

建築科課題研究3年間の成果

H23災害に強い木造建築, H24木造在来工法に於ける「命を守る設計」,
H25木造建築における「ルーフ制振システム」の開発と研究

北海道札幌工業高等学校 建築科

渋川 恵乃・藤田 将馬・今村 源太・西澤 天汰(代表)・西本 光・丸山 翔吾
指導教諭 高野 修

1. 課題設定の主旨

東日本大震災以後、木造建築の免震・制振に対する考えは一新し、生命を守る建物はどうかあるべきかを考えるようになってきた。地震に耐える「耐震設計」と揺れを少なくする「免震・制振設計」プラス倒壊しない「命を守る設計」が急務となってきた。

そこで3年間にわたり建築科3年の課題研究で取り組むことになった。1年目は災害時に建物が原形を留めることをテーマとし、2年目に基礎からの離脱を研究、最終の平成25年度はルーフ制振システムを研究し、一連の研究が完結したので以下に報告する。

2. 取組状況

(1) 1年目(平成23年度)の取組

① テーマ:災害時に建物が原形を留める

津波によって粉々になった家とそのままの形を維持している家とがあり、住人が助かる可能性があるのは、形を維持している家であることは言うまでもない。

津波の衝撃で粉々にならない工夫をみんなで話し合うことから始めた。高断熱・高気密の北海道型住宅の特長を生かしたアイデアはないかと考えた。そこで気密シート(室内側)と通気シート(外壁外側)を利用して、外部からの衝撃に耐える方法を考えた。

② 工夫箇所,苦心点等

ア 津波や土石流にあった場合でも、原形を留める(住人の命が守れる)ため、現在使用している材料(気密シート:室内側,透湿シート:

外壁側)の性能を向上させる。

イ 衝撃吸収性能,地震力の免震性能,施工の簡便さ(新築,改築など)を向上させる工夫。

ウ 津波や地滑りなどの衝撃を吸収し,最悪移動しても原形を留め,生存空間を確保できる構造を目指す。

エ 衝撃吸収シート:気密性,透湿性があり,さらに耐衝撃性(破れない)を有する。

オ 柱,梁,間柱,筋交いへの固定が容易なこと。

カ 建物を内・外2重にラッピングし,守る。

③ 実験結果

ア 標準試験体の加速度時刻歴を図1に示す。図のように,時間の経過に伴い試験体の応答が増加する関係があり,20秒経過後に振動台と試験体応答との差が最も大きくなる。

イ シート試験体の加速度時刻歴を図2に示す。図のように,前述の標準試験体と同様の傾向を示すものの,シート試験体の応答は標準試験体に比べて小さくなっている。

ウ シートを補強した試験体の加速度時刻歴を図3に示す。図のように,シート試験体と同様の傾向を示している。

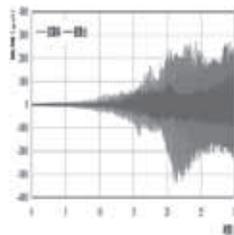


図1 標準試験体の加速度時刻歴

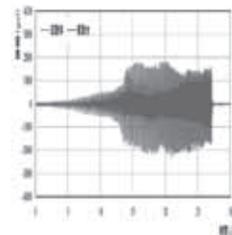


図2 シート試験体の加速度時刻歴

エ 振動台および試験体の加速度時刻歴をフーリエ変換し、試験体の卓越振動数と伝達関数を算定した結果を図4に示す。図のように、試験体の卓越振動数は、いずれにおいても約15Hzで、大きな変化は見られない。

オ 15Hz近辺の応答値をみると、シート試験体およびシートを補強した試験体が標準試験体に比べて小さい状況にある。伝達関数を見ると、標準試験体における応答倍率の最大値が約5.5、シート試験体およびシートを補強した試験体における応答倍率の最大値が約4.0倍となっており、シート試験体の揺れが緩和されていることがわかる。

カ シート試験体では、揺れが継続している際に、骨組みとシートとの間やシートの接合部で摩擦が生じ、減衰効果が高まったことによって揺れが緩和されたと考えられるが、シートを養生テープで補強した効果については、本実験において有意な差は確認することができなかったが、大いなる可能性を示唆していると思われる。

