

戸建免震住宅に用いる変位制御装置の開発と地震応答低減効果

大阪大学大学院工学研究科
地球総合工学専攻 建築地震地盤学領域
宮本研究室

星 澤 府美子

1. 序論

東日本大震災での被害を経験して、建築物の地震対策で考える想定地震を最大級のものにすることが高まっている。このような地震動が入力した場合、積層ゴムやすべり支承を用いた免震構造では免震層に過大な変形が生じる。特に、敷地が狭小なために十分なクリアランスを確保できない戸建免震住宅では、免震装置などの変形制限を超える大変形や、擁壁との衝突による上部構造への衝撃力が危惧される。

そこで本研究では、構造物と基礎間の摩擦を小さくして構造物への入力動を低減させ、靱性のある複合改良地盤材料¹⁾（以下「複合材料」と称する）を用いた安価な変位制御装置によって基礎変位と基礎の残留変位を抑えながら、その塑性化によって震動エネルギーを吸収する絶震基礎構造を開発することを目的とした。そして、図1のような戸建免震住宅への適用に向けた検討として、変位制御装置の応答低減効果を、大型振動台による加振実験と質点系モデルによるシミュレーション解析により確認した。

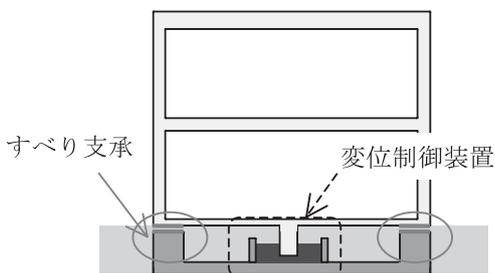


図1 戸建住宅への適用イメージ

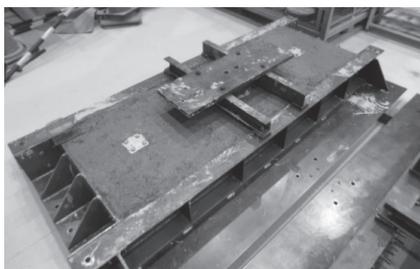


写真 変位制御装置

2. 変位制御装置の開発

変位制御装置は、図2のように鉄板上の幅1680mm、奥行600mm、高さ200mmの鉄製型枠の中心にシアキーを設置し、型枠内に複合材料を充填したものである（写真1）。シアキーは、付加錘と基礎梁のせん断力を伝達するものであり、直径φ216.3mmの円形鋼管にグラウトモルタルを注入した。図3のようにシアキー底面と型枠底面には摩擦力を生じさせないよう20mmの隙間を設けた。

複合材料は、従来用いられているセメント系改良材に剛性と変形性能を調整するゴムチップと、靱性をもたす短繊維材を加えたものである。ゴムチップとしては廃タイヤゴムを1~3mmに粉砕したものをを用いた。図4に材齢28日の水中養生を行った円柱供試体を用いて実施した一軸圧縮試験結果より得られた応力-ひずみ関係を示す。これより、ひずみが10%を超えても耐力を維持しており、靱性的な性状を示すことが確認できる。

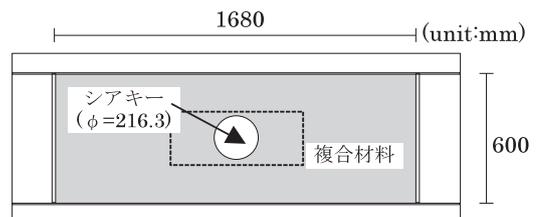


図2 変位制御装置の平面図

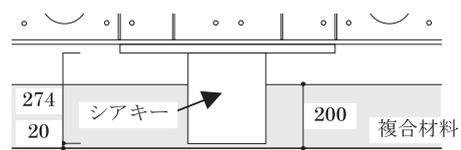


図3 シアキー概要

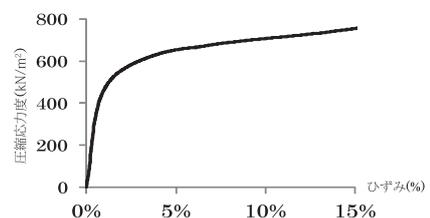


図4 複合材料の応力-ひずみ関係

3. 変位制御装置の性能実験

3.1 概要

試験体は、図5のように3050mm四方の鉄骨基礎梁の上に、上部構造を想定して付加錘（74.2kN）を緊結したものである。基礎梁の四隅下部は、振動台上に設置したすべり支承（公称摩擦係数：0.046）に載せており、すべり板上をすべる。変位制御装置も含めた試験体総重量は87.5kNである。

