

ポータブル起振器を用いた木造住宅の耐震診断法の検討

中部電力株式会社(元 東京大学大学院)	正会員	○佐藤 芳仁
中央大学大学院	学生会員	江島 潤一郎
東京大学生産技術研究所	正会員	大原 美保
東京大学生産技術研究所	正会員	目黒 公郎

1. はじめに

地震による人的被害を軽減するには、既存不適格建物の耐震性を向上させることが不可欠であり、そのためには簡単で高精度な耐震診断法が求められている。しかし日本建築防災協会による精密耐震診断手法¹⁾では、次のような問題が指摘されている。図面を基に診断しているが、実際は図面通りではない建物が多く、これらの建物に関しては耐震診断の精度が低い。実際の動的な挙動に基づいた耐震性能を評価していないため、実際の使用条件(例えば2階に設置した重い家具や浴槽などの偏心荷重の影響)が直接考慮されていない。これらの問題点から、耐震補修前後での耐震性向上の効果を高精度に比較・検証することは難しい。また現行の精密耐震診断では、屋根裏から床下までの家屋の隅々までを調査する必要がある、簡便で高精度な診断法とは言いがたい。

そこで本研究では、これらの現行の耐震診断法の問題を解決するために、ポータブル起振器を用いて建物を高精度に制御して振動させ、そこから得られた建物応答とそれを精度高く再現する解析法により、簡便かつ高精度で耐震性能を評価する方法の提案を試みる。

2. ポータブル起振器を用いた模型実験とその結果

木造住宅の動的特性を把握するために、1/5 スケールミニチュア木造住宅の模型実験を行った。ミニチュア木造のサイズは床面 182.0×127.4[cm]、高さ 150.5cm、総重量 70.01kg である(図1)。専用に開発したポータブル起振器を2階床中心に設置し、振動数を4~15Hzと変化させながら1軸方向に加振力を加え、さらに起振器の台数を1,2,3台と増やし加振力を変化させた。また、1.5×1.5[m]の3軸振動台による振動実験も行った。実験では筋交い量を変化させ、基本形(図2、耐震性指



図1 1/5 スケールミニチュア木造住宅

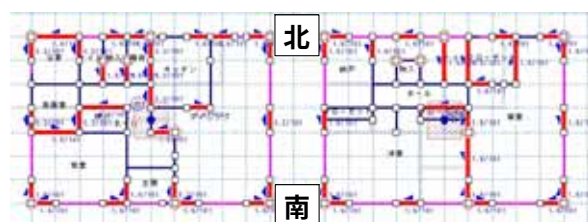
標 $I_w=0.76$), 補強 α ($I_w=0.84$), 補強 β ($I_w=0.96$) の3種類の補強パターンで検討した。耐震性能の評価に際しては建物剛性 K とエネルギー減衰 h に着目した。起振器での加振時とはミニチュア木造は1次モードで振動していることを確認した後、これを一質点モデル(有効質量 m)として分析した。建物の応答波形データより、固有振動数 F 、最大応答変位 A を求めて式(1)から K を算出した。

$$T = 1/F = 2\pi\sqrt{m/K} \quad (1)$$

次に ω を固有円振動数、 p を振幅が $1/\sqrt{A}$ 時の円振動数として、式(2)から h を算出した。

$$4h^2 \approx \{(p_2 - p_1)/\omega\}^2, \quad p_i = 2\pi f_i \quad (2)$$

ポータブル起振器で建物をX方向に並振させた際の実験結果を図3と図4に示す。建物剛性は筋交い量が増えるにつれて増加し、加振力が増すにつれて減少した(図3)。エネルギー減衰は筋交い量が増えるにつれて増加し、加振力が増すにつれて増加した(図4)。振動台で加振した場合の動的特性は、起振器での加振時とはほぼ同じ値を示した。