④ 研究成果

【振動実験から】

ア 今回の実験結果から、地震時に制振性能を格段に向上する効果がある。

イ 高価な制振金物を使用しないで、新築・リフォーム問わず施工が可能である。

【落下実験から】

ウ 対衝撃に対する強度は、数値以上にあり、

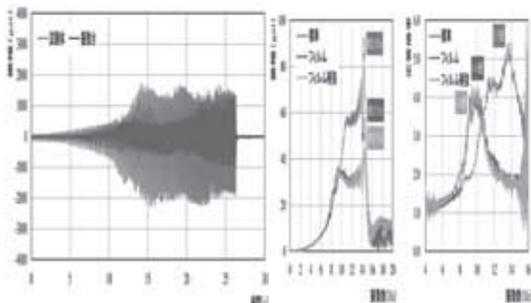


図3 シートを補強した試験体の加速度時刻歴

スケール換算25mからの落下を3度繰り返しても原形を留めた。

エ 実験結果からもシートによる効果は絶大で「倒壊防止」に極めて有効である。

(2) 2年目（平成24年度）の取組

① テーマ：命を守る設計

・地震時に揺れを吸収し、尚かつ揺れが止まったとき元の位置に戻ることができるシステム（市販品は高価）。

・津波や土砂崩れなど、大きな力が建物にかかった場合、スムーズに基礎から土台が離脱でき、骨組みが倒壊しない。

以上「命を守る設計」の研究・開発を行う。

② 工夫箇所、苦心点等

ア 在来工法における津波などの大きな力が作用しても原形を留める条件を求める。

a 面剛性を上げ衝撃に耐える→シートの柔軟性に着目し、免震・制振効果を期待・検討

b 基礎との関係→耐震設計：強固に固定、原形を留める→地震時：固定、大きな力で移動

イ 「免震・制振」構造を追求する。

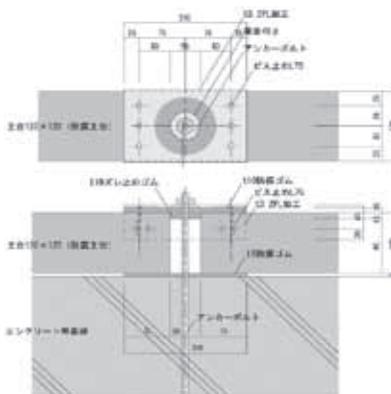
a 高気密高断熱仕様の防湿・調湿シート活用

b 土台とアンカーボルトの関係

c 土台の欠損量と免震

d 制振効果の関係

e 欠損による土台の補強方法の検討

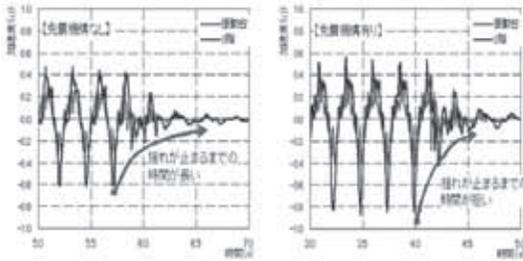


ウ アイデアをCADで図面化・試作・実験を繰り返して、次項図案を最終案とした。(p.30右下)

③ 実験結果

ア 振動実験、アンカーボルトの引き抜き実験において、良好な結果を得ることが出来た。下図のように応答速度が1/2になり効果は大きい。

イ 950Nの载荷試験において下図の免震効果が認められた。



ウ アンカーボルトの引き抜き試験で(約1t/1ヶ所に耐える)耐震構造と免震構造+「命を守る」設計が可能な今研究では、建物と基礎をつなぐアンカーボルトまわりに注目し、地震時には「免震・制振」装置として作用し、大きな外力が働くと、あえて基礎と離れることが可能となる「命を守る設計」技術の開発と研究に着手することにした。

④ 研究成果

「命を守る設計」「倒壊防止設計」

ア 基礎からの離脱：アンカーボルトがフリーなため、外力(1t以上/1ヶ所)が掛かると離脱可能な「免震・制振」設計

イ フィルムによる効果は、最大値で4倍の応答倍率を示している。

ウ 基礎と土台(アンカーボルト)については、試作を繰り返した結果としては

a (案1) 土台空隙に防振ゴムを挿入した試験体では、2倍程度の免震効果はあった。

b (案2) 土台空隙を残し土台上部に防振ゴムをセットした試験体では案1の2倍となった。「命を守る」設計→「基礎からの離脱」と「耐震構造」との共有+「免震・制振」が可能となる。

(3) 3年目(平成25年度)の取組

① テーマ：木造建築における「ルーフ制振システム」の開発と研究

地震に耐える「耐震設計」と揺れを少なくする「免震・制振設計」があり、耐震設計は現在ある程度確立している。そこで私たちは「制振設計」をメインテーマに選定した。木造建築に於いて初めての試みとなる、屋根全体を重りと考え、屋根(重り)の動きで揺れを抑制するシンプルで安価な「パッシブ型」の制振システムである。

本システムは構造体と屋根を切り離し、地震で揺れる構造体を、切り離したことで後から揺れる、屋根の重量で構造体本体の揺れを抑制しようとするシステムである。

② 完成作品

ア 一般住宅においては筋かいなどに制振システムを組み込んだもの(図5)が存在しているが、その効果は疑問視されており、取り付け位置によっては構造的なバランスを崩す恐れがあるとの報告もある。また、建物下(基礎との間)に免震システムを組み込む(図6)事も考えられているが、建物の全重量を支持しなければならず、構造的にも費用がかさみ普及するまでには至っていないのが現状である。

