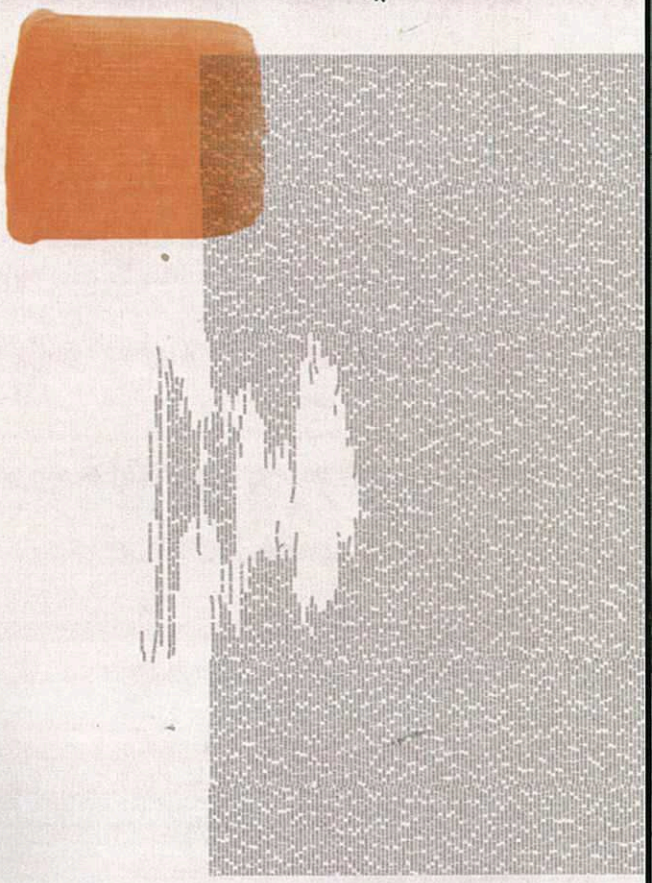
IAB CENTER
PLOT 11, BLOCK E
STAPATYACHARJO MUZHARUL ISLAM SARANI
AGRARGAON, SHER-E-BANGLA NAGAR,
DHAKA 1207, BANGLADESH

বাংলাদেশ স্থপতি ইন্‌স্টিটিউট
INSTITUTE OF ARCHITECTS BANGLADESH

ভূমিকম্প মোকাবেলায় নিরাপদ ভবন
Earthquake-safe Buildings

উন্নয়নশীল দেশে ভবন নির্মাণের ক্ষেত্রে
ভূমিকম্প নিরাপত্তার উন্নতিকল্পে শিক্ষামূলক নিবন্ধ-সিরিজ

অ্যান্ড্রু চার্লসন



EERI

ওয়ার্ল্ড হাউজিং এনসাইক্লোপিডিয়ার একটি প্রকাশনা।

Bangla language

সম্পাদনা (অনুবাদ)
ডঃ মুহঃ নওরোজ ফাতেমী
মুহঃ শফিউল আজম শামীম

মূল-অনুবাদ
রাজীব রহমান
ডঃ মুহঃ নওরোজ ফাতেমী
তাহমিনা রহমান
সাকিব আহসান চৌধুরী
রেহেনুমা তাসনীম শিফা
সুপ্রভা জুঁই
সামিয়া শারমিন বিভা

প্রকাশনা (অনুবাদ)
বাংলাদেশ স্থপতি ইনস্টিটিউট

EERI

সুচিপত্র

অনুচ্ছেদ ১ঃ বান্দুং এবং ভূমিকম্প।
অনুচ্ছেদ ২ঃ ভূমিকম্পের সময়ে মাটি এবং ভিত্তি স্থাপনের সমস্যা এড়ানো।
অনুচ্ছেদ ৩ঃ ভূমিকম্প সহনশীল বা প্রতিবন্ধক তিনটি কাঠামোগত পদ্ধতি।
অনুচ্ছেদ ৪ঃ কেন দেয়াল ভূমিকম্প-প্রতিরোধক কাঠামোর অংশ হিসেবে সবচেয়ে ভাল?
অনুচ্ছেদ ৫ঃ ভবনের দেয়াল কি ভূমিকম্পের সময়ে সহায়ক?
অনুচ্ছেদ ৬ঃ রিইনফোর্সড কংক্রিট কলাম
এবং বিম সহ ভবন ভূমিকম্পে কিভাবে কাজ করে?
অনুচ্ছেদ ৭ঃ ভূমিকম্প-নিরাপদ ভবনের নীতিমালা।
অনুচ্ছেদ ৮ঃ ভূমিকম্প প্রতিরোধের জন্য ভবনের অংশগুলো একসাথে বেঁধে রাখা।
অনুচ্ছেদ ৯ঃ ভূমিকম্পে স্থানীয় জ্ঞান ও ভবন নিরাপত্তা।
অনুচ্ছেদ ১০ঃ পূরক দেয়াল ও ভূমিকম্প চলাকালীন ভবনে তাদের প্রভাব।
অনুচ্ছেদ ১১ঃ দূর্বল তলা - একটি সাধারণ কাঠামোগত দূর্বলতা পরিহার।
অনুচ্ছেদ ১২ঃ অনিরবিচ্ছিন্ন দেয়াল - একটি সাধারণ কাঠামোগত দূর্বলতা পরিহার।
অনুচ্ছেদ ১৩ঃ বেঁটে কলাম - একটি সাধারণ কাঠামোগত দূর্বলতা পরিহার।
অনুচ্ছেদ ১৪ঃ ভূমিকম্পের সময় ভবনের মোচড় প্রতিরোধ।
অনুচ্ছেদ ১৫ঃ ভূমিকম্পের সময় এক ভবনের অন্য ভবনকে ক্ষতিসাধন করার কারণ।
অনুচ্ছেদ ১৬ঃ ইমারত নির্মাণ বিধামালা এবং মানদণ্ড।
অনুচ্ছেদ ১৭ঃ ভবন নির্মাণের প্রবিধানে কি থাকবে?
অনুচ্ছেদ ১৮ঃ ইমারত নির্মাণ বিধামালা মেনে ভবন নির্মিত হলে,
তা থেকে আমরা কি প্রত্যাশা করতে পারি?
অনুচ্ছেদ ১৯ঃ ভবন ডিজাইনের সময়কালে বিবর্তন প্রক্রিয়া খেয়াল করার গুরুত্ব।
অনুচ্ছেদ ২০ঃ ভবন নির্মাণকালীন সময়ে বিবর্তন-প্রক্রিয়া খেয়াল করার গুরুত্ব।
অনুচ্ছেদ ২১ঃ অ-কাঠামোগত উপাদানগুলির ক্ষতি প্রতিরোধ।
অনুচ্ছেদ২২ঃ ভূমিকম্পে ক্ষতির মোকাবেলায় ভবনগুলির পূণর্বিন্যাস (Retrofitting)।
অনুচ্ছেদ ২৩ঃ ভবনগুলোর জন্য উন্নত ভূমিকম্প-স্থিতিস্থাপক পদ্ধতি।
অনুচ্ছেদ ২৪ঃ নগর পরিকল্পনা এবং ভূমিকম্প নিরাপত্তা।
অনুচ্ছেদ ২৫ঃ সুনামি এবং ভবন।

EERI

ওয়ার্ল্ড হাউজিং এনসাইক্লোপিডিয়ার একটি প্রকাশনা।

ভূমিকা

ইন্দোনেশিয়ার যোগকার্তায় শিল্প স্টেকহোল্ডারদের ২০১৯ সালের সমীক্ষার পরে এই প্রকাশনার প্রয়োজনীয়তা স্পষ্ট হয়ে ওঠে। একশত চল্লিশজন প্রকৌশলী, স্থপতি, ঠিকাদার এবং বিল্ডিং মালিকদের ভূমিকম্পের সময় বিল্ডিং সুরক্ষা উন্নত করার জন্য তাদের বিল্ডিং বিভাগগুলি করতে পারে এমন পরিবর্তনগুলি সুপারিশ করতে বলা হয়েছিল। সর্বাধিক প্রচলিত পরামর্শ ছিল যে বিল্ডিং বিভাগগুলিকে একটি শিক্ষামূলক ভূমিকা নেওয়া উচিত। জরিপ উত্তরদাতারা বিশ্বাস করেছিলেন যে ভূমিকম্পের ঝুঁকি, ভবনগুলিতে ভূমিকম্পের প্রভাব এবং বিল্ডিং সুরক্ষা সম্পর্কিত বিল্ডিং প্রবিধানগুলি সহ সমস্ত স্টেকহোল্ডারদের পাশাপাশি বিল্ডিং বিভাগের কর্মীদের কাছে সহজেই উপলব্ধ হওয়া উচিত।

এই নথিতে 25টি তথ্য নিবন্ধ প্রাথমিকভাবে নির্মাণ শিল্পের পাশাপাশি ইন্দোনেশিয়ার তৃতীয় বৃহত্তম শহর বান্দুং-এর সাধারণ জনগণের জন্য লেখা হয়েছে। বছরের পর বছর ধরে, লেখক সেখানে অনেক মাস কাটিয়েছেন। যদিও নিবন্ধগুলি কিছুটা প্রসঙ্গ-নির্দিষ্ট, তবে সেগুলি একটি টেমপ্লেটের মতো কাজ করার উদ্দেশ্যে করা হয়েছে। উদ্দেশ্য হল যে নিবন্ধগুলি নির্মাণ সামগ্রী এবং পদ্ধতি সহ স্থানীয় প্রেক্ষাপট অনুসারে সংশোধন করা হবে। তারপর, প্রয়োজনে, স্থানীয় ভাষায় অনুবাদ করা হবে, উন্নয়নশীল বিশ্বের অনেক ভূমিকম্প-আক্রান্ত শহর ও অঞ্চলের জন্য।

নিবন্ধগুলির এই শিক্ষাগত সংস্থান তৈরি করার পরে, দ্য ওয়ার্ল্ড হাউজিং এনসাইক্লোপিডিয়া উন্নয়নশীল দেশগুলির অংশীদারদেরকে অনুবাদ, সম্পাদনা এবং প্রচার করার জন্য অনুসন্ধান করে। একজন অংশীদারের অবশ্যই স্থানীয় ভবনগুলির ভূমিকম্প-নিরাপত্তা উন্নত করার ইচ্ছা থাকতে হবে, ভূমিকম্প-প্রতিরোধী ডিজাইনে অভিজ্ঞ হতে হবে, স্থানীয়ভাবে অত্যন্ত সম্মানিত এবং সম্মানিত হতে হবে এবং স্থানীয় বিল্ডিং শিল্পে প্রভাবশালী অবস্থানে থাকতে হবে। নিবন্ধগুলি সম্পাদনা এবং অনুবাদ করার পরে তাদের স্থানীয় প্রাসঙ্গিকতা বাড়ানোর জন্য, একজন অংশীদার সেগুলি ছড়িয়ে দেবেন।

সম্ভাব্য, সবচেয়ে কৌশলগত অংশীদার একটি স্থানীয় বা আঞ্চলিক বিল্ডিং বিভাগ। আদর্শভাবে, এটি তার ওয়েবসাইটে নিবন্ধগুলির স্থানীয় সংস্করণ হোস্ট করবে এবং এমনকি যারা বিল্ডিং পারমিট চাইছেন তাদের জন্য এবং সাধারণ জনগণের জন্য মুদ্রিত অনুলিপিগুলিও উপলব্ধ করবে। বিকল্পভাবে, একজন অংশীদার হতে পারে একটি সরকারী বিভাগ, একটি জাতীয় ভূমিকম্প সমাজ, বিশ্ববিদ্যালয়ের কর্মীদের একটি কনসোর্টিয়াম, অথবা একটি বড় পরামর্শক প্রকৌশল সংস্থা। নিবন্ধগুলির চূড়ান্ত স্থানীয় সংস্করণে অংশীদারের ইনপুট স্বীকার করা হবে এবং এটি অংশীদারের সর্বজনীন প্রোফাইল বাড়াতে সাহায্য করবে। অংশীদার নিবন্ধগুলি থেকে উদ্ভূত প্রশ্নের উত্তর দেওয়ার প্রস্তাবও দিতে পারে।

সেইসাথে নিবন্ধগুলি একটি ওয়েবসাইটে পোস্ট করা এবং বা যারা ব্যক্তিগতভাবে পরিদর্শন করেন তাদের জন্য নিবন্ধগুলি মুদ্রণ করার পাশাপাশি, অতিরিক্ত প্রচার পদ্ধতিগুলি সম্ভব। উদাহরণস্বরূপ, নিবন্ধগুলি সংবাদপত্র বা ম্যাগাজিনের নিবন্ধগুলির একটি সিরিজ হিসাবে প্রকাশিত হতে পারে। বিল্ডিং পেশাদারদের দ্বারা পড়া পত্রিকা এবং ভবন এবং বাড়ির মালিকদের লক্ষ্যবস্তু করা যেতে পারে। সম্ভবত নিবন্ধগুলি উপযুক্ত পেশাদার শিক্ষা এবং নির্মাণ প্রশিক্ষণ প্রতিষ্ঠানেও উন্নীত করা যেতে পারে।

EERI

অবশেষে, অনুবাদক এবং সম্পাদকদের জন্য কিছু নির্দেশিকা যা স্থানীয় প্রেক্ষাপট অনুসারে নিবন্ধগুলি পরিবর্তন করে:

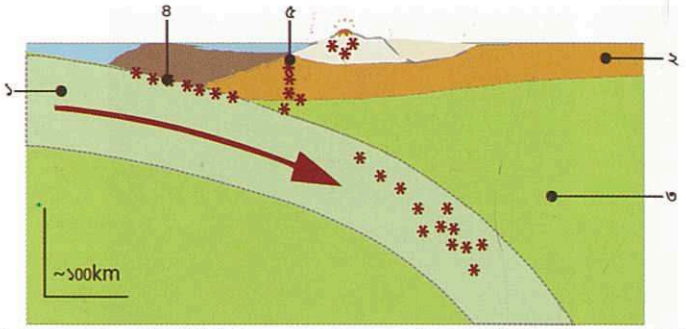
- "রেফারেন্স" এর জন্য পরামর্শ পর্যালোচনা করুন। আপনার শহর বা দেশের সাথে বিশেষভাবে প্রাসঙ্গিক রেফারেন্স যোগ করুন এবং অসহায় হতে পারে এমন যেকোনও সরান।
- যেকোন ছবি বা ডায়াগ্রাম প্রতিস্থাপন করুন যেগুলি আপনার স্থানীয় পরিস্থিতির জন্য আরও উপযুক্ত এবং আপনি অপ্রাসঙ্গিক মনে করেন তা সরিয়ে দিন।
- আপনার দেশের জন্য প্রয়োজনীয় টেক্সট রিফ্রেস করুন। নিবন্ধগুলিকে আপনার শহর বা অঞ্চলের সাথে যতটা সম্ভব নির্দিষ্ট এবং যতটা সম্ভব প্রাসঙ্গিক করতে উপযুক্ত স্থানীয় স্থানের নাম ব্যবহার করুন। উদাহরণ স্বরূপ, ইন্দোনেশিয়ায় "স্থানীয় জ্ঞান" শব্দটি খুবই জনপ্রিয় (আর্টিকেল 9 দেখুন), কিন্তু অন্যান্য দেশে "ঐতিহ্যগত নির্মাণ" আরও উপযুক্ত হতে পারে।
- আপনার স্থানীয় সংস্করণ আপনার পাঠকদের জন্য সম্পূর্ণরূপে প্রযোজ্য হবে তা নিশ্চিত করতে প্রতিটি নিবন্ধের বিষয়বস্তু সমালোচনামূলকভাবে পর্যালোচনা করুন। টেমপ্লেট নিবন্ধগুলিতে তৈরি অনুমানগুলি আপনার জন্য বৈধ কিনা তা পরীক্ষা করুন। উদাহরণ স্বরূপ, যখন ৪ নম্বর ধারায় বিল্ডিংগুলিকে একত্রে বাঁধতে হয় তা নিয়ে আলোচনা করার সময়, এটি অনুমান করা হয় যে সাসপেন্ডেড কংক্রিট স্ল্যাব রয়েছে। কিন্তু কিছু দেশে, কাঠের মেঝে সাধারণত রাজমিস্ত্রির দেয়ালের সাথে ব্যবহার করা হয়।
- নিবন্ধগুলি যে বিন্যাসে প্রকাশ করা হবে তা বিবেচনা করুন। যদি সেগুলি একটি নথি হিসাবে প্রকাশিত হয়, তবে প্রতিটি নিবন্ধে পরিচায়ক পাদটীকা থাকার দরকার নেই। যাইহোক, সেই পাদটীকাটি উপযুক্ত যখন নিবন্ধগুলি প্রকাশিত হয়, বলুন, একটি সংবাদপত্র বা ম্যাগাজিনে একটি সিরিজ হিসাবে।
- মনে রাখবেন নিবন্ধগুলি বিশেষভাবে সাধারণ জনগণের জন্য লেখা। নিবন্ধগুলো তাই সাধারণ মানুষের বোঝার কথা। যেকোন পুনঃলিখন এবং অনুবাদে, প্রযুক্তিগত পদ বা শব্দবাক্য এড়িয়ে চলুন। স্বচ্ছতা এবং পঠনযোগ্যতার জন্য চেষ্টা করুন।
- আপনি নিবন্ধগুলি সম্পাদনা বা অনুবাদ করলে, অনুগ্রহ করে একটি পিডিএফ সংস্করণ দ্য ওয়ার্ল্ড হাউজিং এনসাইক্লোপিডিয়া (whe@eeri.org) এ ইমেল করুন যেখানে এটি তার ওয়েবসাইটেও পোস্ট করা হবে।
- অনুবাদ বা প্রচার প্রক্রিয়া চলাকালীন আপনার কোন প্রশ্ন থাকলে, অনুগ্রহ করে Andrew.w.charleson@gmail.com-এ অ্যান্ড্রু চার্লসনের সাথে যোগাযোগ করুন।
- আপনার সম্প্রদায়ের বিল্ডিং, কিন্তু বিশেষ করে আবাসনগুলির ভূমিকম্প সুরক্ষা উন্নত করার জন্য দ্য ওয়ার্ল্ড হাউজিং এনসাইক্লোপিডিয়ার অংশীদারদের ধন্যবাদ।

EERI

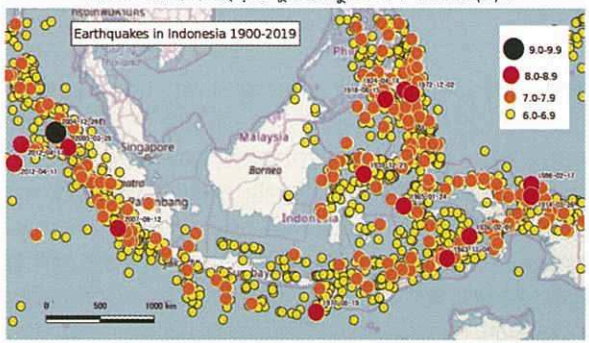
ওয়ার্ল্ড হাউজিং এনসাইক্লোপিডিয়ার একটি প্রকাশনা।

অনুচ্ছেদ ১: বান্দুং এবং ভূমিকম্প

সুমাত্রা হতে লম্বক পর্যন্ত বিস্তৃত ইন্দোনেশিয়ার অনেক আগ্নেয়গিরি আমাদের মনে করিয়ে দেয়, আমরা প্যাসিফিক রিমের আগুনের ওপর বাস করছি। লাভা উদ্গীর্ণের ভয়াবহতা ছাড়াও আমরা টেকটোনিক প্লেটের সীমানায় বসবাস করছি। এই শক্তি অস্ট্রেলিয়ার প্লেটকে ক্রমাগত ভাবে ইন্দোনেশিয়ার নীচ দিয়ে গতিশীল রেখেছে, যেটি আমাদের নখের বৃদ্ধির মতোই গতিশীল! (চিত্র ১) এই চলাচল সবসময়ে বাধাহীন হয় না। বাধাগ্রস্ত হলে অভ্যন্তরীণ চাপ সৃষ্টি হয়। এই চাপ এবং শক্তি উপরিভাগে পাথরকে তীব্রভাবে ভেদ করে বের হয়ে আসে। এটাই ভূমিকম্পের কারণ। চিত্র ২-এ ইন্দোনেশিয়ার সাম্প্রতিক ভূমিকম্পের আকার এবং স্থান দেখানো হয়েছে।



চিত্র ১. সুমাত্রার এবং একটা অগ্নিগিরির প্রস্থচ্ছেদ মাধ্যমে অস্ট্রেলিয়ার প্লেট দেখানো হচ্ছে (১) সুমাত্রা এবং মহাদেশীয় ভূত্বকের নীচ দিয়ে গতিশীল রেখেছে (২) আবরণ মধ্যে (৩)। ভূমিকম্পের (৪) উৎপত্তি এই চলাচলের কারণেই হয় এবং এছাড়াও সুমাত্রার চুত্যি রেখা বরাবরও (৫)।



চিত্র ২. সম্প্রতি ইন্দোনেশিয়ায়ে ঘোটে যাওয়া বড় ভূমিকম্প গুলো (উইকিপিডিয়া)। ভূমিকম্প গুলোর শ্রেণী ভাগ করা হইছে সেগুলোর মাত্রা এবং নিষ্কৃত বলের ভিত্তিতে।

Please note: This article will be replaced by one explaining the earthquake mechanisms of Bangladesh.

ইন্দোনেশিয়ার অধিকাংশ ভূমিকম্প প্রবল এলাকা এসমস্ত টেকটোনিক প্লেটের কাছে অবস্থিতি। অন্য এলাকার যেমন গ্রেটার বান্দুং এবং স্থানীয় ভূমিকম্পের সক্রিয় চুত্যি রেখার কারণে হয়। এখানে উত্তর বান্দুং এবং লেম্বাং এর আভ্যন্তরীণ লেম্বাং চুত্যি রেখা পূর্ব হতে পশ্চিম দিকে ক্রিয়াশীল আছে (চিত্র ৩)। বৈজ্ঞানিক গবেষণায়ে দেখা গেছে, একজন ব্যক্তির জীবদ্দশায় এই চুত্যি রেখার কারণে প্রাণ ঘাতী এবং ভবন ধ্বসে পড়ার মতো ভয়ংকর ভূমিকম্প ঘটার ২০% সম্ভাবনা থাকে।

ভূমিকম্পের সময় ভূমি দ্রুত সামনে পিছনে এবং সব দিকে নড়তে থাকে। বড় ভূমিকম্পের সময় এই কম্পন এত বেশি হয় যে, স্থির ভাবে দাঁড়ানো কঠিন হয় পড়ে। এই কম্পনের কারণে ভূমিও ক্ষতিগ্রস্ত হতে পারে। ভূমিকম্পের সময় ভূমিধ্বস এবং নরম মাটি-কাঁদায় পরিণত হতে পারে। তবে সাধারণত আমাদের দৈনন্দিনের কাজের এবং বসবাস করার ভবনগুলোই সবচেয়ে বেশি ক্ষতিগ্রস্ত হয়।

চিত্র ৩. বান্দুং এবং লেম্বেং এর চুত্যি রেখার স্থান অন্তরীক্ষ দৃশে দেখানো হইছে (ডিরেক্টরাট জিওলজি বান্দুং) ।

ভূমিকম্পের সময় ভবনগুলো কাঁপতে থাকে এবং আগে-পিছে দুলতে থাকে। কম্পনের সময় ভবনের উপরের অংশ পাশাপাশি ভাবে দুলতে থাকে এবং অন্য দিকে নিচের অংশে বাঁকা হয়ে বিকৃত হয়ে পরে (চিত্র ৪) । এই অবস্থায়ে ভবনের কাঠামোগত অংশগুলো যেমন কলাম, বিম এবং দেয়ালের উপর প্রচণ্ড চাপ সৃষ্টি করে। ব্যাপারটা অনেকটা এইরকম যে, আপনি দু পায়ের উপর ভর দিয়ে সোজা দাড়িয়ে আছেন, আপনার বন্ধু পিছন থেকে আপনাকে হালকা ধাক্কা দিল। আপনার মাথা এবং কাঁধ, আপনার হাঁটু এবং তার নিচের অংশ হতে বেশি ঝুঁকে যাবে এবং আপনার পায়ের পেশী গুলো আপনার পড়ে যাওয়া আটকানোর জন্য বেশি সক্রিয় হয়ে উঠবে। ভূমিকম্পের সময় ভবন গুলোর জন্য একই পরিস্থিতির সৃষ্টি হয়। রিইনফোর্সড কংক্রিটের কলাম এবং ইটের দেয়াল সবচেয়ে বেশি ঝুঁকিপূর্ণ। এগুলো ক্ষতিগ্রস্ত হলে ভবন ধ্বসে পড়তে পারে। আমরা, আমাদের পরিবার, আমাদের বন্ধু অথবা অন্যরা এমন হতাহতের স্বীকার হতে পারি।

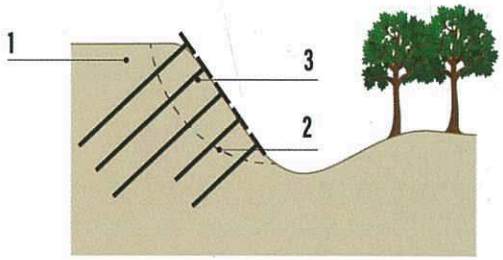
চিত্র ৪. ভূমিকম্পের কম্পনের সময় দেখানো একটি বাড়ি।

সৌভাগ্যক্রমে, ভূমিকম্প প্রতিরোধক বাড়ির নকশা করানো এবং নির্মাণের খরচ অনেক বেশি না। ভূমিকম্প হলেই ভবন ক্ষতিগ্রস্ত হবে এটা অনিবার্য না। একে প্রতিরোধ করা সম্ভব! এই অনুচ্ছেদের সারির অন্যান্য অধ্যায় গুলোতে বিস্তারিত ভাবে এইগুলো কে ব্যাখ্যা করা হয়েছে। ইন্দোনেশিয়া এবং অন্যান্য দেশগুলোতে নতুন ভবন তৈরির ক্ষেত্র ভূমিকম্পের সময় সাঙ্ঘাতিক ক্ষতি এড়ানোর জন্য বর্তমানে প্রচলিত নিয়মগুলোর উন্নতি সাধন এবং প্রচলিত ও পরীক্ষিত ধারা ও নিয়মগুলো মেনে চললেই হবে। এই ভাবেই আমরা ভূমিকম্পের সময় নিজেদের, আমাদের পরিবার এবং ভবিষ্যৎ প্রজন্মকে সুরক্ষিত রাখতে পারবো। যদিও বান্দুং খুব বেশি ভূমিকম্প প্রবণ এলাকা নয়, তবুও প্রাণঘাতী ভূমিকম্পের সময় ভবনের অধিকতর ক্ষতিগ্রস্ত হওয়ার আশংকা অনেক বেশি। উদাহরণ স্বরূপ, এটি আপনার মর্মান্তিক সড়ক দুর্ঘটনায় পড়ার আশংকার চাইতেও বেশি। ভূমিকম্প সহায়ক ভবন নির্মাণ করা অবশ্যই সম্ভব, কিন্তু এইটা অধিক যত্ন ছাড়া অর্জন করা সম্ভব না।

অনুচ্ছেদ ২:ভূমিকম্পের সময়ে মাটি এবং ভিত্তি স্থাপনের সমস্যা এড়ানো

আদর্শভাবে, আমরা সবাই চাই আমাদের বাসাবাড়ি অথবা ভবনগুলো, যেটায় আমরা বসবাস করি, সেটা নিরেট পাথর দিয়ে তৈরি হোক। যদি এমন হয় তবে মাটির অস্বাভাবিক ক্ষয়ের কারণে ভবনের যেই ক্ষতির আশংকা হয় সেগুলোকে দূর করা সম্ভব। ভূমিকম্পের কম্পনের সময় মাটির আচরণ শুধু অস্বাভাবিকই হয় না, বরং সেটি ভবনের জন্য ক্ষতিকরও হয়ে থাকে।

