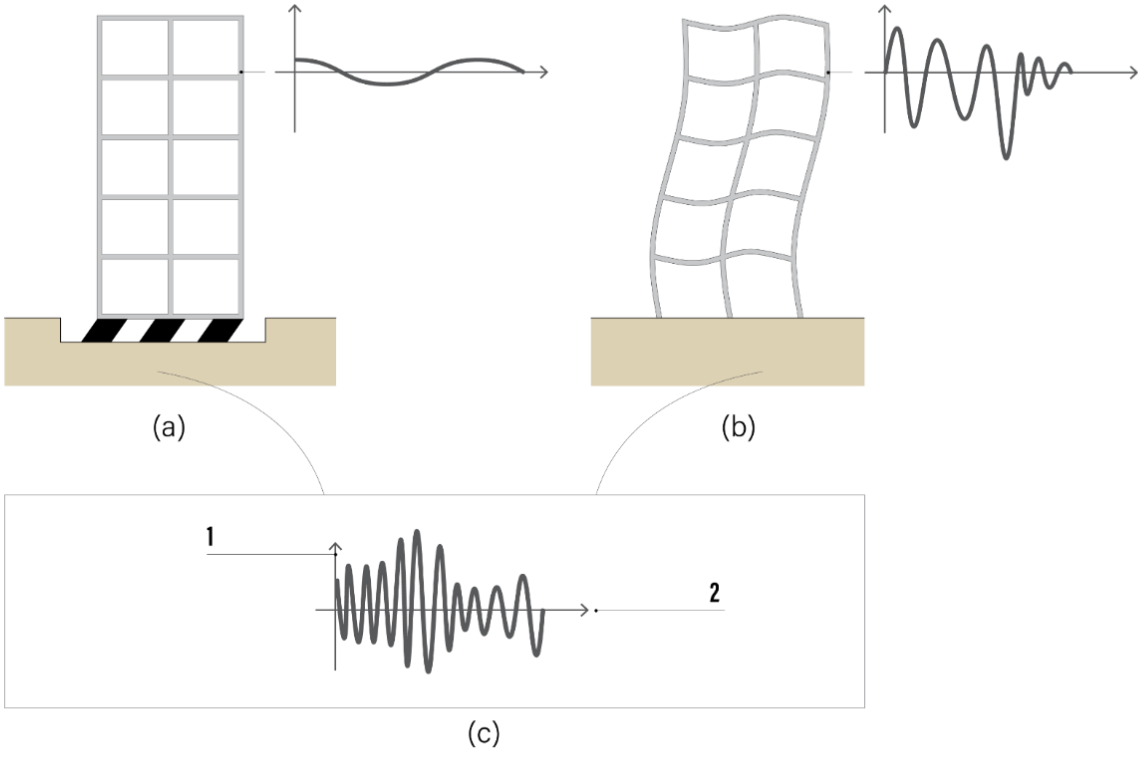
Vargas-Neumann, J., et al., 2011. Building hygienic and earthquake-resistant adobe houses using geomesh reinforcement.http://www.world-housing.net/wp-content/uploads/2011/06/Adobe-Geomesh-Arid_Tutorial_English_Blondet.pdf.

भूकंपरोधी इमारतें

अध्याय 23. मकानों को भूकंपरोधी बनाने के आधुनिक तरीक़े

पूरी दुनिया के सिविल (civil) अभियंता मानते हैं कि एक मकान को भूकंपरोधी बनाने के लिए आधारशिला का मजबूत होना बेहद जरूरी है। विडंबना ये है कि एक तरफ़ मज़बूत आधारशिलाओं की वजह से भूकंप के दौरान मकानों का धँसने या झुकने से बचाव होता है, वहीं दूसरी तरफ इन्हीं मजबूत आधारशिलाओं की वजह से मकानों में काफ़ी भूकंपरोधी ऊर्जा प्रवाहित होती है जिसके कारण ऊपर की मंजिलों में तुलनात्मक ज्यादा कम्पन होता है।

1960 के दशक में एक नई तकनीक का प्रयोग किया गया था: भूकंपीय विलगाव (seismic isolation)। इस तकनीक की मदद से मकान को भूकंप के प्रभावों से काफी हद तक बचाया जा सकता है। मकान और आधारशिला के बीच में कई सारे भूकंपीय विलगाव उपकरण रखे जाते हैं जो कि क्षैतिज दिशा में लचीले तो उर्ध्व दिशा में कठोर होते हैं (तस्वीरें 1 और 2 देखें)। इस तकनीक को आधार विलगाव (base isolation) भी कहा जाता है। इसकी वजह से भूकंप के दौरान भूकंपीय ऊर्जा का एक छोटा हिस्सा ही मकान तक पहुँच पाता है। इसकी तुलना मकान को बॉल-बियरिंग्स (ball-bearings) पर रखे जाने से की जा सकती है।



