

地震被害0プロジェクト発進

その先には、経済の活性化、サステナブルな社会

東洋大学工業技術研究所長 教授 香取慶一 / 京都大学生存圏研究所 准教授 中川貴文 / 東京工科大学 工学部 教授 天野直紀
SMRC株式会社 技術顧問 半澤和夫

はじめに

(1) 今や、全てのプロジェクトは地球環境抜きでは出来ない、脆弱なインフラで地震対策は出来ない

東洋大学工業技術研究所は1975年、産学協同を推進する目的で設立されましたが、我々はコンクリート構造の研究者として「住宅地下室」の耐久性を課題に省エネ建材として脚光を浴びていた「メッシュ型枠(透水型枠)」の研究を手掛けていました。これが、1000年耐久メッシュ殻開発の原点となり、同研究所、故松下吉男教授と環境と耐久性の元凶とされる「鉄筋」に変わる「メッシュ殻構造」として学会発表が出来たのは2010年。100棟を超えるメッシュ型枠地下室の実施設計と施工でメッシュ殻の特性と1000年耐久の可能性を見出すことが出来ました。

(2) ねこ土台型免震装置の研究

メッシュ殻研究の中、我々を住宅免震に駆り立てたのは、6437人の死者を出した1995年の阪神淡路大地震の地震被害でした。我々は木造耐震見直しの時期と考え、住宅免震の研究を始めました。

その当時、阪神淡路大地震で評価された「ビル型免震」の成功をもとに大手ハウスメーカー30社以上が、住宅免震の開発を手掛けました。

我々の発想は少し違って、1300年前の木造は現存しており、これらの木造建造物は、礎石と木材の絶縁で力を逃がす免震メカニズムを持ち、木組み、仕口の摩擦とバネで減衰する先人の知

恵に着目、1999年には今のねこ土台型免震装置の原型、ステンレス製ゲンシンパッキンの発売に至りました。

そして、10年前から、同研究所長の香取教授に研究は引き継がれて、現在に至っています。

(3) 16棟同時、耐震強度別地震倒壊シミュレーション画像

本誌掲載のWallstatを開発された京都大学生存圏研究所中川准教授の提供による画像ですが、各耐震強度別のぎりぎりの設計強度でも、耐震強度を上げることで建物損壊比率が少なくなるのは明らかです。

このWallstatシミュレーションで倒壊を左右する構造のアンバランスが見える化でチェックでき、しかも簡単に操作できることから、基準法の限界耐力計算同様、確認申請の構造確認に取り入れることで地震被害0に近づけることが出来ます。

構造バランスの重要性は、過度な壁耐力によるせん断応力の集中を避け、極端に弱い部材を排除することで格段に倒壊確率が下がるからです。

また、構造計算の多様化とともに、耐震一辺倒の基準から、新築、耐震リフォームの両方に使える「ねこ土台型免震」など低価格の免震構造を多様化することで、さらに地震被害0へ近づくと考えます。

(4) 避難、保証、学術研究に欠かせない「IoT地震被害センシングシステム」

中川准教授には、これらの力を逃がすねこ土台型免震装置の理論構築の為、地震入力損失の

実験に関する指導を受け、さらに、地震倒壊解析の将来に欠かせない「IoT地震被害センシングシステム」の構造解析も担当頂きました。このシステム構築には、東京工科大学工学部インフラセ