入力波は、周期1.0sで最大振幅10mm、30mm、50mm、80mm、100mmの正弦波を連続して入力した。振動台で計測された変位波形を図6に示す。

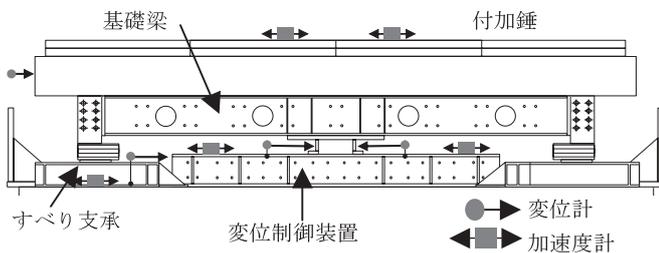


図5 試験体概要図

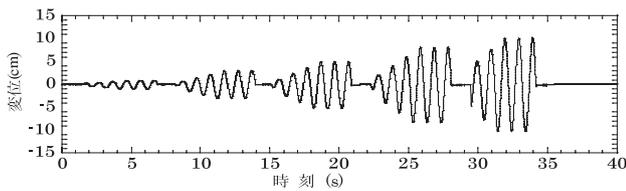


図6 入力変位波形

3.2 実験結果

図7に、実験で得られた、変位制御装置とすべり支承を合わせたせん断力 Q - 変位 d 関係を示す。

これより、小振幅の入力では変位制御装置の抵抗剛性はほぼ弾性的な性状を示し、降伏後は緩やかな曲線を描きながら降伏荷重に達することがわかる。これは、押し込まれた複合材料の剛性と靱性、さらに変位制御装置の外周枠の拘束が試験体のせん断力に抵抗するためである。また、複合材料は繰り返し押し込まれ剛性が低下するが、安定して振動エネルギーを吸収している。

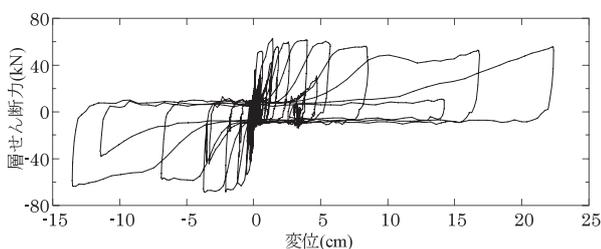


図7 変位制御装置とすべり支承の $Q-d$ 関係

4. 変位制御装置の復元力特性のモデル化

4.1 復元力特性を決めるパラメータ

実験結果をもとに、変位制御装置の履歴特性を表す数値モデルを設定した。本モデルは、初期剛性 K_0 、降伏荷重 F_y 、2次剛性比 β 、除荷剛性比 a 、経験最大変位の増大率 ϕ の5つのパラメータによって規定される。

降伏前は、三角形に履歴しながら初期剛性上を進む(図8)。繰り返しによる剛性の低下は、原点を通る3次曲線($F=au^3$)の係数 a が、経験最大変位に増大率を乗じた変位点を指向することで表現した(図9)。

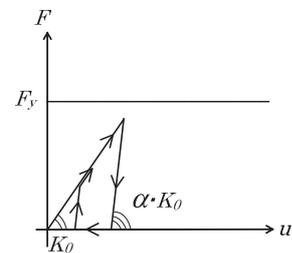


図8 降伏前の履歴則

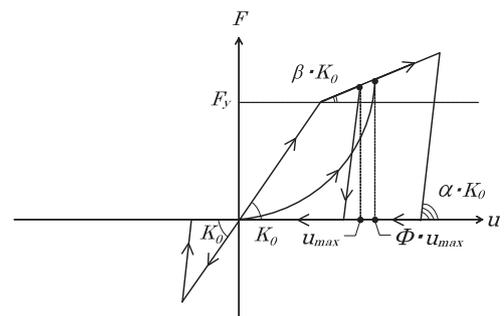


図9 降伏後の履歴則

4.2 パラメータの妥当性の確認

図10に実験時の相対変位を入力して行った復元力特性のシミュレーション結果を示す。なお、図10は図7の復元力特性からすべり支承による復元力を差し引いたものを示している。