1F 2F

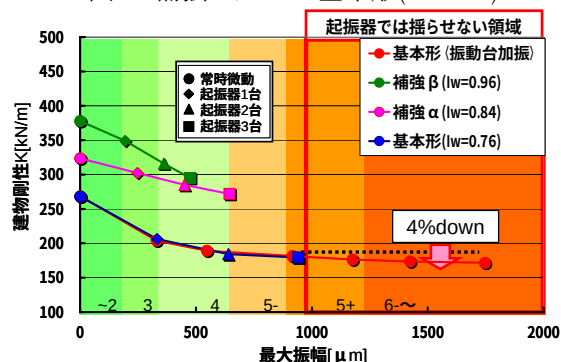
図2 補強パターン: 基本形($I_w=0.76$)

図3 建物剛性と最大振幅の関係

キーワード：木造住宅、起振器、模型実験、耐震性能評価、耐震診断

連絡先：〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1 東京大学生産技術研究所 B 棟 目黒研究室 Tel: 03-5452-6437

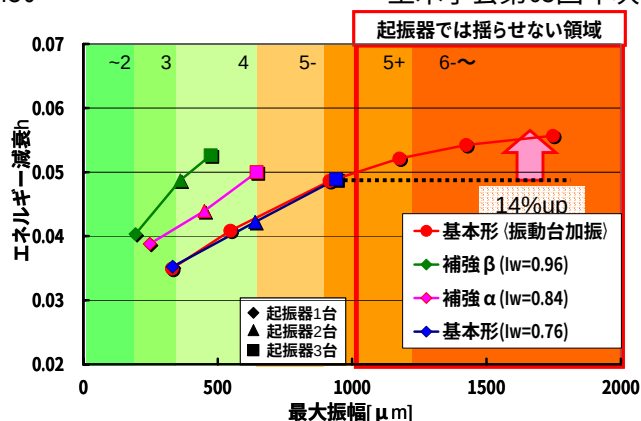


図4 エネルギー減衰と最大振幅の関係

3. 三次元拡張別要素法 (3D-EDEM) を用いた

ミニチュア木造住宅の動的シミュレーション

次に、3次元拡張別要素法を用いてミニチュア木造住宅の動的挙動のシミュレーションを行った。シミュレーションに必要な接合部耐力壁の間隙ばねのパラメータ²⁾を得るため、ミニチュア単位軸組フレームの引張試験を行った。得られたパラメータを用いてX方向並振実験の解析を行った結果が表1である。固有振動数、最大応答振幅共に誤差は非常に小さく、解析精度がかなり高いと言える。

次に起振器3台相当のX方向スイープ波を地面に与え、偏心荷重分布の影響を検証した。2階床南側にミニチュア木造の総重量の11%の錘を設置し偏心荷重を与えた場合の応答は、その錘を2階床重心に設置し、南側壁量を15%減少させた場合と同じ応答を示すことがわかった。これより偏心荷重の応答の変化分は壁量の減少として評価できると考えられる。

4. 新しい耐震性能評価指標 Iw' 値の検討と

耐震診断・補強フローの提案

建物剛性 K とエネルギー減衰 h を考慮した新しい耐震性能評価指標 Iw' の検討を行う。実験結果より、 K と h を独立変数、 Iw を従属変数として

表1 実験結果と3D-EDEM 解析結果の比較

		起振器1台	起振器2台	起振器3台
	解析値a[μm]	278	514	790
最大 応答 振幅	実験値b[μm]	332	639	941
	誤差 ((b-a)/a)	16%	20%	16%
固有 振動数	解析値c[Hz]	9.57	9.20	9.00
	実験値d[Hz]	9.65	9.12	9.00
	誤差 ((d-c)/c)	1%	1%	0%