リングの専門家、天野教授に担当して頂き、論文発表にこぎ着けました。これらの実装モデルはほぼ完成しており、実験完了後は再度論文発表を予定しています。

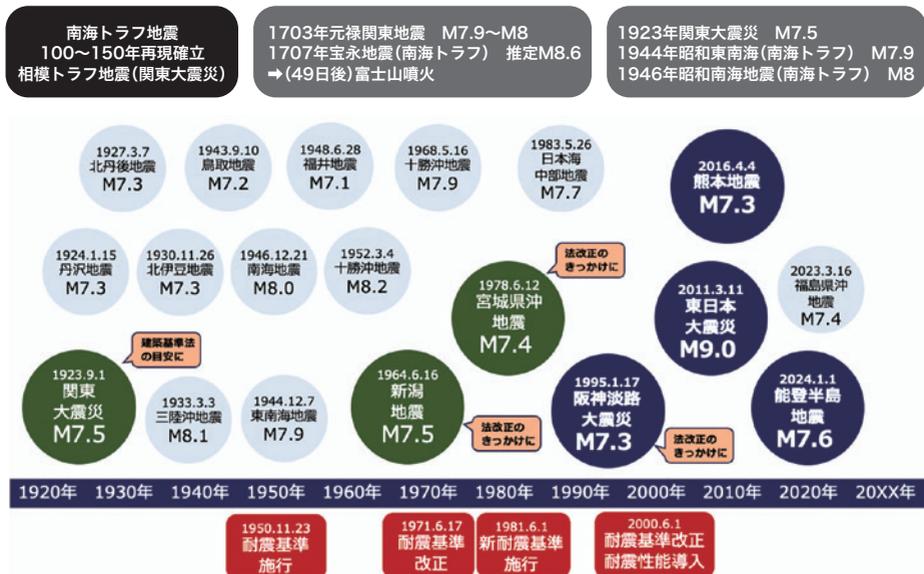


図1 繰り返し発生する地震と基準法の改正

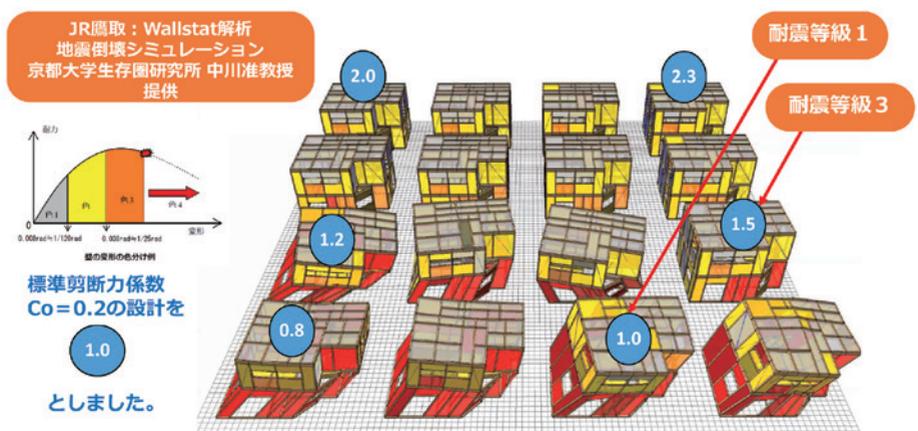


図2 耐震強度別地震倒壊シミュレーション

特集 I

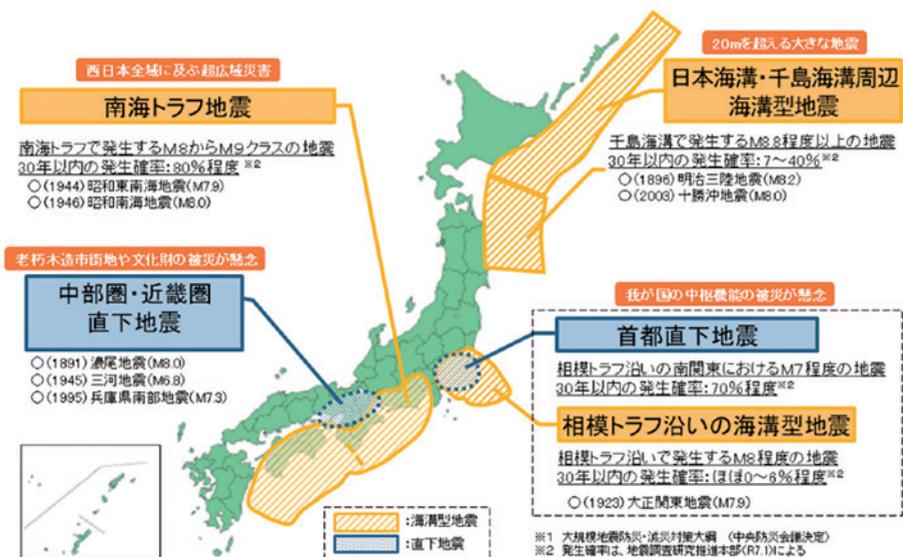
1. 耐震基準が変わっても地震被害は発生する

- ① 耐震基準($C_0=0.2 \div 0.2g$)の5~15倍の地震加速度が住宅密集地に発生の可能性があります。幸い大都会には来ていませんが、大きな順に、2008年、岩手・宮城内陸境地震(ギネス登録)4.2g、2024年能登半島志賀町2.9g、2011年、東北大地震栗原市2.7g、2016年熊本地震益城町1.6gです。
- ② 1万年前の住居跡は安定した洪積層ですが、現在は多くの人々が軟弱地盤に住み、硬い建物(固有周期0.1s~0.3s)が多くなり共