イ そこで私たちは、高層建築で採用(図7)

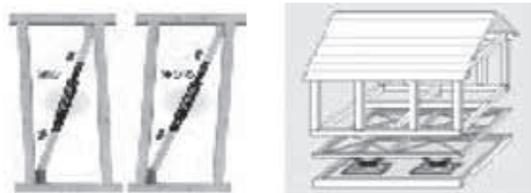


図5

図6

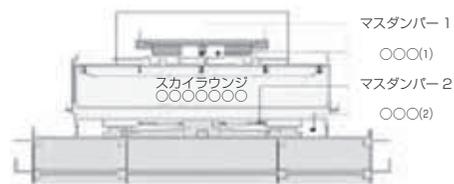


図7

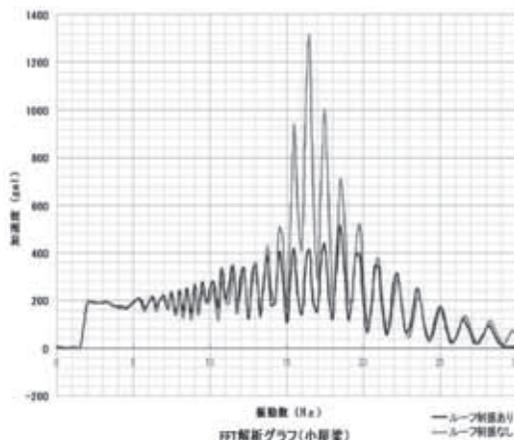
されている、マスダンパー制振システムに注目した。まだ木造建築での主体的な応用はされていない現状にあり、初めての研究となった。建物の揺れを屋上の重りが遅れて動くことで、揺れを打ち消す働きをするもので、この重りの役目を住宅の屋根全体で行う、今までにないシステム（ルーフ制振システム）である。

③ 技術・アイデア（工夫箇所、苦心点等）
ア 構造体から屋根を切り離す：風による浮き上がり対策、地震時の上下動への追従、冬期間の雪対策など高層の建物と違い屋根を大きく揺らすメリットは無いと考え（逆に不利になる）、小さく小刻みな動きと考え、構造的に単純な浮き上がり防止装置を考案し実験した。また、雪対策としては、屋根荷重が変化すると固有振動数が変化しバランスが崩れることが考えられ、勾配屋根とし、雪荷重は考えないものとし、実験を繰り返す事で実証できた。

イ 地震動（上下左右）への追従上下動については、浮き上がり防止装置に柔軟性を持たせ、出来るだけ構造体から離れない様に工夫し、水平方向を重視（建物を揺らす）して、耐震設計された2階建て（低層）を考え模型では建物の4隅にスプリングを使用した可動装置を考案した。

ウ スプリング強度は建物の固有振動数（規模、構造、階高、形状、仕上げなど）に応じるが、風などの力では簡単に動かない強度が必要（いつも所定の位置から動かない）と考え、地震時に動いても元の位置に戻る事が求められている。これも実験を繰り返す事で実証できた。

エ 高層建築と木造2階建てとでは、揺れ方に大きな違いがあり、今までの事例は参考になら



ないことが多く、実験による検証が求められた。実験を繰り返すと接合部がゆるんでくるなど、アクシデントも有り、そのたびに新たに模型を作って実験を繰り返した。

オ スプリングを取り替えては実験、屋根荷重を変えての実験、それぞれの組み合わせを考えて、何通りもの実験を繰り返し、今回の結果（1/3の揺れとなった）が得られた。

④ 研究成果

ア 上図のフーリエ変換による周波数解析の結果を見ると15Hz～20Hz帯で「ルーフ制振」のない試験体は共振により1,200galの加速度を示しているが、「ルーフ制振」を稼働すると400galと1/3の加速度を示し、「ルーフ制振」装置の有効性が表れている。

イ 今後の課題としては、それぞれの建物の固有振動数を求め「ルーフ制振」システムに合った躯体・屋根・荷重・スプリングのバランスを計算できるソフトの開発が必要となり、将来的には実用性も考慮出来るシステムとなると確信している。

工業教育資料 通巻第 357 号

(9月号) 定価 216 円 (本体 200 円)

2014 年 9 月 5 日 印刷

2014 年 9 月 10 日 発行

印刷所 株式会社インフォレスト

© 編集発行 実教出版株式会社

代表者 戸塚雄武

〒102 東京都千代田区五番町5番地

- 8377 電話 03-3238-7777

<http://www.jikkyo.co.jp/>