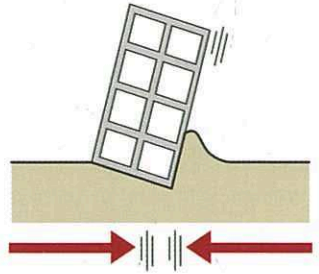
এছাড়া সবচাইতে সম্ভাব্য ক্ষতি – খাড়া ঢালু বিশিষ্ট স্থান থেকে হতে পারে। এমন স্থানে পাথর খোসে পড়তে পারে অথবা ভূমিধ্বস হতে পারে, দুই ক্ষেত্রেই একটি ভবন অথবা এলাকা ক্ষতিগ্রস্ত হতে পারে। সাধারণত নির্মাণ প্রকৌশলীরা এ ধরণের সমস্যার সমাধান দিয়ে থাকেন। উদাহরস্বরূপ, পৃষ্ঠতলের নালা বৃষ্টির সময় মাটির নরম হয়ে যাওয়াকে প্রতিরোধ করতে পারে, যা আবার ভূমিকম্পের সময় ভূমিধ্বস প্রতিরোধ করতে সক্ষম। স্থায়ীভাবে পাহাড়ি এলাকাকে নিরাপদ রাখার জন্য লম্বা গর্ত ছিদ্র করে সেখান ` গ্রাউন্ড অ্যাংকর` দেয়া যেতে পারে যা ভূমিধ্বস প্রতিরোধে সক্ষম। তবে এজন্য বিশাল মাপের কার্যক্রম এবং প্রচুর অর্থব্যয় করতে হবে (চিত্র ১)।



চিত্র ১. একটি অস্থিতিশীল ঢালের প্রস্থচ্ছেদ-এর মাধ্যমে দেখানো হচ্ছে (১) । একটি সম্ভাব্য বাঁকা ও পিচ্ছিল পৃষ্ঠ (২) ইস্পাতের বারের তৈরি গ্রাউন্ড অ্যাংকর দিয়ে ভূমিধ্বস প্রতিরোধ করছে (৩) বাঁকের মধ্যে ছিদ্র এবং কেন্দ্রীভূত করা।

অপ্রত্যাশিতভাবে, সমতল ভূমিতেও বড় মাত্রার ভূমিকম্প সমস্যা তৈরি করতে পারে। এটি এমন ক্ষেত্রের জন্য প্রযোজ্য, যেখানে পানির স্তরের নীচে আলাদা বালুর স্তর আছে। ভূমিকম্পের কম্পনের সময় বালু এবং পানি মিশে তরল কাই-এর পরিণত হয়। এই অবস্থাকে বলা হয় `তরলীকরণ`। এই ধরণের ভূমিতে ভবন তৈরি হলে তরলে ডুবে যেতে পারে, কাঁত হয়ে যেতে পারে

অথবা সম্পূর্ণ ভাবে ভেঙে পড়তে পারে (চিত্র ২) । ইন্টারনেটে খোজ করলে `ভবন তরলীকরণের` অনেক ছবি পাওয়া যায়। ২০১৮ সালের পালু ইন্দোনেশিয়ার ভূমিকম্পের সময় সবচেয়ে বেশি বিপর্যয় ঘটেছিল, সেসময় প্রচুর বাড়ি ভেসে গিয়েছিল এবং মাটির সাথে মিশে অদৃশ্য হয়ে কাঁদায় পরিণত হয়েছিল।



চিত্র ২. স্থলের কম্পন মাটির বল কমিয়ে ফেলে তরল করে ফেলে, ফলে ভবনটি একপাশে হেলে পরে।

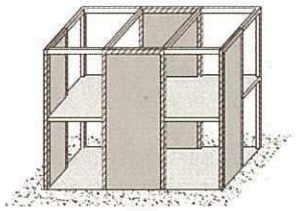
মাটির এবং ভূমিকম্পের এধরণের সম্ভাব্য ক্ষতি এড়ানোর জন্য পূর্বের নকশা ও মাটির পর্যবেক্ষণ করানো অবশ্যই দরকারি। এই মাটির পরীক্ষা করার সুপারিশ করা হয়। ছোট ভবনের ক্ষেত্রে সাধারণ পরীক্ষা হলেও চলবে। কিন্তু বড় ধরনের কোন প্রকল্পের ক্ষেত্রে বিস্তারিত পরীক্ষার প্রয়োজন আছে। নির্মাণ প্রকৌশলীদের এইসব পরীক্ষার ফল নকশা করার আগে জানতে হয় যাতে মাটি ভবনের কতটুক ওজন নিতে সক্ষম, সেটা নিঃসংকোচে বলতে পারে। পরীক্ষা করার জন্য মাটির নীচ পর্যন্ত ছিদ্র করে মাটির ধরণগুলোর সম্পর্কে নিশ্চিত ভাবে বুঝায় (চিত্র ৩) । নমুনা পরীক্ষাগাররে পরীক্ষার জন্য নেওয়া হয়। বিশেষকরে, বিশাল ভবন তৈরির জন্য মালিকপক্ষ ভূ-প্রযুক্তি প্রকৌশলীকে কাজে যুক্ত করতে পারেন, যিনি পরীক্ষা গুলো করবেন, প্রাপ্ত ফলাফলের ব্যাখ্যা করবেন, এবং সে অনুযায়ী ভবনের নকশা নির্ধারণ করবেন। ঢালু এলাকা, তরলীকরণ প্রবল এলাকার ক্ষেত্রে ভূ-প্রযুক্তি প্রকৌশলী সম্ভাব্য কমিয়ে ভবনটাকে কিভাবে সুরক্ষিত করা যায়, এই বিষয়ে মতামত দিতে পারেন।

চিত্র ৩. পরীক্ষাগারে পরীক্ষা করার জন্য ড্রিলিং রিগ এর মাধ্যমে মাটির নমুনা সংগ্রহ করা হচ্ছে।

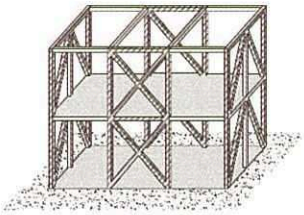
এইটা ভবনের মালিকের জন্য খুবই গুরুত্বপূর্ণ যে নির্মাণ কাজ শুরু করার পূর্বে নকশা করার সময় যথাযথ ভূমি পরীক্ষা করিয়ে নেওয়া, বিশেষ করে নরম মাটির এলাকার জন্য এটি গুরুত্বপূর্ণ।

অনুচ্ছেদ ৩: ভূমিকম্প সহনশীল বা প্রতিবন্ধক তিনটি কাঠামোগত পদ্ধতি

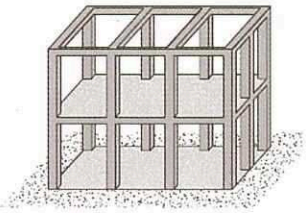
যেকোনো শহরেরই ভবন সমূহ, বৈচিত্র্যময়। কিছু ভবন কম উচ্চতার আর কিছু বহুতল, কিছু ভবন আঁটসাঁট, আবার কিছু বৃহদাকার, যেমন শপিং মল। যদিও ভবন গুলো দেখতে একদমই আলাদা, তবে এগুলোর নকশায় নেয়া ভূমিকম্প প্রতিবন্ধক বা সহনশীল কাঠামোগত পদ্ধতি গুলো সাধারণত তিন ধরনের হয়ে থাকে। পদ্ধতি গুলো হলো- শিয়ার দেয়াল (shear wall) অথবা কাঠামোগত দেয়াল; ব্রেসড ফ্রেম (braced frame) অথবা বন্ধনী গঠন; আর মোমেন্ট ফ্রেম (moment frame), যেরকমটা চিত্র ১ এ দেখানো হয়েছে।



(a) Shear walls



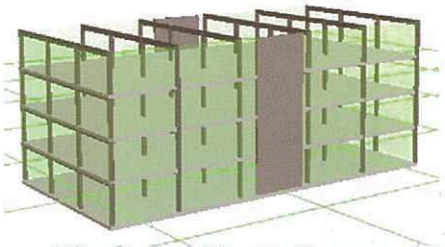
(b) Braced frames



(c) Moment frames

চিত্র ১. শক্তিমত্তা আর ভূমিকম্প সহনশীলতার ক্রমানুসারে (সর্বোচ্চ থেকে সর্বনিম্ন) তিনটি প্রচলিত কাঠামোগত পদ্ধতি

যখন স্থপতি এবং প্রকৌশলীরা নতুন কোনো ভবন এর নকশা করেন, তারা প্রচলিত এই তিনটি পদ্ধতির একটি ব্যবহার করে থাকেন ভবনের ভূমিকম্প সহনশীল করতে। আবার কখনো ভবনের ভিন্ন ভিন্ন দিকে, একসাথে দুটি পদ্ধতিও ব্যবহৃত হয়ে থাকে (চিত্র ২)। ভবনের নকশায় প্রচলিত ভাবে ব্যবহৃত এই তিনটি পদ্ধতির যেকোনো একটি পদ্ধতি যদি ভবনকে সম্মুখ আর আড়াআড়ি ভাবে শক্তি দিতে পারে, তাহলে ভবনটা যেকোনো দিক থেকে আসা কম্পন সহ্য করতে পারবে।



চিত্র ১. ছয়টি মোমেন্ট ফ্রেম, প্রতিটি ছয়টি সারি সংস্কলিষ্ট, আড়াআড়ি ভাবে আসা কম্পনকে প্রতিহত করে, আর দুটি কাঠামোগত দেয়াল ভবনের বরাবর দিকে আসা কম্পনকে প্রতিহত করে।(ছাদ এর স্ল্যাব এখানে দেখানো হয় নি)

প্রতিটি পদ্ধতিই উল্লম্ব এবং ভিত্তি থেকে ছাদ পর্যন্ত গোটা ভবন জুড়েই থাকবে। দেয়ালের সংখ্যা, আর ব্রেসেড ফ্রেম নাকি মোমেন্ট ফ্রেম কোনটা অবলম্বন করা হবে, তা নির্ভর করে সেই শহরের ভূকম্পন ঝুঁকি, ভবনের আকার-আয়তন, আর সামাজিক গুরুত্বের উপর বিবেচনা করে।

এক্ষেত্রে মোমেন্ট ফ্রেম বেশি ব্যবহৃত হয় (চিত্র ৩)। এই পদ্ধতিতে, থাম বা কলাম আর বিম গুলো একে অন্যের সাথে শক্ত ভাবে যুক্ত থেকে ভূমিকম্প প্রতিরোধ করতে সাহায্য করে (অনুচ্ছেদ ৬)। এই পদ্ধতি ব্যবহারে, জানালা আর অভ্যন্তরের নকশা করার ক্ষেত্রে সবচেয়ে বেশি স্বাধীনতা পাওয়া যায়। কিন্তু আশংকা এই যে, অন্য দুটি পদ্ধতির তুলনায় এই পদ্ধতিটি ভূমিকম্পের বিরুদ্ধে বেশ লগবগে। কম্পনের সময়ে, এই পদ্ধতিটি বেশ দুলুনি প্রবণ আর তাতে স্বাভাবিক ভাবেই ক্ষতির প্রবণতা বেশি হয়ে থাকে। আর নির্মাণের উপাদানের কথা বলতে গেলে, সাধারণত ব্যবহার হয়ে থাকে রিইনফোর্সড কংক্রিট (অথবা ইস্পাতযুক্ত কাঠামো)। তবে কম উচ্চতার ভবনের জন্য কাঠ ব্যবহার করা যেতে পারে।

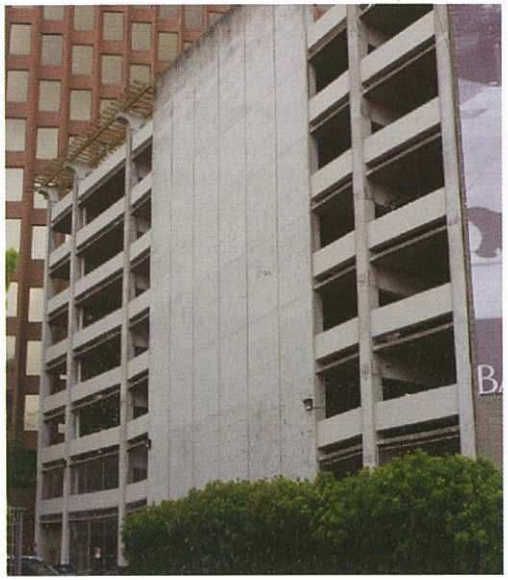
চিত্র ২. দুটি চার-সারি সংশ্লিষ্ট মোমেন্ট ফ্রেম ভবনটিকে বরাবর আসা কম্পনের শক্তি থেকে রক্ষা করে। ঠিক একই রকম ফ্রেম, ভবনের এর ওপর পাশেও থাকে।

ব্রেসড ফ্রেম এর কোনাকুনি বন্ধনী থাকে, যেগুলো কলাম আর বিম এর সাথে লেগে ত্রিভুজ আকৃতি ধারণ করে (চিত্র ৪)। এগুলো নির্মাণ করা হয় ইস্পাত দ্বারা আর সাধারণত কম উচ্চতার ভবনে বেশি ব্যবহৃত হয়ে থাকে, যেমন গুদামঘর। ঢালাই এর মান, এসব ইস্পাত জোড়া দেয়ার ক্ষেত্রে একটা দুর্বলতা হতে পারে, যদি না সর্বোচ্চ মান নিশ্চিত করা হয়, এবং ইস্পাতের বন্ধনী প্রবল বল এর মুখে বেঁকে যেতে পারে।

চিত্র ৩. ইস্পাতের তৈরি ব্রেসড ফ্রেম, আড়াআড়ি ভাবে আসা কম্পনের শক্তি থেকে প্রতিহত করে। ইস্পাতের মোমেন্ট ফ্রেম ভবন জুড়ে প্রতিরোধ শক্তি তৈরি করে থাকে।

ভূমিকম্পের বিরুদ্ধে, শিয়ার দেয়াল (shear wall) অথবা কাঠামোগত দেয়াল সবচেয়ে বেশি কার্যকর (চিত্র ৫)। আন্তর্জাতিক ভাবে, এর কার্যকারিতাই সবচেয়ে বেশি প্রমাণিত। যত বেশি লম্বা দেয়াল আর যত বেশি সংখ্যার দেয়াল, সেই ভবন ততো মজবুত। তার মানে, কম্পনের সময় এর দুলুনি অনেক কম, কিন্তু তাও ভবনের ক্ষতি হচ্ছে বা হওয়ার সম্ভাবনা থাকে।

বহুতল ভবন নির্মাণ করার ক্ষেত্রে, রিইনফোর্সড কংক্রিট হচ্ছে সবচেয়ে প্রচলিত উপাদান । তবে কম উচ্চতার ভবনের ক্ষেত্রে সংকীর্ণ ইটের দেয়াল (অনুচ্ছেদ ৪) বেশি উপযোগী। কিছু ভূমিকম্প প্রবণ দেশে, যেমন যুক্তরাষ্ট্র অথবা নিউজিল্যান্ড, কম উচ্চতার কাঠের নির্মাণের ক্ষেত্রে ভূমিকম্প প্রতিরোধী করতে 'পাতলা কাঠ অথবা জিপ্সাম প্লাস্টার-বোর্ড দিয়ে তৈরি' কাঠামোগত দেয়ালের উপর নির্ভর করা হয়। মাঝারি উচ্চতার ভবনে শিয়ার দেয়াল বানানোর ক্ষেত্রে, বিশেষ প্রযুক্তিতে করা কাঠের নির্মাণ উপাদান যেমন ক্রস-লেমিনেটেড টিম্বারের ব্যবহার ও দিন দিন বাড়ছে।



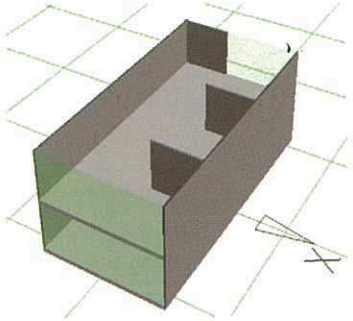
চিত্র ৪. রিইনফোর্সড কংক্রিটের কাঠামোগত দেয়াল, দালানে এর দৈর্ঘ্য বরাবর আসা কম্পনকে মোকাবিলা করে। দালানে এর ওপর পাশেও ঠিক একই রকম একটা দেয়াল থাকে।

অনুচ্ছেদ ৪: কেন দেয়াল ভূমিকম্প-প্রতিরোধক কাঠামোর অংশ হিসেবে সবচেয়ে ভাল?

অনুচ্ছেদ ৩ এ উল্লেখ আছে যে, তিনটি প্রচলিত পদ্ধতির মধ্যে দেয়ালের ব্যবহার অনুভূমিক কম্পন প্রতিরোধে সবচেয়ে কার্যকারী। তিনটির মধ্যে দেয়াল হচ্ছে, সম্ভাব্য পদ্ধতিগুলোর মধ্যে সবচেয়ে শক্তিশালী, নির্মাণাধীন ভুলের ক্ষেত্রে সবচেয়ে কম লগবগে এবং সবচেয়ে কম সূক্ষ্ম। ভূমিকম্পে ক্ষতিগ্রস্ত ভবনগুলির আন্তর্জাতিক পর্যবেক্ষণেও দেয়াল এর পূর্বের নথীর ভাল বিবরণ আছে (*চিত্র ১*)। যদিও, মাঝারী থেকে বহুতলবিশিষ্ট ভবনের ক্ষেত্রে কাঠামোগত দেয়ালের ব্যবহার প্রচলিত না, যতটা নির্দিষ্ট কাঠামোর ক্ষেত্রে প্রচলিত। কাঠামোগত নির্মাণে ক্ষতির ঝুঁকি বেশি। উদাহরণস্বরূপ, চিলিতে বেশিরভাগ বাসা এইজন্য কাঠামোগত দেয়ালের তৈরি, থাম বা কলাম-বিম কাঠামোতে না। সাম্প্রতিক বড় ভূমিকম্প প্রতিরোধ করতে দেয়াল ভাল ভূমিকা পালন করেছে।

চিত্র ১. একটি ভূমিকম্পে ক্ষতিগ্রস্ত ভবন। এই ইটের তৈরি সাদা দেয়ালের সবলতা এবং দৃঢ়তা ভবনটিকে ক্ষতির হাত থেকে রক্ষা করে। ভবনের সামনের বহির্ভাগে ক্ষতির কারণ হচ্ছে গোটা ভবনে ব্যবহারকৃত লগবগে কাঠামোর ব্যবহার। সাময়িক ভাবে পাতলা পাতলা কাঠের আস্তর দিয়ে ঢেকে রাখা হয়েছে।

তাই দেয়াল হচ্ছে ভূমিকম্প প্রতিরোধে সবচেয়ে কার্যকারী কাঠামোগত অংশ। কিন্তু দেয়াল কোন উপাদান দিয়ে তৈরি করা হবে তা ভবনের উচ্চতার উপর নির্ভর করে। নিচু ভবনের ক্ষেত্রে, যেমন একতলা বা দোতলা বাসা, সংকীর্ণ ইটের দেয়ালই (*অনুচ্ছেদ ৭*) সবচেয়ে উপযুক্ত, নির্মাণের প্রক্রিয়া, যদি খরচের কথা বিবেচনা করা হয় (*চিত্র ২*)। এই সব ভবনের ক্ষেত্রে, মোমেন্ট ফ্রেমের ভবনের চেয়ে সংকীর্ণ রিইনফোর্সড কংক্রিটের সংযুক্ত কলাম এবং সংযুক্ত বিমের মাপ তুলনামূলক ভাবে কম হয়। উপরে উল্লেখিত, কম্পনের কারণ এ দেয়াল গুলো সামনে-পেছনে এক ধরণের ক্রমিক গতি ধারণ করে। ফলে, দেয়াল এবং অন্যান্য ভবনের অংশ, যেমন পার্টিশন, ভূমিকম্পের কম্পনে কম ক্ষতিগ্রস্ত হয়ে। কিন্তু দেয়াল, অভ্যন্তরীণ নকশা এবং আলো প্রবেশে সীমাবদ্ধতা সৃষ্টি করে। এইগুলোর ভিত্তি স্থাপনের খরচও তুলনামূলক ভাবে বেশি। এইগুলো হলো এই পদ্ধতির মূল অসুবিধা।



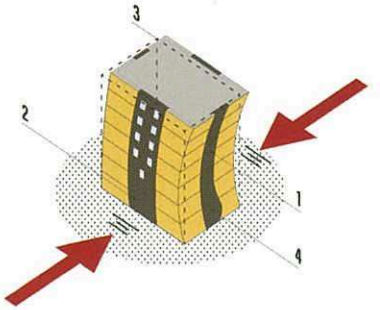
চিত্র ২. সংকীর্ণ ইটের দেয়াল এবং কংক্রিটের ছাদের স্ল্যাবের (চিত্র দেখান হয়নি) তৈরি একটি দো'তলা বাসা। দুইটি লম্বা দেয়াল প্রাচীরের মতো দুইদিকে দাড়িয়ে থাকায় ভবনের দৈর্ঘ্য বরাবর কম্পন প্রতিরোধ করতে সাহায্য করে। তিনটি ছোট দেয়াল বিপরীত পাশের কম্পন প্রতিরোধ করতে সাহায্য করে (এক্স- অভিমুখ)। কলাম এবং পার্টিশন দেয়াল দেখানো হয়নি।

বিভিন্ন ভূমিকম্প-কবলিত দেশগুলোতে বহুতল ভবন তৈরির ক্ষেত্রে, রিইনফোর্সড কংক্রিটের তৈরি দেয়ালই বেশি প্রচলিত। এই দেয়ালগুলো ভিত্তি স্থাপন থেকে একটানা উপরের দিকে উঠে যায়, পাইল সহ অথবা ছাড়া, এবং নিচতলার দিকে কোন বড় ছিদ্র না দিয়ে, একদম ছাদ পর্যন্ত (*চিত্র ৩*)। প্রত্যেক-তলার স্ল্যাব এবং ছাঁদের স্ল্যাবের সাথে এই দেয়াল গুলো ভালভাবে সংযুক্ত রাখতে হবে।

চিত্র ৩. একটি নির্মাণাধীন ভবন। বেশিরভাগ ভূমিকম্পের বল দুই অভিমুখের ক্ষেত্রে রিইনফোর্সড কংক্রিটের কাঠামোগত দেয়াল দিয়ে প্রতিরোধ হবে। কিছু ক্ষেত্রে, পরিধিতে ইস্পাত এর তৈরি মোমেন্ট ফ্রেমে প্রতিরোধ করতে সাহায্য করে।

নিরাপত্তার স্বার্থে, কাঠামোগত দেয়াল গুলো পর্যাপ্ত পুরুত্ব এবং অনুভূমিক দৈর্ঘ্য থাকতে হবে। দেয়াল যদি খুব পাতলা হয়, সেই ক্ষেত্রে ভূমিকম্পের সময়ে কোণাগুলো বেঁকে গিয়ে ভবনের ক্ষতি করে। যদি অনেক খাটো (*পাতল্য*) হয়, দেয়াল গুলো খুব দুর্বল এবং লগবগে হয়, এ ক্ষেত্রে

ভবনগুলো সামনে-পেছনে সেই একই ধরণের ক্রমিক গতি ধারণ করে, ভীষণ ক্ষতিগ্রস্ত হতে পারে। নিচতলা ইটের তৈরি ভবনের ক্ষেত্রে, দুই অভিমুখে কম্পনের ক্ষেত্রে দেয়ালের সংখ্যা, দেয়ালের দৈর্ঘ্য এবং পুরুত্ব নির্মাণ নির্দেশিকাতে পাওয়া যেতে পারে, যেমন *মেলি (২০১১)*। ভূমিকম্পের ঝুঁকি এড়াতে সঠিক শক্তিশালী-করণ ইস্পাতের বিস্তারিত তথ্য দেয়াল নির্মাণের সময় অনেক প্রয়োজন (*কেরলেভার,২০১৮*)। উঁচু ভবনের ক্ষেত্রে অভিজ্ঞ নির্মাণ প্রকৌশলী দিয়ে কাঠামোগত দেয়ালের নকশা করিয়ে নিতে হবে।



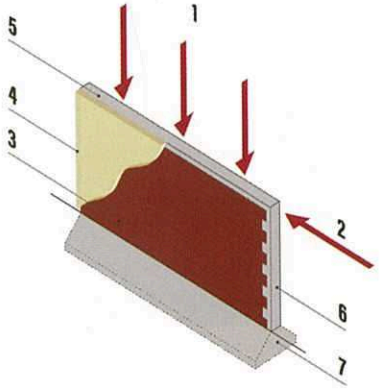
চিত্র ৪. ভূমিকম্পের সময় দুটি সুরু দেয়াল (১) একপাশের কম্পন প্রতিরোধ করে কিন্তু খুব বেশি নড়তে থাকে। আবার নিচের দিকে বেঁকে যায়ে। দুটি লম্বা দেয়াল (২) অপর অভিমুখের কম্পন প্রতিরোধ করে। ভবনের আসল অবস্থান ডটেড পরিলেখা দিয়ে দেখানো আছে (৩) এবং (৪) দেখাচ্ছে দেয়াল পাতলা হয়ে নিচের দিকে বেঁকে যাচ্ছে।

অনুচ্ছেদ ৫: ভবনের দেয়াল কি ভূমিকম্পের সময়ে সহায়ক?