振破壊の可能性、特に大きな地震後にはキラーパルス(2段破壊に多く、1~2s周期の地震で被害が大きい)の可能性も高い(近年では、阪神淡路大地震、熊本地震、トルコ地震等)。

- ③ 基準法改正では断熱材、ソーラーパネル等の荷重増考慮の上、壁倍率が7に緩和され、金物強度の拡大し、袖壁、垂れ壁、小壁の壁倍率参入と緩和され、設計の自由度が増えた半面、木材へのせん断集中破壊の可能性が高くなり、益々構造バランスへの配慮が重要になりました。

発生確率・切迫性が高い、経済・社会への影響が大きいなどの観点から対象とする地震を選定^{*1}



2025.12.6 政府発表予定情報

南海トラフ地震被害想定	2025.3.31	政府発表	首都圏直下の新たな被害想定		
被害額は最大292兆円			死者数	1万8000人	
死者数 29万8000人	建物消失 235万棟	建物倒壊 127万9000棟	全壊、消失棟数	40万棟	

図3 南海トラフ地震被害想定

表1 耐震等級別シミュレーション

等級	概要	震度7の地震で倒壊する確率 ※出典：日本地震工学会論文集第7巻第6号
耐震等級3 	耐震等級1の1.5倍の耐震性を備えている。 消防署や警察署など災害復興の拠点となる建物に求められる水準。	3.5%
耐震等級2 	耐震等級1の1.25倍の耐震性を備えている。 病院や学校などの避難所や長期優良住宅に求められる水準。	7.9%
耐震等級1 	震度5程度までは軽微なひび程度にとどまり、 震度6強程度でも即座に倒壊・崩壊しない。 現行の建築基準法を満たす水準。	28%

被害発生確率を用いた耐震等級の説明の有効性（日本地質工学会論文第7巻第6号2007）2階建て木造建物の2質点系モデル（各等級の最低値）に地震動900波を入力して時刻歴応答解析をして最大層間変形角が1/15rad以上を倒壊と判定。

2. 木造建築の耐震の変遷をみると、「免震&耐久」の理想の構造が見えてくる

(1) 木造住宅の始まりは1万年前

1300年前に建立されたとする、五重塔は南海トラフ地震を10回ほど受けていて未だに現存します。

木造の耐震・耐久の変遷画像を並べると、地震被害0対策が見えてきます。

省エネを言われた1980年ごろまでは、大壁は少なかったので大抵の地震は仕口の摩擦とバネでエネルギーを吸収できたが、暖房器具の普及、省エネ、大壁耐震化の考え方が普及してきた中、阪神淡路大地震の被害は耐震基準を一変させました。N値計算、ホールダウン金物、金物で

の耐震補強など建物の様相も変わってきました。30社以上もがビル型免震住宅を開発、ねこ土台型免震装置もそのころ開発されました。

(2) 設計コンセプトの変遷

鎌倉末期、吉田兼好が徒然草に記した一節に「家の作りやうは、【夏】をむねとすべし。冬は、いかなる所にも住まる。暑き比(ころ)わろき住居は、堪へ難きことなり」

冬はたくさん着込んで耐えられたので、十二単の文化もうなずけます。

暖房器具の発達は省エネ住宅を生み、クーラーの発達も手伝い、いつの間にか、家づくりは「空調熱負荷の高い【冬】とすべし」に変わり、時

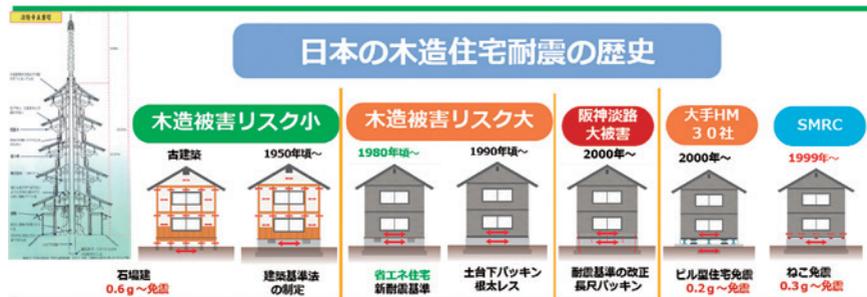


図4 日本の木造住宅耐震の歴史

代が進み、地球温暖化はさらに建築のありようを変えようとしています。

最近の「夏型結露にご用心」の記事が気になります。

昔の真壁は風と共に通気が始まり、健康を害することはなかったし、木材がカビることもありませんでした。

(カビ菌、シロアリ、腐朽菌等の繁殖三要素が、食料となる木材、気温、湿気と共通しているので、湿気対策を最も目視しやすく身近なカビ対策で括りました)