तस्वीर 1. (a) भूकंपीय विलगाव (base isolation) तकनीक से बने मकानों में भूकंप के दौरान विकृति कम होती है, जबकि (b) एक सामान्य मकान में विकृति काफ़ी ज़्यादा होती है। ऊपर के दोनों मकानों के लिए भू-त्वरण (ground acceleration) समान है (c), लेकिन (a) में दर्शाये गए मकान में विकृति (b) की तुलना में काफ़ी कम है।

सबसे पहले आधुनिक भूकंपीय विलगाव उपकरण रबड़ के बड़े टुकड़ों और स्टील की परतों को मिला के बनते थे। बाद में इसके केंद्र में लेड (lead) का एक टुकड़ा भी डाला जाने लगा, जिसकी वजह से उपकरण भूकंपीय ऊर्जा के कुछ हिस्से को अवशोषित (absorb) कर पाते हैं। उसके बाद अन्य तरह के उपकरण भी बनाये गए हैं। एक उदाहरण फ्रिक्शन पेंडुलम (Friction Pendulum™) है। इस उपकरण में

दो सतहों के बीच विस्थापन होता है। इन सतहों के बीच घर्षण (friction) काफी कम रखा जाता है। इंटरनेट पर “seismic isolation devices” ढूँढ़ कर इस विषय पर ज्यादा जानकारी प्राप्त की जा सकती है।

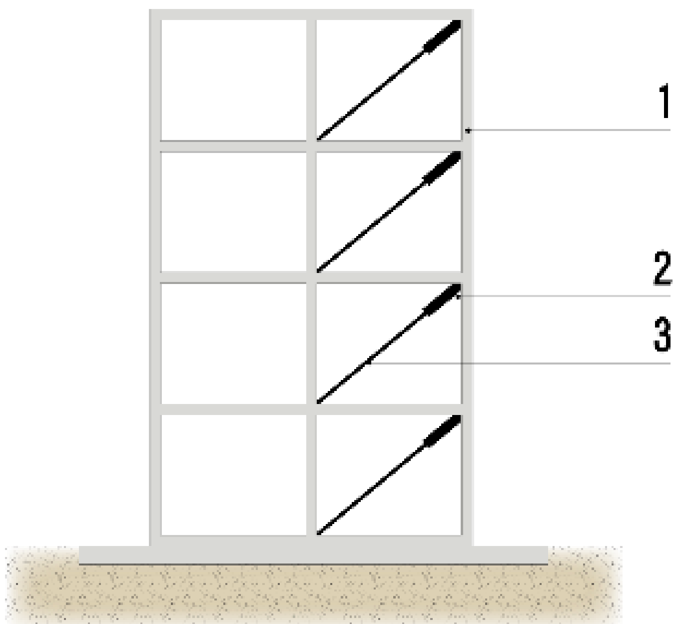
तस्वीर 2. मकान के नीचे काले रंग के दो बेलनाकार (cylindrical) विलगाव उपकरण (isolation devices) देखे जा सकते हैं। हर उपकरण आधारशिला और मकान के स्तंभ (column) से बोल्ट्स (bolts) के माध्यम से जोड़ा गया है।

भूकंपरोधी क्षमता की दृष्टि से भूकंपीय विलगाव तकनीक को एक स्वर्ण मानक (gold standard) की तरह देखा जा सकता है। ये तकनीक मकान के संरचनात्मक एवं गैर-संरचनात्मक हिस्सों, और मकान के अंदर के सामानों को भूकंप के दौरान सुरक्षित रखने में सबसे ज़्यादा प्रभावी होती है। जापान, कैलिफ़ोर्निया और न्यूज़ीलैण्ड में अधिकांश नए अस्पताल भूकंपीय विलगाव तकनीक का उपयोग करते हैं।