これより、提案した復元力特性が変位制御装置の抵抗特性の規則的な挙動をよく捉えていることが確認できる。

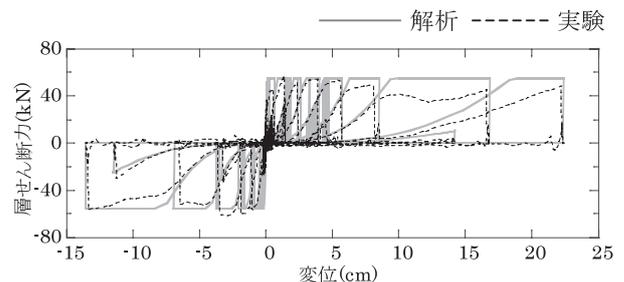
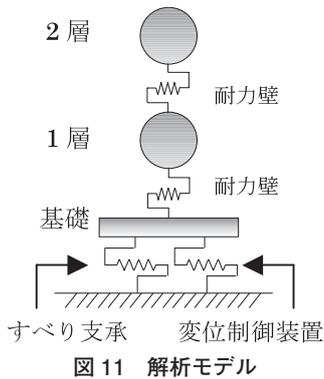


図10 シミュレーション結果

5. 極稀相当の地震動に対する応答解析

5.1 極稀相当の地震動に対する上部構造のモデル化

解析モデルは、変位制御装置とすべり支承で支持された軽量鉄骨造 2 階建ての戸建免震住宅²⁾を想定した(図 11)。上部構造には、建物総重量 302.2kN に対し、住宅性能表示制度による耐震等級 2 相当の 1 層地震時層せん断力に対応する耐力壁を設置した。解析諸元を表 1 に示す。2 階の耐力壁量は 1 階と同数とし、骨格曲線の剛性も等しいものとした。1 次固有振動数は 2.3Hz であり、減衰定数は上部構造に非構造壁を設置することを考慮し 5% とした。



層	重量 (kN)	階高 (mm)
2(RF)	77.8	2870
1(2F)	126.9	2870
基礎	97.5	

5.3 入力地震動と設計目標値

設計用極稀相当の地震動として、El Centro 1940-NS の観測波の最大速度を 50kine に基準化した標準波と、ランダム位相の告示波、これらの地震動レベルをやや上回る BCJ-L2 の計 3 波を入力した。図 12 に加速度応答スペクトルを示す。

これらの設計用極稀相当の地震動に対し、設計目標値を地震後に壁紙や外壁に補修を要しない程度として最大層間変形角を 1/100rad 以内、すべり支承の許容変位として最大基礎変位を 30cm 以内と設定した。

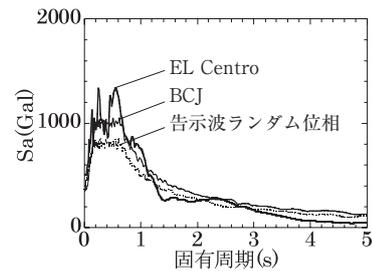


図 12 加速度応答スペクトル

5.2 変位制御装置の復元力特性

本解析では、変位制御装置を 1 個設置した性能実験結果をもとに、剛性と降伏荷重をそれぞれ 0.5 倍、0.8 倍に変化させ、装置の数を 0.5 個、0.8 個相当としたモデルを作成し、変位制御装置の数による応答の違いを検証した。

5.4 解析結果

図 13 に示す基礎変位 - 1 層層間変位の最大値より、変位制御装置を用いると、すべり支承のみのモデルでの基礎変位や基礎固定モデルでの 1 層層間変位に比べ応答を低減できることを確認した。

極稀地震相当の全地震波に対し、耐震等級 2 の上部構造に複合材料の配合によって剛性と耐力を調整し、適切な抵抗性能をもつ変位制御装置を設置することにより、基礎変位、1 層層間変位ともに設計目標値の範囲内に抑えられることを確認した。