気密住宅が始まった1980年ごろからは、耐震ばかりではなく、密閉された建物は内部結露で耐久性がなくなり、快適性を追求する基礎断熱のはずが、一部誤った密閉工法で、カビ被害を拡大したニュースも聞きます。

耐震性と耐久性は一心同体、木材が腐朽しては耐震性もありえないのです。

ねこ土台型免震装置は、床下断熱、基礎断熱とも、湿気が最も集まりやすい土台の乾燥に重点を置いた、スリット断熱、4面乾燥仕様を可能にしています。

「免震」+「四面乾燥」/「免震」+「通気拡大」

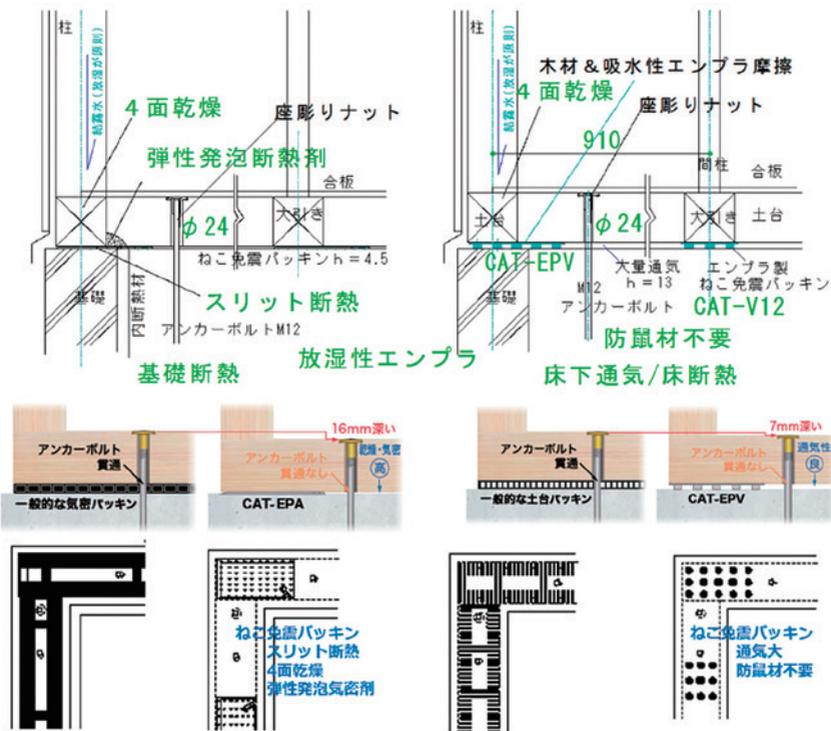


図5 在来プラスチック製ねこ土台とねこ土台型免震バックインの比較図

身体と木材の健康には、「気密」から「断熱・放湿」の新概念

① 冷房をガンガンかける時代、バスタブに冷気が当たっても結露の心配は有りません。浴室だけの部分基礎断熱は止めた方が無難です。

② 身体健康と木材の耐久性の為に、「気密」の概念は止め、「断熱・放湿」を設計の基本にしましょう。

夏型結露、浴室廻り結露に共通点があります。猛暑と室内の冷房で起こる壁内部結露、浴室と室内の冷房で起こる壁内部結露、いずれも速やかな放湿が必要です。耐震と耐久性は一心同体、ねこ土台型免震装置は、土台の4面乾燥とメンテナンス性にこだわっています。