সব বাসাবাড়ি আর ভবনেরই দেয়াল রয়েছে। দেয়াল আমাদেরকে আশ্রয় দেয় এবং রক্ষা করে। বেশিরভাগ ভবনের দেয়ালই ইট বা ব্লক দিয়ে তৈরি। তারপর সেটা সিমেন্ট ও বালি দিয়ে প্লাস্টার এবং রঙ করা হয়। দেয়াল মূলত একটি ভবনের বহিরাবরণ হয়ে তাকে চারপাশ থেকে ঘিরে থাকে। আবার অন্দরের গুরুত্বপূর্ণ অংশও দেয়াল। এছাড়াও দেয়ালের মাধ্যমেই একটা স্পেস বা স্থান তৈরি করা হয়া যেখানে দরজা থাকে, জানালা থাকে। যার মাধ্যমে একটা স্পেস বাসযোগ্য হয়ে ওঠে। যে কোন স্থাপনায় ছাদের ভার বহনও করে এই দেয়াল।

যে কোন দেয়াল বা প্রাচীরেরই কিছু সবল দিক এবং দুর্বল দিক রয়েছে। প্রথমত একটি দেয়ালকে, এর উপরে নির্মাণের ভার বহন করবার মত যথেষ্ট শক্ত হতে হয়। একইসাথে ভূমিকম্পের সময় আনুভূমিক বল প্রতিরোধ করতে হয়, যা তার দৈর্ঘ্যের সমান।

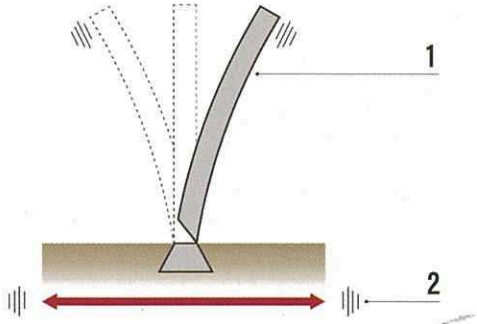
নির্মাণকালীন সময়ে, দেয়ালের ইটের কাজ প্রথমে সম্পন্ন করতে হয় এবং এরপর দেয়ালের চারপাশে টাই কলাম এবং টাই বিম কনক্রিট ঢালাই করা হয়। এ ধরনের নিরাপদ নির্মাণ মূলত ইন্দোনেশিয়াতে ব্যাপকভাবে ব্যবহৃত হয়ে আসছে। একে বলা হয়, কনফাইনড মেশোনরি বা আবদ্ধ নির্মাণ প্রক্রিয়া। উল্লম্ব এবং আনুভূমিক ইস্পাতের রড ও কনক্রিট বা রিইনফোর্সড কনক্রিট দ্বারা ইটের দেয়াল ঘেরা থাকে, দেয়ালকে হেলে পড়া বা ভেঙে পড়া থেকে রক্ষা করে এবং সম্পূর্ণ নির্মাণকে একত্রে ধরে রাখে (চিত্র ১ এবং ২)। ভূমিকম্পের সময় এই ধরনের শক্তিশালীকরণ ছাড়া ইটের দেয়াল অনিরাপদ।



চিত্র ১ঃ একটি দেয়াল নিম্নগামী বল প্রতিরোধে শক্তিশালী (১) এবং আনুভূমিক বল যা তার দৈর্ঘ্যের সমান, ভুমিকম্পের ক্ষেত্রে হয়ে থাকে, তা প্রতিরোধেও শক্তিশালী (২)। দেয়াল নির্মাণের ইট (৩) সিমেন্ট ও বালি দ্বারা প্লাস্টার করা হয় (৪) এবং ফাউন্ডেশনের মাধ্যমে স্থিতিশীল করা হয়। এরপর ইটের দেয়ালটি টাই বীম (৫) ও টাই কলাম দ্বারা ঘিরে রাখা হয় (৬)।

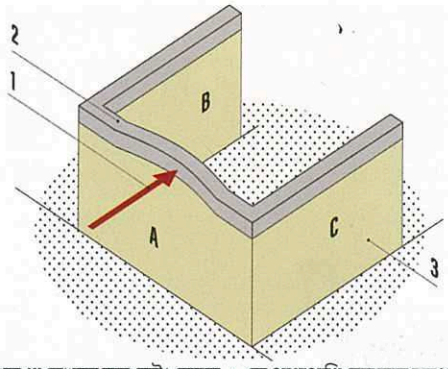
চিত্র ২ঃ একটি কনফাইনড মেশোনরি বা আবদ্ধ নির্মাণ প্রক্রিয়া চলমান।

এবারে আসি, দেয়ালের দূর্বলতার বিষয়ে। যখন একটি দেয়াল তার পাশের কোন দেয়াল বা মেঝে কিংবা ছাদ দিয়ে অবলম্বন পাবে না, তখন ভূমিকম্পের সময়ে তা ভীষণই দূর্বল হবে। যে কারণে তা ভূমিকম্পে দুপাশে দুলতে থাকবে (চিত্রঃ ৩)। এই ধরুন, প্লেয়িং কার্ড বা তাসের ঘর বানানো কিন্তু বেশ কঠিন। একটা লম্বা কার্ডের পাশে কোণাকুণি আরো এক বা একাধিক কার্ড দিয়ে তবেই তাসের ঘর দাঁড় করানো যায়। নইলে তা সম্ভব নয়।



চিত্র ৩ঃ একটি দেয়ালের ক্রস সেকশনে (১) দেখানো হয়েছে তা ভূমিকম্পের আনুভূমিক বলের ক্ষেত্রে খুবই দূর্বল এবং দুপাশে দুলতে থাকে (২)।

প্রতিটি দেয়ালেরই দূর্বলতা রুখতে তার পার্শ্বাভিমুখে অবলম্বন প্রয়োজন। একটি পূর্ণাঙ্গ ভবনে, ভূমিকম্পের আনুভূমিক বল বা জোড়ালো বাতাসের বল ঠেকাতে আমরা পাশাপাশি দেয়াল কিংবা টাই বীম দিয়ে থাকি। একটি দেয়ালের পাশাপাশি দেয়ালগুলোকে টাই বীম দ্বারা একত্রিত করে ধরে রাখা হয় (চিত্রঃ ৪)। যদি এভাবে দেয়াল নির্মাণ করা না হয়ে থাকে, তবে এটি ভূমিকম্পে ধসে পড়বেই।



চিত্র ৪০ঃ একটি ভবনের অংশ যেখানে ছাদ নেই। দেয়াল A -তে পাশাপাশি দেয়ালের কম্পন বল অনুভূত হচ্ছে (১), যেখানে টাই বীম দিয়ে দেয়াল A থেকে B ও C পর্যন্ত উপরাংশ একত্রিত করা।

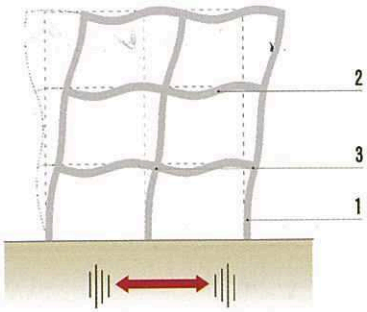
রিইনফোর্সড কনক্রিট কলাম ও বীমের বড় ভবনের ক্ষেত্রে দেয়াল ভবনের ওজন নেয় না। তবে তবুও দেয়ালের অবলম্বন প্রয়োজন, যাতে ভূমিকম্পের কম্পনে তা হেলে না পড়ে।

অনুচ্ছেদ ৬: রিইনফোর্সড কংক্রিট কলাম এবং বিম সহ ভবন ভূমিকম্পে কিভাবে কাজ করে?

একতলা বা দোতলা বাড়িগুলির মতো নিচু ভবনগুলি ভূমিকম্পের সময় অবলম্বনের জন্য গাঁথনি বা কাঠের ফ্রেমের দেওয়ালের উপর নির্ভর করে, উঁচু ভবনগুলির ক্ষেত্রে, শক্তিশালী কংক্রিট কলাম এবং বিমের কাঠামোগুলো মেঝের স্ল্যাবগুলোকে অবলম্বন করে। এই ধরনের কাঠামো ইস্পাত বার দিয়েও তৈরি করা যেতে পারে। এই ধরনের উল্লম্ব এবং আনুভূমিক কাঠামোগত উপাদান ভবনের ওজনকে সহায়তা দিতে এবং আনুভূমিক ভূমিকম্পের কম্পন প্রতিরোধ করতে একসাথে কাজ করে।

একটি শক্তিশালী কংক্রিট কাঠামো কীভাবে ভূমিকম্প প্রতিরোধ করে তা দেখার সর্বোত্তম উপায় হচ্ছে, তা তার কংকাল অবস্থায় দেখা! অর্থাৎ, বাইরের এবং অভ্যন্তরীণ দেয়াল নির্মাণের আগে একটি ভবনের খালি কাঠামো দেখা (চিত্রঃ ১)। এসময়ে শুধুমাত্র চারটি উপাদান দৃশ্যমান হয় ছাদ, মেঝে স্ল্যাব, কলাম এবং বিম। এখানে তুলনামূলকভাবে লম্বা আনুভূমিক দেয়ালের তুলনায়, কলামগুলি খুব সরু হয়ে থাকে। এই কলামগুলোই একটি ভবনের সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ কাঠামোগত সদস্য, যা ভবনের সম্পূর্ণ ওজন ধরে রাখে। ভূমিকম্পের সময় কলামগুলি আনুভূমিক শক্তিকে প্রতিহত করার কারণে ভেঙে না পড়ে পাশের দিকে বেঁকে যায় এবং দুলতে থাকে (চিত্রঃ ২)।

চিত্র ১০ঃ এই দুটি ভবন তাদের কলাম এবং বিমের শক্তির মাধ্যমে ভূমিকম্প প্রতিরোধ করে। এখানে দেয়াল ও ক্ল্যাডিং এখনো নির্মাণ করা হয়নি।



চিত্র ২০ঃ ভূমিকম্পের সময় একটি কলাম (১) এবং বিম (২) ফ্রেম ভবনের পাশের দিকে সরে যায়। লক্ষ্য করলে দেখা যায় যে কলাম এবং বিম উভয়ই বাঁকছে। কলাম এবং বিম শক্তিশালী জয়েন্টগুলোতে সংযুক্ত যেখানে তারা মিলিত হয় (৩)।

কলামগুলো নিজেরা, এই সব করতে পারে না। তাদের সাহায্য করার জন্য প্রয়োজন হয় বীম। বীমগুলো যে মেঝে স্ল্যাবগুলিকে ধরে রাখে, তার চেয়ে গভীর হয় এবং কলামগুলির সাথে দৃঢ়ভাবে সংযুক্ত থাকে। এই কলাম ও বীমের সংযুক্ত স্থানে কংক্রিটে সংযোগ করা বিশেষ রিইনফোর্সিং ইস্পাত প্রয়োজন হয়। মজবুত কলাম-বীম জয়েন্ট মানে যখন কলাম বাঁকে, বীমগুলোও বাঁকে। এটি ভবনটিকে সামগ্রিকভাবে শক্তিশালী করে তোলে এবং কম ক্ষতির প্রবণতা থাকে।

যেহেতু কলামগুলি সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ কাঠামোগত উপাদান, তাদের অবশ্যই সুরক্ষিত করা উচিত। এগুলো মারাত্মকভাবে ক্ষতিগ্রস্ত হলে পুরো ভবনটি ধসে পড়ার আশঙ্কা থাকে। প্রকৌশলীরা কলাম রক্ষা করার জন্য দু'টি কৌশল ব্যবহার করে থাকেন। প্রথমত, কলাম বড় এবং শক্তিশালী হতে হবে। ভূমিকম্পের সময় সরু কলামগুলো বেঁকে যায় এবং ভেঙে পড়ে। তাই কলামগুলো অবশ্যই আকারে যথেষ্ট হওয়া উচিত। যথেষ্ট বড় হওয়ার পাশাপাশি, কলামগুলোর জন্য প্রচুর উলম্ব রিইনফোর্সিং ইস্পাত এবং আনুভূমিকভাবে একত্রীকরণ বৃদ্ধির প্রয়োজন হয় (চিত্র ৩)। এই একত্রীকরণ, কলামগুলোকে পাশ থেকে বাঁকানোর সাথে সাথে ভাঙতে বাধা দেয়। কলামগুলোর যে কোনো ইটের দেয়ালের তুলনায় যথেষ্ট চওড়া এবং ঘন হওয়া উচিত। তাদের অবশ্যই প্রকৌশলীর হিসাব অনুসারে হতে হবে।

চিত্র ৩ঃ কংক্রিট ঢালাই করার আগে কলামের কাঠামো দেখা যাচ্ছে। রডের উল্লম্ব বারগুলি নিয়ে গঠিত রিইনফর্সমেন্ট যা নমনীয়তা প্রতিরোধ করে এবং আনুভূমিক বন্ধন যা কলাম কংক্রিটকে বিচ্ছিন্ন হওয়া থেকে আটকায়।

কলামগুলিকে রক্ষা করার দ্বিতীয় কৌশল হল সেগুলিকে বীমের চেয়ে শক্তিশালী ভাবে ডিজাইন করা। এর অর্থ হল শক্তিশালী ভূমিকম্পের সময় ইচ্ছাকৃতভাবে সামান্য দুর্বল বীমগুলো বলিদানের শিকার হয়, ফলে অ-গুরুত্বপূর্ণ ক্ষতি হয় এবং এই প্রক্রিয়ায় কলামগুলিকে রক্ষা পায়।

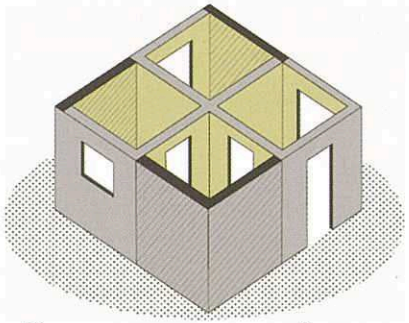
এই দুটি কৌশলের অর্থ হল ভূমিকম্প নিরাপদ কাঠামোতে সাধারণত অপেক্ষাকৃত বড় কলাম, সামান্য ছোট বিম এবং শক্তিশালী বিম-কলাম জয়েন্ট থাকে।

অনুচ্ছেদ ৭: ভূমিকম্প-নিরাপদ ভবনের নীতিমালা

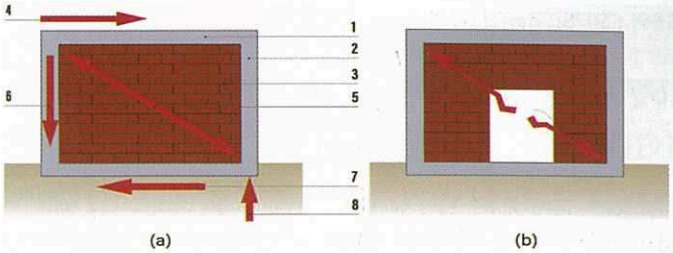
পূর্ববর্তী অনুচ্ছেদ ৫, ইন্দোনেশিয়ার নিচু ভবনগুলির সবচেয়ে সাধারণ ভূমিকম্প-প্রতিরোধী উপাদান ইটের দেয়াল সম্পর্কে প্রাথমিক তথ্য প্রদান করেছে। এতে আলোচনা করা হয়েছে যে কীভাবে দেয়ালগুলি তাদের দৈর্ঘ্যের দিক থেকে শক্তিশালী, কিন্তু পাশের দিক থেকে কম্পনের জন্য ঝুঁকিপূর্ণ। ইটের দেয়াল, ভাল মানের উপকরণ ব্যবহার করে, আবদ্ধ ইটের দেয়াল হিসাবে তৈরি করা উচিত। এর অর্থ হল প্রতিটি ইটের প্যানেল প্রতিটি প্রান্তে রিইনফোর্সড কনক্রিট টাই কলাম এবং টাই বিম দিয়ে ঘেরা থাকবে। যেখানে বিমটি প্রাচীরের উপরিভাগে এবং প্রতিটি মেঝে স্ল্যাবের সাথে ঢালাই করা হয়।

এখন প্রশ্ন আসতে পারে, তাহলে কিভাবে আমরা এই দেয়ালগুলোকে একটি দোতলা বাড়ির মতো একত্রিত করব? প্রথমত, আমাদের মনে রাখতে হবে যে দেয়ালগুলি ভূমিকম্পের কম্পন থেকে ভবনকে রক্ষা করার জন্য। তারপর আমাদের নিম্নলিখিত চারটি নীতি প্রয়োগ করতে হবে:

১। প্রতিটি ভবনের জন্য ভবনের দৈর্ঘ্যের সমান্তরালে ন্যূনতম দুটি শক্তিশালী দেয়াল এবং সমকোণে দুটি দেয়াল প্রয়োজন। ভূমিকম্পের কম্পন সব দিক থেকে আসে, তাই প্রতিটি ভবনের পাশে এবং দৈর্ঘ্যে উভয় দিকেই শক্তি প্রয়োজন (চিত্র 1)। যদিও সমস্ত ইটের দেয়াল আবদ্ধ গাঁথনি নির্মাণের হওয়া উচিত, তবে শক্তিশালী দেয়ালে বড় ফাঁকা স্থান থাকে না যা তাদের মধ্যে তির্যক বল তৈরি হতে বাধা দিয়ে এটিকে দুর্বল করে দেয় (চিত্র ২)। দেওয়ালের উচ্চতার জন্য গাঁথনি এবং প্লাস্টারের পুরুত্ব যথেষ্ট হওয়া উচিত এবং অবশেষে, প্রতিটি মজবুত প্রাচীর অর্ধেক তলার উচ্চতার চেয়ে দীর্ঘ হওয়া উচিত। আরো বিস্তারিত তথ্যের জন্য Meli (2011) দেখা যেতে পারে।

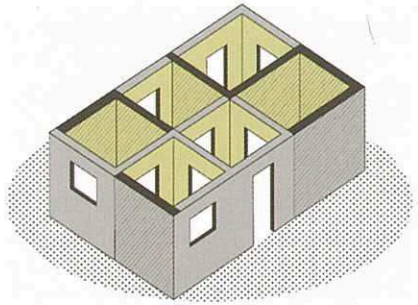


চিত্র ১০ঃ এই সাধারণ বাড়িতে দুটি মজবুত দেয়াল (ছায়াযুক্ত এবং বড় ফাঁকা স্থান ছাড়া দেখানো হয়েছে) ভবন জুড়ে ভূমিকম্প প্রতিরোধ করে।



চিত্র ২০ঃ টাই বিম (1), কলাম (2) গাঁথুনি (3) সহ একটি শক্তিশালী আবদ্ধ ইটের দেয়াল। ভূমিকম্প হলে (4) দেয়ালে তির্যক কম্প্রেশন (5) এবং টাই কলামে টান (6) দ্বারা প্রতিরোধ করা হয়। আনুভূমিক ভূমিকম্প বল ভূমি দ্বারা প্রতিরোধ করা হয় (7) এবং উল্লম্ব বলও ভূমি দ্বারা (8) প্রতিহত করা হয়। (b) প্রাচীরের একটি বড় ফাঁকা স্থান খোলা আছে যা বলের তির্যক রেখা গঠনে বাধা দেয় এবং এটি প্রাচীরকে ব্যাপকভাবে দুর্বল করে দেয়।

২। মজবুত দেয়াল নিয়মিতভাবে ভবনের উভয় দিক জুড়ে থাকা উচিত (চিত্র ৩)। যা ভূমিকম্পের সময় ভবনটিকে দুমড়ে-মুচড়ে যাওয়া থেকে বিরত রাখে। প্রতিটি দিকে দৈর্ঘ্য এবং প্রস্থের দিক থেকে পর্যাপ্ত দেয়াল থাকা অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ। কতটুকু দেয়াল "পর্যাপ্ত" তা নির্ভর করে ভবনের আকার এবং ইট বা ব্লকের মানের উপর।



চিত্র ৩০ঃ শক্তিশালী দেয়াল ভবন জুড়ে দেয়া হয়। চারটি মজবুত দেয়াল ঘর জুড়ে কম্পন প্রতিরোধ করে এবং তিনটি তার দৈর্ঘ্য বরাবর কম্পন প্রতিরোধ করে। সমস্ত দেয়াল অবশ্যই টাই বিম দ্বারা একসাথে একত্রিত করতে হবে (দেখানো হয়নি)।

৩। টাই বিমগুলিকে অবশ্যই দেয়ালের উপরের অংশগুলিকে একসাথে আটকে রাখতে হবে। টাই বিমগুলি শুধুমাত্র দেয়ালের প্যানেলগুলিকে সীমাবদ্ধ করে না বরং নির্মাণের উপাদানগুলিকে একত্রে বেঁধে দেয় যাতে সেগুলো ধ্বসে পড়া বন্ধ করা যায়।

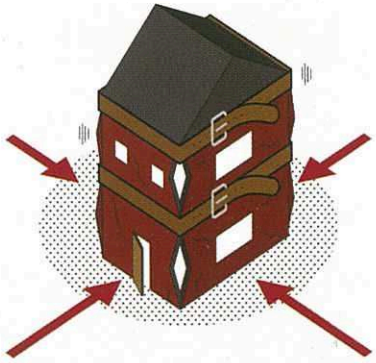
৪। যে কোনো ভবনের মজবুত দেয়াল, এর ভিত্তি থেকে ছাদের টাই বিম পর্যন্ত উল্লম্ব এবং অবিচ্ছিন্ন হওয়া উচিত। এর মানে হল, উদাহরণস্বরূপ, একটি দোতলা বাড়িতে, উপরের তলায় একটি শক্তিশালী প্রাচীর অবশ্যই মাটির স্তরে অনুরূপ শক্তিশালী প্রাচীরের উপরে থাকতে হবে।

অনুচ্ছেদ ৮: ভূমিকম্প প্রতিরোধের জন্য ভবনের অংশগুলো একসাথে বেঁধে রাখা

ভবন বিভিন্ন অংশ নিয়ে গঠিত। কিছু অংশ, যেমন মেঝে, ছাদ, কলাম, বিম এবং দেয়াল মূল কাঠামোর অংশ। অন্যান্য অংশ যেমন পার্টিশন দেয়াল, ক্ল্যাডিং দেয়াল এবং সিঁড়ি ভার বহনকারী নয়। ভবনটিকে বাসযোগ্য করে তোলার জন্য এগুলি প্রয়োজনীয়, কিন্তু এদের ছাড়া যে ভবনটি পড়ে যাবে, তা নয়।

ভূমিকম্পের সময় একটি ভবনের সমস্ত অংশ প্রচন্ডভাবে কেঁপে ওঠে। সবচেয়ে ক্ষতিকর ঝাঁকুনি হল এলোমেলো দিক থেকে সামনে পেছনে আনুভূমিক গতিবিধি। ভূমিকম্পের কম্পনে একটি ভবনকে টুকরো টুকরো করে কাঁপানোর সম্ভাবনাও রয়েছে। সঠিকভাবে ডিজাইন ও নির্মাণ না করলে একটি ভবন অনেক টুকরো টুকরো হয়ে ভেঙ্গে পড়তে পারে। অনেক দেশে ভূমিকম্পের পর এই ভয়াবহ দৃশ্য পরিলক্ষিত হয়েছে।

এমন মারাত্মক ক্ষতি রোধ করা সম্ভব। এক্ষেত্রে যা প্রয়োজন, তা হলো প্রতিটি মেঝের স্তরে এবং ছাদের স্তরে মূল কাঠামোর অংশগুলিকে একসাথে একত্রীকরণ। দেয়ালের মতো উল্লম্ব উপাদানগুলিকেও প্রতিটি স্তরে রিং বা টাই বিম দ্বারা বাঁধতে হবে, যা সাধারণত রিইনফোর্সড কংক্রিট দিয়ে তৈরি হয়। এই কৌশলটি একটি বিল্ডিংয়ের প্রতিটি স্তরের চারপাশে শক্তিশালী বেল্ট বা টাই মোড়ানোর মতো, যাতে ভূমিকম্পের কম্পনের সময় এর অংশগুলি ফুলে যাওয়া এবং ভেঙে পড়া রোধ করা যায় (চিত্র ১) ।

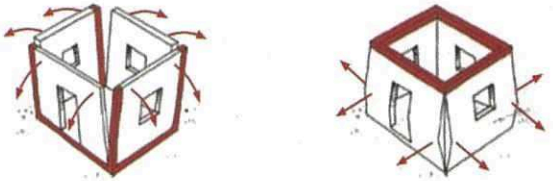


চিত্র ১০ঃ ভূমিকম্পের সময় ক্ষতিগ্রস্থ ভবনের মেঝে এবং ছাদের স্তরে টাই বা রিং বিম দ্বারা একসাথে রাখা যেতে পারে যা শক্তিশালী বেল্টের মতো কাজ করে।

সৌভাগ্যবশত, যেখানে একটি ভবনের মেঝে রিইনফোর্সড কংক্রিটের হয়, সেগুলি সাধারণত সেই স্তরগুলিতে ভবনকে একসাথে বেঁধে রাখার জন্য যথেষ্ট। অবশ্যই, একটি মেঝে প্রধান উদ্দেশ্য হাঁটা এবং জিনিসপত্র রাখা। কিন্তু যখন আনুভূমিক কম্পন ঘটে, তখন একটি মেঝে সেই স্তরে একটি ভবনকে একত্রে ধরে রাখে (চিত্র ২)। একটি মেঝে সবকিছু একসাথে সরতে বাধ্য করে এবং ঝাঁকুনিতে ভবনকে পড়ে যাওয়া বন্ধ করে। এই বাঁধার কাজটি অর্জন করার জন্য একটি কংক্রিট স্ল্যাবে অতিরিক্ত শক্তিশালী ইস্পাত যোগ করার প্রয়োজন নাও হতে পারে।

চিত্র ২০ঃ এই ভবনের রিইনফোর্সড কংক্রিটের মেঝেগুলি বিম এবং কলামগুলিকে একত্রে বেঁধে দেয় এবং ভূমিকম্পের সময় এই সমস্ত অংশগুলিকে অনুভূমিকভাবে একত্রিত হতে বাধ্য করে।

যেখানে মেঝে বা ছাদের স্ল্যাব নেই, বা যেখানে কাঠের মেঝেগুলোর সাথে গাঁথনি দেওয়াল ব্যবহার করা হয় সেখানে একটি ভবনের বিভিন্ন স্তর একসাথে বেঁধে রাখা আরও কঠিন। এই ক্ষেত্রে, রিং বা টাই বিম প্রয়োজনীয় কাজ করে (চিত্র ৩)। তারা সবকিছু একত্রে বাঁধার জন্য একটি ভবনের ঘেরের মধ্যে এবং চারপাশে একটি আনুভূমিক কাঠামো তৈরি করে। তারা দেয়াল এবং কলামগুলিকে একে অপরের দিকে বা দূরে ঝাঁকাতে বাধা দেয়। তারা ছাদের অংশগুলিকে তাদের অবলম্বনগুলো থেকে পিছলে যাওয়া এবং নীচে পড়তে বাধা দেয়। রিং বিমের একটি কাঠামো একটি কংক্রিটের স্ল্যাবের চেয়ে বেশি কার্যকরী, তবে এটি সেই কাল্পনিক ঘের বেল্টের মতো কাজ করে বলে প্রমাণিত হয়েছে।



চিত্র 3. একটি সাধারণ ভবনের এর দেয়াল শুধুমাত্র কলাম দিয়ে টলে যাওয়া থেকে প্রতিরোধ করা হয় না। ছাদ-স্তরের রিং বা টাই বিমগুলি ভবনটিকে একসাথে বেঁধে রাখতে পারে। (From Guide book for building earthquake-resistant houses in confined masonry (World Housing Encyclopedia, 2018).