मकानों की भूकंपरोधी क्षमता बढ़ाने के कुछ और आधुनिक तरीके भी हैं। उदाहरण के तौर पर मकानों में डैम्पर (damper) भी लगाए जा सकते हैं, जिससे भूकंप का प्रभाव कम होता है। डैम्पर वाहनों में उपयोग किए जाने वाले शॉक अब्सॉर्बर्स (shock absorbers) की तरह काम करते हैं। कई बार दोनों एक जैसे दिखते भी हैं (तस्वीर 3 देखें)। डैम्पर भूकंप के दौरान मकानों में उत्पन्न कम्पन को कम करने में काफी प्रभावी होते हैं। उन्हें प्रायः डायगोनल ब्रेसेस (diagonal braces) के ऊपर या नीचे लगाया जाता है (तस्वीर 4 देखें)। एक वैकल्पिक रास्ता ऐसा भी है जिसमें पूरी ब्रेस (brace) डैम्पर का भी काम करती है। ऐसे उपकरण को बक्लिंग रेस्ट्रेंड ब्रेस (buckling restrained brace) कहा जाता है (तस्वीर 5 देखें) ।

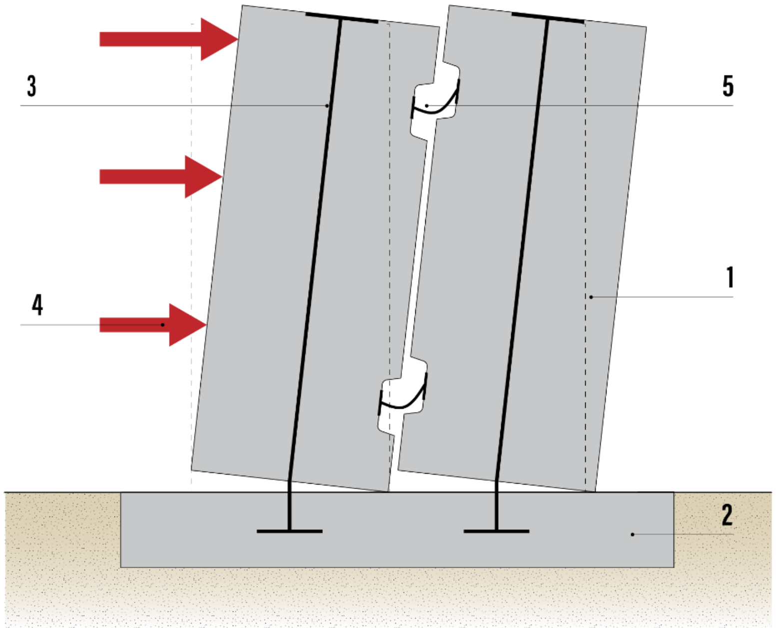
हाल के वर्षों में डिज़ाइन (design) की एक नई अवधारणा प्रचलित हो रही है, जिसे क्षति-रोधी (damage-avoidance) डिज़ाइन भी कहा जाता है। मकानों के संरचनात्मक हिस्से, जैसे कि दीवारें और फ्रेम (frame), इस तरह से डिज़ाइन किए जाते हैं कि वो भूकंप के दौरान क्षतिग्रस्त न हों। इस नई अवधारणा में क्षति पहले से चिन्हित ऊर्जा अवशोषकों (absorbers) में होती है, जिसको एक भूकंप के बाद बदला जा सकता है (तस्वीरें 6 और 7 देखें) ।

तस्वीर 3. भूकंप के दौरान कम्पन कम करने के लिए उपयुक्त डैम्पर (damper) ।



तस्वीर 4. बीम्स (1) और स्तम्भों से बने फ्रेम वाले मकान में विकर्णीय (diagonal) ब्रेसेस (3) के ऊपर डैम्पर (2) लगे हैं।

तस्वीर 5. दो बक्लिंग रेस्ट्रेंड ब्रेस (buckling-restrained brace) भूकंपीय बलों का प्रतिरोध करने के साथ में मकान में होने वाले कम्पन को अवमंदित (damp) करते हैं।



तस्वीर 6. आस पास बनी कांक्रीट की दो दीवारें (1) आधारशिला (2) से स्टील की छड़ों (3) के द्वारा जुड़ी हैं, जो कि भूकंप के दौरान खिंचाव अनुभव करती हैं। इस क्रम में स्टील की पट्टिकाएं (5) विकृत होती हैं और एक हद तक भूकंपीय ऊर्जा का अवशोषण करती हैं जिसके कारण मकान की प्रतिक्रिया (response) में कमी आती है।

तस्वीर 7. दो दीवारों के बीच में लगा एक ऊर्जा अवशोषक (absorber)।

उपरोक्त सारी तकनीकें प्रचलित डिज़ाइन (design) पद्धतियों की तुलना में काफी जटिल हैं। इसीलिए इनका उपयोग सबसे अनुभवी और समर्थ सिविल अभियंताओं के निर्देशन में भी किया जाना चाहिए।

