

# 1) - 3 繰り返し大地震による木造住宅の劣化挙動の解明と評価法の提案【安全・安心】

## Study on Deterioration Behavior of Wooden Houses Subjected to Repeated Large Earthquakes and Proposal of the Evaluation Method

(研究期間 平成 29～令和元年度)

材料研究グループ  
Dept. of Building Materials and  
Components

山崎 義弘  
YAMAZAKI Yoshihiro

Force and deformation capacity of timber shear walls is affected by repeated cyclic loading due to the fatigue behavior. This research proposes evaluation method of strength and equivalent damping ratio subjected to various deformation history. Static loading tests and shaking table tests were conducted, and the behavior could be predicted by proposed formulae. Finally, maximum response prediction method considering energy spectrum as well as response spectrum was also proposed.

### 【研究開発の目的及び経過】

2016年熊本地震を代表に、近年は建築物が複数回の激震に襲われ、大きな被害が生じたことが知られているが、木造住宅を対象とした既往実験では地震中に耐力、エネルギー吸収性能が劣化していくことが明らかとなっており、これが繰り返しの地震による被害を助長させている可能性がある。

本研究では、上述の劣化特性を既存の設計法の枠組みで考慮するための評価法を検討する。主要な耐力壁を対象に、静的載荷実験では載荷履歴を、振動台実験では地震動の継続時間を変動要因とし、劣化特性を調べた。また、繰り返し地震動の影響をエネルギー入力の観点で考慮した最大応答予測法を検討し、最大変位を安全側に予測できることを示した。

### 【研究開発の内容】

本研究では、上記の研究目的に対応して、以下の二つの研究項目について検討を行う。

- 1) 任意の繰り返し変形を受けた際の耐力および等価減衰定数の評価法の検討

筋かい耐力壁（二つ割り、表面に石膏ボードを施工）と合板耐力壁（ $t=9$ ,  $N50@150\text{mm}$ ）を対象に、静的載荷実験と振動台実験を行った（図1, 図2）。静的載荷実験では載荷履歴をパラメータとし、せん断力-変形角関係や等価減衰定数への影響を調べた。振動台実験では応答スペクトルは概ね等しいが、継続時間および入力エネルギーが異なる2種類の位相（神戸位相と八戸位相）をもつ模擬地震動を用い、最大応答変位の相違を調べた。

- 2) 地震動の応答スペクトルとエネルギースペクトルを用いた最大応答予測法の検討

振動台実験より、応答スペクトルが等しくても地震動の継続時間（あるいは入力エネルギー）が異なれば、耐力やエネルギー吸収性能の劣化傾向も異なり、最大応答も大きく変化することが明らかとなった。現行の限界耐力計算ではこのような挙動を考慮することができないため、応答スペクトルだけでなくエネルギースペクトルも参照した最大応答予測法を検討した。

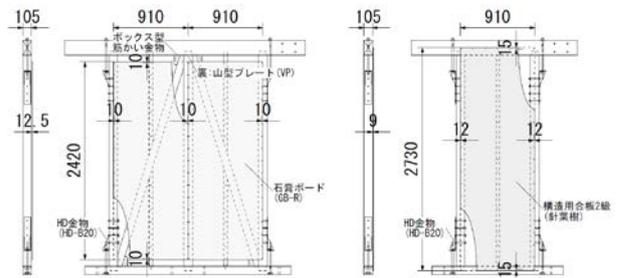


図1 耐力壁試験体（左：筋かい、右：合板）

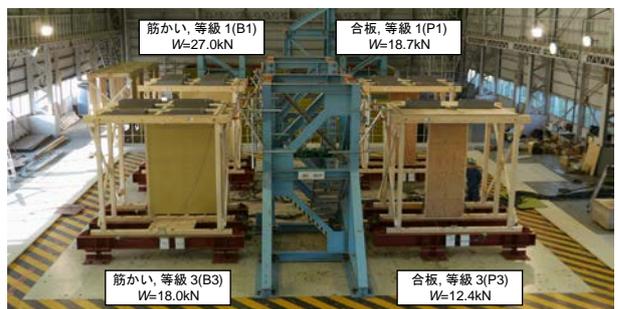


図2 振動台実験のセットアップ

### 【研究開発の結果】

- 1) 任意の繰り返し変形を受けた際の耐力および等価減衰定数の評価法の検討

図3は包絡線の比較であり、単調載荷時の包絡線（破

線)に比べ、繰り返し载荷時の包絡線(実線)が下方に遷移する、すなわち耐力が低下したことがわかる。また、文献1で提案した評価式により、単調载荷時の包絡線に対する低下度合い(丸プロット)が繰り返し载荷時の実験結果を概ね予測できていることがわかる。