সংক্ষেপে, একটি ভবনের প্রতিটি স্তর, ভিত্তি থেকে ছাদের স্তর পর্যন্ত দৃঢ়ভাবে একত্রে বাঁধা প্রয়োজন। মেঝে স্ল্যাব, ছাদের স্ল্যাব বা রিং বিম প্রয়োজন।

অনুচ্ছেদ ৯: ভূমিকম্পে স্থানীয় জ্ঞান ও ভবন নিরাপত্তা

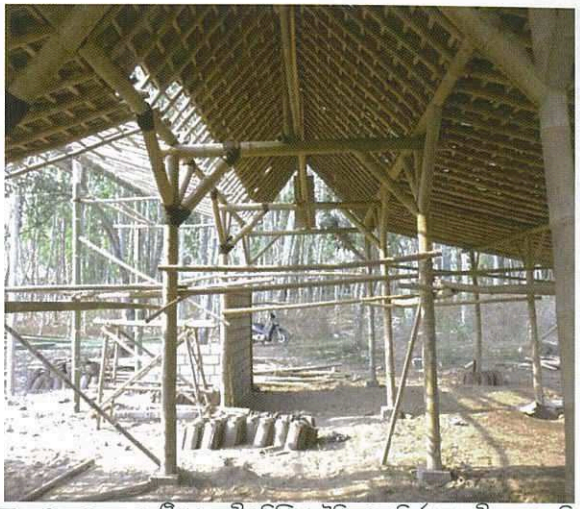
অন্যান্য দেশের মতো ইন্দোনেশিয়াতেও ভূমিকম্প পরবর্তী পর্যবেক্ষণে অনেকসময়ে দেখা যায় চিরায়ত ভবনসমূহ নতুনতর ভবনসমূহের থেকে অধিকতর নিরাপদ। নির্মান সামগ্রী নির্বাচনে, আকৃতিতে, কাঠামোগত পদ্ধতিতে এবং কাঠামোসমূহের সংযোগে চিরায়ত ভবনসমূহ স্থানীয় জ্ঞানের প্রয়োগ করে।

সমসাময়িক নকশাকারী ও নির্মাতাবৃন্দের যে প্রশ্নটি করা উচিৎ তা হচ্ছেঃ নতুন ভবনসমূহের ভূমিকম্প নিরাপত্তাবৃদ্ধিতে স্থানীয় জ্ঞাননিসৃত কোন কায়দাগুলো আমাদের পুনঃপ্রবর্তন করা প্রয়োজন? এই প্রশ্নের জবাব খোঁজার আগে ভূমিকম্পে আমাদের চিরায়ত নির্মাণ কাঠামোর কর্মদক্ষতার বৈশিষ্ঠ্যগুলো আমাদের স্মরণ করা প্রয়োজন। সংক্ষেপে চিরায়ত নির্মাণ কাঠামোর বৈশিষ্ঠ্যসমূহ হচ্ছেঃ

- মেঝে, ছাদ ও দেওয়ালের জন্য কাঠ বা বাঁশের কাঠামো।
- হালকা নির্মাণ প্রণালী, টালি ছাদ ব্যতীত।
- খুঁটি ও কড়ির মধ্যে অপেক্ষাকৃত নমনীয় সংযোগ।
- ভবন ও ভিত্তির মধ্যে নমনীয় বা ইচ্ছাকৃত দূর্বল সংযোগ।

উপরে উল্লেখিত কারণসমূহের জন্য স্থানীয় জ্ঞান প্রয়োগকৃত ভবনসমূহ হালকা ও নমনীয়। তারা ভূমিকম্পের সময়ে এদিকে-সেদিকে দুলে থাকে। এছাড়াও, যদি ভিত্তির সাথে সূর্বল্ভাবে সংযুক্ত থাকে, তাহলে সেই ভবনসমূহ কাঁপতে থাকা ভূমির থেকে আংশিকভাবে বিচ্ছিন্ন ধরে নেওয়া যায়। চলমান ভূমিকম্প সম্পর্কিত নকশা চর্চাতে এই বৈশিষ্ঠ্যসমূহ আকাঙ্ক্ষিত। উদাহরণস্বরূপ, যেহেতু ভবনের উপর ভূমিকম্পের সক্ষমতা ভবনের ভরের উপর নির্ভরশীল, সেহেতু ভবন হালকা হওয়া বাঞ্ছনীয়। হালকাতর ভবন একইরূপ ভারী ভবনের তুলনায় অধিকতর নিরাপদ।

ভবনের ক্ষেত্রে নমনীয়তা দুঃসাহসিক হতে পারে, যদি না সেটা নরল মাটির উপর নির্মান হয়ে থাকে। কিন্তু নমনীয়তার অসুবিধা হচ্ছে, ভূমিকম্পের সময়ে অধিকতর পার্শ্ব আন্দোলন (চিত্র ১ এবং ২)। এর অর্থ দাঁড়ায় অধিক ক্ষতি। সাধারণত, নমনীয়তা পরিহার্য। ভূমিকম্পের শক্তির সাথে পেরে উঠতে ভিত্তির সাথে দূর্বল সংযোগ দুঃসাহসী, যদি না ভবন নিজের ভিত্তি থেকে সরে না যায়। ভিত্তি পর্যায়ের পার্শ্বমুখী নমনীয়তা প্রয়োগ গ্রহণকারী গুরুত্বপূর্ণ ভবনসমুহ যেমন হাসপাতালের জন্য আধুনিক ভিত-বিচ্ছিন্নকরণ (প্রবন্ধ ২৩) পদ্ধতি উপযুক্ত।



চিত্র 1. অনুভূমিক কম্পনের সময় একটি খুব নমনীয় বিল্ডিং। ঐতিহ্যগত নির্মাণ সামগ্রী এবং পদ্ধতিগুলি একটি নতুন ঐতিহ্যবাহী ইন্দোনেশিয়ান ভবনে একত্রিত করা হয়েছে।

চিত্র ২. ইন্দোনেশিয়ার অন্য একটি অঞ্চলে ঐতিহ্যবাহী নির্মাণের ফলে অন্য একটি বিল্ডিং টাইপ হয় যা নমনীয়।

দুঃখজনকভাবে, স্থানীয় জ্ঞানকে নতুন ভবনে প্রয়োগ করার সুযোগ অত্যন্ত সীমিত। এর প্রধান কারণ হচ্ছে, অতীতের তুলনায় আধুনিক ভবনসমূহ অনেক ভিন্ন। প্রথমত, অধিকাংশ নতুন ভবনই ভারী নির্মান সামগ্রী যেমন ইট বা রিইনফোর্সড কনক্রিট দ্বারা নির্মিত (চিত্র ৩)। নড়াচড়া, ক্ষতি ও মেরামত খরচের কমাতে ভবনসমূহ অধিকতর কম নমনীয় করে নকশা করা হয়ে থাকে। আর সবশেষে বলতে হয়, ভিত্তির সাথে ভবনের সংযোগ নমনীয় করা যথেষ্ট কঠিন ও ব্যয়সাধ্য।

চিত্র ৩. চাঙ্গা কংক্রিট এবং রাজমিস্ত্রি ব্যবহার করে প্রচলিত ভারী নির্মাণ- এই ক্ষেত্রে, সীমাবদ্ধ রাজমিস্ত্রি নির্মাণ।

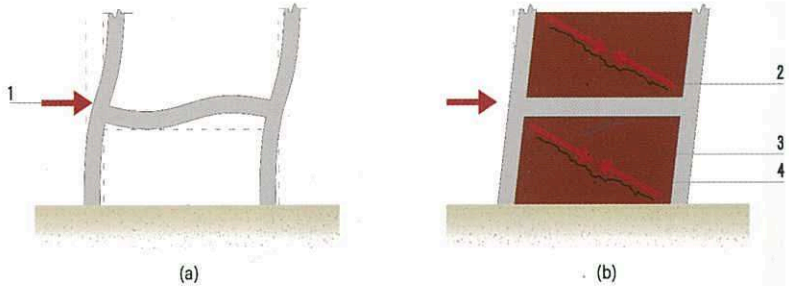
তাত্ত্বিকভাবে, স্থানীয় জ্ঞান নির্দেশিত মূলনীতিসমূহ ভূমিকম্প নিরাপত্তা উন্নত করতে সক্ষম হলেও, বর্তমান সময়ের নির্মান প্রণালীর ভিন্নতার কারণে বেশিরভাগ মূলনীতিই সরাসরি প্রয়োগ করা সম্ভব নয়। একমাত্র ব্যতিক্রম হচ্ছে, ভারী নির্মান সামগ্রী অপেক্ষা হালকা সামগ্রী ব্যবহার করা।

অনুচ্ছেদ ১০: পূরক দেয়াল ও ভূমিকম্প চলাকালীন ভবনে তাদের প্রভাব

পূরক দেয়াল হচ্ছে সেই মেসনরি দেয়ালগুলো যেগুলো কলাম থেকে কলাম ও উপরে বিমের তলভাগের মধ্যবর্তী জায়গাগুলো ভরাট করতে বানানো হয়। রিইনফোর্সড কনক্রিটের কলাম ও বিম ঢালাইয়ের পর পূরক দেয়ালসমূহ বানানো হয়। সাধারণত ভূমিকম্প প্রতিরোধে কলাম ও বিমের কাঠামোর উপর নির্ভরশীল ভবনসমূহে পূরক দেয়ালের ব্যবহার দেখা যায়। পূরক দেয়ালসহ রিইনফোর্সড কনক্রিটের কাঠামো দেখতে প্রায় আড়ষ্ট মেসনরি নির্মাণের মত (প্রবন্ধ ৭), যদিও এরা একদম ভিন্ন দুইটি প্রণালী।

পূরক দেয়াল পোড়ানো মাটি অথবা কনক্রিটের ইউনিট (ইট / ব্লক) একের উপর এক বসিয়ে সিমেন্ট অথবা চুন-সুড়কি মর্টার দিয়ে বানানো হয়। ছোট জানালা থাকার পরও পূরক দেয়াল ভূমিকম্পে আনুভূমিক আন্দোলনে প্রাথমিক কাঠামো অপেক্ষা অধিকতর দৃঢ় ও মজবুত আচরণ করে। কখনও কখনও পূরক দেয়াল ভূমিকম্পের ক্ষয়ক্ষতি কমিয়ে দেয়, যদিও অধিকাংশ ক্ষেত্রে ঘটনাটি উলটো ঘটে।

যখন একটি কলাম – বিম কাঠামো ভূমিকম্প অনুভব করে, তখন কাঠামোর সকল বন্ধনীগুলো বেঁকে যায় এবং কাঠামো পার্শ্বমুখী হয়ে নড়ে উঠে (চিত্র ১ক)। কিন্তু, যদি কাঠামোর ফাঁকা স্থানগুলোতে পূরক দেয়াল থাকে, তবে পূরক দেয়ালগুলো কলাম ও বিমের বেঁকে যাওয়ার প্রবণতাকে রোধ করে। পূরক দেয়ালগুলো সেক্ষেত্রে ব্যাপক পরিমানে তির্যক সঙ্কোচন বল গ্রহণ করে নেয়। তির্যক ফাটল দেখা দেয়। সঙ্কোচন বল কলামের উপরে ও নিচে চাপ প্রয়োগ করে, ফলে ঐ অংশগুলোতে প্রায়ই ক্ষয়ক্ষতি দেখা দেয় (চিত্র ১খ)। তির্যক ফাটল পূরক দেয়ালকে তার দৈর্ঘ্যের উল্লম্ব বরাবর কম্পনে দূর্বল করে তোলে। সেক্ষেত্রে আংশিক বা সম্পূর্ণ পূরক দেয়াল ধ্বসে পরতে পারে (চিত্র ২)। অনলাইনে ঘাঁটলে এসম্পর্কে আরও ছবি ও তথ্য পাওয়া যাবে।

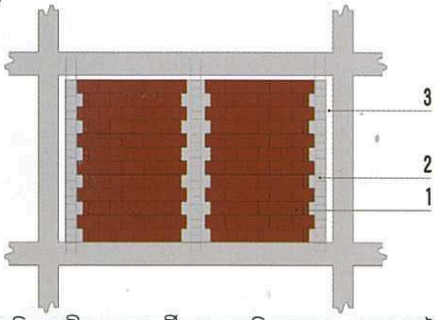


চিত্র ১. (ক) একটি খালি বা খোলা কলাম এবং বীম ফ্রেমের একটি উচ্চতা যা ভূমিকম্পে পাশে বাঁকানো হয় (১) । (b) দেখায় কিভাবে ইনফিল (২) বাঁকানো প্রতিরোধ করে, একটি তির্যক কম্প্রেশন স্টাট (3) এবং তির্যক ক্র্যাকিং অনুভব করে (৪) ।

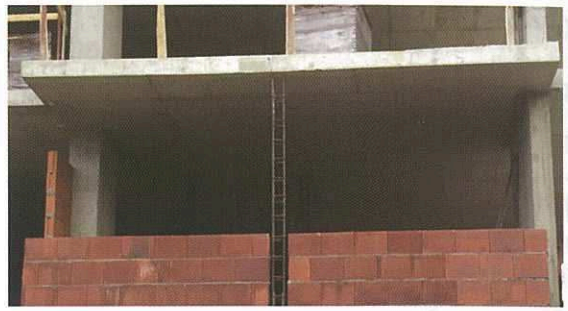
চিত্র ২. ভূমিকম্পে ক্ষতিগ্রস্ত ইনফিল দেয়াল, যার মধ্যে কয়েকটি ভবনের বাইরে পড়ে গেছে।

পূরক দেয়াল ভবনের ভূমিকম্প নিরাপত্তা বাড়াতে সক্ষম, যদি পরবর্তি শর্তগুলো পালন করা যায়। ভবন বরাবর ক্রিয়াশীল পূরক দেয়ালসমূহ নকশায় আবশ্যকভাবে প্রতিসম হতে হবে এবং নিচতলা হতে ছাদ পর্যন্ত একটানা হতে হবে। পরবর্তিতে আলোচনা করা উপায়ে পূরক দেয়ালসমূহের দৈর্ঘ্যের উল্লম্ব বরাবর কম্পণের বিপরীতে মজবুতিকরণ করে নিতে হবে। একই ভাবে ভবন জুড়ে ক্রিয়াশীল পূরক দেয়ালসমূহের উপর প্রযুক্ত হবে। সবশেষে, কলাম ও বিম, একই সাথে পূরক দেয়ালসমূহ যোগ্য পুরকৌশলী দ্বারা নকশাকৃত হতে হবে।

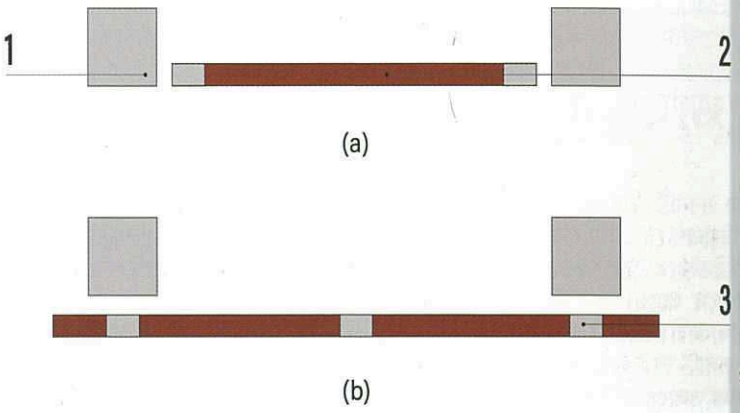
যেসবক্ষেত্রে উপরে উল্লেখিত শর্তসমূহ মানা হবে না, সেসবক্ষেত্রে পূরক দেয়ালে ক্ষয়ক্ষতি দেখা দিবে যা পার্শ্ববর্তী কলামে গুরুতর ক্ষয়ক্ষতির কারণ হবে। ভূমিকম্প-নিরাপদ নির্মাণপ্রণালীর নকশার বিকল্প অত্যন্ত সীমিত। আপাতত সেরা বিকল্প হচ্ছে, মেসনরি পূরক দেয়ালের পরিবর্তে অদাহ্য, হালকা ও অধিক নমনীয় সামগ্রী, যেমন সিমেন্ট বোর্ড। বিকল্পভাবে, কলাম ও পূরক দেয়ালে মাঝে খানিকটা ফাঁকা রেখে কাঁচের ব্যবহার করা যায়। এভাবে প্রাণহানি ও মূল কাঠামোর ক্ষয়ক্ষতি রোধ করা যায়। আরেকটি বিকল্প হতে পারে, কলাম ও পূরক দেয়ালের মাঝে সংকোচনশীল উপাদানের চিকন ফাঁকা স্তর দেওয়া (চিত্র ৩)। এই ফাঁকা স্থান কলাম ও বীমকে বাঁকতে দিবে, কিন্তু দেয়ালের উল্লম্ব কম্পন রোধে রিইনফোর্সমেন্ট বা ইস্পাতের বন্ধনী প্রয়োজন হবে। আরও একটি বিকল্প হতে পারে দেয়ালসমূহকে কলামের সামনে বা পিছনে বসানো, এতে কলাম ও বিম বাঁকতে পারবে (চিত্র ৪ এবং ৫)।



চিত্র ৩. একটি রাজমিস্ত্রি ইনফিল প্রাচীর (1), মধ্যবর্তী, বা 'ব্যবহারিক কলাম' (2) দ্বারা তার দৈর্ঘ্যের লম্ব কাঁপানো থেকে সুরক্ষিত এবং সরু ফাঁক দিয়ে কলাম এবং মরীচি থেকে পৃথক করা হয়েছে (3) পরবর্তীতে নরম উপাদান দিয়ে ঢেকে দেওয়া হয়েছে। একটি ঝলকানি



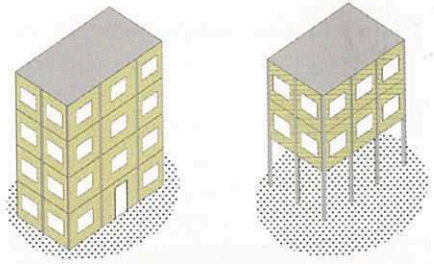
চিত্র 4. একটি গাঁথনি প্রাচীর (S.Brzev) স্থিতিশীল করার জন্য একটি মধ্যবর্তী কলামের একটি উদাহরণ।



চিত্র 5. (ক) কলামগুলির একটি পরিকল্পনা দৃশ্য (1) একটি পৃথক ইনফিলের উভয় পাশে (2) যার প্রতিটি প্রান্তে ছে কলামগুলি স্থিতিশীলতা প্রদান করে। (b) স্থির কলাম সহ রাজমিস্ত্রির প্রাচীর (3) কাঠামোগত স্তম্ভগুলি থেকে স্থানান্তরিত হয়েছে যাতে তাদের বাঁকতে বাধা না পড়ে।

অনুচ্ছেদ ১১: দূর্বল তলা একটি সাধারণ কাঠামোগত দূর্বলতা পরিহার

চিত্র ১ এর দুইটি ভবনকে তুলনা করি। উভয় ভবনের কলাম ও বিম নিম্নগামী বল হিসেবে ভবনের ভার নেওয়ার জন্য যথেষ্ট উপযোগী। কিন্তু পার্শ্বমুখী বল প্রয়োগে ভবন দুইটি কেমন আচরণ করবে ? বাতাস পার্শ্বমুখী বল প্রয়োগ করে, কিন্তু সবচেয়ে মারাত্মক হচ্ছে ভূমিকম্পের সময়ে যখন মাটি ভবনকে এদিকে সেদিকে যেকোনও অভিমুখে কাঁপিয়ে দেয়।

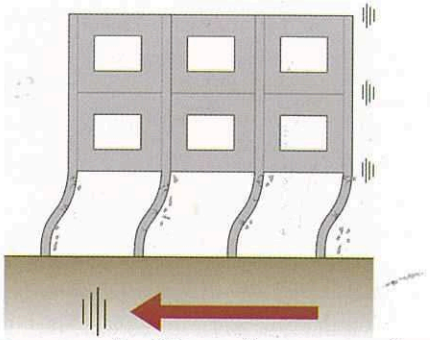


চিত্র ১. ভবনে(ক) বাহ্যিক এবং অভ্যন্তরীণ ইনফিল এবং পার্টিশন দেয়াল প্রতিটি তলায় রয়েছে, কিন্তু(খ) এই দেয়ালগুলি নিচতলায় অনুপস্থিত। নিচতলা খোলা।

প্রথম ভবনটি (চিত্র ১ক) আনুভূমিক বলের ক্ষেত্রে অপেক্ষাকৃত শক্তিশালী। প্রতি তলায় পূরক ও পৃথকিকরণ দেয়াল রিইনফোর্সড কলাম ও বিমের সমন্বয়ে ভূমিকম্পের আনুভূমিক বল রোধে একত্রিতভাবে ক্রিয়াশীল রয়েছে। প্রতিটি তলা দেখে মনে হচ্ছে তারা একই পরিমান শক্তিশালী অবস্থানে আছে। অপরদিকে, সম্পূর্ণ ভিন্ন অবস্থানে, দ্বিতীয় ভবনটি (চিত্র ১খ) নিচ তলায় সাহায্যকারী দেয়ালের অভাবে ভুগছে। হয়তো এই তলাটি গাড়ির পার্কিংয়ের কাজে ব্যবহৃত। তাহলে এই তলাটি তার উপরের তলাসমূহের তুলনায় দূর্বল। আদর্শভাবে, ভবনের নিচের তলা বা নিচের দিকের তলাগুলো উপরের দিকের তলাগুলোর চেয়ে শক্তিশালী হয়ে থাকে। গাছের কান্ডগুলোর কথা ভাবুন (চিত্র ২)। বেশিরভাগ কান্ডই মাটির দিকে অধিকতর মজবুত, কারণ ঝড়ের সময়ে ঐ অংশেই গাছকে সর্বোচ্চ ঘাত সহ্য করতে হয়। ভবনকেও একই মূলনীতি অনুসরণ করে মাটির কাছে অধিকতর শক্তিশালী করা উচিৎ।

চিত্র ২. বেশিরভাগ গাছের গুঁড়ি মাটির স্তরে সবচেয়ে শক্তিশালী।

যখন দ্বিতীয় ভবনটি (চিত্র ১খ) ভূমিকম্পে কাঁপবে, দূর্বলতম স্থানে ক্ষতিগ্রস্থ হবে। এক্ষেত্রে সেটা ঘটবে নিচতলার কলামগুলোতে (চিত্র ৩)। কলামসমূহ পার্শ্বমুখী হয়ে বাঁকবে এবং এই ভাবেই তারা ক্ষতিগ্রস্থ হবে। প্রায়শই ঘটনাটি এমন পর্যায়ে পৌছায় যে, কলামগুলো আর ভবনের ভার ধরে রাখার উপযোগী থাকে না। ফলে কলামগুলো ভেঙ্গে যায় ও ভবনগুলোও ধ্বসে পরে। একদম নিচের তলাটি সম্পূর্ণভাবে ধূলিস্মাত হয়ে যায়। তার উপরের কিছু তলার অবস্থাও কাছাকাছি হয়। এক্ষেত্রে প্রাণহানির আশংকা অমূলক নয়।



চিত্র ৩. একটি নরম গল্পের কলামগুলি অতিরিক্তভাবে বাঁকে এবং গুরুতর ক্ষতির সম্মুখীন হয়।

নরম বা দূর্বল তলাসমূহ প্রায় সবক্ষেত্রেই ভূমিকম্পে ক্ষতিগ্রস্থ হয় (চিত্র ৪) । পাঠকগণ অনলাইনে খুঁজে এবিষয়ে আরও ছবি দেখতে পারেন। তবে শুভ সংবাদ হচ্ছে, এই ধরনের ক্ষতিও রোধ করা সম্ভব। যদি প্রকৌশলী ও স্থপতি প্রণীত নকশা ও নতুন ভবনের নির্মান স্থানীয় নির্মাণ বিধিমালা ও সর্বাপেক্ষা উত্তম পেশাচর্চা নীতিমালা অনুসরণ করে করা হয়, তবে দূর্বল তলা পরিহার করা সম্ভব। অধিকতর তথ্যের জন্য, "রেফারেন্স" দেখুন।

চিত্র ৪. একটি মাঝারি ভূমিকম্পে (N. Vesho) এই নরম গল্পের বিল্ডিংটি তার নিচতলা হারিয়ে ফেলে।

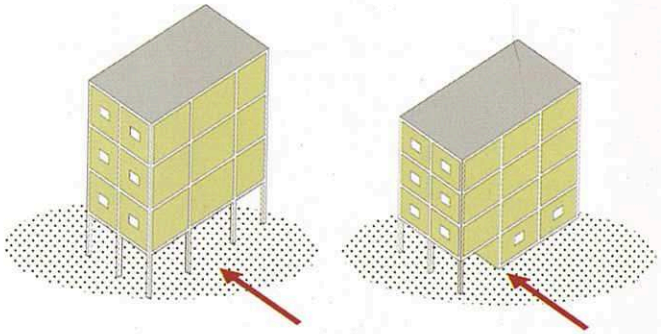
বিদ্যমান ভবনসমূহের দূর্বল তলা নিয়ে কি করণীয় ? ভূমিকম্পকালীন কর্মক্ষমতা বৃদ্ধি করা সম্ভব। বিশ্বজুড়ে কিছু শহরে ভূমিকম্পজনীত রেট্রোফিটিং কর্মসূচী গৃহীত হয়েছে। যদি রেট্রোফিটিংয়ে নতুন কাঠামো প্রণালী যেমন ব্রেসড ফ্রেম বা কাঠামো দেয়াল অন্তর্গত করা প্রয়োজন হতে পারে। এটা সাধারণত ঠিকেদারের জন্য কষ্টসাধ্য, মালিক ও ভাড়াটিয়ার জন্য অসুবিধাজনক এবং ব্যয়সাধ্য। বাঞ্ছনীয় হচ্ছে, নতুন ভবন নির্মানের ক্ষেত্রে স্থপতি ও প্রকৌশলীর দারুণ সহযোগিতাপূর্ণ প্রয়াস, এবং তারপর পুরকৌশলীর যত্নশীল নকশা, যদিও তা হয়তো সামান্য অতিরিক্ত ব্যয় ঘটায়।

চিত্র ৫. একটি সাধারণ নির্মাণশৈলীর ভবন, যেখানে নিচতলা সবচেয়ে দুর্বল।

অনুচ্ছেদ ১২: অনিরবিচ্ছিন্ন দেয়াল – একটি সাধারণ কাঠামোগত দূর্বলতা পরিহার

যেসব ভবন ভূমিকম্পের অনুভূমিক কম্পনকে প্রতিরোধে দেয়ালকে ব্যবহার করে, সেসব ভবনের জন্য উলম্ব দেয়ালগুলো ভিত্তি থেকে ছাদ পর্যন্ত নিরবিচ্ছিন্ন হওয়া অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ। দেয়াল নিরবিচ্ছিন্ন হতেই হবে, এই বৈশিষ্ঠ্যটি মেসোনরি দেয়াল হোক বা রিইনফোর্সড কনক্রিট দেয়াল, সকলক্ষেত্রে প্রযোজ্য। প্রাথমিক কাঠামো না হলেও এই বৈশিষ্ঠ্য পূরক দেয়ালের ক্ষেত্রেও প্রযোজ্য। এই মজবুতি ও দৃঢ়তা পূরক দেয়ালকে বৃহৎ পরিসরে কাঠামো অবলম্বন হওয়ার সুবিধা সৃষ্টি করে, যদিওবা তাকে সে অর্থে নকশা করা হয়নি।

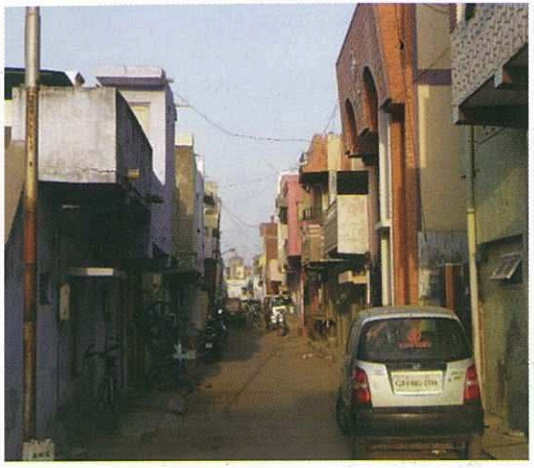
অনিরবিচ্ছিন্ন দেয়াল বিন্যাসের মূলতঃ দুই ধরনের প্রকারভেদ আছে। প্রথমটি হচ্ছে, যেখানে খুঁটি-কড়ি (column-beam) কাঠামো একটি বাদে সকল তলায় পূরক দেয়াল দ্বারা বিন্যস্ত (চিত্র ১ক); সাধারণত এই উন্মুক্ত তলাটি নিচতলায় হয়ে থাকে। এমন অবস্থা ভূমিকম্পের ক্ষয়ক্ষতিতে "দূর্বল তলা" হিসেবে পরিলক্ষিত হওয়া সমূহ সম্ভাবনা থাকে। দূর্বল তলার বিপদ সম্পর্কে প্রবন্ধ ১১ তে বর্ণনা করা আছে।



(a) (b)

চিত্র 1. দুই ধরনের বিচ্ছিন্ন দেয়াল। (ক) নিচতলায় কোন ইনফিল নেই এবং (খ) গ্রাউন্ড ফ্লোর ইনফিল দেয়াল উপরের দেয়ালের তুলনায় অফ-সেট।

অনিরবিচ্ছিন্ন দেয়ালের দ্বিতীয় প্রকারটি হচ্ছে, যেখানে খুঁটি বিন্যাস থেকে কিছু দেয়াল ভিতরে বসে যায় (চিত্র ১খ)। এমন হয়ে পারে, প্রতিটি তলাতেই পূরক দেয়াল আছে, কিন্তু নিচ তলাতে উপরের তলার তুলনায় দেয়াল ভিতরের দিকে বসেছে, অর্থাৎ উপরের তলাসমূহের দেয়াল নিচের তুলনায় সামনে বর্ধিত হয়ে বসেছে (চিত্র ২)। ভিতরে ঢুকে বসাতে দেয়ালের উপর স্থানিক দূর্বলতা সৃষ্টি হয়, বিশেষত দেয়ালটি যখন ভূমিকম্পের অনুভূমিক কম্পন প্রতিরোধ করে। ভিতরে ঢুকে বসা দেয়াল আঁড়সহ গাছের কান্ডের সদৃশ (চিত্র ৩), ঝড়ো বাতাস এই আঁড় বরাবর গাছকে ভেঙ্গে দিতে পারে। কাঠামোর মধ্যে প্রযুক্ত বল এলোমেলো দিক পরিবর্তন অপছন্দ করে। তাহলে, এই সমস্যার প্রতিকার কি ?