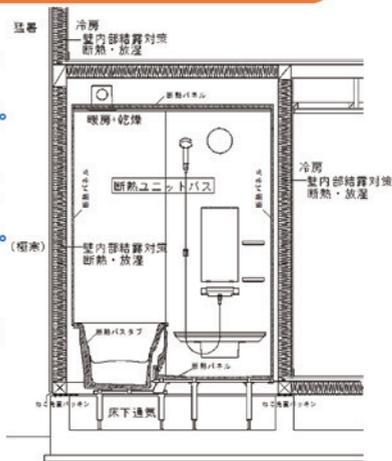


図6 断熱ユニットバス、「断熱・放湿」床下通気設計例

3. ねこ土台型免震装置の理論構築

(1) 実験室は原理の追求室

地震の種類は一律ではなく、建物も一律ではなく、数体の実物大試験体での理論構築は無理があります。我々が実施しているのは、躯体に入力される地震エネルギーが、ねこ土台(土台下のバッキン)型の免震装置(アイソレータ)での物理現象(主にエネルギー保存の法則)に基づくエネルギーの減衰メカニズムを探るため、シンプルな1質点系モデルの実験装置を使って実験しています。エネルギー損失を測定する静的振動実験と免震効果測定の動的振動実験が主ですが、準備、テストを経て、1日に可能な実験回数は、50~60回、我々が実施した実験回数は優に1000回は超えており、エンブラ系アイソレータの実験回数だけでも、300回は越えています。

因みに、実験動画の実験小屋は撮影用ですが、

やはり、1質点系の実験で、メカニズムは今までの実験原理と同じです。

(2) 熊本地震調査が理論構築の要

同様に大切なのは、現地調査です。熊本地震では、幸いにも、震源地の益城町にねこ土台型免震の採用工務店があり、本震1週間後に現地入りが出来、全面協力を頂けたことです。

室内躯体むき出しの工事中を含めて30棟建築されていました。工事中のおかげで、しかも最近では少なくなった「根太床組」だったので、床を上げて躯体の状況、アンカーボルト、アイソレータの状況を詳細に調査することが出来ました。

聞き取り調査では、一階の戸棚の中が飛び出さなかったという報告が多く、その他、注目すべきは、「ガツガツと音がした」これは、実験室でもあり、アンカーボルトと土台の衝突音です。「ゆっくり円を描くように揺れた」これは、アイソレータが効いた免震状態では水平構面が働いて地

震の動きとは別の規則的な動きが起こることが推定できますが、複雑な実物の住宅では起こりうるが、実験室では再現できません。

いずれも、躯体の破壊に影響無いことが確認出来ました。

免震グラフで分かるように「ねこ土台型免震装置」が作動するのは、加速度0.3g(震度5強度)を超えたときで、益城町では約12回スライド免震したことになり、特に、4月14日の前震が震度7(最大加速度1.6g周期5Hz)でしたが、免震し

たことで、許容応力度を超える部材が無く、その後発生した、比較的エネルギーは小さいが振動周期1~2sのキラーパルスに共振しなかったことが被害0の要因とされます。益城町では、建物の破壊震度とされる震度7、震度6強、震度7が続けて3度来たことで、木造建物の80%、なかでも2000年以降の新築建物の40%が損壊していましたが、ねこ土台型免震装置住宅の破壊が無かったことで免震効果が実証されました。