इस लेख श्रृंखला के बारे में:

लेखों की इस श्रृंखला में भूकंपों और इमारतों पर उनके प्रभावों के बारे में चर्चा की गई है। मकानों को भूकंपरोधी बनाने के तरीकों को भी समझाया गया है। उम्मीद है कि इस किताब से मकान मालिकों और भवन निर्माण उद्योग से सम्बंधित नीति निर्धारकों, नियंत्रकों, और अभियंताओं को मदद मिलेगी। ये लेख मूलतः World Housing Encyclopedia (http://www.world-housing.net) के एंड्र्यू चार्ल्सन और सहयोगियों द्वारा लिखे गए हैं। यह कार्य Earthquake Engineering Research Institute (https://www.eeri.org) और International Association of Earthquake Engineering (http://www.iaee.or.jp) द्वारा प्रायोजित है । इस लेख का हिंदी अनुवाद मनीष कुमार और जे. काव्य हर्षिता ने किया है।

References:

Advanced Technologies Introduction. World Housing Encyclopedia, EERI. https://www.world-housing.net/major-construction-types/advanced-technologies-introduction.

BRANZ. Concrete structures: techniques and devices used to create a low-damage buildings using concrete. http://www.seismicresilience.org.nz/topics/superstructure/commercial-buildings/concrete-structures/ (accessed 15 June 2020).

Charleson, A. W., and Guisasola, A., 2017. Seismic isolation for architects. London, Routledge.

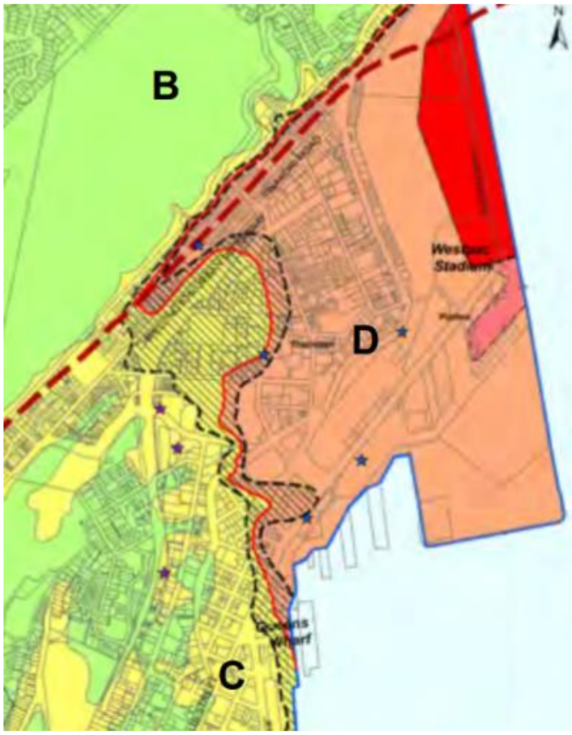
Equipped with base isolation and/or energy dissipation devices. Glossary for GEM Taxonomy. Global Earthquake Model. https://taxonomy.openquake.org/terms/equipped-with-base-isolation-and-or-energy-dissipation-devices-dbd.

भूकंपरोधी इमारतें

अध्याय 24. भूकंप से सुरक्षा में शहरी नियोजन (urban planning) की भूमिका

इस अध्याय में पिछले अध्यायों की तुलना में एक व्यापक दृष्टिकोण रखा गया है। यहाँ इस बात पर चर्चा की गयी है कि कैसे शहरी नियोजन (urban planning) का उपयोग एक क्षेत्र, शहर या समुदाय को भूकंप के विनाशकारी प्रभावों से बचाने के लिए किया जा सकता है। जिस प्रकार पेयजल या फिर स्वच्छता सम्बन्धी जन-स्वास्थ्य योजनाओं के माध्यम से संक्रामक रोगों की रोकथाम की जा सकती है, उसी प्रकार शहरी नियोजन के माध्यम के भूकंप से प्रभावों को कम किया जा सकता है। इससे भूकंप के बाद उस क्षेत्र के क्रियाकलापों को वापस पटरी पर लाने में मदद मिल सकती है।