চিত্র 2. এই রাস্তায় অফ-সেট ইনফিল দেয়াল সহ বিল্ডিং।

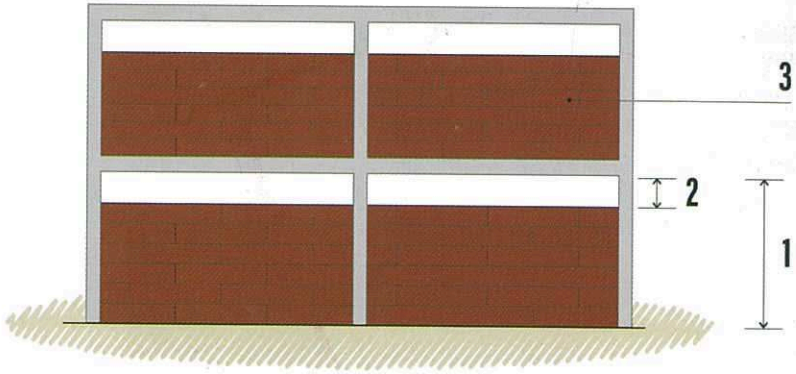
চিত্র 3. গাছের গুঁড়িতে একটি ছিদ্র স্থানীয় দুর্বলতার পরিচয় দেয়।

সবচেয়ে ভাল পদক্ষেপ হচ্ছে, ভিতরে ঢুকে বসা দেয়াল কাঠামোগত দেয়াল না হওয়া। ভবনের অন্যান্য কাঠামোসমূহ ভিতরে ঢুকে বসা দেয়ালের সমান্তরালে ভূমিকম্প প্রতিরোধী হওয়া আবশ্যক। নকশা করার সময়ে, মেসোনরি বা প্রস্তাবিত অন্যান্য দেয়ালসমূহ অপেক্ষাকৃত হালকা নির্মান উপকরণ, যেমন সিমেন্ট বোর্ড বা কাঁচ দিয়ে প্রতিস্থাপন করতে হবে; যেগুলো ভূমিকম্প চলাকালীন সময়ে কাঠামো উপকরণ হিসেবে ক্রিয়াশীল হতে অনুপযুক্ত (প্রবন্ধ ১০ এ দ্রষ্টব্য)।

অনুচ্ছেদ ১৩: বেঁটে কলাম – একটি সাধারণ কাঠামোগত দূর্বলতা পরিহার

ভবনের ভারবাহী কাঠামো হিসেবে ছোট প্রস্থচ্ছেদের দীর্ঘ বা উঁচু কলাম অত্যন্ত বিপদজনক; এর বেঁকে যাওয়ার প্রবণতা প্রচুর। তবে, ভূমিকম্প নিরাপদ ভবন নকশার প্রেক্ষিতে, বেঁটে কলাম সংকটপূর্ণ কাঠামোগত ঝুঁকির কারণ হতে পারে। নরল তলার মতো বিপদজনক না হলেও, বেঁটে কলাম ভূমিকম্পের সময়ে খুব দূর্বলভাবে কাজ করে।

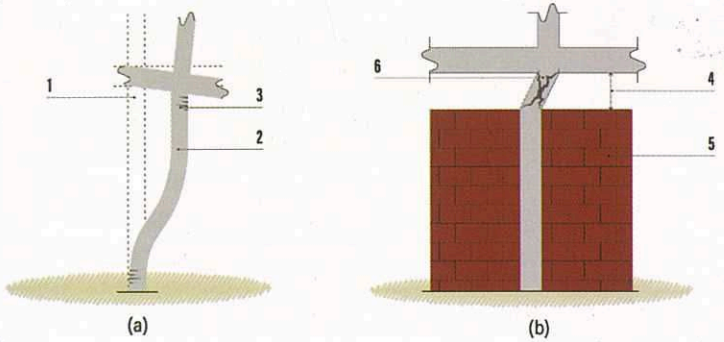
ভবনের বেঁটে কলামের প্রকাশ তখনই ঘটে যখন খুঁটি-বর্গা (column-beam) ভবনে পূরক দেয়ালসমূহ আংশিক পরিমান উঁচু হয়ে (চিত্র ১ ও ২) । "বেঁটে কলাম"-কে ভিন্নার্থে "বন্দী কলাম" ও বলা হয়। এটা বলার কারণ হচ্ছে, ভূমিকম্পে এলোমেলো আনুভূমিক ঝাঁকুনির সময়ে কলামের নিচের অংশ আংশিক পরিমান উঁচু পূরক দেয়ালসমূহ দ্বারা বন্দী হয়ে পরে। এরা কলামকে অন্যান্য কলামের মত পার্শ্বভাবে বেঁকে যাওয়া থেকে রোধ করে; যার ফলে সকল আনুভূমিক আন্দোলন ঘটে কলামের উপরে অংশে যা পূরক দেয়াল দ্বারা বন্দী নয়। এটাই হচ্ছে আসল সমস্যা।



চিত্র ১. বেঁটে কলাম সহ একটি বিল্ডিং এর উচ্চতা। তাদের সম্পূর্ণ উচ্চতা (1) এর উপর বাঁকতে সক্ষম হওয়ার পরিবর্তে, বাঁকানোটি জানালার উচ্চতায় সীমাবদ্ধ থাকে (2) ইনফিল দেয়ালের প্রভাবের কারণে (3) ।

চিত্র ২. আংশিক উচ্চতা ইনফিল দেয়াল দ্বারা অনুভূমিক শক্তিকে প্রতিরোধ করার দৃষ্টিকোণ থেকে সাধারণ উচ্চতার কলামগুলি ছোট করা হয়েছে।

সাধারণ কলাম যা পূরক দেয়াল দ্বারা প্রভাবিত নয়, ভূমিকম্পের সময়ে নমনীয়ভাবে পার্শ্বভাবে বাঁকাতে পারে। বাঁকানোর প্রক্রিয়ার মধ্যে কলামে চিকন চিড় দেখা দেয়, যা খুব একটা গুরুত্ববহ না। কিন্তু যদি একটি কলাম আংশিকভাবে পূরক দেয়াল দ্বারা আবিষ্ট থাকে, তাহলে যে পরিমান আন্দোলনটি পূর্ণ তলা ব্যাপী কলামে ঘটার কথা তা শুধুমাত্র পূরক দেয়ালের উপরে থাকা "বেঁটে কলামে" ঘটে (চিত্র ৩)।

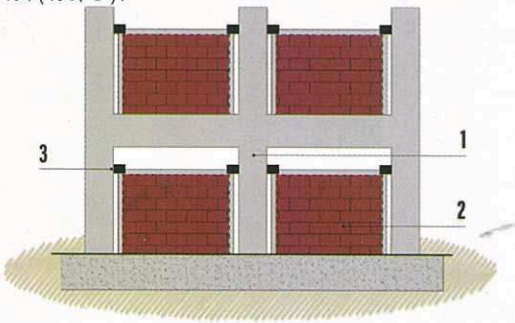


চিত্র ৩. (ক) একটি ভূমিকম্পের সময় (1) একটি সাধারণ উচ্চতার কলাম বাঁকানো হয় (2) এটি অনুভূমিকভাবে চলাফেরা করে। প্রক্রিয়ায় এটি ফাটল (3) কিন্তু এখনও শক্তিশালী থাকতে পারে। (b) একটি উপরের জানালায় (4) এবং রাজমিস্ত্রির ইনফিলগুলি (5) ছোট কলামে গুরুতর তির্যক ফাটল সৃষ্টি করে যা কলামটি ভেঙে যাওয়ার দিকে পরিচালিত করে।

কেবলমাত্র যে স্বল্প উলম্ব দূরত্বে অধিক আনুভূমিক আন্দোলন ভারী কাঠামোগত ক্ষয়ক্ষতি সাধন করে তাই নয়, বরং এই বেঁটে কলাম বাঁকার জন্য অত্যন্ত অনমনীয়। বরং শিয়ারিং ক্রিয়ায় সে ভেঙ্গে যায়, একদম গাজরের মতো। কলামে তির্যকভাবে ফাঁটল দেখা দেয় এবং ফাঁটল থেকে কনক্রিট খসে পরে (চিত্র ৪)। ফলে ভবনে দেবে যায় ও তা ভেঙে ফেলতে বাধ্য হতে হয়। অনলাইনে "short column effect" খোঁজ করলে এমন অনেক ছবি দেখতে পাওয়া যাবে।

চিত্র ৪. ভূমিকম্পে ক্ষতিগ্রস্ত ছোট কলাম।

বেঁটে কলাম পরিহারের বেশ অনেকগুলো উপায় রয়েছে। প্রথমত, জানালার প্রস্থ এমনভাবে কমিয়ে আনা যেন তা ধার কলামের উপরি অংশ থেকে যথেষ্ট দূরে থাকে। দ্বিতীয়ত, সিমেন্ট বোর্ডের মতো অদাহ্য হালকা নির্মান উপকরণ দিয়ে পুরক দেয়াল নির্মান করা। এরা কলামের নিচের অংশকে বাঁকিয়ে যাওয়া থেকে আটকে রাখতে অত্যন্ত দূর্বল। সবচেয়ে, যদি মেসোনরি আংশিক উচ্চতার ঊরক দেয়াল আবশ্যক হয়, তাহলে তাদের কলাম থেকে শীর্ণ উলম্ব ফাঁক রেখে ভৌতভাবে আলাদা করতে হবে। এই ফাঁকসমূহকে আবহাওয়া রুদ্ধ (weather-proof) করতে হবে। ইস্পাত বন্ধনী ব্যবহার করে কলামসমূহকে স্থিতিশীল করতে হবে যেন তারা ভবনের ভিতরে বা বাহিরে ভেঙ্গে না পরে (চিত্র ৫)।



চিত্র ৫. সম্ভাব্য ছোট কলাম (1) এবং রাজমিস্ত্রির ইনফিল দেয়াল (2) টাই কলাম এবং টাই বিম দ্বারা সীমাবদ্ধ একটি শক্তিশালী কংক্রিট ফ্রেম। ইনফিলগুলি ফ্রেম থেকে উল্লম্ব পৃথকীকরণের ফাঁক দিয়ে আলাদা করা হয় কিন্তু কলামে বোল্ট করা ইস্পাত বন্ধনী দ্বারা তাদের উপরের কোণে সংযত করা হয় (3)। বন্ধনীগুলি দেয়ালের সমান্তরাল কলাম এবং দেয়ালের মধ্যে চলাচলের অনুমতি দেয়, তবে ভূমিকম্পের সময় দেয়ালকে ভবন থেকে পড়ে যাওয়া প্রতিরোধ করে।

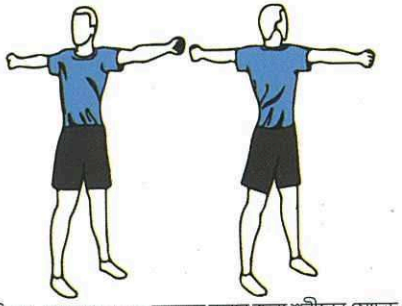
অনুচ্ছেদ ১৪: ভূমিকম্পের সময় ভবনের মোচড় প্রতিরোধ

ভূমিকম্পের সময় সব ভবনই কিছু না কিছু পরিমাণে মোচড়ায়। ভবনের বেশ খানিকটা ওপর থেকে ভবনের নীচের দিকে তাকালে যদি মনে হয় এর খানিকটা ঘুরছে বা আবর্তিত হচ্ছে তবে তাকে ভবনের মোচড় (twist) বলা যায়। শুধুমাত্র ভূমিকম্পের কম্পনের ফলেই ভবন মোচড়ায় না, সম্পূর্ণ ভবন কিংবা ভবনের কিছু অংশ যদি অপ্রতিসম হয় তখন ভবনের মোচড়ানোর পরিমাণ বেশ বেড়ে যায়।

(a) (b)

চিত্র ১. দুইটি ভবনের নীচ তলার পরিলেখ। চিত্র ক-এ যে কোনো দিক থেকে আসা ভূমিকম্প-জনিত বল প্রতিরোধের জন্য যে দেয়ালটি আছে সেটা ভবনের এরিয়ার সাথে অপ্রতিসম ভাবে বিন্যস্ত। এই ভবনটি ভূমিকম্পের সময় ভয়ঙ্করভাবে মোচড়াবে। চিত্র খ-এ সব দিকেই দেয়ালগুলি প্রতিসম প্রকৃতিতে বিন্যস্ত। এক্ষেত্রে মোচড়ানোর ব্যাপারটা সবচেয়ে কম পরিমাণে ঘটবে।

সমস্যাটা বোঝার জন্য নিচের পরীক্ষাটা করা যেতে পারে। ভবনে যেমনটা ঘটে তেমনটা আমাদের শরীরেও ঘটবে। প্রথমেই শরীরটাকে সোজা ক'রে দাঁড় করিয়ে দুই হাত দুই দিকে প্রসারিত করে ফেলি। এরপর মাথা আর ঘাড়কে পর্যায়ক্রমে ডানে এবং বামে ঘোরাতে থাকি। এতে আমরা শরীরের মোচড় বুঝতে পারবো, অনুভব করতে পারবো পাক (ঘূর্ণন) বা torsion।



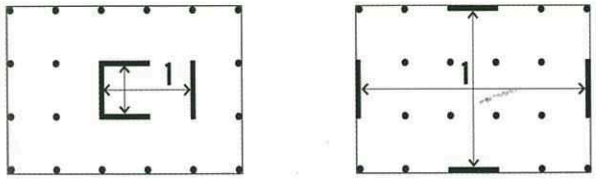
চিত্র ২. পাক বা torsion অনুভব করার জন্য শরীরের মোচড়

আমরা যখন আমাদের শরীরকে মোচড়াই তখন শরীরের কোনো একটা অঙ্গের সাপেক্ষে,, হ'তে পারে কান, আমাদের হাত কতটা দূরে সরে গেলো সেটা আমরা দেখতে পাই। নিজের শরীরকে কোনো কাঠামো-স্তম্ভ (structural core) হিসেবে বিবেচনা ক'রে দেখুন তো, যেটা কিনা আরো বড় কোনো ভবনকে ধরে রাখে, অনেকটা আমাদের হাতের শেষ প্রান্ত পর্যন্ত। হাতের দৈর্ঘ্য বরাবর আরো

কিছু স্তম্ভের কথা চিন্তা করুন যারা ভবনটির মেঝেকে ধরে রাখে। এখন আপনি আর আপনার শরীর যদি মোচড় দেয় তাহ'লে সবথেকে দূরের স্তম্ভগুলো সবচেয়ে বেশি নড়াচড়া করবে। আর এই স্তম্ভগুলো যদি অনেক বেশি পরিমাণে নড়াচড়া করে তবে তাতে ফাটল/ভাঙন ধরবে; এক সময় স্তম্ভগুলো হয়তো আর ভবনের ভার বহনও করতে পারবে না।

চিত্র ৩. নির্মাণাধীন একটি ভবনে রি-ইনফোর্সড কনক্রিটে তৈরী স্তম্ভের নমুনা

পাক বা ঘূর্ণন নিয়ন্ত্রণ এবং স্তম্ভের ফাটল ঠেকানোর জন্য নকশাবিদ, পুরকৌশলী আর স্থপতিদের হাতে দুইটি উপায় আছে। এক, ভবনের ভার-বহনকারী দেয়াল কিংবা স্তম্ভের মতন অন্য কোনো খাড়া কাঠামো এবং কড়িকাঠগুলোকে (beam) পরিলেখে বিন্যস্ত করার সময় প্রতিসমভাবে স্থাপন করা। দুই, ভবনের উভয় অনুভূমিক দিক বরাবর দুইটি পৃথক এবং পরস্পর সংযুক্ত নয় এমন শক্তিশালী খাড়া কাঠামো দেয়াল বা স্তম্ভ স্থাপন করা। এই দেয়াল বা স্তম্ভগুলো ভবনের দুই প্রান্তে এবং দুই দিকে যুগপৎভাবে বসালে ঘূর্ণন প্রতিরোধে সবচেয়ে সহায়ক হয়। এগুলো স্তম্ভের অনুভূমিক দিক বরাবর সরে যাওয়া ঠেকিয়ে দিয়ে বড়সড় ভাঙন প্রতিরোধ করে।



(a) (b)

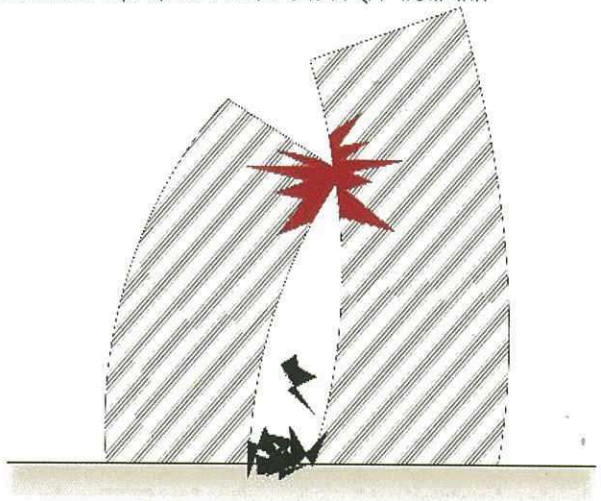
চিত্র ১. দুইটি ভবনের নীচ তলার পরিলেখ। চিত্র-ক এর ক্ষেত্রে উভয় দিক থেকে আসা ভূমিকম্পজনিত বল প্রতিরোধকারী দেয়াল একদিক বরাবর প্রতিসম এবং অল্প পরিমাণে বিযুক্ত। অপরদিকে চিত্র-খ এর দেয়ালগুলো পরস্পর থেকে সর্বোচ্চ দূরত্বে অবস্থিত এবং দুই দিক বরাবর প্রতিসম। এই বিন্যাসটি সবচেয়ে বেশি পরিমাণে ঘূর্ণন প্রতিরোধ করতে পারবে।

অনুচ্ছেদ ১৫: ভূমিকম্পের সময় এক ভবনের অন্য ভবনকে ক্ষতিসাধন করার কারণ

আপনি বা আপনারা কখনো প্রচণ্ড ভীড়ওয়ালা বাস বা ট্রেনের মতো গণ-পরিবহনে চড়েছেন? সে অবস্থায় কাউকে না ছুঁয়ে দিয়েও খুব কাছাকাছি দাঁড়িয়ে থাকা যায়। কিন্তু বাস যখন গতি পরিবর্তন করে কিংবা গতিমুখ পাল্টায় তখন সবাই নড়েচড়ে বসে, তখন পাশের জনের সাথে ধাক্কাও লেগে যায় কখনো।

ভূমিকম্পের সময়ও খানিকটা এই ধরণের ঘটনা ঘটে। মাটি কেঁপে উঠলে ভবন সেই কাঁপুনি আরো বাড়িয়ে দেয়। কিন্তু সব ভবন একসাথে কাঁপে না, বা একভাবে কাঁপে না। প্রতিটা ভবন যেহেতু আলাদা প্রকৃতির, তাই তাদের কাঁপুনিও হয় আলাদা ধরণের। পুরো ভবনকে সমান তালে কাঁপতে হ'লে নির্দিষ্ট কোনো একটি ভবনকে নির্দিষ্ট একটি কম্পাঙ্কে কাঁপতে হয়। একেক ভবনের এলোমেলো কম্পন একেকভাবে বাড়ে-কমে।

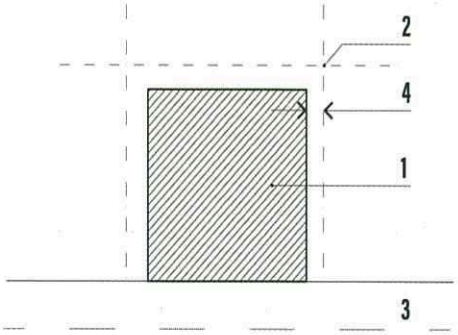
কয়েকটি ভবন যদি খুব কাছাকাছি দূরত্বে তৈরী করা হয় তবে মাটি কাঁপার সময় প্রতিটা ভবন আলাদাভাবে কাঁপে। ভবনগুলো বেঁকে গিয়ে তাদের পাশের ভবনে ধাক্কা দেয়, তাতে কখনো কখনো বড়সড় ফাটল তৈরী হয়। 'ভূমিকম্পের সময় ভবনের ধাক্কা' লিখে ইন্টারনেটে ছবি খুঁজতে দিলে পৃথিবীর বিভিন্ন প্রান্তের ধাক্কা-জনিত ক্ষতিগ্রস্ত ভবনের ছবি পাওয়া যায়।



চিত্র ১. ভূমিকম্পের সময় পর্যাপ্ত ভূমিকম্প-নিরোধ দূরত্বে না থাকা দুইটি ভবনের ঠোকাঠুকি

চিত্র ২. দুইটি ভবনের ঠোকাঠুকিতে একটি ভবন বেশি ক্ষতিগ্রস্ত হয়েছে

একাধিক নতুন ভবনের ঠোকাঠুকি ঠেকানোর একটাই উপায়, জমির সীমানা থেকে খানিকটা ফাঁকা জায়গা ছেড়ে দিয়ে ভবন তৈরী করা, শুধুমাত্র যেদিকে রাস্তা আছে সেই দিক ছাড়া। এই ফাঁকা জায়গাটার পরিমাণ এমন হওয়া দরকার, যেন ভূমিকম্পের সময় ভবন সরে গিয়ে কিংবা বেঁকে গিয়ে পাশের ভবনের উপর ভেঙে পড়তে না পারে (চিত্র ৩)। পৃথিবীব্যাপী অনেকগুলো শহরেই ভবন তৈরীর সময় জমির সীমানা দেয়াল থেকে খানিকটা ফাঁকা জায়গা রেখে ভবন তৈরী করা হয়।

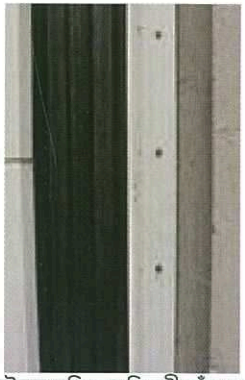


চিত্র ৩. রাস্তা সংলগ্ন জমির সীমানার ভেতর ভবনের পরিলেখ। রাস্তা ছাড়া জমির অন্য সীমানার দিকে ভবনের জন্য ভূমিকম্প-নিরোধী ফাঁকা জায়গা রাখা হয়েছে।

ভূমিকম্প-নিরোধী এই ফাঁকা জায়গার পরিমাণ নির্ভর করে ভবনের উচ্চতা আর ভবন কতটা বাঁকতে পারে তার উপর। ভূমিকম্প সম্পর্কিত বিধিমালা কোনো ভবনকে সর্বোচ্চ যতটা বেঁকে যাওয়ার অনুমোদন দেয় তেমন ভবনের জন্য তার উচ্চতার ২% পরিমাণ জায়গা সীমানা দেয়াল থেকে ফাঁকা রাখতে হয়। চার তলা উচ্চতার ভবনের জন্য এর পরিমাণ ২৪০ মিমি বা ৯.৫ ইঞ্চি। পুরকৌশলী (সিভিল ইঞ্জিনিয়ার) যদি আরো কম নমনীয় ভবন ডিজাইন করতে পারেন তবে

ভূমিকম্প-নিরোধী এই ফাঁকা জায়গার পরিমাণ কমিয়ে আনা সম্ভব। তার জন্য হয়তো বেশি মোটাসোটা স্তম্ভ আর কড়িকাঠ কিংবা কাঠামো দেয়ালের প্রয়োজন পড়বে। পাশাপাশি অবস্থিত ভবনের মাঝে ফাঁকা জায়গার পরিমাণ খুব কম হ'লে সেই ফাঁকা স্থান কোনো নমনীয় উপাদান দিয়ে ভরাট ক'রে দেওয়া হয়।

চিত্র ৪. দুইটি ভবনের মধ্যবর্তী ভূমিকম্প-নিরোধী ফাঁকা জায়গা নমনীয় উপাদান দিয়ে ভরাট করা হয়েছে



চিত্র ৫. নমনীয় উপাদানে ভরাট করা ভূমিকম্প-নিরোধী ফাঁকা কাছ থেকে দেখলে এমন দেখায়

বিদ্যমান একাধিক ভবনের মাঝে যদি পৃথককারী ফাঁকা জায়গার পরিমাণ খুব কম থাকে তাহ'লে শক্তিশালী ভূমিকম্পের সময় দুই ভবনের ঠোকাঠুকি রোধ করা খুবই কঠিন। পাশাপাশি অবস্থিত ভবনের মেঝের তল যদি একই হয় তবে ঠোকাঠুকির সময় তুলনামূলক ভাবে কম ধাক্কা লাগে, যে ভবনগুলোর মেঝের তল আলাদা তাদের তুলনায়। মেঝের তল আলাদা হ'লে এক ভবনের মেঝে অন্য ভবনের স্তম্ভের মাঝে ধাক্কা দিয়ে তার ক্ষতি সাধন করে। বাইরের দিকের বা অন্যদিকের স্তম্ভগুলো ক্ষতিগ্রস্ত হ'লে নতুন বিকল্প স্তম্ভ তৈরী করা যেতে পারে।

অনুচ্ছেদ ১৬: ইমারত নির্মাণ বিধামালা এবং মানদণ্ড

ইমারত নির্মাণ বিধিমালা এবং মানদণ্ড বিবেচনা করে ভবন নির্মাণের উদ্দেশ্য হলো, প্রথমত, আপনার ভবনটি নিরাপদ কিনা তা নিশ্চিত করা। দ্বিতীয়ত, যেসময় ভবন নির্মাণের ফলপ্রসূ উপকরণ ব্যবহার করা হচ্ছে তখন বীমগুলো তাদের জীবদ্দশায় যেন হেলে না পড়ে এমন ত্রুটিগুলো থেকে মুক্ত থাকা। বিধিমালা এবং মানদণ্ড সাধারণত নানা বিশ্ববিদ্যালয়ের গবেষণা, প্রকৌশলীদের জ্ঞান, সরকারী বিভাগ এবং ঠিকাদারদের একটি বিশেষজ্ঞ দল দ্বারা নির্ণীত হয়। এই দলের সদস্যরা তাদের নিজস্ব গবেষণা এবং অভিজ্ঞতার উপর নির্ভর করে সিদ্ধান্ত নিয়ে থাকেন (চিত্র ১)। উপরন্তু, একই বিষয়ে বৈশ্বিক অগ্রগতির সর্বশেষ অবস্থার পর্যালোচনাও তারা করে থাকেন। স্থানীয় অবস্থার জন্য উপযুক্ত মনে হলে এই উন্নত চিন্তাগুলো নতুন বিধিমালায় প্রণয়ন করে হালনাগাদ করা হয়। এই বিধিমালা প্রকাশিত রূপ পেলে তা একটি নিরাপদ, দীর্ঘস্থায়ী এবং অত্যাধুনিক অর্থনৈতিক বিনির্মাণের একটি শৈল্পিক সনদ হিসেবে উপস্থাপিত হতে পারে।

চিত্র ১. ফুল-স্কেল রেইনফোর্সড কংক্রিট কলাম এবং বিম একটি পরীক্ষাগারে পরীক্ষা করা হচ্ছে।

প্রতিটি শিল্পক্ষেত্র বা ইন্ডাস্ট্রির মতো, নির্মাণ শিল্পও নতুনত্বের আবির্ভাবের দরুন পরিবর্তনের মধ্য দিয়ে যায়। নতুন উপকরণ, নতুন নির্মাণ কৌশল, এবং নতুন ডিজাইন পদ্ধতি ক্রমাগত উন্নত হতে থাকে (চিত্র ২)। এই পরিবর্তন এবং নতুনত্ব, নির্মাণশিল্পী এবং গবেষকদের অভিজ্ঞতা ও চিন্তালব্ধ ফল দ্বারা উদ্‌ভূত হয়। তার মানে বিধিমালাকেও নিয়মিত হালনাগাদ করা দরকার। যদি না করা হয়, তাহলে ভবনগুলো অনিরাপদ এবং বেহিসাবি অর্থনৈতিক ভবনে পরিণত হবে।