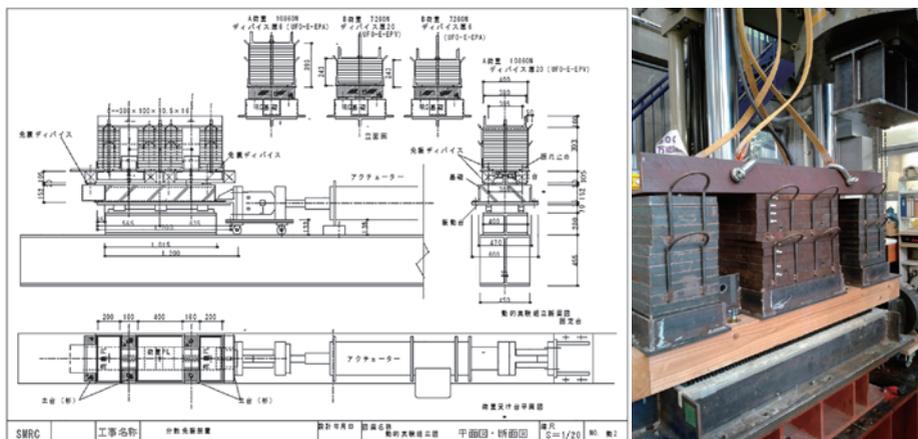


図7 RC基礎と木製土台の間に、摩擦アイソレータを挟んだ1質点系振動実験装置

免震クリアランス効果 (φ24) / 既存°ラスタックパッキン/ねこ免震パッキン/イン°ラUFO-E

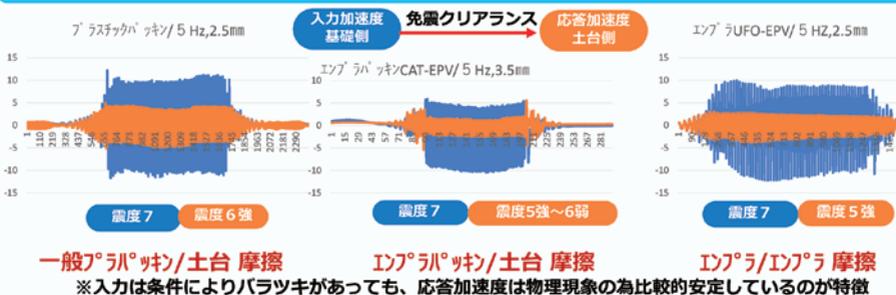


図8 時刻歴応答加速度グラフ / 「地震力>摩擦抵抗」の免震比較

(3) ねこ土台型免震装置のメカニズムはエネルギー保存の法則

イ、ねこ土台型免震装置の免震理論は、「地震力>摩擦抵抗」で慣性力が働くことで必ず起こります。つまり、滑ることで発生する「達磨落としの原理」です。

実験室では、ステンレス、亜鉛合金、テフロン、等、比較的摩擦抵抗の少ない滑りやすい素材を実験していますが、アンカーボルトの削れ径をφ24mmで「地震力>摩擦抵抗」の条件が整えば免震しました。

図8は、市販のプラスチック製土台下パッキン、エンブラ製ねこ免震パッキン、エンブラ製UFO-E(アイソレーター)の免震応答加速度を比較したものです。土台下パッキとねこ免震パッキンの違いは同じ土台との摩擦ですが、エンブラ強度が高いこととエンブラ摩擦面を滑りやすいように平滑に加工した点です。

ロ、測定可能な顕著な入力損失(地震力の減衰)

静的振動実験の応力ひずみ図(散布図)で確認できるのは以下の3つのエネルギー損失でした。

①アイソレーターの摩擦抵抗、②アンカーボルトのバネ応力、③木材の衝撃吸収バネ応力。

摩擦抵抗は「摩擦係数(滑り易さ)×荷重」で計算され、アンカーボルトのバネは、金属の曲げ応

力(5mm変位で約2kN)。木材の衝撃吸収バネは、バットの反発力、体育館床で体験しているように比較的大きい。

現存する五重塔は、荷重は1000tを超えるものが有り、大きな地震力(荷重×地震加速度)を受けるが、1万ピースともいわれる木組みの木材同士の摩擦と(衝撃吸収)バネで地震エネルギーは吸収され、さらに、震度6強(推定加速度0.6g)の地震で礎石に乗った柱が滑る免震効果が働いて南海トラフ地震を何度受けても倒壊していません。

ハ、その他の減衰

①音波に近い振動音は100Hz〜で変位が小さく建物に影響のないのでノイズ扱いとしています。

②木造建物破壊の主要原因は建物の固有周期と地震の周期が合致して増幅する(熊本地震では約3g)共振破壊が発生するからです。

比較的加速度は小さいとはいえ、中・長周期振動(1s~20s)の地震では衝撃吸収荷重を超えて上部躯体を振幅させる地震が来たとしても、上下のスライドの時間の差により、上部建物が共振しないランダム波になるので共振の可能性は限りなく少なくなります。熊本地震ではこの中長期振動が来たとされていますが、ねこ土台型免震装置の住宅に被害が無かったことは事実です。

土台下、地震力減衰グラフ/摩擦・バネ・衝撃吸収

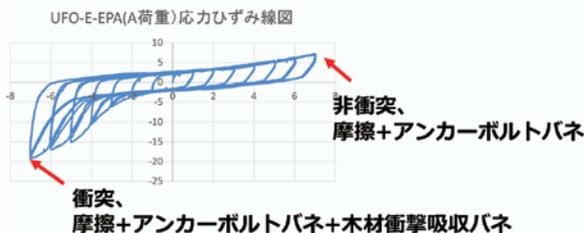


図9 土台下、地震力減衰グラフ

(4) 建築基準法施行令 第42条 2項【緊結】

東洋大学工業技術研究所では緊結後の応力緩和を裏付ける実験をしています。平均最大軸力(短期軸力)8.9kNは約1/3の2.8kNまで緩和されており、これはアンカーボルトと木材の強度差で応力緩和は発生し、残存軸力による摩擦抵抗は無視して良いことが分かります。