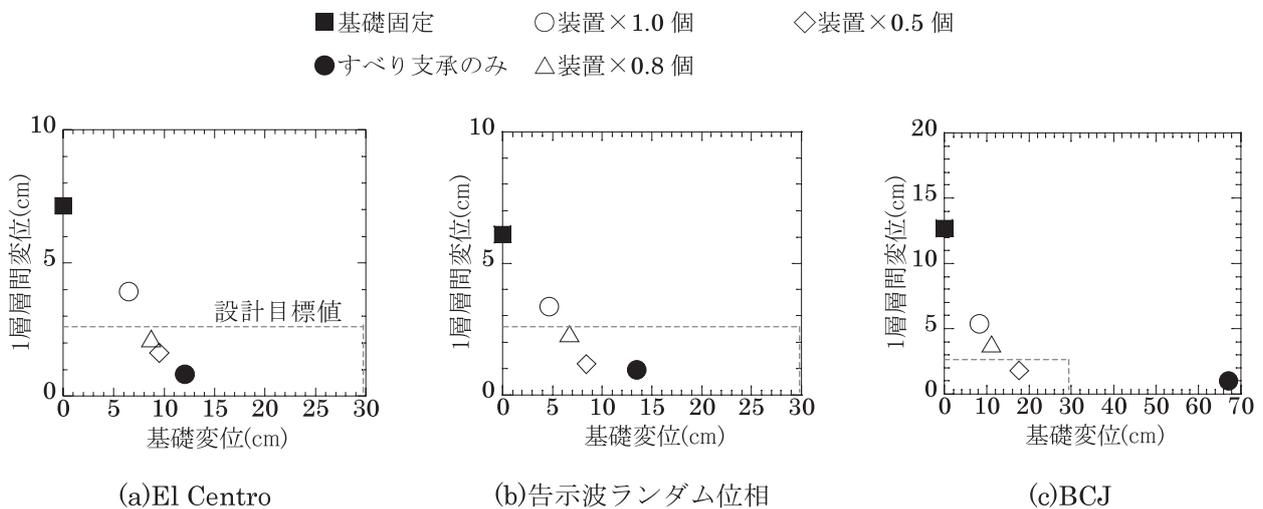


図 13 基礎変位 - 1 層層間変位関係

6. 極大地震に対する変位制御装置・上部構造の設計

6.1 極大地震に対する上部構造のモデル化

上部構造には、建物総重量に対し、住宅性能表示制度による耐震等級3相当の1層地震時層せん断力に対応する耐力壁を設置した。2階の耐力壁量は1階と同数とし、骨格曲線の剛性も等しいものとした。1次固有振動数は2.8Hzであり、減衰定数は上部構造に非構造壁を設置することを考慮し5%とした。

さらに、制震ダンパーを組み込んだ壁を1層のみに、平面20m²あたりに1枚配置した。制震ダンパーには、図14のように荷重-変位関係にバイリニア型復元力をもつ履歴型ダンパーをモデル化した。

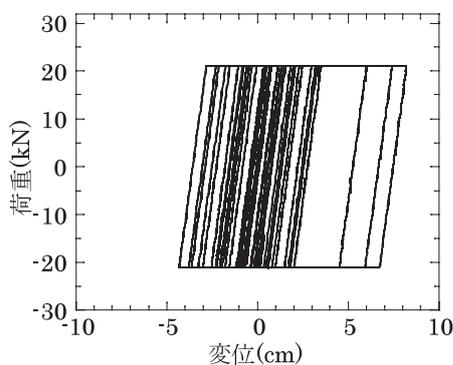
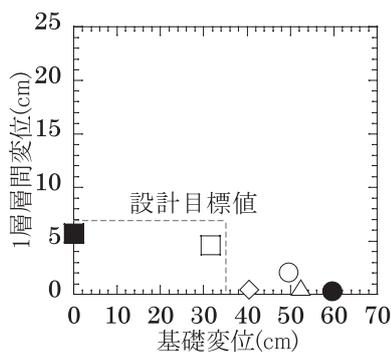


図14 履歴型ダンパーの荷重-変位関係

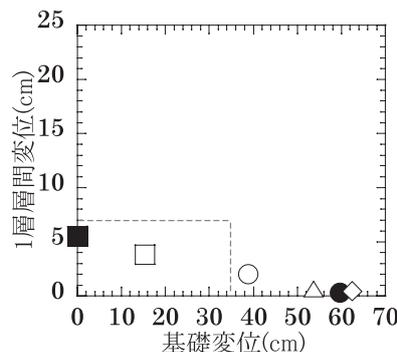
6.2 変位制御装置の復元力特性

本解析では、変位制御装置を1個設置した性能実験結果をもとに、剛性と降伏荷重をそれぞれ0.5倍、2倍、2.5倍に変化させ、装置の数を0.5個、2個、2.5個相当としたモデルを作成し、変位制御装置の数による応答の違いを検証した。