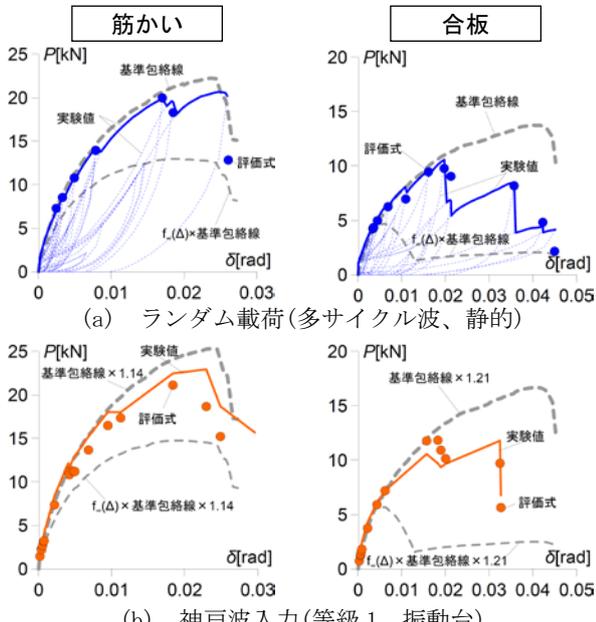


図3 せん断力-変形角関係の包絡線<sup>1)</sup>

図4は経験最大変形の終局変形に対する比( $\Delta_n/\Delta$ )と等価減衰定数の関係を示す。耐力は経験振幅とそのサイクル数に応じて劣化するのに対し、等価減衰定数は経験最大振幅のみに依存することがわかる。また、振動台実験(図中赤丸)では多少増加するものの、概ね破線に示す近似式で傾向が表されることがわかった。

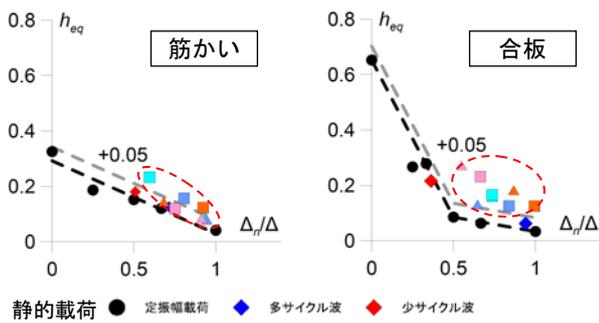


図4 等価減衰定数

図5に振動台実験の各加振における最大層間変形角を示す。等級によらず神戸波より継続時間の長い八戸波の方が変形の増大が速いことがわかる。等級3相当(B3およびP3)では $1/3 \delta_u$ 以下の劣化の小さい範囲では地震波による違いが小さいが、劣化が進行し非線形化してくると顕著に違いが表れた。

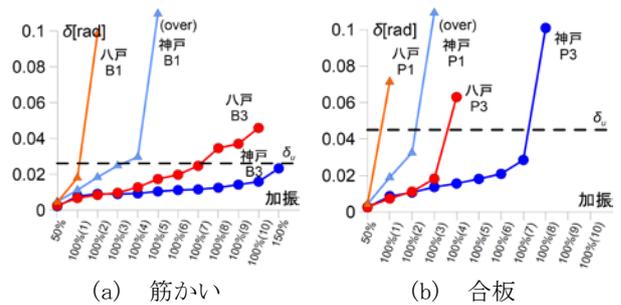


図5 最大層間変形角

2) 地震動の応答スペクトルとエネルギースペクトルを用いた最大応答予測法の検討

耐力の劣化は、経験振幅とそのサイクル数が支配する劣化係数( $f(\Delta, n)$ ), 図3)で表され、等価減衰定数の劣化は、経験最大振幅( $\Delta_n/\Delta$ )が支配する近似式(図4)で表される。この傾向を多数の地震応答解析を行って調査した結果が図6,7である。モデルは耐震等級1相当であり、35種の地震動に対してそれぞれ終局変形に到達するように入力倍率を調節した。図6,7の横軸はエネルギースペクトルの平均値であり、地震動によりばらつきはあるものの、 $f(\Delta, n)$ の下限値、および $\Delta_n/\Delta$ の上限値を包絡するような近似式が得られた。これを従来の応答スペクトル法に組み込み、耐力と等価減衰定数の劣化を考慮して、終局変形に到達する地震入力倍率を予測したところ、安全側の精度で予測することができた(図8)。

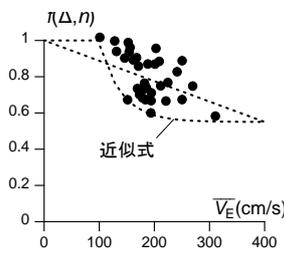


図6  $f(\Delta, n) - \bar{V}_E$  関係

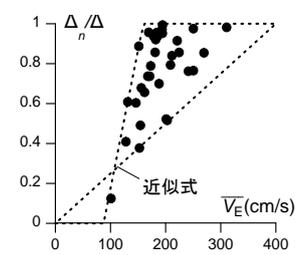


図7  $\Delta_n/\Delta - \bar{V}_E$  関係

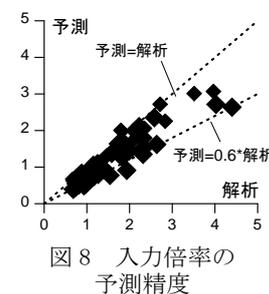


図8 入力倍率の予測精度

本研究は、JSPS 科研費「繰り返し大地震による木造住宅の劣化挙動の解明と評価法の提案」(若手研究(A)(17H04943))の助成を受けた。

【参考文献】

1) 山崎義弘, 神田健吾, 坂田弘安: 任意変形履歴を受ける木造耐力壁の耐力およびエネルギー吸収性能 繰り返し地震動を受ける木質構造物の劣化挙動に関する研究その1, 日本建築学会構造系論文集, 第84巻, 第765号, pp.1443-1451, 2019.11