চিত্র ২. এই ভবনটিতে প্রিকাস্ট কংক্রিটের ব্যবহারের উদ্ভাবনী উদাহরণ দেখা যাচ্ছে

বিধিমালা – নির্মাণকার্যের সর্বোত্তম চর্চার মান নির্ধারণ করে। মনে করুন, আপনি একটি ভবনের মালিক বা ব্যবহারকারী তখন এই নিয়মগুলো আপনার ভালোর জন্যই অনুসরণ করা উচিৎ এবং বৃহত্তর সম্প্রদায়ের স্বার্থেও মানা উচিৎ। নির্দিষ্ট মান মেনে চলতে ব্যর্থ হলে তা গুরুতর পরিণতি ঘটার সম্ভাবনা জাগায়। উদাহরণ স্বরূপ, একটু ভেবে দেখুন তো, ভিন্ন একটি পরিস্থিতিতে মান অনুসরণ না করার ফল কেমন হতে পারে! কল্পনা করুন যে আপনি অসুস্থ তাই একজন ডাক্তার আপনাকে পরীক্ষা করছেন। ডাক্তার পরীক্ষার সময় শর্টকাট নিয়ে সময় বাঁচাতে চেয়ে আপনার রক্তচাপ পরিমাপ করলেন না, আপনাকে এক্স-রে করার অনুরোধ করলেন না, তাহলে নিশ্চিতরূপেই আপনার রোগ নির্ণয় ভুল হতে পারে। সেক্ষেত্রে প্রস্তাবিত ওষুধগুলি অকার্যকর হবে এবং আপনার শরীর ক্রমশ আরও খারাপ হবে। বিধিমালা এবং মানদণ্ড ঠিক এমন করেই আপনাকে সুরক্ষা প্রদান করে।

বিধিমালা অনুসরণ করা সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ যেখানে পরিস্থিতি জটিল এবং ব্যক্তিগত জ্ঞান ও অভিজ্ঞতা সীমিত। এক্ষেত্রে ভূমিকম্প প্রতিরোধের জন্য একটি ভবন ডিজাইন এবং নির্মাণের একটি উৎকৃষ্ট উদাহরণ হতে পারে। প্রায় কোনো প্রকৌশলী, স্থপতি এবং নির্মাণশিল্পীরা ব্যক্তিগতভাবে প্রত্যক্ষ করেননি যে, একটি বড় ভূমিকম্পের সময় ভবনগুলিতে আসলে ঠিক কী ঘটে – ভবনটি সম্পূর্ণরূপে ভেঙ্গে পড়ার আগ পর্যন্ত কীভাবে ক্ষতির মাত্রা বাড়তে থাকে তা সবার অজানা। বেশিরভাগ ভবন ডিজাইন ও নির্মাণ সংক্রান্ত নানা পেশার মানুষেরা ব্যক্তিগতভাবে পরীক্ষাগারে নির্মাণ সামগ্রীর পরীক্ষা, যেমন কলাম এবং বিমের ক্ষেত্রে পরীক্ষামূলক ভূমিকম্প আন্দোলনের বিষয়ে বৈজ্ঞানিকভাবে অভিজ্ঞ হওয়ার সুযোগ পাননি। বিধিমালা ভূমিকম্প সংক্রান্ত ব্যক্তিগত অভিজ্ঞতা, জ্ঞান এবং প্রজ্ঞার অভাবের জন্য ক্ষতিপূরণ হিসেবে কাজ করে। নিম্নলিখিত বিধিমালা হলো নিরাপদ নির্মাণের একমাত্র উপায়।

বিধিমালা ভবন ডিজাইন এবং নির্মাণের সমস্ত পর্যায়ে নির্দেশিকা হিসেবে কাজ করে (চিত্র ৩)। প্রকৌশলী এবং স্থপতিদের অবশ্যই ডিজাইন এবং নির্মাণ পর্যায়গুলির সময় নির্দিষ্ট কিছু বিধিমালা অনুসরণ করতে হবে। নির্মাতাদের অবশ্যই বিধিমালা অনুযায়ী উপকরণ এবং নির্মাণ পদ্ধতি নিশ্চিত করতে হবে। আপনাকে বুঝতে হবে যে এই বিধিমালা আপনার সুবিধার জন্যই রচিত। যদি ভুল হয় বা শর্টকাট নেওয়া হয়, তাহলে আপনার ভবনটির ভূমিকম্পে নিরাপদ হওয়ার সম্ভাবনা নেই। বিধিমালা এবং মানদণ্ড সবসময় অনুসরণ করা আবশ্যক।

চিত্র ৩. নির্মাণাধীন ভবনের ভিত্তি। প্রকৌশলীরা বিধিমালা অনুসরণ করে এর জন্য প্রয়োজনীয় রেইনফোর্সিং স্টিল এবং সঠিক লোকেশন নির্ধারণ করছেন।

অনুচ্ছেদ ১৭: ভবন নির্মাণের প্রবিধানে কি থাকবে

ভবন নির্মাণের প্রবিধান (যেমন, ইমারত নির্মাণ বিধিমালা এবং মানদণ্ড) হলো – ভবন নির্মাণের নিয়মাবলী। এই নিয়মগুলো আমাদের এবং অন্যদেরকে সুরক্ষা প্রদান করে। এই নীতিমালা আমাদের জন্য একটি নিরাপদ এবং স্বাস্থ্যকর নির্মিত পরিবেশ গড়ে তুলতে সাহায্য করে। বসবাস, দাপ্তরিক কাজ, কেনাকাটা এবং প্রার্থনালয়ের জন্য নিরাপদ ভবন নিশ্চিত করা – এর লক্ষ্য।
সুতরাং, ভবন নির্মাণের প্রবিধানের কাছ থেকে আমাদের কী আশা করা উচিৎ? নিরাপদ ভবন অর্জনে আরো সফল হতে চাইলে কি করা যেতে পারে?

এই প্রসঙ্গে পাঁচটি পরামর্শ রয়েছেঃ

১. আমাদের সামাজিক পরিস্থিতি এবং প্রত্যাশা প্রতিফলিত করুনঃ
নিয়মগুলি সামগ্রিকভাবে সমাজের জন্য উপযুক্ত হতে হবে যেন তা সকলের সাংস্কৃতিক এবং অর্থনৈতিক পরিস্থিতি ও নাগরিকদের প্রত্যাশা ধারণে সক্ষম হয় (চিত্র ১)। আরোপিত এই মানদণ্ডের মাত্রা উচ্চ-আয়ের দেশগুলির মতো উচ্চতর হতেই হবে এমন নয় তবে, অংশীজনদের একটি বিস্তৃত পরিসর দ্বারা, সম্মিলিতভাবে মানদণ্ডগুলো নির্ধারিত হওয়া উচিত যেন তা স্থানীয় অবস্থার জন্য উপযুক্ত এবং সাশ্রয়ী হয়। স্থানীয়ভাবে প্রচলিত নির্মাণপ্রণালীকে সমর্থন করে এমন বিধিমালারও প্রয়োজন আছে যেখানে হয়তো পেশাদাররা জড়িত নন। প্রথাগত নির্মাণ-পদ্ধতি ও ক্রমবর্ধমান নির্মাণকাজও এর অন্তর্ভুক্ত (চিত্র ২)।

চিত্র ১. ভূমিকম্পে নিরাপদ এমন ভবনগুলিতে জনগণ বসবাস করার প্রত্যাশা রাখেন।

চিত্র ২. এই ধরণের আবাসনের ভূমিকম্প-নিরাপত্তা উন্নত করার জন্য ইমারত নির্মাণ বিধিমালা এবং তার বাস্তবায়ন অত্যন্ত জরুরী

২. সব পক্ষের জন্য ন্যায্যঃ
প্রবিধান যেন প্রত্যেকের জন্য ন্যায্য হয় তা নিশ্চিত করা অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ। এটি যেন বাইরের কোনো একটি দল বা ভবন নির্মাণ শিল্পের মধ্যে থাকা কারো পক্ষ না নেয়। যেমন ভবনের উপাদান নির্মাতারা নির্দিষ্ট কিছু প্রবিধান থেকে উপকৃত হতে পারেন।

৩. সহজলভ্য এবং বোধগম্যঃ
ভবন নির্মাণের প্রবিধান জনসাধারণের এবং নির্মাণ শিল্পের অংশীজন, যেমন প্রকৌশলী, স্থপতি এবং নির্মাতা ইত্যাদির জন্য সহজলভ্য ও বোধগম্য হতে হবে। প্রশিক্ষণের উদ্দেশ্যেও এই সমস্ত নথির যোগান সহজলভ্য হতে হবে। প্রবিধান অনলাইনে উপলব্ধ করা যেতে পারে। তাই এর ভাষাও পাঠকের বোধগম্য হতে হবে। পাঠকরা যেন প্রবিধানের প্রয়োজনীয়তাগুলি বুঝতে এবং ব্যাখ্যা করতে সমর্থ হন সেটি নিশ্চিত করতে হবে। এই রচনার লক্ষ্য হলো উদারতা এবং স্বচ্ছতা বজায় রাখা।

৪. যেকোনো পরিস্থিতিতে এবং নতুন তথ্যের প্রতি প্রতিক্রিয়াশীলঃ
যদিও ভবন নির্মাণ শিল্প অন্যান্য কিছু শিল্পের তুলনায় ধীরে ধীরে পরিবর্তিত হয়, যেমন আই.টি। তাই ভবনের প্রবিধান সার্বক্ষণিক হালনাগাদ রাখা প্রয়োজন। অন্যথায়, তারা নতুন উদ্ভাবনের পথে বাধা সৃষ্টি করবে এবং আরো সাশ্রয়ী ও দক্ষ ভবন-নির্মাণ চর্চার সুযোগটা কমিয়ে ফেলবে। এছাড়াও, সাম্প্রতিক গবেষণা যেধরনের ভবন নির্মাণ চর্চাকে অনিরাপদ বলে মনে করেছে সেগুলোর এই মুহূর্তে উন্নতি সাধন করা একান্ত প্রয়োজন। ভবন নির্মাণের প্রবিধানে সমসাময়িক জ্ঞান, ভবন নির্মাণ শিল্পের দক্ষতা ও চর্চার প্রতিফলন করা প্রয়োজন (চিত্র ৩)।

চিত্র ৩. ভবন নির্মাণ প্রবিধানে নতুন উপকরণগুলি ব্যবহার করা কতটা নিরাপদ তা উল্লেখ করতে হবে। যেমন এই হালকা ওজনের ব্লকগুলোর ব্যবহারিক উপায়গুলি নির্দিষ্ট করতে উল্লেখ করতে হবে।

৫. বৃহত্তর নিয়ন্ত্রক প্রক্রিয়ার অংশঃ

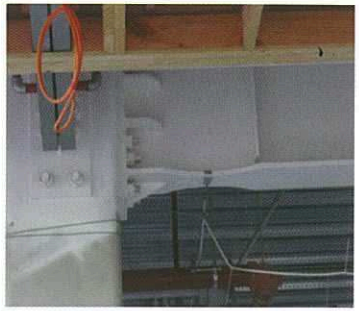
ভবন নির্মাণ প্রবিধানের আইনি এবং প্রশাসনিক সহায়তা প্রয়োজন। প্রবিধানকে তুলে ধরতে চাইলে শিক্ষা এবং কার্যকারী আরোপ উভয়ই প্রয়োজন। ভূমিকম্প-নিরাপদ সংক্রান্ত বিষয়ে শিক্ষা প্রদান সকল অংশীজনদের পাশাপাশি ভবন নির্মাণ শিল্পের সাথে জড়িত প্রতিটি স্তরের পেশাদারদের কাছ থেকে জ্ঞানগত অভিজ্ঞতা ও সিদ্ধান্ত নিয়ে কাজগুলো সমাধা করতে হবে। নির্মাণ সংক্রান্ত অধিদপ্তর এক্ষেত্রে সাহায্য করতে পারে, তবে তাদের প্রাথমিক কাজ হলো একটি সাশ্রয়ী, উপযোগী এবং স্বচ্ছ পদ্ধতির মাধ্যমে প্রবিধানগুলো কার্যকর করা।

অনুচ্ছেদ ১৮: ইমারত নির্মাণ বিধামালা মেনে ভবন নির্মিত হলে তা থেকে আমরা কি প্রত্যাশা করতে পারি

একটি ভবনের ভূমিকম্পে নিরাপদ থাকার জন্য স্থানীয় বিধিমালা অনুযায়ী ডিজাইন এবং নির্মাণ করা আবশ্যক। না হলে সেই ভবনটি মাঝারি থেকে বড় ধরনের ভূমিকম্পে মারাত্মকভাবে ক্ষতিগ্রস্ত বা ধ্বসে পড়তে পারে। যদিও, একটি ভবন সম্পূর্ণরূপে বিধিমালা মেনে নির্মিত হলেও গুরুতর ক্ষতির সম্মুখীন হতে পারে। নিচে ব্যাখ্যা করা কারণগুলি এই বিশ্বাসকে দূর করে দেয় যে বিধিমালা মেনে নির্মিত ভবনগুলো আসলে ভূমিকম্প নিরোধক।

একটি বড় ভূমিকম্পে বিধিমালা মেনে নির্মিত ভবন ক্ষতিগ্রস্ত হওয়ার প্রথম কারণ হলো, এই বিধিমালা বস্তুত সর্বনিম্ন মানকে যথাযথ মান ধরে নিয়ে রচিত হয়েছে। যদি এই মানগুলির শর্ত কোনো ভবন পূরণ করে তবে তাকে নিরাপদ বলে বিবেচনা করা হয়। তাই বলে ভবনটি যে ভূমিকম্পে ক্ষতিগ্রস্ত হবে না তা হলফ করে বলা চলেনা। বিধিমালার রচয়িতারা বিশ্বাস করেন যে, ভূমিকম্প সুরক্ষা প্রদান করার সমস্ত যথাযথ শর্তগুলো আরোপ করা হলে আমাদের সামাজিক অবস্থার জন্য তা উঁচু লক্ষ্যে পরিণত হয়, যা নির্মাতারা মেনে চলতে পারবেন না। অতএব, একটি ভবনকে সবচেয়ে খারাপ পরিস্থিতির জন্য ডিজাইন করা হয় না। কারণ, একটি ভবনের জীবদ্দশায় এমন দুর্ঘটনা হওয়ার সম্ভাবনা কম থাকে। বরং, একটি ভবনকে ছোট ভূমিকম্পের জন্য ডিজাইন করা হয়, যা ঘটার সম্ভাবনা সাধারণত পঞ্চাশ বছরের সময়কালে দশ শতাংশ। ফলে বর্তমানে, বিধানগুলি প্রধানত ভবনের সুরক্ষার পরিবর্তে মানুষের জীবন বাঁচাতে এবং আঘাত কমানোর লক্ষ্যে কাজ করছে বেশি। এর মানে হলো যে, একটি বড় ভূমিকম্পের সময় বিধিমালা মেনে নির্মিত ভবনের একেবারে ভেঙে পড়া উচিৎ নয়, তবে গুরুতর ক্ষতিগ্রস্ত হতে পারে যা হয়তো অর্থনৈতিকভাবে মেরামত করা নাও যেতে পারে।

দ্বিতীয়ত, ভূমিকম্পে ক্ষতি হবে না এমন খুব মজবুত ভবন নির্মাণের অতিরিক্ত খরচ কমাতে বিধিমালা প্রকৌশলীদের সম্ভাব্য ভূমিকম্প শক্তির মাত্র একটি নির্দিষ্ট ভগ্নাংশের জন্য ডিজাইন করার অনুমতি দেয়। এই কারণে যদিও কলাম, বিম এবং দেয়ালের ক্ষতি অনিবার্য, তথাপিও সেগুলি এমনভাবে ডিজাইন করা হয়েছে – যাতে হঠাৎ ভেঙে না পড়ে। প্রকৌশলীরা "স্ট্রাকচারাল ফিউজ" ডিজাইন করার বিষয়ে কথা বলেন, বিশেষ করে বিমে (চিত্র ১), ঠিক বৈদ্যুতিক সার্কিটের ফিউজের মতো যা সংবেদনশীল বৈদ্যুতিক উপাদানগুলোকে সুরক্ষা দেয়। তেমনি স্ট্রাকচারাল ফিউজগুলি অ-গুরুত্বপূর্ণ স্থানে যেমন বিমের শেষ প্রান্তে সুরক্ষা প্রদানের মাধ্যমে কলামের মতো আরও গুরুত্বপূর্ণ কাঠামোকে শক্তি যোগায়। যদি ভবনগুলির কাঠামোগত ক্ষতি এড়াতে ডিজাইন করা হয়, সাধারণ ভবনের তুলনায় তাদেরকে পাঁচ গুণ বেশি শক্তিশালী হতে হবে। এর অর্থ হলো কলাম এবং বিমগুলিকে স্বাভাবিকের চেয়ে যথেষ্ট বড় আকৃতির হতে হবে।



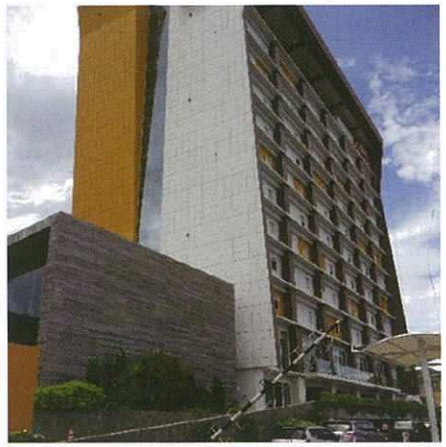
চিত্র ১. একটি নির্মাণাধীন ভবন যার বাম দিকে একটি কলাম আছে এবং এটির সাথে একটি স্টিল বিম সংযুক্ত করা হয়েছে। লক্ষ্য করুন কীভাবে কলামের কাছাকাছি বিমের নিচের প্লেট (কিণার) আকারে ছোট করা হয়েছে। ভবনের দুর্বল এই এলাকাটিতে বড় ভূমিকম্পে একটি কাঠামোগত ফিউজ তৈরি হবে। এই অঞ্চলে থাকা স্টিলের পাতটি সেই সময়ে প্রসারিত হবে কিন্তু ভাঙ্গবে না।

অবশেষে, একটি বিধিমালা-সম্মত নির্মিত ভবনের ক্ল্যাডিং (cladding) এবং পার্টিশন (partition) দেয়াল ক্ষতির পাশাপাশি এর ভিতরে থাকা বস্তুসামগ্রী এমনকি যান্ত্রিক সরঞ্জামও ক্ষতিগ্রস্ত হতে পারে। ভূমিকম্পের সময় মেঝে ও ছাদ কাঁপাও অসম্ভব না। এই আন্দোলনগুলি ভবনের প্লাস্টারে ক্ষতি করে যদি না ইটের দেয়ালগুলো খুব যত্ন সহকারে ডিজাইন করা হয়। কিছু ছোটখাট যন্ত্রপাতির মতো বিষয়বস্তুর সংযোগ ঘটানো এর অন্তর্ভুক্ত। (চিত্র ২)।

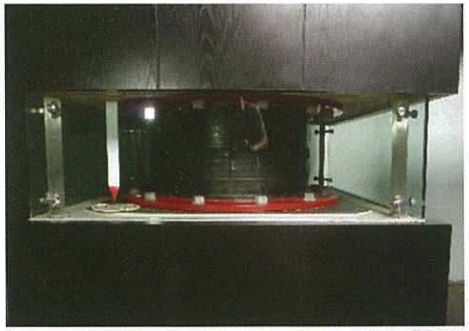
চিত্র ২. ভূমিকম্পে ক্ষতিগ্রস্ত একটি ভবনের উদাহরণ যেখানে ফোকর পূরণ বা ইনফিল (infill) দেয়ালগুলি যত্ন সহকারে ডিজাইন করা হয়নি যা ভূমিকম্পের সময় এর শক্তি-তরঙ্গকে আন্দোলনের জন্য সহায়ক কর তোলে।

বিধিমালা একটি বড় ভূমিকম্প হওয়ার সম্ভাবনা এবং এর ফলে যে খরচ ও ডিজাইনের নানা বিষয় বাস্তবায়নের মাধ্যমে ভারসাম্য বজায় রাখার চেষ্টা করে। বিধিমালা ভবনের প্রকৃতির উপর ভিত্তি করে ন্যূনতম মানগুলি নির্ধারণ করে। যেমন ধরা যাক, অফিস ভবনের তুলনায়

হাসপাতালগুলোকে উচ্চতর মানে ডিজাইন করতে হয়। যেহেতু আমরা জানি যে বিধিমালা ন্যূনতম মানগুলি নিশ্চিত করে, তাই একজন ক্লায়েন্ট এমন একটি ভবন নির্মাণের জন্য অনুরোধ করতে পারেন যা সাধারণের চেয়ে আরো ভালোভাবে কর্মসম্পাদন করার যোগ্যতা রাখে। এর ফলে ভবনটি আরো শক্তিশালী এবং অপেক্ষাকৃত বৃহত্তর কাঠামোয় নির্মিত হতে পারে, অথবা ভূমিকম্প-প্রতিরোধী ব্যবস্থা যেমন ভিত্তির পৃথকীকরণ (base isolation) (নিবন্ধ ২৩ দেখুন) এর অন্তর্ভুক্ত হতে পারে। এই প্রযুক্তি, যা ইন্দোনেশিয়ার বেশ কয়েকটি ভবনে (চিত্র ৩ এবং ৪) ব্যবহৃত হয়েছে। বিশেষ করে তাদের হাসপাতালের মতো গুরুত্বপূর্ণ ভবনগুলিতে ক্রমবর্ধমানভাবে এই নির্মান পদ্ধতিটি ব্যবহৃত হচ্ছে। এটা একটু বেশি ব্যয়বহুল কিন্তু ভূমিকম্পের পরপরই এই ধরনের ভবনে কাজ করা যায় এবং গুরুতর ক্ষতির বিরুদ্ধে যেয়ে দাঁড়িয়ে থাকার একমাত্র উপায়।



চিত্র ৩. ভিত্তির পৃথকীকরণ (base isolation) ইবিস হোটেল (Ibis), পাডাং, ইন্দোনেশিয়া।



চিত্র ৪. একটি বৃত্তাকার রাবার বিয়ারিং যেখানে অনেকগুলি পাতলা ইস্পাতের প্লেট রয়েছে যা প্রতিটি কলামের নীচের অংশ এবং ভিত্তির মাঝে অবস্থিত যাতে করে ভবনটি অনুভূমিক ভূমিকম্পের কম্পন থেকে আলাদা থাকতে পারে।

অনুচ্ছেদ ১৯: ভবন ডিজাইনের সময়কালে বিবর্তন প্রক্রিয়া খেয়াল করার গুরুত্ব

মানুষ মাত্রই ভুল করে। বেশিরভাগ ভুলের গুরুতর পরিণতি হয় না, তবে কিছু ক্ষেত্রে হয়। অনেক উৎস থেকেই ভুলের জন্ম হয়। এগুলি অনিচ্ছাকৃত হতে পারে, যেমন যত্ন বা একাগ্রতার অভাব অথবা বোঝার অভাবের কারণে। তবে কিছু ভুল হয় ইচ্ছাকৃত। লোকেরা শর্টকাট পথ অবলম্বন করে, পরিকল্পনা অনুসরণ করে না বা আর্থিক লাভের জন্য নিম্নমানের উপকরণ ব্যবহার করে। ভবন নির্মাণ শিল্পে ভুলের কারণে মানুষের জীবন গুণতে হয়, বিশেষ করে ক্ষতিকর ভূমিকম্পের সময়। এই ভুলগুলো ডিজাইন প্রক্রিয়া বা নির্মাণের সময় হয়ে থাকলেও সবসময় তা চোখে পড়ে না। কিন্তু সেই একটা ত্রুটিও ভূমিকম্পের সময় ভবন দাঁড়িয়ে থাকবে নাকি ধ্বসে পড়বে তার ফারাক বুঝিয়ে দেয় (চিত্র ১)।

চিত্র ১. একটি ভূমিকম্পের সময় ভবনে গুরুতর ক্ষতি হতে পারে যদি এই রেইনফোর্সড কংক্রিটের দেয়াল থেকে কিছু রেইনফোর্স বার বাদ পড়ে যায়

কিছু ইন্ডাস্ট্রি বা শিল্প-ক্ষেত্রে, ভুল কমাতে এবং নিরাপত্তা বাড়ানোর প্রয়াসে, বিবর্তন প্রক্রিয়া খতিয়ে দেখার একটি সুশৃঙ্খল পদ্ধতি বাস্তবায়ন করতে চাচ্ছে। এয়ারলাইন্স হলো এক্ষেত্রে একটি ভালো উদাহরণ। একজন সহ-পাইলটের কর্ম দায়িত্বের বিবরণ পড়ুন এবং আপনি দেখতে পাবেন যে,

চেক করা বা খতিয়ে দেখা তার দায়িত্বের একটি উল্লেখযোগ্য অংশ। উড়োজাহাজ চালানোর অনেকগুলো ক্ষেত্র আছে, যেখানে চেক করা প্রয়োজন। ধরুন একটি দিক, যেমন প্রয়োজনীয় জ্বালানি, যদি ভুলবশত যথেষ্ট না থাকে তবে তার ফলাফল হতে পারে বিপর্যয়কর। তাই নিরাপত্তা নিশ্চিত করার জন্য চেকলিস্ট একটি গুরুত্বপূর্ণ হাতিয়ার।

আমরা কেউই পছন্দ করি না যে, আমাদের কাজটা অন্য কেউ পরীক্ষা-নিরীক্ষা করে দেখুক। কিন্তু এই প্রক্রিয়াটি ভীষণ দরকারি, বিশেষ করে যেখানে সামান্য একটা ভুল বড়রকমের বিপর্যয় ডেকে আনতে পারে। একজন প্রকৌশলীর জন্য – রোজকার যে চাপ ভবনের উপর পড়ে, তার ভিত্তিতে ভবন ডিজাইন করা অনেক সহজ। কিন্তু আলাদাকরে বড়মাত্রার ভূমিকম্পের আন্দোলন সামাল দেওয়ার জন্য ডিজাইন করাটা খুব কঠিন। এই কাজের জন্য উচ্চ স্তরের জ্ঞান, বোঝার সক্ষমতা এবং অভিজ্ঞতার ভীষণই প্রয়োজন। তবে ভুল হওয়ার সম্ভাবনা তারপরেও থাকতে পারে। যেকোনো এক ধরনের নিরপেক্ষ নিরীক্ষণ, মূল ডিজাইন করছেন যিনি তার প্রয়োজন। নির্মাণের জন্য গণনা, পরিকল্পনা এবং স্পেসিফিকেশন নিরীক্ষণ করা প্রয়োজন, যেন তারা স্থানীয় বিধিমালা এবং মানদণ্ড মেনে চলছে কি না সে সম্পর্কে জানা যায় (চিত্র ২)।

চিত্র ২. স্ট্রাকচারাল ডিজাইনটি ভালো ছিলো কি না এবং নির্মাণ পরিকল্পনা অনুযায়ী হচ্ছে কি না তা খতিয়ে দেখতে

ডিজাইন এবং নির্মাণ উভয় সময় এই শক্তিশালী কংক্রিটের দেয়ালগুলি প্রকৌশলী দ্বারা পরীক্ষা করা হয়েছিলো আপনার প্রকৌশলীকে জিজ্ঞাসা করুন, কি কি নিরীক্ষণ করা হয়েছে। কাজটি কি একই ফার্ম বা প্রতিষ্ঠানের একজন যোগ্য ব্যক্তির দ্বারা নিরপেক্ষভাবে পরীক্ষা করানো হয়েছে? নাকি আরও যোগ্য অন্য প্রতিষ্ঠানের একজন প্রকৌশলী দ্বারা নিরপেক্ষভাবে কাজটি করানো হলো? যদি তা না হয়ে থাকে, তবে এটা এখনই করা উচিৎ, যদিও আপনাকে এর জন্য খরচ করতে হবে। খতিয়ে দেখার পরে নির্মাণ সংক্রান্ত এই নথিগুলি ভবনটি নির্মাণের আবেদনে পত্রের জন্য প্রস্তুত হবে। এমনকি যদি ভবন সংক্রান্ত অধিদপ্তর আপনাকে ভবন নির্মাণের অনুমতি দেওয়ার পূর্বে নিরাপত্তজনিত কারিগরি নিরীক্ষণ নাও করে থাকে, তবুও এই কাজগুলো আপনি ব্যক্তি উদ্যোগে করে যদি নির্মাণ প্রক্রিয়ায় এইসমস্ত নথির অনুসরণ নিশ্চিত করেন, তাহলে আপনার ভবন যে ভূমিকম্প প্রতিরোধী হয়েছে সে ব্যাপারে আর কোনো সন্দেহ থাকবে না।

