

垂れ壁用制振装置の開発と性能証明の取得

藤村悦生*

Development and performance certification acquisition of hanging wall damping device

Etsuo FUJIMURA

大地震が頻発する日本国内では、既存建物への耐震改修が重要である。そこで、我々は大きな建物の改修を必要せず設置できる垂れ壁用の制振装置を開発することにした。この制振装置はゴムや油圧機を使用せずに、鋼材の降伏を利用してエネルギーを吸収するパッシブ型である。この制振装置を、木造フレーム取り付け、耐震性能を正負繰り返し水平加力試験で確認し、問題点を把握・改良し製品化を目指した。また、内容を報告書にまとめ審査機関である日本建築総合試験所に提出をし、審査に合格し性能証明書が発行された。以下、本研究について報告する。

Keywords : 制振装置, 鋼材, 降伏, ダンパー.

1. はじめに

近年、日本国内では大地震が頻発に生起している。これからの生起が予想される大地震に対して、既存の耐震補強構法では開口部が構造用合板等で閉鎖されることから、設計プランに制約を与えるという問題点がある。このことが木造住宅の耐震改修が進まない一因となっている。そこで本研究では、既存の耐震改修では使用しない垂れ壁や腰壁を利用し、その狭い空間でも十分に設置可能な制振装置による耐震補強法の開発と性能の確認を研究目的とした。この補強方法は既存の住宅の住機能に与える影響が少ない極めて有効な手法である。

2. 活動内容

2.1 昨年度までの活動

既存では耐力が期待できない垂れ壁部に設置することが可能な制振装置の開発を行った。

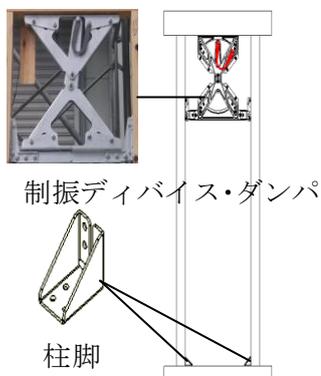


図1 昨年度制振システム

初めに、制振デバイス、ダンパー、柱脚補強金物に分けて設計した。それぞれを組み合わせて試験体を作成し、実験を繰り返し行うことで性能確認を行い、エネルギー吸収効率の高い装置の開発を進めた。昨年度の成果として、柱脚補強金物に関しては設計が完了している。また、制振デバイスのシステムとダンパーについては基本設計が完了していた。(図1)

2.2 今年度の活動

昨年の活動結果を踏まえ今年度は、実用化に向けての制振装置の改良を行った。また、製品化に際して工務店などの顧客が採用しやすくするため、性能証明書の取得を目指した。申請をする審査機関は、日本建築総合試験場とした。

2.2.1 装置改良

昨年度の制振デバイスは、設置したときに壁と壁の間に収まる大きさではなかった。そのため、壁の間に施工できるように制振デバイス全体の厚みを減らした。その際に、制振デバイスに凹凸を付けることで断面係数を稼ぐことにより、鋼材が薄くなった分の耐力を補った(図2)。

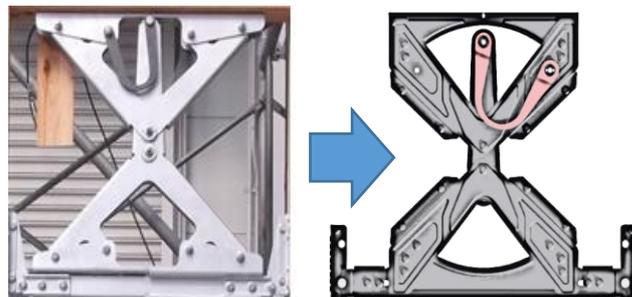


図2 本年度制振システム

* 住居環境科

ダンパーについては、鋼製ダンパーが外力を吸収する湾曲部分の厚みについて検証した。昨年度は9mm厚のみで実験を行っていたため、ダンパーの厚みを8mmから14mmに1mm刻みで変え実験を行った。試験結果よりダンパーの厚みが、13mm、14mmのときは剛性が高く、大きな地震の場合でしか効果が発揮できない。12mmのときが小さい地震にも効果が発揮できることが確認でき、12mmを採用することとした。



写真1 ダンパー

2.2.2 性能評価試験

Uスパイダー制振装置を各種軸組に組み込んだ場合の性能は、静的加力試験により確認した。一定変形角ごとに加力を繰り返し、各部の変位と荷重の度合いを測定した。

2.2.3 試験装置

壁面内せん断試験機 DYNAMIC SERVO ((株)驚宮製作所)を用いた(写真2)

