各種制振デバイスとワイヤーロープを用いた木質構造の制振補強システムの開発

研究代表者 宋 成彬

(理工学研究所 理工研が募集する次席研究員)

1. 研究課題

今後、東海・東南海地域に発生すると言われている極めて大きな地震動による被害は構造物自体 の過度な変形により継続入居が困難となることや、加速度応答の増大に伴う収容物の移動・落下・ 転倒などの2次的被害が多発することなどの不具合が生じると考えられる。過度な地震動やそれに 付随した余震及び再度発生する地震に備えるためには、日本の一般的な戸建て住宅である2階建て 木造住宅の剛性・強度を高める必要がある。既往の研究により木質構造はスリップ性状が強い復 元力特性を有しており、変形性能およびエネルギー吸収性能に乏しいことが問題として挙げられる。 ただし、剛性・強度を向上させる耐震補強は繰り返し地震に対してはエネルギー吸収性能を維持す ることが難しい。耐震安全性を維持しながら合理的に対応するためには、地震により建物に入力さ れるエネルギーを変形や加速度を過大にすることなく建物内で吸収する構造システムの開発が重 要と考えられる。

本研究では、木質構造の耐震性能を向上させ、地震によるエネルギーを各層でバランスよく吸収 する制振補強システムを目指す。提案する制振補強システムはワイヤーロープとエネルギー吸収装 置を用いて各層でバランスよくエネルギーを吸収することを目指したシステムである。エネルギー 吸収装置は、最大応答変形の抑制に優れる摩擦ダンパーを用いることとした。また、摩擦ダンパー には残留変形が生じる問題があるため、 皿バネを用いて残留変形を抑制するシステムを組み込ん だ、原点復帰型摩擦式エネルギー吸収装置を用いた。まず、原点復帰型摩擦式エネルギー吸収装置 の単体性能試験を行い、その力学特性を評価する。次に、当該装置とワイヤーを設置した2層小型 鋼製フレームの3次元振動台実験を行うことにより、本補強システムの制振効果を評価する。

2. 主な研究成果

2.1 小型原点復帰型摩擦式エネルギー吸収装置の性能

本システムで使用するエネルギー吸収デバイスである原点復帰型摩擦ダンパー(以下、ORFD) のイメージを図1、実験システムを写真1に示す。ORFDの性能評価には、3[t]のアクチュエータを 用いて ORFDの単体性能試験により評価する。ORFDは皿バネによる原点復帰機構と溶融亜鉛め っき鋼板(以下、GA)の摩擦機構の2つの機構により構成される。小型皿ばねは外径が22.5[mm]、 内径11.2[mm]であり、変形能力を高めるため向かい合わせて組み合わせた。摩擦機構としては中央 の鋼板が左右に移動することで生じるGA同士の滑りによる2面摩擦機構とする。図2には、皿バ ネと摩擦機構の単体性能試験より得られた荷重変形関係と、それぞれを足し合わせた荷重変形関係 を示す。



図2 ORFDの荷重変形関係

2.2 2層小型鋼材フレームを用いた3次元振動台実験

3 次元振動台実験で用いる 2 層小型鋼製フレーム(以下、フレーム)の立面図を図 3 に示す。柱 材は 3×25[mm]の平鋼とし、加振方向の厚さが 3[mm]となるように配置する。柱の上下端は、等辺 山形鋼 65×65×6[mm]により左右両側から挟み込み、等辺山形鋼は床の鋼板 600×600×9[mm]にボ ルト接合する。制振装置(ORFD)の設置は 2 通りに行う。(a)のように各層に 2 機を設置する場合 と(b)のように 2 層のみに 1 機を設置してワイヤーで連結するパターンとする。



2.3 実験結果

まず、非制振試験体の構造特性を評価するため、自由振動加振及び 0.1~20[Hz]のスペクトルが一定であるホワイトノイズ 60[gal]の入力を行う。フレームの減衰定数は R 階の床で測定された応答加

速度の自由振動波形の対数減衰率により約0.4[%]と同定された。ホワイトノイズ 60[gal]の入力によ り得られた加速度の伝達関数により、固有振動数は1次2.78[Hz]、2次6.47[Hz]と同定された。設 置パターン1と2をし、非制振のフレームと同じホワイトノイズ 60[gal]を入力して伝達関数を求め た。図4には、非制振フレームとORFDの設置パターン1と2の伝達関数を重ね合わせて示す。非 制振フレームに対して制振補強したパターン1と2はワイヤーにより剛性が高くなり、固有振動数 が高くなった。制振装置の設置によりピークも下がっていることも確認できる。図5には、非制振 のフレームと設置パターン1とパターン2の試験体に、神戸海洋気象台観測波NS成分の最大加速 度を 60[%]に規準化した波形を入力し、得られた各層の荷重変形関係を示す。非制振フレームは1 層の層間変形が塑性域まで進んで最大変形 23[mm]まで変形する。一方で本補強システムを適用し たフレームのパターン1と2の層間変形は弾性範囲で抑えられていることが確認できる。また、最 大変位時の1サイクルのループを用いて同定した等価粘性減衰定数(*h_{eq}*)を図中に示す。パターン 1の等価粘性減衰定数は1層が 0.04、2層が 0.027 程度と同定される。パターン2 は1機の ORFD が設置されたため、1層が未設置の場合とほぼ同じ値であるが、2層は 0.023 と同定された。これら により提案した本制振システムを適用することで構造全体のエネルギー吸収性能が大きく向上さ れることが確認できる。



3. 研究業績

3.1 学会講演

宋成彬: Seismic control Retrofit using Origin return-Friction damper, 大韓建築学会大会学 術講演梗概集構造, pp.361-362, 2015 年 10 月

3.2 学会および社会的活動

日本建築学会、構造委員会、実測データベース検討WG、2013年4月~現在に至る 日本建築学会、構造委員会、設計適用検討WG、2013年4月~現在に至る

4. 研究活動の課題と展望

本研究では、2 階建て木質構造物へ適用することを目指した制振補強システムを提案した。提案 するシステムを用いることで、今後発生が予想される極めて大きな地震に対して、構造物へ入力さ れるエネルギーを1層と2層でバランスよく吸収することが可能である。これにより、木質構造の 耐震性能の向上及び経済性や居住性にも高い効果が期待できる。