অনুচ্ছেদ ২০: ভবন নির্মাণকালীন সময়ে বিবর্তন-প্রক্রিয়া খেয়াল করার গুরুত্ব

অনুচ্ছেদ ১৯-এ বর্ণনা করা হয়েছে, ভবন নির্মাণের জন্য অনুমতি চেয়ে নথি জমা দেওয়ার পূর্বে ডিজাইনের হিসাব-কিতাব, পরিকল্পনা এবং স্পেসিফিকেশনগুলির একটি নিরপেক্ষ নিরীক্ষণ করার প্রয়োজনীয়তা সম্পর্কে। একটি নিরীক্ষণ প্রক্রিয়া ভবনের মালিককে আস্থা দেয়, যে স্থানীয় বিধিমালা এবং মানদণ্ড অনুসরণ করে তার ভবনটি নির্মিত হয়েছে এবং সেজন্য ভবনটি ভূমিকম্প-নিরাপদ হওয়ার সম্ভাবনা সবথেকে বেশি।

পরবর্তী চ্যালেঞ্জ হলো, নির্মাণের সময় চেকের ব্যবস্থা করা। আমাদের যে কারো মতো, নির্মাতারাও দুর্ঘটনাবশত ভুল করে ফেলেন। কেউ কেউ তো পরিকল্পনা এবং স্পেসিফিকেশনগুলো পর্যন্ত অনুসরণ করেন না। তারা হয়তো কিছু রেইনফোর্সিং বার সংযোগ করা থেকে বিরত থাকবেন অথবা ওগুলোকে ভুলভাবে বাঁকিয়ে নির্মাণের চেষ্টা করেন। অনেকে কংক্রিটে অনেক অল্প পরিমাণের সিমেন্ট ব্যবহার করবেন, আবার কেউবা নিম্নমানের ইট ও ব্লক ব্যবহার করতে পারেন (চিত্র ১)। নিরীক্ষণ ছাড়া, একটি নবনির্মিত ভবনও ভূমিকম্পে অনিরাপদ হতে পারে। অত্যন্ত দুর্বল এবং অনিরাপদ নির্মাণের অনেক উদাহরণ রয়েছে (চিত্র ২)। তবে, নির্মাতা যদি পরিকল্পনা এবং স্পেসিফিকেশন অনুসরণ করেন, তাহলে একটি ভবন ভূমিকম্পের সময় নিরাপদ থাকবে বলে আশা করা যায়– ঠিক যে লক্ষ্যে শুরুতেই এটি ডিজাইন করা হয়েছিলো।

চিত্র ১. একটি রিইনফোর্সিং বার পরীক্ষা করা দেখা হচ্ছে যে এটিতে নূন্যতম মানদণ্ড বজায় আছে কি না

চিত্র ২. এই কলামের রেইনফোর্সমেন্ট স্থানীয় বিধিমালা এবং মানদণ্ডের সাথে অনেকগুলো বিষয়ে মেনে নির্মিত হয়নি। মাঝারি থেকে বড় ভূমিকম্পের সময় এটি গুরুতরভাবে ক্ষতিগ্রস্ত হবে।

নির্মাণের সময় গুণমানের নিশ্চয়তার জন্য আপনার কাছে ভবন অধিদপ্তরের কিছু চাহিদা থাকতে পারে। যদি তাই হয়, তবে সেগুলি অনুসরণ করুন। যদি তা না হয়, তাহলে আপনার ভবনটি ডিজাইন প্রক্রিয়ায় যে প্রকৌশলী সংশ্লিষ্ট ছিলেন তাকে অনুরোধ করুন, যেন তিনি নির্মাণকার্য তত্ত্বাবধান বা পর্যবেক্ষণ করেন। সাধারণত এর অর্থ হলো নির্মাণ এলাকায় নিয়মিত পরিদর্শন করা এবং বিশেষ করে গুরুত্বপূর্ণ কার্যক্রম গ্রহণের আগে (চিত্র ৩)। উদাহরণস্বরূপ, কলামের রেইনফোর্সিং ইস্পাত বারগুলো আগে চেক করে নিতে হবে, কেননা কংক্রিট দিয়ে এর অবয়ব তৈরির কাজ শুরু হয়ে গেলে রেইনফোর্সিং বারগুলো আড়ালে চলে যাবে। আপনার প্রকৌশলীকে জিজ্ঞাসা করুন, প্রকল্পের শেষে একটি বিবৃতিতে স্বাক্ষর করা যায় কি না যে, নির্মাণকার্য পরিকল্পনা এবং স্পেসিফিকেশন অনুসরণ করে নির্মাণকার্যটি সম্পাদিত হয়েছে এই ব্যাপারে তার মতামত কি।

চিত্র ৩. একজন প্রকৌশলীকে নিয়মিত নির্মাণ সাইটগুলি পরিদর্শন করতে হবে যাতে এটি নিশ্চিত করা যায় যে নির্মাণকাজটি প্ল্যান এবং স্পেসিফিকেশনের সাথে সঙ্গতিপূর্ণ।

কিছু লোক নির্মাণের গুণমান নিশ্চিত না করে অর্থ লোপাট করার চেষ্টা করতে পারেন। এই ক্ষেত্রে, ভুল এবং অননুমোদিত পরিবর্তন সনাক্ত করা সম্ভবপর হয় না। ভূমিকম্পের নিরাপত্তার জন্য অত্যাবশ্যকীয় খুঁটিনাটি বিষয়গুলো ভুলভাবে নির্মিত হতে পারে অথবা এগুলোকে সম্পূর্ণরূপে অবজ্ঞাও করা হয়ে থাকতে পারে। দুর্বল নির্মাণের কারণে ভূমিকম্পের সময় কেন নিজেকে এবং অন্যদের ঝুঁকিতে ফেলবেন? মূল্য দিয়ে এই ভয়াবহ বিপর্যয়ের বিচার অসম্ভব।

অনুচ্ছেদ ২১: অ-কাঠামোগত উপাদানগুলির ক্ষতি প্রতিরোধ

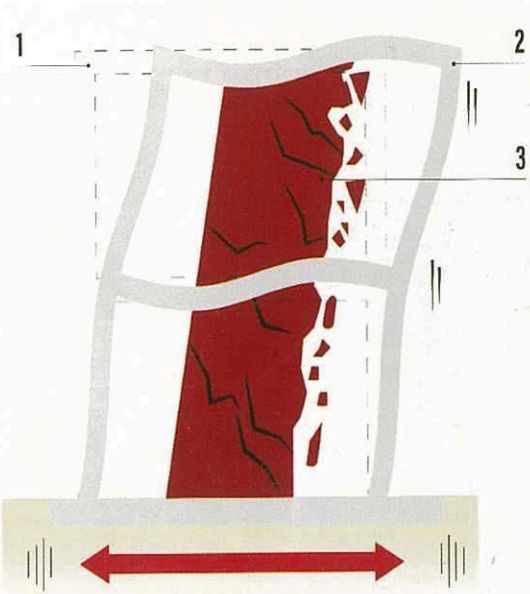
এই অনুচ্ছেদগুলোর বেশিরভাগই, ভূমিকম্পের সময় ভবনগুলোর কাঠামো যেন বাসিন্দাদের সুরক্ষা নিশ্চিত করে, মূলত তার উপর আলোকপাত করে। লক্ষ্য হলো, গুরুতর কাঠামোগত ক্ষতি এড়ানো। যদি এই লক্ষ্য অর্জিত হয়, তাহলে বসবাসরত বাসিন্দাদের জীবন রক্ষা হয়। এটি প্রযুক্তিগতভাবেও হতে পারে এবং আবার, অর্থনৈতিকভাবে ভূমিকম্প পরবর্তী কাঠামো মেরামত করেও তা সম্ভব। কিন্তু প্রশ্ন হলো- বাকি ভবনের ক্ষতির কী হবে?

খরচের দিক থেকে চিন্তা করলে, ভবনের মূল কাঠামো তৈরিতে এর সামগ্রিক ব্যয়ের সামান্য একটা অংশই ব্যয়িত হয়। সাধারণত, একটি ভবনের খরচের প্রায় ৭০%-ই কাঠামো ব্যতীত অন্যান্য অংশেই ব্যয়িত হয়। এগুলোকে সাধারণত "অ-কাঠামোগত উপাদান" বা "ননস্ট্রাকচারাল উপাদান" হিসাবে উল্লেখ করা হয়, যেমন চিমনি, ছাদের আবরণ (যেমন, টাইলস), ক্ল্যাডিং, গ্লেজিং, পার্টিশন, সিলিং, যান্ত্রিক এবং বৈদ্যুতিক সিস্টেম, ইত্যাদি। এছাড়াও আমাদের ভবনের অন্যান্য নির্মাণ সামগ্রীগুলোও ভুলে যাওয়া উচিত নয়, যেগুলো বেশ ব্যয়বহুল হতে পারে। এই সব অ-কাঠামোগত উপাদানগুলো একদিকে যেমন অত্যন্ত খরুচে, ঠিক তেমনি কিন্তু ভূমিকম্পের সময় অনেক ক্ষেত্রেই বিপজ্জনক হয়ে থাকে।

অ-কাঠামোগত উপাদানগুলোর ক্ষতির ক্ষেত্রে দুটি কারণ পাওয়া যায়। প্রথমটি হলো কাঠামোর পার্শ্ববর্তীয় আনুভূমিক আন্দোলনের কারণে এবং অপরটি হলো এই উপাদানগুলো ভূমিকম্পের কম্পন থেকে সৃষ্ট ত্বরণের দ্বারা ক্ষতিগ্রস্ত হয়। অনলাইনে "ভূমিকম্পে অ-কাঠামোগত উপাদানগুলির ক্ষতি (nonstructural earthquake damage)" অনুসন্ধান করে ছবিগুলো দেখলেই বুঝতে পারবেন।

ভূমিকম্পের সময় ভবনের পার্শ্ববর্তী আন্দোলনগুলো, ক্ল্যাডিং দেয়াল এবং পার্টিশনের মতো উপাদানগুলোকে ক্ষতিগ্রস্ত করতে পারে। একটি ভবনের উপরের তলার মেঝে যদি আনুভূমিকভাবে আন্দোলিত হয়ে মেঝের পরিধিকে অতিক্রম করতে চায়, তখন আমরা এগুলোর ক্ষতির আশংকা করি (চিত্র ১) । সর্বোপরি, অনমনীয় এবং ভঙ্গুর দেয়াল, তুলনামূলকভাবে নমনীয় কাঠামোর সাথে বেমানান।

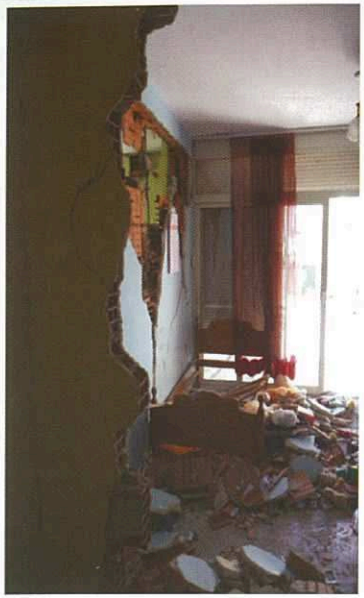
দেয়ালের মতো উপাদানগুলোর যেগুলোর ক্ষতির আশংকা আছে, সেগুলোকে নমনীয় করে বা থাম (column) এবং মেঝে থেকে পৃথক করে স্বতন্ত্রভাবে বানানো যেতে পারে। স্থাপত্যের নির্মাণশৈলীর খুটিনাটি (architectural detailing) দিকগুলির ক্ষেত্রে যত্নশীল হতে হবে।



চিত্র ১. একটি কাঠামো (structural frame) প্রথম অবস্থায় এবং (1) ভূমিকম্পের সময় (2) পার্টিশনগুলি (3) উপরে ও নিচের মেঝের সাথে সংযুক্ত বলে কাঠামো আন্দোলিত হবার সময়ে আনুভূমিক আন্দোলন দ্বারা ক্ষতিগ্রস্ত হয়।

বেশিরভাগ ক্ষেত্রেই অ-কাঠামোগত উপাদানগুলো ভূমিকম্পের তীব্রতাজনিত ত্বরণ থেকে ক্ষতিগ্রস্ত হয়। তীব্র ঝাঁকুনি উপাদানগুলোকে ভেঙ্গে দিতে পারে, তাদের সংযুক্তি থেকে বিচ্ছিন্ন করে দিতে পারে, ফলে তারা ভেঙ্গে পড়ে যায় (চিত্র ২-৪)। ভবনের অবিন্যস্ত উপাদানগুলো চারপাশে ভূপাতিত হয়, যা অনিষ্ট ও ভাঙ্গন ঘটায়। পূর্ববর্তী ভূমিকম্প থেকে শিক্ষা নিয়ে যে অ-কাঠামোগত উপাদানগুলিকে বিন্যস্ত করা উচিত। বিশেষ করে, পানির আধার (water tank) এবং যান্ত্রিক ও বৈদ্যুতিক সরঞ্জাম সহ সকল উপাদান অবশ্যই সুসংহত রাখতে হবে (চিত্র ৫)। অন্যথায়, ঝাঁকুনির সময় তারা হড়কে যাবে (slide) বা উল্টে যাবে (overturn), প্রায়শই এগুলো নিজেদের সুসংহত রাখতে গিয়ে ভবনের অনেক বেশি ক্ষতি করে।

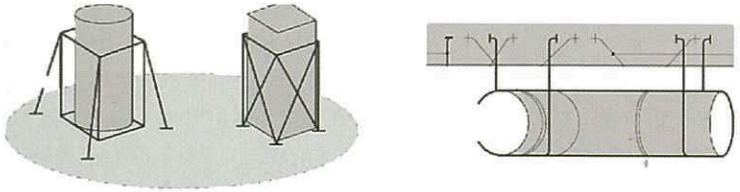
সাধারণভাবে সুসংহত রাখার পদ্ধতির উদাহরণ হিসেবে FEMA E-74 নথিটি পড়ুন। সরঞ্জাম নিয়ন্ত্রণের পদ্ধতিগুলো তুলনামূলকভাবে সস্তা এবং ভূমিকম্পের সময় ক্ষতি প্রতিরোধ করার জন্য একটি বুদ্ধিদীপ্ত বিনিয়োগ হতে পারে।



চিত্র ২. ভূমিকম্পে ক্ষতিগ্রস্ত, জীবনের জন্য ঝুঁকিপূর্ণ দেয়াল।

চিত্র ৩. ইটের চিমনিটির উপরিভাগ ছাদের স্তরে ভেঙে পড়েছে এবং অবশিষ্ট চিমনির বেশিরভাগই ক্ষতিগ্রস্ত হয়েছে।

চিত্র ৪. ভূমিকম্পে ভবনের বেশিরভাগ ইটের দেয়াল এবং কাঁচ ক্ষতিগ্রস্থ।



চিত্র ৫. (ক) ট্যাঙ্ক এবং(খ) যান্ত্রিক সরঞ্জাম ভূমিকম্পের সময়ে যাতে দৃঢ়ভাবে সংযুক্ত থাকে তেমন বন্ধনীযুক্ত করা উচিত। এছাড়াও, (গ) পাইপগুলি হ্যাঙ্গার (1) এবং বন্ধনী (2) দিয়ে দৃঢ়ভাবে সংযুক্ত করা উচিত।

অনুচ্ছেদ ২২: ভূমিকম্পে ক্ষতির মোকাবেলায় ভবনগুলির পূণর্বিন্যাস (Retrofitting)

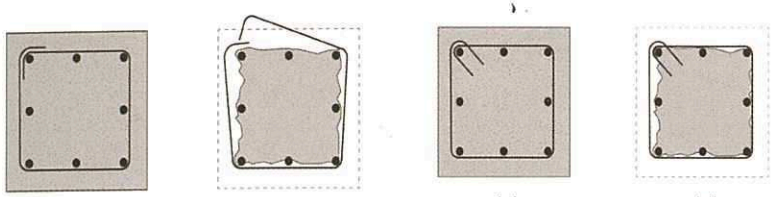
পূণর্বিন্যাস (Retrofitting) হল বিদ্যমান অনিরাপদ ভবনগুলোর জন্য ভূমিকম্পের সময় কার্যকারিতা উন্নত করার এমন এক প্রক্রিয়া, যা ভবনগুলিকে নিরাপদ বলে বিবেচিত করে। উদাহরণ হিসেবে বলা যায় যে, যেভাবে গুরুতর অসুস্থ রোগীদের ক্ষেত্রে তাদের জীবনকে দীর্ঘায়িত করার জন্য অস্ত্রোপচার করে, এটি তেমনই। বিশেষ করে, অনেক ক্ষেত্রেই পূণর্বিন্যস্ত (Retrofit) প্রকল্পগুলিকে ভূকম্পীয় অস্ত্রোপচার (seismic surgery) হিসাবে বর্ণনা করা হয়েছে।

ভূমিকম্পপ্রবণ অঞ্চলে ভবনগুলোকে পূণর্বিন্যস্ত (Retrofit) করার অনেক কারণ রয়েছে। বেশিরভাগ ক্ষেত্রে, ভবন প্রবিধানগুলোতে (building regulations) ভূমিকম্পে বিপজ্জনক হিসাবে চিহ্নিত ভবনগুলোতে পূণর্বিন্যাস (Retrofitting) এর মতো পদক্ষেপ অত্যন্ত প্রয়োজনীয়। উদ্দেশ্য হল বড়সড়ো ভূমিকম্পের পর ক্ষয়ক্ষতি এবং মানসিক আঘাত কমিয়ে শহর ও সম্প্রদায়ের স্থিতিস্থাপকতা বৃদ্ধি করা। আঘাত, প্রাণহানি, এবং আশ্রয় ও কর্মসংস্থানের ক্ষয়ক্ষতিজনিত ভবিষ্যতের বিপর্যয় এড়াতে আমরা পূণর্বিন্যাস (Retrofitting) এর মাধ্যমে একটি পদক্ষেপ নিতে পারি।

সাধারণত, যে ভবনগুলো জনসাধারণের কাছে সবচেয়ে মূল্যবান, যেমন হাসপাতাল এবং স্কুলগুলিকে প্রথমে পূণর্বিন্যাস (Retrofitting) এর আওতাভূক্ত করা যায়।

একটি ভবন পূণর্বিন্যাস (Retrofitting) এর ক্ষেত্রে প্রথম ধাপ হল মূল্যায়ন। ভবনের কোন গুরুতর দুর্বলতা আছে কিনা তা একজন অভিজ্ঞ প্রকৌশলী দ্রুত নির্ণয় করতে পারেন। উদাহরণস্বরূপ, একটি শক্তিশালী ভূমিকম্পে যেকোন দূর্বল তলা (অনুচ্ছেদ ১১) বা বিচ্ছিন্ন দেয়াল (অনুচ্ছেদ ১২) সহজেই ভেঙ্গে পড়তে পারে। ভবনের বয়স এর নকশা এবং নির্মাণের সম্ভাব্য মান সম্পর্কে একটি ইঙ্গিত দেয়। উদাহরণস্বরূপ, তীব্র কম্পন থেকে বাঁচার জন্য নকশা করা প্রথম কংক্রিট ভবনগুলো ১৯৮০ এর দশক থেকে নির্মিত হয়েছিল। ভবনের নির্মাণ সামগ্রীও এক্ষেত্রে খুবই প্রাসঙ্গিক। অতীতের ভূমিকম্পে তাদের দূর্বল কর্মক্ষমতার ভিত্তিতে, দেয়াল গাঁথুনির (masonry wall) ভবনগুলোতেই সাধারণত প্রথম পূণর্বিন্যাস (Retrofitting) এর প্রয়োজন হয়।

যদি একটি প্রাথমিক মূল্যায়নে দেখা যায় যে, পূণর্বিন্যাস (Retrofitting) এর প্রয়োজন, তাহলে আরও বিস্তারিত প্রকৌশলী তদন্ত এবং বিশ্লেষণ করা জরুরী। প্রয়োজনে সামান্য অংশ ভেঙ্গে দেখা জরুরী যে, নির্দিষ্টস্থানের ইস্পাতবারগুলো শক্তিমত্তার দিক থেকে কতটুকু নিরাপদ (চিত্র ১)।

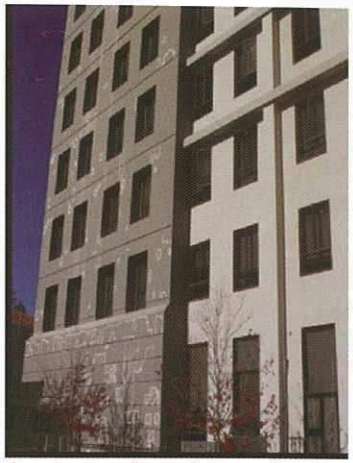


চিত্র ১. (a) একটি থাম (column) এর প্রস্থচ্ছেদ (cross-section) দেখানো হয়েছে যে, যেখানে বন্ধনগুলিতে একটি মাত্র ৯০ ডিগ্রি বাঁক রয়েছে। (b) ভূমিকম্পের সময় থামটি অনিবার্যভাবে ক্ষতিগ্রস্ত হবে, বাঁকটি খুলে যাবে এবং বন্ধন অকেজো হয়ে যাবে। (c) বন্ধনগুলি সঠিকভাবে কোড অনুসারে, একটি ১৩৫ ডিগ্রী বাঁক সহ বাঁকানো হয়েছে, এবং (d) থাম ক্ষতিগ্রস্ত হলেও বন্ধনগুলি তখনও কার্যকর থাকবে।

ভবন নির্মাণ অনুমোদন কর্তৃপক্ষের সাথে আলোচনা করে পূণর্বিন্যাস (Retrofitting) এর ক্ষেত্র-বিস্তৃতি বা মান কী হওয়া উচিত তা নির্ণয় করে নিতে হবে। পূণর্বিন্যস্ত (Retrofit) ভবন কি পুরোপুরি একটি নতুন ভবনের মত একটি মানে বিন্যস্ত করা উচিত, বা তার চেয়ে কিছুটা কম, কিন্তু ক্ষতির বেশি ঝুঁকি সহ, কি গ্রহণযোগ্য? পূণর্বিন্যাস (Retrofitting) এর ক্ষেত্রে তুলনামূলকভাবে বেশি খরচের কারণে, প্রায়ই আপস করা হয়। এই সব কাজ বিস্তারিত পূণর্বিন্যাস (Retrofitting) নকশা এবং স্পেসিফিকেশনে শেষ হয়।

পূণর্বিন্যাস (Retrofitting) এর সমাধান কখনোই একরকমের হয় না। প্রতিটি ভবন পৃথকভাবে পূণর্বিন্যাস (Retrofitting) করা আবশ্যক, ঠিক যেমন ডাক্তার রোগীদের চিকিৎসা করেন। কিছু ভবনে অন্যগুলোর চেয়ে বেশি পরিবর্তন আবশ্যক, সম্ভব হলে নতুন কাঠামোগত উপাদান যেমন কাঠামোগত দেয়াল বা ক্রসব্রেসিং (cross-bracing), ভবনের উভয় পাশে এবং ভবন জুড়ে (চিত্র ২-৫)। অন্যান্য ক্ষেত্রে, শুধুমাত্র একটি দিকে নতুন কাঠামোগত উপাদানের প্রয়োজন হতে পারে। অন্যান্য ভবনগুলোতে, ভারী গাঁথুনির দেয়ালগুলো সরিয়ে বা প্রতিস্থাপন করে তাদের ওজন কমানোই যথেষ্ট হতে পারে। কখনও কখনও বিদ্যমান কাঠামোর পুনঃউন্নয়ন করা যায় না এবং সেক্ষেত্রে প্রতিস্থাপন করা প্রয়োজন। "ভূমিকম্পে ক্ষতির মোকাবেলায় ভবনগুলোর পূণর্বিন্যাস (retrofitting buildings for earthquakes)" লিখে অনলাইন অনুসন্ধান করলেই অনেক উদাহরণ পাওয়া যাবে।

চিত্র ২. এই হাসপাতাল ভবনের পূণর্বিন্যাস (Retrofitting) এ প্রতিটি প্রান্তে দুটি নতুন কাঠামোগত প্রাচীর এবং ভিত্তি অন্তর্ভুক্ত করেছে।



চিত্র ৩. এই ভবনের উন্নত ভূমিকম্প কার্যক্ষমতার জন্য, এর নিচের দিকে বিদ্যমান কাঠামোর উপর পুরু ভাবে একটি নতুন কংক্রিট কাঠামো নির্মাণ করা হয়েছে।

চিত্র ৪. পূণর্বিন্যাস (Retrofitting) এর অংশ হিসাবে এই ভবনটিতে সারি করে ইস্পাতের বন্ধনী ঢোকানো হয়েছে।

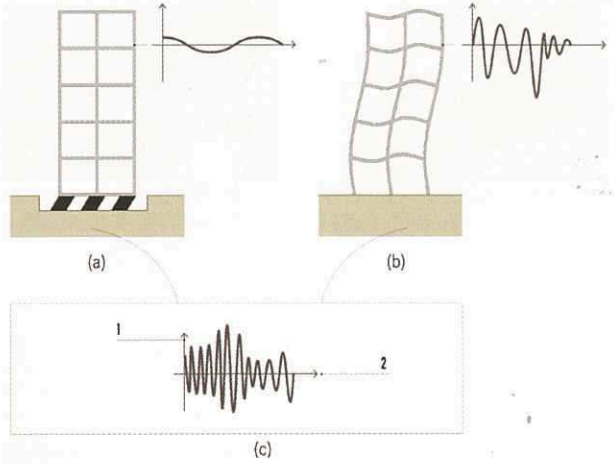
চিত্র ৫. একটি দেয়াল গাঁথুনির ভবনে কাঠের মেঝেতে ভূমিকম্প প্রতিরোধের জন্য এর নীচে ইস্পাত বন্ধনী দ্বারা শক্তিশালী করা হয়েছে।

পরিশেষে, পূণর্বিন্যাস (Retrofitting) সাধারণত একটি ব্যয়বহুল প্রক্রিয়া। কিছু পরিস্থিতিতে এটি করা প্রায় অসাধ্য। তবুও আবাসিক বাসাবাড়িগুলোর জন্য এর মাধ্যমে কিছুটা হলেও অপেক্ষাকৃত সস্তা সমাধান পাওয়া যায়। যদিও ঝুঁকিপূর্ণ ভবনগুলোতে আপাতত বসবাস করা এবং সাময়িকভাবে কাজ করা ছাড়া আর কোনো বিকল্প নেই, তবে ভবিষ্যতে সুযোগকরে ভবনগুলোর ভূমিকম্পজনিত নিরাপত্তা নিশ্চিত করতে হবে। তারপর, সময়ের সাথে সাথে, সকল ভবনগুলোই ধীরে ধীরে ভূমিকম্প মোকাবেলায় নিরাপদ হয়ে উঠবে।

অনুচ্ছেদ ২৩: ভবনগুলোর জন্য উন্নত ভূমিকম্প-স্থিতিস্থাপক পদ্ধতি

বিশ্বব্যাপী পুরকৌশলীরা বিশ্বাস করেন যে, ভূমিকম্প মোকাবেলায় একটি গুরুত্বপূর্ণ 'ভবন নকশা ও নির্মাণ নীতি' হল উপরিকাঠামো (superstructure) -কে প্রয়োজনীয় অবলম্বন (support) দেওয়ার জন্য একটি দৃঢ় ও অনমনীয় ভিত্তি তৈরি করা। যাহোক, একটি দুঃখের বিষয় হল যে, দৃঢ় ও অনমনীয় ভিত্তিগুলো যেমন একদিকে ভূমিকম্পের সময় ভবনগুলোকে মাটিতে দেবে যাওয়া বা ভেঙে পড়া থেকে বাধা দেয়, অন্য দিকে এগুলো একই সাথে ভূমির কাঁপুনিকে উপরিকাঠামো (superstructure) -তে পাঠিয়ে দেয়। এর ফলে মাটির ওপরে থাকা ভবনের তলাগুলোতে শক্তিশালী কম্পনবোধ হয়।

এক্ষেত্রে ভূকম্পীয় বিচ্ছিন্নতা (seismic isolation) ছিল এক যুগান্তকারী সাফল্য, যা প্রাথমিকভাবে ১৯৬০ এর দশকে প্রয়োগ করা হয়েছিল। এই কৌশলে, একটি ভবনের উপরিকাঠামো মূলত ভূমিকম্পের প্রভাব থেকে বিচ্ছিন্ন থাকে। এটি সাধারণত ভবনের ভিত্তিতে (উপরিকাঠামো (superstructure) এর নিচে এবং ভবনের গোড়ায়) বিয়ারিং স্থাপন করে সম্পাদন করা হয়, যা অনুভূমিক কম্পনের মোকাবেলায় বেশ নমনীয় (চিত্র ১ এবং ২)।



চিত্র ১. (a) একটি ভিত্তি-বিচ্ছিন্ন (base-isolated) ভবন যখন তার বিয়ারিংগুলির উপরে সম্পূর্ণরূপে সরে যায় তখন, (b) ভূমিকম্প কিভাবে গতানুগতিক নির্মান পদ্ধতির একটি ভবনকে তার উচ্চতা বরাবর বাঁকিয়ে দেয়। এক্ষেত্রে উভয় ভবনই শক্তিশালী ভূমিকম্পের কম্পন অনুভব করে (c) যেখানে (1) ত্বরণ এবং (2) সময়। লক্ষ্য করুন কিভাবে (a) এর কাঁপুনি (b) এর চেয়ে কম এবং মৃদু।

একে সাধারণতভাবে 'ভিত্তি-বিচ্ছিন্নতা' (base-isolation) নামেও বলা হয়। যখন ভূমিকম্প হয়, তখন সম্ভাব্য ভূমিকম্পের প্রচন্ডশক্তির একটি ভগ্নাংশ, নমনীয় বিয়ারিংয়ের মাধ্যমে উপরিকাঠামো (superstructure) -তে স্থানান্তরিত হয়। এটাকে অন্যভাবে বলা যায় যে, উপরিকাঠামো (superstructure) -তে বল-বিয়ারিং স্থাপন করার মতো একটা পদ্ধতি!