また、2015年、東京都立産業技術センター研

究報告で、ねこ土台型免震で推奨しているアンカーボルト削孔径は「M12に対してφ24、M16に対してφ28」がバラつき許容範囲でめり込み強度など構造に影響が無いと発表されています。また、ねこ土台型免震装置はアンカーボルト頂部の緩み防止機能でピン接合が維持できており、構造的欠陥はありません。

東洋大学工業技術研究所のアンカーボルト応力緩和実験

平均最大軸力(短期軸力)8.9kNは約1/3の2.8kNまで緩和されており、残存軸力による摩擦抵抗は無視して良いことが分かる。

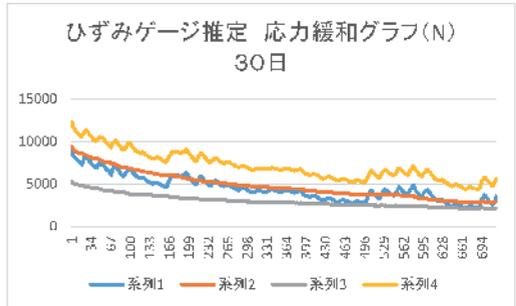


図 10 ひずみゲージ推定 応力緩和グラフ (N)

東京都立産業技術研究センター研究報告, 第 10 号, 2015 年

—削孔径φ24はバラつき範囲—

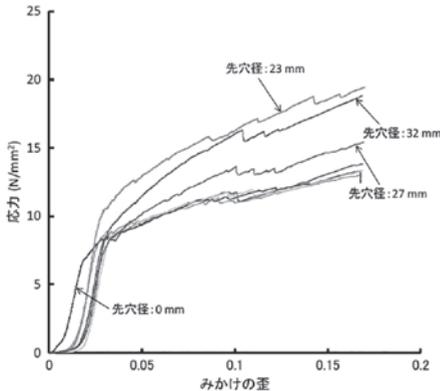


図 11 応力—みかけの歪曲線

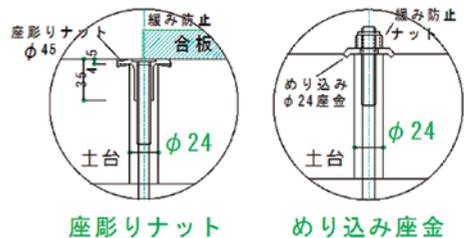


図 12 免震と減衰を発生させる、アンカーボルトの緊結法 (左: 根太レス床組み、右: 根太床組)

4. ねこ土台型免震の免震メカニズムが分かったところで、現存する新旧建物の地震エネルギーの減衰メカニズムの比較を試みます。

(1) 政府想定の中M9以上で想定される最大加速度の推定

関東大震災以前の地震は現在の様な加速度記録が無いので、推定マグニチュードであり、前回の南海トラフ地震は、終戦間近な1944年と1946年の2段階破壊で、M7.9(推定)とM8(推定)であり、その前の同地震は、1707年の宝永地震でM8.6と非常に大きく、49日後に富士山の噴火、その4年前の1703年に相模トラフ地震(関東大震災)が発生していました。

政府予想のM9.1(防災訓練に使用された)は、1707年の宝永地震より、2011年の東北大地震よりも大きい。

我々は、2000年以降、被害が大きかった東北大地震、熊本地震、能登半島地震の加速度と振動周期を参考に、2008年のギネス登録加速度、4.2gの最大加速度の記録はあるが、東北大地震2.7g、能登半島地震の2.9gに近い3gを想定地震加速度として検証しました。

(2) 地震エネルギーと減衰メカニズムの比較

地震エネルギーもエネルギー保存の法則に則り、減衰しながら0になります。破壊エネルギーで減衰するのは最悪で、先人は力を上手く逃がしながらエネルギーを消滅させています。

イ、古建築

前段説明の五重塔の免震メカニズム同様、建築基準法が施行される前に多かった、石場建の民家は、仕口の摩擦、バネの他、礎石と柱の免震効果で倒壊は少なく、基礎が普及した1950年台以降でも、断熱工法、大壁耐震壁の普及までは、仕口、真