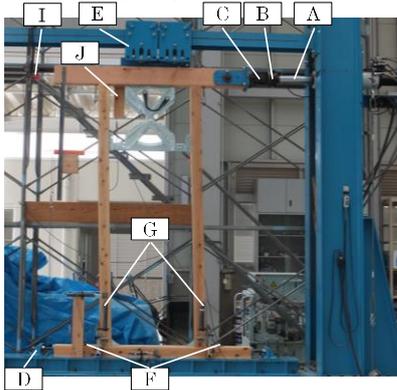


写真2 壁面内せん断試験機

- A.油圧ジャッキ (正負交番荷重)
- B.ロードセル C.クレビス
- D.ストッパー E.倒れ止めサポート
- F.固定用ボルト (M12)
- G.変位計 (柱脚上下方向)
- H.変位計 (土台水平方向)
- I.変位計 (梁水平方向)
- J.変位計 (鋼製ダンパー変位)

2.2.4 試験方法

試験条件

- ・層間変形角(rad)は 1/500, 1/300, 1/150, 1/120, 1/60, 1/30, 1/25
- ・サイクル数
各変形角に3回とする。

試験体の性能を評価する試験体は3体ずつ、性能を評価する試験体に比較として用いる参考の資料試験体は1体ずつ準備した。なお参考資料試験体はUスパイダーの有無による比較用の試験体の為、梗概には仕様についての記載は省く。

2.2.5 試験体仕様

今回の実験は、木造軸組住宅における一般的なサイズである、フレームの柱径105角、柱間910mm、高さ2730mmの軸組を基本に行った。

まず初めに、Uスパイダー1体を基本軸組の垂れ壁部分に設置した上タイプでの実験を行うことで、耐震性能を確認した。その後に、垂れ壁と腰壁の2箇所と同時に設置する場合に出る影響を確認するために上下タイプでの実験を行った。また垂れ壁部分だけでなく腰壁部分に設置した場合の下タイプであっても同じ性能が出るかを実験した。この、上・上下・下の3タイプの結果からUスパイダーを設置した時の構造耐力を計算した。

2.2.6 スパイダーの性能評価方法

Uスパイダー制振システムの基準となる性能は実験により求めた。また、鋼製ダンパーには安定した荷重-変位特性値(一次剛性、二次剛性、降伏点変位)を有する必要がある。このことから、実験結果がばらつきの許容範囲であることを確認した。

鋼製ダンパーの材料であるSN400Bの降伏点平均値及び標準偏差は、(国立大学法人横浜国立大学大学院工学研究院技術部の調査結果)降伏点平均値 337N/mm² 標準偏差 44.3 N/mm²である。これから、 $\pm 1\sigma$ (σ : 標準偏差)の範囲がばらつきの許容範囲内と定義すると、13%となる。結果、本システムにおけるばらつきの許容範囲を $\pm 13\%$ と定義した。

手順1 荷重-変位曲線の設定

壁面内せん断試験で得られたデータを基に、安定した荷重と変位関係が見られる2サイクル目での荷重-変位曲線から性能値を算定した。評価は、1/25(rad)時の一番外側のサイクルで行う。

手順2 一次剛性二次剛性の算定

剛性が一定化した範囲の範囲から一次剛性、二次剛性を求める。下に示す例では、剛性の安定したダンパー変位が-75mm~-65mmの区間であることからこの間の平均剛性をダンパー一次剛性とした。同様に、ダンパー軸方向変位が-30mm~40mmの範囲の平均剛性をダンパー二次剛性とした。(図3)

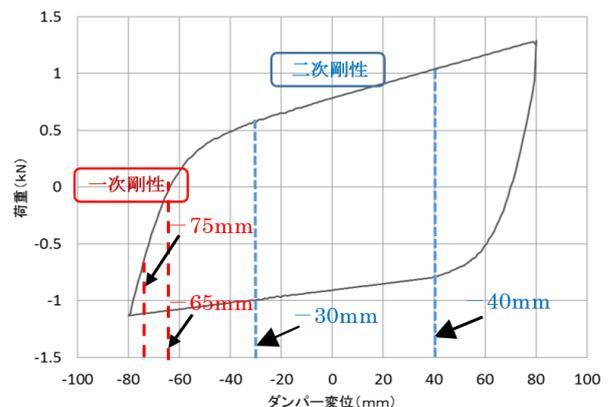


図3 一次剛性の算定範囲例

手順3 ダンパー降伏点変位の算定

一次剛性と平行で原点を通る直線とダンパー二次剛性との交点を降伏点とする。(図4)