शहरी नियोजकों को किसी क्षेत्र के विकास की रूपरेखा तैयार करने के लिए भूकंपीय खतरों (seismic hazard) के मानचित्र (maps) की जरूरत पड़ती है। ऐसे मानचित्रों में सक्रिय भूकंपीय फॉल्ट्स (active earthquake faults) की जानकारी होती है (इस क्षेत्र में निर्माण नहीं किया जाना चाहिए)। इसके अलावा कमज़ोर मिट्टी (soft soil) की मोटी परतों वाले क्षेत्र भी इन मानचित्रों में चिन्हित होते हैं (तस्वीर 1 देखें)। इन मानचित्रों में भूकंप के कारण होने वाले भू-द्रवीकरण (soil liquefaction), भूस्खलन (landslide) या रॉकफॉल (rockfall), एवं सुनामी की दृष्टि से संवेदनशील हिस्सों को भी दर्शाया जाता है। इन सूचनाओं के आधार पर नियोजक आवश्यक जन सुविधाओं, जैसे कि अग्निशमन केंद्र (fire stations) और अस्पताल, को सुरक्षित क्षेत्रों में रखने की कोशिश करते हैं। उस क्षेत्र के सबसे ख़तरनाक हिस्सों में सार्वजनिक उद्यान बनाए जा सकते हैं। इंटरनेट पर “city seismic hazard map” ढूँढ़ने से दुनिया भर में उपयोग किए गए इस तरह के मानचित्र देखे जा सकते हैं।



तस्वीर 1. वेलिंगटन, न्यूज़ीलैण्ड का भूकंपीय मानचित्र। क्षेत्र B में सबसे कम भूकंपीय तीव्रता होगी। उससे थोड़ी ज्यादा भूकंपीय तीव्रता क्षेत्र C में होगी। क्षेत्र D में सबसे ज्यादा तीव्रता का भूकंप होगा, और इस क्षेत्र के अंदर भी सबसे ख़राब स्थिति लाल रंग के क्षेत्र में होगी (Wellington City Council)।

शहरी नियोजकों (urban planners) के लिए दूसरी सबसे जरूरी चीज़ है भूकंपीय संवेदनशीलता मानचित्र (seismic vulnerability maps)। इस मानचित्र में मकानों की सापेक्षिक भूकंपीय संवेदनशीलता दर्शायी जाती है जो कि मकानों के सर्वेक्षण और अभियांत्रिक विश्लेषण पर आधारित होती है (तस्वीर 2 देखें)। जब इस मानचित्र का उपयोग भूकंपीय ख़तरों (seismic hazard) वाले मानचित्र के साथ किया जाता है तो हमें भूकंप के दौरान होने वाली संभावी क्षति का अंदाज़ा मिलता है, जिससे उस क्षेत्र के संयोजन में मदद मिलती है। उदाहरण के तौर पर, उस क्षेत्र की सरकारी संस्थाएँ इस जानकारी के आधार पर ज़मीन ख़रीद सकती हैं, जिससे सड़कों की चौड़ाई बढ़ाई जा सके। इससे यातायात ज्यादा सुगम हो सकेगा, और आपातकालीन सेवाएँ आसानी से उस क्षेत्र में पहुँच पाएंगी। भूकंप के दौरान कभी-कभी लगने वाली आग बुझाने का काम भी आसान हो पायेगा। इसके अलावा सरकारी संस्थाएँ संवेदनशील क्षेत्रों के मकानों को और मज़बूती प्रदान करने में मकान मालिकों की मदद कर सकती हैं। अगर ऐसा किया गया तो उस क्षेत्र के किसी ऐतिहासिक हिस्से का स्वरूप बचा के रखा जा सकता है। अन्यथा पुराने मकानों के बड़े भूकंप के दौरान नष्ट होने की संभावना रहती है।

तस्वीर 2. एक शहर का भूकंपीय संवेदनशीलता मानचित्र (seismic vulnerability map), जिसमें मकानों के प्रकार एवं अन्य जानकारियाँ दी गयी हैं (M. Tafti) ।

शहरी नियोजकों को एक इंटरडिसिप्लिनरी (interdisciplinary) दल में काम करने की ज़रूरत होती है। इस दल में संरचनात्मक अभियंताओं (structural engineers) का होना भी ज़रूरी है। कई बार ऐसा देखा गया है कि कुछ शहर ऐसे नियम (regulations) बना देते हैं जिससे जाने अनजाने में मकान कम भूकंपरोधी बन जाते हैं। उदाहरण के तौर भूतल (ground floor) में वाहनों की पार्किंग (parking) बढ़ाने से मकानों में लचीली मंजिल (soft story) की समस्या आ सकती है (अध्याय 11 देखें), या फिर मकानों की बालकोनियों या ऊपरी हिस्सों को सड़क की तरफ बढ़ाने की अनुमति देने से अनिरन्तर दीवारों (discontinuous walls) की स्थिति बन सकती है (अध्याय 12 देखें)।