壁など、エネルギーを吸収できる構造で地震被害は少なかった。

ロ、ビル型免震住宅

阪神淡路大地震以降に大手ハウスメーカー30社以上に採用され、現在約5000棟の実績がある。住宅の荷重は小さいので比較的柔軟な積層ゴム、ローラーなどの免震装置で、約0.2g(震度4程度)で免震し、躯体に伝わるエネルギーは小さく、ほとんどのエネルギーは地盤の減衰振動で0になるが、熊本地震のように続けて巨大地震が来た場合、フェールセーフ停止が掛かった場合の対策が必要になる。

ハ、ねこ土台免震住宅

阪神淡路大地震以降、東洋大学工業技術研究所の共同研究で開発され、熊本地震の被害0が評価され、現在約4万棟の実績がある。古建築の先人の知恵を借り免震クリアランスを小さくしたことでコストダウンに成功している。

ニ、制振ダンパー

価格的にビル型免震住宅の普及が行き詰まったタイミングで大手ハウスメーカーから販売され普及しているが、設置個所数に限界があり、地震力は剛比(硬さ、壁倍率)に比例して負担するので木造部の負担軽減にも限界があり、この比較では耐震壁構造に含めている。

ホ、耐震壁構造

アンカーボルトの固定度が高いが、100%地震力が躯体に伝わることはないにしても、推定の地震加速度3gでは、地震力(荷重×地震加速度)が150tとなり、許容応力の15倍では、震源地近くであったり、軟弱地盤であったり、構造バランスの悪い建物の倒壊は免れない。

能登半島地震の震源地同等の3gの地震加速度が来たら

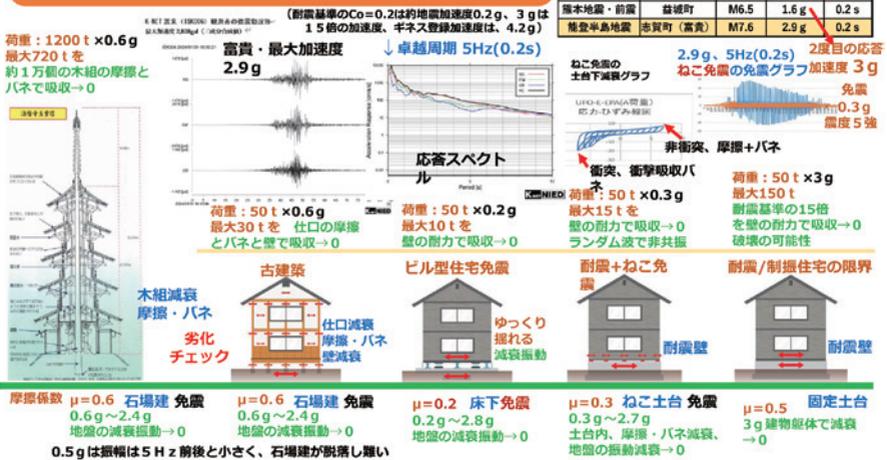


図 13 M9 越え、地震加速度 3g 越えの巨大地震が住宅密集地を襲ったら

5. 「地震被害0プロジェクト」の全員参加が、経済が活性化し、サステナブルな社会に変わるとき。

スクラップ&ビルドからサステナブルな社会の変換時期に「地震被害0プロジェクト」は位置しています。

我々が目指しているのは、自然災害を克服する技術とともに環境破壊を止め、豊かな生活を取り戻す社会です。

次に提案する①～⑥のプロジェクトは、全てが今まで積み上げてきた技術であり、多くの人の参加と協力があれば達成可能な技術であり、安全かつ豊かな社会へ好転する好機と確信しています。

地震被害0の取り組み

①倒壊メカニズムの解明のためにはIoT地震被害センシングシステム、wallstat解析などの簡単に耐震性・構造バランスを確認できるアイテムの普及が必要です。

②耐震強度を大幅に超える地震対策として、耐震一辺倒から、ねこ土台型免震装置などのローコスト免震、先人の知恵等の力を逃がす構造の普及が必要です。

③木造耐震リフォームには、引き抜きが小さくでき、ホールダウンが不要で簡単施工のねこ土台型免震装置によるリフォームの普及が必要です。

④耐震と一心同体の木造の耐久性は、雨仕舞、結露対策、床下・土台乾燥とメンテナンス性を考慮した設計が必要で、耐久性重視のねこ土台型免震装置は資産価値を上げ環境対策に寄与します。