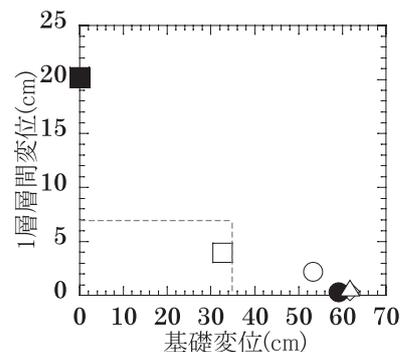
- 基礎固定
- 装置×2.5個
- △ 装置×0.8個
- すべり支承のみ
- 装置×1.0個
- ◇ 装置×0.5個



(a) JR 鷹取-NS



(b) 葺合-NS



(c) JMA 川口

図16 基礎変位-1層層間変位関係

6.3 入力地震動と設計目標値

設計用地震動を大きく上回る極大地震として、1995年兵庫県南部地震でのJR 鷹取-NS、葺合-NS、2004年新潟県中越地震でのJMA 川口-EWの観測波3波を入力した。図15に加速度応答スペクトルを示す。

これらの極大地震に対し、設計目標値を地震後に壁の交換補修を要しない程度として最大層間変形角を1/40rad以内、すべり支承や基礎の限界変位として最大基礎変位を35cm以内と設定した。

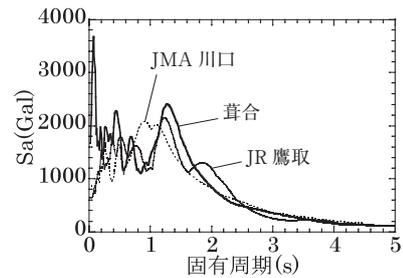


図15 加速度応答スペクトル

6.4 解析結果

図16に示す基礎変位-1層層間変位の最大値より、JR 鷹取波、葺合波が入力した場合、基礎固定としたモデルでは1層層間変位を設計目標の範囲内に抑えられたが、JMA 川口波のように最大加速度が非常に大きい地震波が入力すると、1層層間変位が20cmまで進行した。

それに対して、変位制御装置の個数、あるいは複合材料の剛性と耐力を増やすことで、基礎変位を抑制する効果が大きいことがわかった。

7. 結論

本研究では、地震時の戸建免震住宅の基礎変位を低減する機構として、複合材料を用いた変位制御装置を開発し、その抵抗特性を大型の振動台実験により確認した。さらに変位制御装置の抵抗特性とすべり支承をモデル化した戸建免震住宅の地震応答解析により、極稀相当および極大地震における応答低減効果について検討した。以下に本検討で得られた結果を示す。

- 1) 戸建免震住宅用の変位制御装置を開発し、その抵抗特性を性能実験により確認した結果、複合材料の繰り返しに対する靱性的な特性が、基礎変位の制御と応答低減に効果があることがわかった。
- 2) 複合材料を用いた変位制御装置の復元力特性を、5つのパラメータを用いてモデル化することで、その変形性能と履歴特性をよくシミュレーションできることを確認した。
- 3) 極稀地震に対して、複合材料の剛性と耐力を調整することで、戸建免震住宅の目標耐震性能を満たす設計が可能となることを示した。
- 4) 極大地震に対して、耐震等級3相当の上部構造に減衰機構を付加し、変位制御装置を増やすことで基礎変位、1層層間変位ともに設計目標値の範囲内に抑えられた。

以上のように、試作した戸建免震用の変位制御装置により、極稀から極大地震に対する設計目標値を満た

す応答制御が可能であることを確認した。

今後の課題として、複合材料の経年変化や2方向入力時の応答特性について検討を進める必要がある。

〈謝辞〉

本研究を進めるにあたり、ご指導いただいた宮本裕司教授に心から感謝致します。また、ご協力頂いた宮本研究室へ心より御礼申し上げます。

〈参考文献〉

- 1) 島村淳, 岸本美季, 柏尚稔, 宮本裕司: ゴムチップと繊維材を用いた複合地盤材料の力学特性に関する研究, 日本建築学会技術報告集, Vol.17, No.35, 2011.2
- 2) 桐山伸一, 中田信治, 花井勉, 福和伸夫: 実大振動実験による戸建て免震住宅装置別応答性状比較, 日本建築学会構造工学論文集, Vol.50B, 2004.3



勤務先: 東京都 都市整備局
業務内容: まちづくり推進

[地球総合 (建築) 平成 25 年卒 27 年前期]