इस लेख श्रृंखला के बारे में:

लेखों की इस श्रृंखला में भूकंपों और इमारतों पर उनके प्रभावों के बारे में चर्चा की गई है। मकानों को भूकंपरोधी बनाने के तरीकों को भी समझाया गया है। उम्मीद है कि इस किताब से मकान मालिकों और भवन निर्माण उद्योग से सम्बंधित नीति निर्धारकों, नियंत्रकों, और अभियंताओं को मदद मिलेगी। ये लेख मूलतः World Housing Encyclopedia (http://www.world-housing.net) के एंड्रयू चार्ल्सन और सहयोगियों द्वारा लिखे गए हैं। यह कार्य Earthquake Engineering Research Institute (https://www.eeri.org) और International Association of Earthquake Engineering (http://www.iaee.or.jp) द्वारा प्रायोजित है । इस लेख का हिंदी अनुवाद मनीष कुमार और जे. काव्य हर्षिता ने किया है।

References:

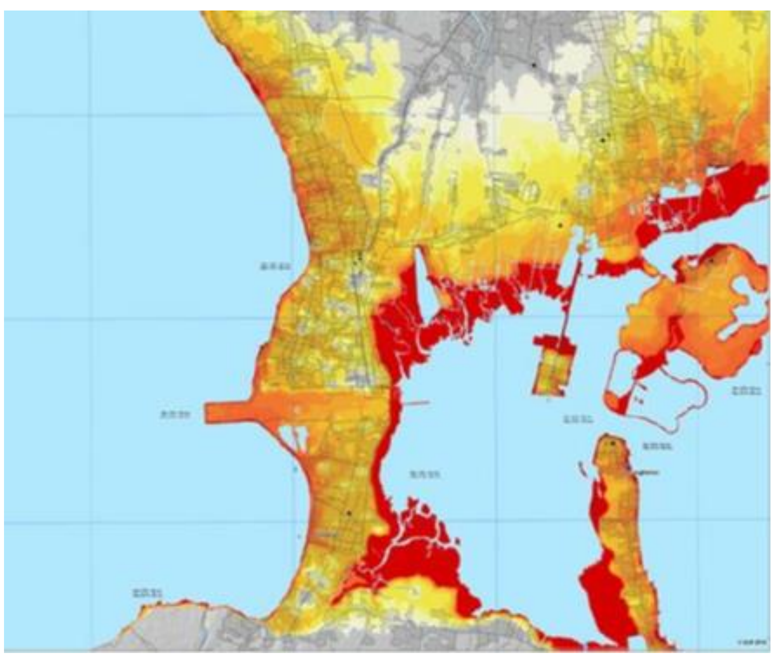
Charleson, A. W., 2008. Seismic design for architects: outwitting the quake. Oxford, Elsevier, pp. 233-242.