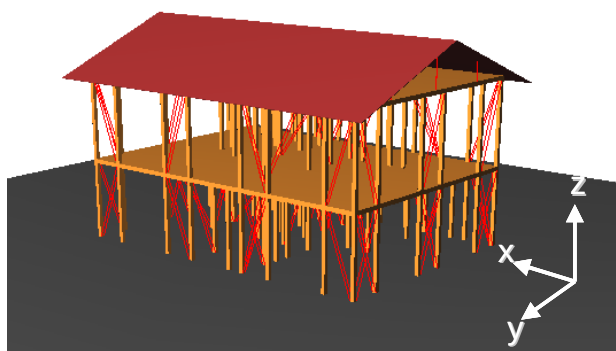


図6 3D-EDEM シミュレーションのモデル図

重回帰分析を行い、さらに基本起振器1台加振時 $Iw'=Iw$ となるように Iw' を定式化すると式(3)のようになった。

$$Iw' = 1.0265(0.0012K + 4.4141h + 0.335) \quad (3)$$

また、 K のみを独立変数、 Iw を従属変数として回帰分析を行い、同じように基本起振器1台加振時 $Iw'=Iw$ となるように Iw' を定式化すると式(4)になった。

$$Iw' = 0.9764(0.0013K + 0.5192) \quad (4)$$

基本起振器1台加振を基準とし、各補強パターン、仕口ダンパー設置、偏心荷重時の Iw' 値の推移を検証する。図7より K のみを考慮した従来の耐震性能評価指標に相当する Iw 値は大きく変動するが、 K と h を考慮した Iw' 値の変動が小さく、耐震性能評価の信頼性は高いと言える。また現行の Iw 値では評価できない仕口ダンパーや偏心荷重についても、図8のように新耐震性能評価指標 Iw' 値では評価が可能である。

5. まとめ

本研究ではポータブル起振器を用いた木造住宅の耐震診断法の開発を目指して、ミニチュア木造住宅模型による実験を行った。まず模型実験により建物の動的特性の把握方法を検証した。次に三次元拡張別要素法(3D-EDEM)を用いた動的解析の精度を検証し、ミニチュア木造住宅の動的シミュレーションを作成した。最後に新しい耐震性能評価指標 Iw' 値の検討を行った。

参考文献

- 財団法人日本建築防災協会: 木造住宅の耐震診断と補強方法—木造住宅の耐震精密診断と補強方法(第3版), 2004.
- 柳田充康, 目黒公郎: 地震時の木造軸組住宅の動的挙動シミュレーションの構築, 第60回土木学会年次学術講演会, 1-196, 土木学会, 2005.9.

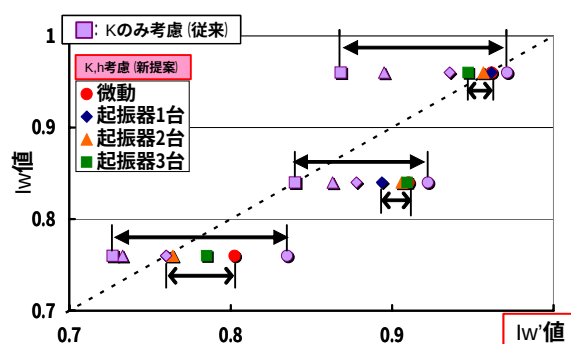
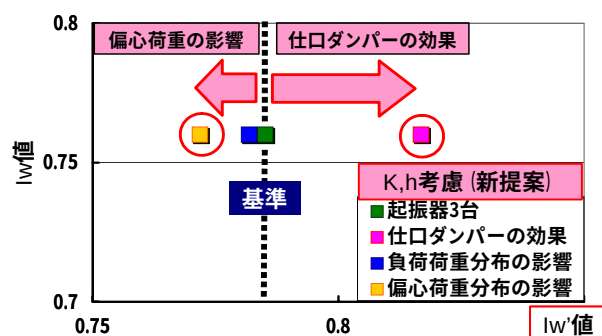
図7 Iw 値と Iw' 値との関係

図8 仕口ダンパーと偏心荷重分布の影響