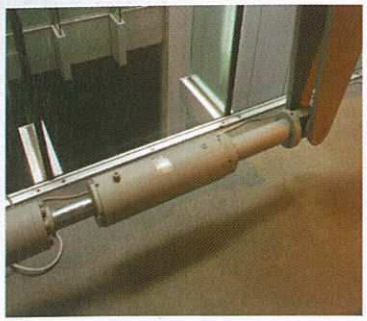
চিত্র ২. একটি ভবনের নীচে দুটি কালো এবং নলাকার বিচ্ছিন্নতা সৃষ্টিকারী বিয়ারিং। প্রতিটি বিয়ারিং মূল কাঠামোর সাথে সংযুক্ত একটি কংক্রিট ভিত্তি এবং একটি থামের ভিত্তির সাথে সংযুক্ত করা হয় যার উপরে ভবনটি উঠে যায়।

প্রথমে বিয়ারিংগুলো রাবারের বড় টুকরা এবং ইস্পাত প্লেটের মাঝে স্যান্ডউইচের মত নির্মাণ ছিল। পরে, ভূমিকম্পের শক্তির কিছুটা অংশ শোষণ করার জন্য একটি সীসা প্লাগ ঢোকানো হয়েছিল। তারপর থেকে, অন্যান্য ধরণের বিয়ারিংও তৈরি করা হয়েছে, যেমন ঘর্ষণ দোলক পদ্ধতি (friction pendulum system) । এটি দুটি বাঁকা মসৃণ পৃষ্ঠের মধ্যে হড়কানো (sliding) -এর মাধ্যমে কাজ করে। "ভূকম্পীয় বিচ্ছিন্নতা যন্ত্র (seismic isolation devices)" এর সম্পর্কে আরো জানার জন্য অনলাইনে অনুসন্ধান করে দেখা যেতে পারে।

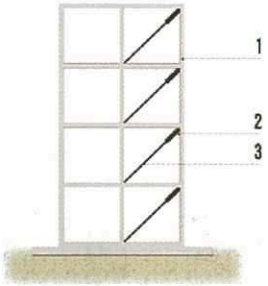
ভূকম্পীয় বিচ্ছিন্নতা (seismic isolation) হল ভূমিকম্প প্রতিরোধের জন্য একটি চরম মানদণ্ড। এটি ভবনের কাঠামো এবং অ-কাঠামোগত উপাদান, যেমন পার্টিশন, ক্ল্যাডিং, ভবনের অন্যান্য উপাদানের জন্য সর্বোত্তম সুরক্ষা প্রদান করে। জাপান, ক্যালিফোর্নিয়া এবং নিউজিল্যান্ডের মতো ভূমিকম্পপ্রবণ অঞ্চলে, বেশিরভাগ নতুন হাসপাতালগুলি ভূকম্পীয় বিচ্ছিন্নতা (seismic isolation) কে অন্তর্ভুক্ত করছে।

তবে, ভূমিকম্পে ভবনগুলোকে নিরাপদ করতে অন্যান্য পদ্ধতিও চালু করা হচ্ছে। উদাহরণস্বরূপ, ভূমিকম্পের তীব্রতা কমাতে ড্যাম্পার নামক যান্ত্রিক কৌশলগুলি ভবনের উচ্চতা পর্যন্ত স্থাপন করা হয়। ড্যাম্পারগুলো গাড়ির কখনো কখনো আঘাত সহনশীল যন্ত্র (shock absorbers) -এর মতো দেখায় এবং এটির মতই কাজ করে (চিত্র ৩)। কম্পনগুলোকে মৃদু করার জন্য অত্যন্ত কার্যকর এই ড্যাম্পারগুলো প্রায়শই তির্যক বন্ধনীর উপরে বা নীচে স্থাপন করা হয় (চিত্র ৪)।

বিকল্পভাবে, যখন পুরো বন্ধনীটি একটি ব্রেস এবং একটি ড্যাম্পার হিসাবে কাজ করে, তখন এটি "বাকলিং রিস্ট্রেইন্ড ব্রেস (buckling restrained brace)" (চিত্র ৫) হিসাবে পরিচিত হয়।



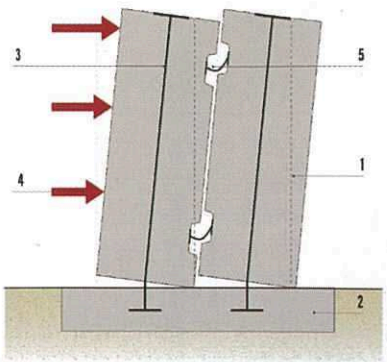
চিত্র ৩. ভূমিকম্পের গতি কমানোর জন্য একটি ড্যাম্পার।



চিত্র 4. (1) থাম এবং কড়িকাঠ দিয়ে নির্মিত কাঠামোর একটি ভবন (2) ড্যাম্পার সহ (3) তির্যক বন্ধনীর শীর্ষে ।

চিত্র ৫. দুটি বাকলিং রিস্ট্রেইন্ড ব্রেস ভূমিকম্প প্রতিরোধ করে এবং ভূমিকম্পের গতি কমিয়ে দেয়।

ভূমিকম্পের ক্ষতি মোকাবেলাকারী নকশা হিসাবে পরিচিত আরেকটি নতুন পদ্ধতি জনপ্রিয় হয়ে উঠছে। ভূমিকম্প প্রতিরোধে সক্ষম দেয়াল এবং ফ্রেমগুলির মতো প্রচলিত কাঠামোগুলো বিশেষভাবে ডিজাইন করা হয়েছে যাতে ভূমিকম্পের সময় তাদের প্রাথমিক অংশগুলো ক্ষতিগ্রস্থ না হয়। বরং, কাঠামোগত ক্ষতি, প্রতিস্থাপনযোগ্য শক্তি শোষকের মধ্যে সীমাবদ্ধ থাকে (চিত্র ৬ এবং ৭) ।



চিত্র ৬. (1) দুটি কংক্রিটের দেয়াল পাশাপাশি (2) ভিত্তিগুলির সাথে সংযুক্ত (3) স্টিলের মোটাপাত দ্বারা (4)যা ভূমিকম্পের সময় প্রসারিত হয়; (5) ইস্পাত প্লেট বিকৃত হয়, শক্তি শোষণ করে এবং কম্পন হ্রাস করে।

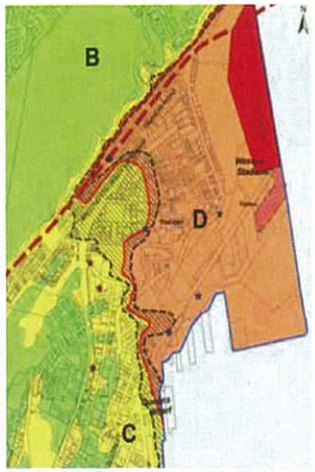
চিত্র ৭. দুটি দোলক দেয়ালের মধ্যে অবস্থিত একটি ভূমিকম্প শক্তি শোষক।

উপরে উল্লিখিত সমস্ত কৌশলগুলি প্রচলিত নকশা এবং নির্মাণ পদ্ধতির চেয়ে অনেক বেশি পরিশীলিত। অতএব, শুধুমাত্র সবচেয়ে অভিজ্ঞ এবং দক্ষ পুরকৌশলীদের মাধ্যমে এগুলি বাস্তবায়ন করা উচিত।

অনুচ্ছেদ ২৪: নগর পরিকল্পনা এবং ভূমিকম্প নিরাপত্তা

পূর্ববর্তী অনুচ্ছেদগুলোর তুলনায়, এই অনুচ্ছেদটি একটু বিস্তৃত দৃষ্টিকোণ থেকে নেয়া। এই অনুচ্ছেদটিতে কীভাবে নগর পরিকল্পনার মাধ্যমে একটি অঞ্চল, শহর বা জনসাধারণের উপর ভূমিকম্পের ধ্বংসাত্মক প্রভাব কমানো যায় সে সম্পর্কে আলোচনা করা হবে। জনস্বাস্থ্যের উদ্যোগ, যেমন পানীয় জলের ব্যবস্থা এবং ব্যাপক রোগ প্রতিরোধের জন্য স্বাস্থ্যব্যবস্থা- এগুলোর মতো নগর পরিকল্পনাও ভূমিকম্পের প্রভাব কমাতে এবং পুনরুদ্ধার সহজতর করতে পারে।

উন্নয়নের পথ দেখানোর জন্য নগর পরিকল্পনাবিদদের ভূকম্পীয় ঝুঁকি মানচিত্র (seismic hazard maps) প্রয়োজন। এই ধরনের মানচিত্রগুলো সক্রিয় ত্রুটিপূর্ণ অঞ্চলগুলির উপস্থিতি সনাক্ত করে (যেখানে উন্নয়নমুখী সম্প্রসারণ যে কোনও মূল্যে এড়ানো উচিত), এবং এমন অঞ্চলগুলি গভীরে থাকা নরম মাটির কারণে বেশি ঝাঁকুনি অনুভব করতে পারে (চিত্র ১)। এই মানচিত্রগুলো ভূমিকম্পের সময় তরলীকরণ, ভূমিধস বা শিলাপ্রপাতের ঝুঁকিপূর্ণ এলাকাগুলো এবং সুনামি প্লাবনের প্রবণতাও নির্দেশ করে। এই তথ্যের সাহায্যে, পরিকল্পনাকারীরা নিরাপদ এলাকায় অগ্নি নির্বাপন কেন্দ্র এবং হাসপাতালগুলোর মতো প্রয়োজনীয় সুবিধাগুলো সনাক্ত করতে পারে এবং অনিরাপদ এলাকায় আবাসন স্থাপন এড়াতে পারে। সবচেয়ে বিপজ্জনক এলাকা পার্ক হিসাবে মনোনীত করা যেতে পারে। "শহরের ভূকম্পীয় ঝুঁকি মানচিত্র (city seismic hazard maps)" এর জন্য একটি অনলাইন অনুসন্ধান করলে সারা বিশ্ব থেকে এমন ধরণের মানচিত্রের অনেক উদাহরণ পাওয়া যাবে।



চিত্র ১. ওয়েলিংটন, নিউজিল্যান্ডের একটি অংশের জন্য ভূকম্পন মানচিত্র। জোন B সর্বনিম্ন তীব্র কাঁপুনি অনুভব করবে, এর পরে C ও D প্রায় সর্বোচ্চ তীব্র কম্পনের এলাকা নির্দেশ করে, এটিতে লাল এলাকা হিসেবে চিহ্নিত (ওয়েলিংটন সিটি কাউন্সিল) অঞ্চলটি শীর্ষে রয়েছে।

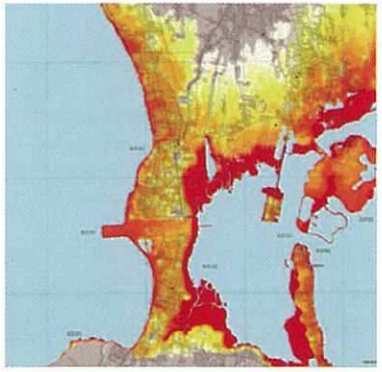
পরিকল্পনাকারীদের জন্য আরেকটি দরকারী দলিল হল একটি ভূকম্পীয় দুর্বলতা বিশ্লেষণ মানচিত্র। এটি ভবন সমীক্ষা এবং প্রকৌশলী বিশ্লেষণের উপর ভিত্তি করে একটি নির্দিষ্ট এলাকায় ভবনগুলোর আপেক্ষিক ভূমিকম্পের দুর্বল অংশগুলি চিহ্নিত করে (চিত্র ২)। ভূকম্পীয় ঝুঁকি মানচিত্র (seismic hazard maps) -এর সাথে ব্যবহার করা হলে, সম্ভাব্য ভূমিকম্পের ক্ষতির ভৌগলিক বন্টন পরিকল্পনা প্রক্রিয়াকে জানাতে পারে। উদাহরণস্বরূপ, শহরের কর্তৃপক্ষ রাস্তার প্রস্থ বাড়ানোর জন্য সবচেয়ে ঝুঁকিপূর্ণ এলাকায় গুচ্ছ ধরে সম্পত্তি কিনতে এই তথ্য ব্যবহার করতে পারে। এটি প্রতিদিনের যানজট হ্রাস করবে, জরুরী পরিষেবাগুলোতে অধিগমন বাড়াবে এবং ভূমিকম্প-পরবর্তী অগ্নিকাণ্ডের আশংকায় ব্যাপক অগ্নি-বিরতি (fire breaks) প্রদান করবে। অথবা কর্তৃপক্ষ একটি বড় ভূমিকম্পে হারিয়ে যাওয়ার আগে শহরের ঐতিহাসিক গুরুত্বপূর্ণ অংশগুলো রক্ষা করার জন্য ভবনগুলির মালিকদের তাদের ঝুঁকিপূর্ণ ভবনগুলির উন্নয়ন করার জন্য প্রয়োজনীয় সহায়তা করতে পারে।

চিত্র 2. একটি শহরের ভূকম্পীয় দুর্বলতা বিশ্লেষণ মানচিত্র যা ভবনের ধরন এবং অন্যান্য কারণগুলির সাথে সম্পর্কিত ঝুঁকি দেখায়

নগর পরিকল্পনাবিদদের আন্তঃবিভাগীয় দলের সদস্য হিসাবে কাজ করতে হবে, যে দলে পুরকৌশলীরাও অন্তর্ভুক্ত আছেন। এর কারণ হল অতীতে কিছু শহর এমন নিয়ম চালু করেছে, যা অনিচ্ছাকৃতভাব্ ভূমিকম্পের জন্য কম নিরাপদ এমন ভবন তৈরি করে। উদাহরণস্বরূপ, নিচতলায় পার্কিং বাড়ানোর প্রয়োজনীয়তার ফলে দূর্বল তলাযুক্ত ভবন হতে পারে (ধারা ১১), এবং ভবনগুলো ফুটপাথের উপরে রাস্তার দিকে বাড়িয়ে নেবার অনুমতি দিলে তা পরবর্তীতে বিচ্ছিন্ন দেয়ালের দিকে নিয়ে যেতে পারে (ধারা ১২)।

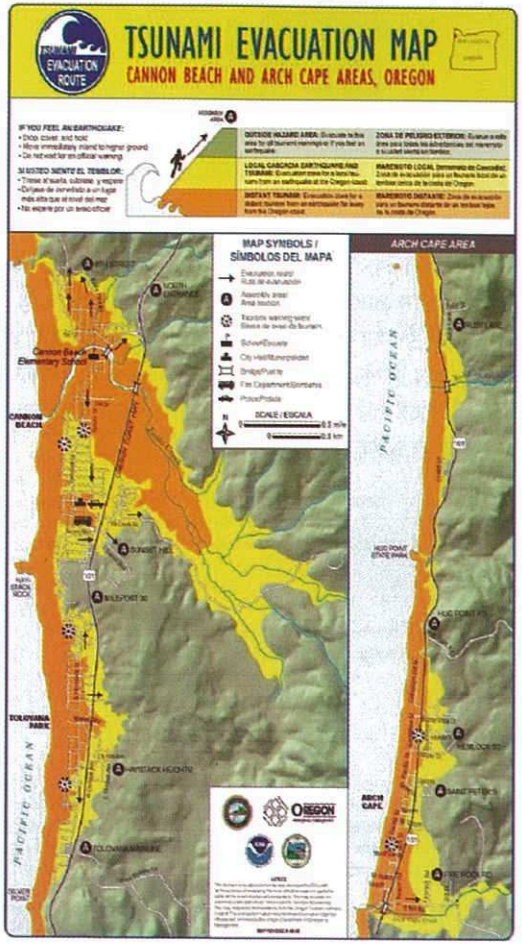
অনুচ্ছেদ ২৫: সুনামি এবং ভবন

২৬ ডিসেম্বর ২০০৪ এ সুমাত্রা, ইন্দোনেশিয়ার বিধ্বংসী ভূমিকম্প এবং ভারত মহাসাগরের সুনামি, সামুদ্রিক ভূমিকম্পের বিপদ সম্পর্কে জনসচেতনতা বৃদ্ধি করেছে। প্রশান্ত মহাসাগরীয় পরিধির চারপাশে উপকূলরেখার বড় অংশ এবং অন্যান্য অঞ্চলগুলোতে সুনামি প্লাবিত হওয়ার ঝুঁকিতে রয়েছে। । সুনামি থেকে ক্ষয়ক্ষতি ও প্রাণহানি হাজার হাজার গ্রামের ইতিহাসে ভালভাবে নথিভুক্ত করা হয়েছে। একটি সুনামি তার প্রবাহ রোধ করে যে কোনও পৃষ্ঠে বড় আনুভূমিক শক্তি প্রয়োগ করে। কাঠের ভবনগুলো সুনামি থেকে কোন সুরক্ষা পায়না, এবং পাথর, ইট এবং কংক্রিটের ভবনগুলো জলের গতির উপর নির্ভর করে দুই মিটার পর্যন্ত প্রবাহের গভীরতায় ধ্বংস হতে পারে। সুনামির ঝুঁকি নিরূপণে স্থপতি এবং পরিকল্পনাবিদদের সূচনা পয়েন্ট হল, আগ্রহের এলাকার একটি প্লাবন মানচিত্র (চিত্র ১) সংগ্রহ করা। এই তথ্য একটি ভূকম্পীয় ঝুঁকি মানচিত্র (seismic hazard maps) এ অন্তর্ভুক্ত করা যেতে পারে (অনুচ্ছেদ ২৪) । এই ধরনের তথ্যের নির্ভুলতাকে প্রভাবিত করে এমন অনিশ্চয়তা এবং অনুমানগুলোর প্রশংসার সাথে, ক্ষতি কমানোর ব্যবস্থা বিবেচনা করা যেতে পারে। বিকল্প হিসেবে সুনামির দেয়াল বা বাধা নির্মাণ, ঘন করে ছোট গাছপালা রোপণ এবং স্থানান্তরের মধ্যেই সীমাবদ্ধ বলে মনে হচ্ছে। জাপানিরা মাছ ধরার গ্রামগুলোকে বিশাল শক্তিশালী কংক্রিটের দেয়াল দিয়ে রক্ষা করেছে। যথেষ্ট প্রতিকূল পরিবেশগত প্রভাব সহ একটি খুব ব্যয়বহুল বিকল্প হল দেয়ালগুলো, যা প্রশস্ত এলাকার বৃক্ষরোপণের চেয়ে অনেক বেশি কার্যকর। যদিও বৃক্ষরোপণের মাধ্যমে সুনামির কিছু শক্তি শোষণ হয়, কিন্তু তারা জলবাহিত ধ্বংসাবশেষের পরিমাণও বাড়িয়ে দেয়। বেশ কয়েকটি দেশে সুনামি-আক্রান্ত বসতি স্থানান্তর করা হয়েছে।



চিত্র 1. ইন্দোনেশিয়ার বালির এই ক্ষেত্রে একটি সাধারণ সুনামি ঝুঁকি মানচিত্র (tsunami hazard map) । গাঢ় রং ঝুঁকির একটি বৃহত্তর সম্ভাবনা নির্দেশ করে।

সুনামির প্রারম্ভিক সতর্কতা ব্যবস্থা এবং শনাক্তকরণ এবং সরিয়ে নেওয়ার পথের ব্যবস্থাও প্রাণহানি কমাতে কার্যকর পদ্ধতি (চিত্র ২)। কিন্তু কিছু এলাকায়, সুনামির প্রবাহ অভ্যন্তরীণ নিচু উপকূলীয় ভূমিকে বহু কিলোমিটার জুড়ে প্লাবিত করতে পারে। সতর্কতা সময়কাল মাত্র কয়েক মিনিট বলেই পালিয়ে যাওয়ার কোন নিরাপদ আশ্রয় নেই। এই ধরনের অত্যন্ত 'ঝুঁকিপূর্ণ' বাসিন্দাদের জন্য, যাকে বলা হয় "সুনামিকালীন সুউচ্চ আশ্রয়কেন্দ্র (tsunami vertical evacuation centers)" -ই বেঁচে থাকার একমাত্র সুযোগ (চিত্র ৩)।



চিত্র ২. সুনামিকালীন এলাকা ত্যাগের সাধারণ মানচিত্র (ওরেগন স্টেট ইউনিভার্সিটি) ।

চিত্র ৩. ব্যক্তিগত সুনামিকালীন সুউচ্চ আশ্রয়কেন্দ্র । অধিকাংশ আশ্রয়কেন্দ্র নিকটবর্তী বসবাসরত বাসিন্দাদের জন্য।

সুনামিকালীন আশ্রয়কেন্দ্রের প্রাথমিক প্রয়োজনীয়তা হল, প্রত্যাশিত প্লাবন স্তরের উপরে স্থানান্তরিত ব্যক্তিদের থাকার ব্যবস্থা করা। একটি আশ্রয়কেন্দ্রের কাঠামোগত নকশার বৈশিষ্ট্যগুলোর মধ্যে, এটি যেন প্রথমেই ভূকম্পনের শক্তিকে প্রতিহত করে এমনই ভূমিকম্প নিরোধক নকশা করা উচিত। এর মানে এটি অবশ্যই স্বাভাবিকের চেয়ে ভালোমানের নকশা হওয়া উচিত। ভূমিকম্পের নিরাপত্তা নিশ্চিত করার জন্য, এটিকে অবশ্যই কোডের প্রতিটি শর্ত মেনে চলতে হবে। তারপর এটি যথেষ্ট পরিমাণ পানির চাপ এবং জলবাহিত ধ্বংসাবশেষ থেকে প্রযুক্ত বল সহ্য করতে পারে কিনা তা পরীক্ষা করা আবশ্যক।

এই নিবন্ধ সিরিজ সম্পর্কে:

এটি ভূমিকম্প, বিল্ডিংগুলিতে তাদের প্রভাব এবং ভূমিকম্পের বিরুদ্ধে বিল্ডিংগুলি নিরাপদ কিনা তা নিশ্চিত করার বিষয়ে নিবন্ধগুলির একটি সিরিজ। এগুলি নতুন বাড়ি এবং বড় বিল্ডিংয়ের সম্ভাব্য মালিকদের এবং বিল্ডিং শিল্পের সাথে জড়িত অন্যদের জন্য উদ্দিষ্ট। নিবন্ধগুলি অ্যান্ড্রু চার্লসন এবং ওয়ার্ল্ড হাউজিং এনসাইক্লোপিডিয়া (http://www.world-housing.net/) এর সহকর্মীরা লিখেছেন যা ভূকম্পন প্রকৌশল গবেষণা ইনস্টিটিউট দ্বারা স্পনসর করা হয়েছে (https://www.eeri.org/) এবং ইন্টারন্যাশনাল অ্যাসোসিয়েশন অফ আর্থকোয়েক ইঞ্জিনিয়ারিং (http://www.iaee.or.jp/)। যদি প্রয়োজন হয়, নিবন্ধগুলি অনুবাদ করা হয় এবং বিষয়বস্তু স্থানীয় বিশেষজ্ঞদের দ্বারা স্থানীয় পরিস্থিতি অনুসারে পরিবর্তন করা যেতে পারে।

তথ্যসূত্র:

Article 1

Daryono, M. R., Natawidjaja, D. H., Sapiie, B., and Cummins, P., 2019. Earthquake Geology of the Lembang Fault, West Java, Indonesia, Tectonophysics, Volume 751, 20 January, pp. 180-191.

Article 2

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? IITKBMTPC "Learning earthquake design and construction", NICEE, India. http://www.iitk.ac.in/nicee/EQTips/EQTip30.pdf (accessed 5 May 2020).

Article 3

Braced Frame. Glossary for GEM Taxonomy. Global Earthquake Model. https://taxonomy.openquake.org/terms/bracedframe-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/walllwal.

Article 4

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-rehouses-in-cm_version-1806.pdf (accessed December 2019).

EERI

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).

Article 5

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-rehouses-in-cm_version-1806.pdf (accessed December 2019).

Article 6

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/wpcontent/uploads/2011/05/RCFrame_Tutorial_English_Murty.pdf (accessed 8 June 2020).

Article 7

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.worldhousing.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-mendirikanbangunan-gedung (accessed 11 April 2020).

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

Article 8

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.worldhousing.net/tutorials/stone-tutorials (accessed 10 July 2020).

Charleson, A. W., 2008. Seismic design for architects – outwitting the quake. Elsevier: Oxford. Chapter 4 "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-housesin-cm_version-1806.pdf (accessed 5 May 2020).

EERI

ওয়ার্ল্ড হাউজিং এনসাইক্লোপিডিয়ার একটি প্রকাশনা।

Article 10

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/infilledframe.

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/wpcontent/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).

Article 11

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/softstorey-sos#.

Article 12

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

Article 13

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/shortcolumn-shc.

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

Article 14

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.

Article 15

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.

Article 17

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).

EERI

Article 21
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_E74_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. IITKBMTPC "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.

Article 22
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/wpcontent/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-GeomeshArid_Tutorial_English_Blondet.pdf.

Article 23
Advanced Technologies Introduction. World Housing Encyclopedia, EERI. https://www.world-housing.net/majorconstruction-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.

Article 24
Charleson, A. W., 2008. Seismic design for architects: outwitting the quake. Oxford, Elsevier, pp. 233-242.

Article 25
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.

EERI

ওয়ার্ল্ড হাউজিং এনসাইক্লোপিডিয়ার একটি প্রকাশনা।