भूकंपरोधी इमारतें

अध्याय 25. सुनामी का मकानों पर प्रभाव

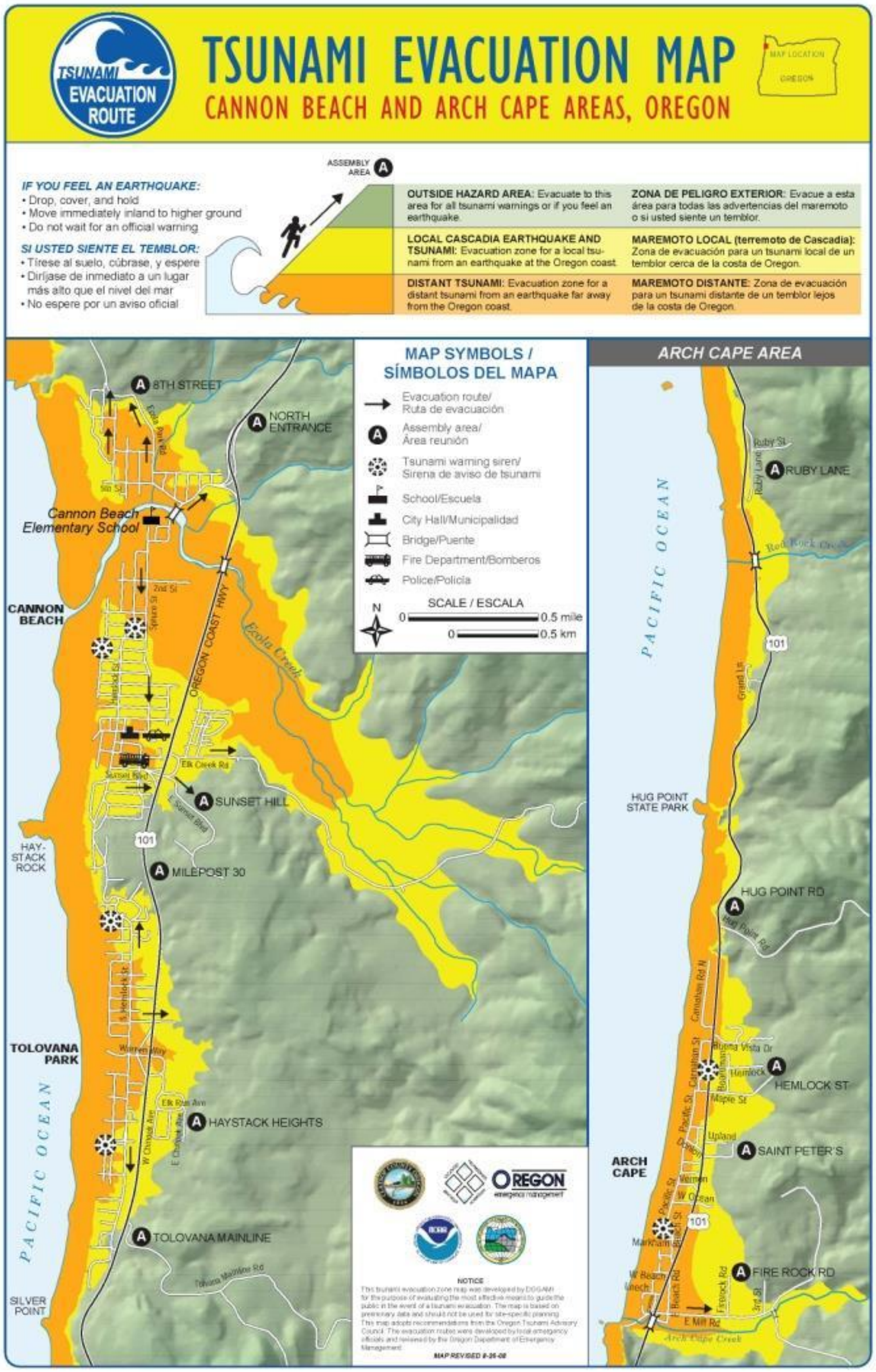
दिसंबर 26, 2004 के सुमात्रा भूकंप और उसके साथ उत्पन्न हिन्द महासागर सुनामी की वजह से व्यापक स्तर पर क्षति हुई, और आम जनता के बीच समुद्र के अंदर आने वाले भूकंप के ख़तरों के प्रति जागरुकता भी बढ़ी। प्रशांत महासागर की अग्नि मेखला (Pacific Rim) के एक बड़े विस्तार में सुनामी की वजह से आने वाले सैलाब (inundation) के ख़तरे हैं। सुनामी की वजह से होने वाले जान-माल के नुकसान की चर्चा दुनिया भर के दर्जनों गावों और शहरों के इतिहास में की गयी है। सुनामी के दौरान रास्ते में आने वाले अवरोधों पर काफी बल लगता है। लकड़ी से बने मकान सामान्यतया सुनामी का प्रतिरोध नहीं कर पाते हैं। पत्थर, ईंट और कांक्रीट से बने मकान भी ध्वस्त हो सकते हैं अगर तेज गति से बहते पानी की ऊंचाई दो मीटर के आस पास हो।

सुनामी के खतरों को समझने की शुरुआत शिल्पकार (architects) और नियोजक (planners) उस क्षेत्र के सैलाब मानचित्र (inundation maps) से करते हैं (तस्वीर 1 देखें)। इस जानकारी को भूकंपीय ख़तरे के मानचित्र (seismic hazard map) में भी शामिल किया जा सकता है (अध्याय 24 देखें)। इन जानकारियों से जुड़ी अनिश्चितताओं (uncertainties) और अभिकल्पनाओं (assumptions) को ध्यान में रखते हुए सुनामी के प्रभाव को कम करने के तरीकों पर विचार किया जा सकता है। हालाँकि ये तरीके काफी सीमित हैं, जैसे कि दीवारों (tsunami walls) का निर्माण, कम ऊंचाई वाले पौधों को सघनता से लगाना, या फिर पुनर्वास (relocation)। जापान में प्रबलित कांक्रीट (reinforced concrete) से बनी भारी भरकम दीवारों से मत्स्य-पालन वाले गाँवों की सुनामी से सुरक्षा की जाती रही है। इन दीवारों को बनाने का ख़र्च काफ़ी होता है और पर्यावरण पर इसके काफ़ी दुष्प्रभाव भी होते हैं, लेकिन ये दीवारें सघन वृक्षारोपण की तुलना में कहीं ज्यादा प्रभावकारी होती हैं। वैसे तो पौधे सुनामी की कुछ ऊर्जा अवशोषित कर लेते हैं, लेकिन फिर उनके हिस्से टूट कर पानी के साथ बहने लग जाते हैं जो कि ख़तरे को बढ़ाता है। कई देशों में सुनामी से प्रभावित बस्तियों का पुनर्वास भी किया जाता रहा है।



तस्वीर 1. सुनामी के दौरान बाली के विभिन्न हिस्सों में संभावित पानी की ऊंचाई दर्शाता मानचित्र (Roshan et al. 2016) ।

सुनामी पूर्वाभासी तंत्र (early-warning systems), और समुचित निकास मार्गों की पहचान और प्रावधान रखने के माध्यम से भी कई सारी जानें बचाई जा सकती हैं। लेकिन कुछ जगहों पर, सुनामी के पानी से लगभग समतल तटीय क्षेत्रों में काफ़ी दूर तक बाढ़ आ सकती है। कई बार सुनामी की सूचना बस कुछ मिनट पहले आती है, और ऐसे में कहीं सुरक्षित जगह तक जाने का समय नहीं बचता। इन परिस्थितियों में सुनामी उर्ध्व निष्क्रमण केंद्रों (tsunami vertical evacuation centers) के माध्यम से ही जान बचाई जा सकती है (तस्वीर 3 देखें) ।



तस्वीर 2. एक सुनामी निष्क्रमण (evacuation) मानचित्र (Oregon State University) ।

तस्वीर 3. एक व्यक्तिगत सुनामी निष्क्रमण (evacuation) केंद्र। अधिकांश निष्क्रमण केंद्र आस पास के लोगों के लिए होते हैं।

एक सुनामी आश्रय ऐसा होना चाहिए, जिसमें लोग सुनामी के दौरान पानी की अनुमानित ऊंचाई से ऊपर सुरक्षित रह सकें। इस आश्रय में पर्याप्त भूकंपरोधी क्षमता होनी चाहिए। इसका मतलब है कि इन्हें सामान्य मकानों से कहीं ज्यादा बलों के लिए डिज़ाइन (design) किया जाना चाहिए। साथ में हर सम्बद्ध संहिताओं (codes) का अनुपालन भी ज़रूरी है। ये भी ध्यान में रखा जाना चाहिए कि ये आश्रय पानी के तेज प्रवाह और पानी में तैरती वस्तुओं की चोट को झेल सकें।

इस लेख श्रृंखला के बारे में:

लेखों की इस श्रृंखला में भूकंपों और इमारतों पर उनके प्रभावों के बारे में चर्चा की गई है। मकानों को भूकंपरोधी बनाने के तरीकों को भी समझाया गया है। उम्मीद है कि इस किताब से मकान मालिकों और भवन निर्माण उद्योग से सम्बंधित नीति निर्धारकों, नियंत्रकों, और अभियंताओं को मदद मिलेगी। ये लेख मूलतः World Housing Encyclopedia (http://www.world-housing.net) के एंड्रयू चार्ल्सन और सहयोगियों द्वारा लिखे गए हैं। यह कार्य Earthquake Engineering Research Institute (https://www.eeri.org) और International Association of Earthquake Engineering (http://www.iaee.or.jp) द्वारा प्रायोजित है । इस लेख का हिंदी अनुवाद मनीष कुमार और जे. काव्य हर्षिता ने किया है।

References:

Roshan, A.D., Basu, P.C. & Jangid, R.S. Tsunami hazard assessment of Indian coast. Nat Hazards 82, 733–762 (2016).

National Tsunami Hazard Mitigation Program, 2001. Designing for tsunamis: seven principles for planning and designing for tsunami hazards. https://nws.weather.gov/nthmp/documents/designingfortsunamis.pdf (accessed 16 June 2020).

Wegscheider, S, et al., 2011. Generating tsunami risk knowledge at community level as a base for planning and implementation of risk reduction strategies, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 11, 249–258.