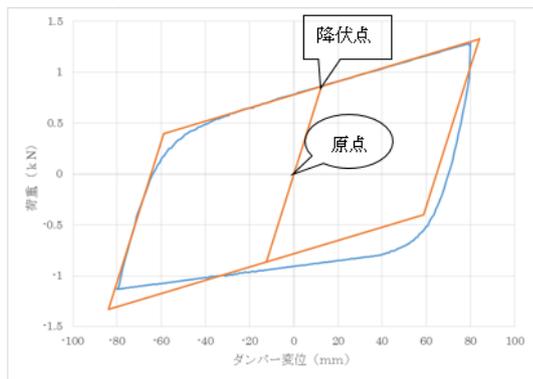


図4 ダンパー降伏点の算定

手順4

一次剛性、二次剛性、ダンパー降伏点変位を3体の試験体で求めた結果は75%信頼区間50%下限値を最終評価として、算出した。

3. 結果

3.1 適用範囲

3.1.1 建物規模

- ① 在来木造軸組住宅
- ② 延べ面積が 500m² 以内
- ③ 階数 3 階建てまで
軒高 9m 以下 建物高さ 13m 以下。

3.1.2 軸組の寸法

- ① 柱・土台の寸法 : 公称 105mm 角以上
- ② 梁の寸法 : 105mm×105mm 以上
- ③ 柱内法寸法 : 850mm±50mm
- ④ 横架材間内法寸法 : 2300mm 以上 2800mm 以下

3.1.3 設置位置

- ① 垂れ壁部分
- ② 腰壁部分
- ③ 垂れ壁・腰壁の両部分

3.1.4 柱端部接合部の仕様

ほぞ差し、釘打ち、かすがい等

U スパイダー制振システム設置部の柱端部の補強設計は N 値計算法で検証する。検証時に使用する U スパイダー制振システムの等価基準耐力は 1.2kN/個 (性能証明参考資料 U スパイダー制振システムの等価基準耐力・等価基準剛性参照) であることから、一般的な建物においては、「ほぞ差し、釘打ち、かすがい等」の接合部で水平力により発生する柱の引き抜き力に抵抗できる。

3.1.5 使用温度 -10℃~40℃

温度 -10~40℃ の範囲ではダンパーの材料である SN400B の許容応力度は安定した値を示す。「経済産業省 鉄鋼 JIS 規格材料の各温度における許容引張り応力度表 別表第 1」また、住宅における室内温度は 20℃

を基準に 10℃~40℃ の間に保たれている。U スパイダー制振システムを外壁に設置した場合を考慮しても、U スパイダー制振システムの外気側に断熱材が存在することが想定できることから、下限 -10℃ は安全率を十分含んだ下限値であると判断して設定した。

3.2 性能の確認

鋼製ダンパーが、安定した荷重-変位特性値 (一次剛性、二次剛性、降伏点変位) を有することを証明するために限界変位特性と依存性についての試験を行った。限界変位特性試験では鋼製ダンパーの使用限界として設定した最大変位 80 mm 以下において、耐荷能力の低下が無いことを確認する。また、依存性については繰り返し依存性、変位依存性、周波数依存性の確認試験を行い、それぞれの要素による依存性が存在しないことを確認する。

3.2.1 限界変位特性

鋼製制振装置の最大変位 80 mm において荷重の低下は認められなかった。また、鋼製ダンパーに有害な、傷、割れ等の異状は認められなかった。

3.2.2 繰り返し依存性

鋼製ダンパーの繰り返し依存性試験において、基準変位の変位 80 mm について同一繰り返し数におけるダンパー荷重-変位特性値のばらつきが、試験値の平均値±13% 以内に納まることを確認した。結果、サイクル経過による剛性の低下は見られなかった。また、試験終了後、鋼製ダンパーに有害なキズなどの発生は見られなかった。

3.2.3 周波数依存性

鋼製ダンパーの周波数依存性試験において、ダンパー荷重-変位特性値の各周波数における試験値のばらつきが、試験値の平均値±13% 以内に納まることを確認した。

3.3 依存性試験結果

各依存性試験結果より、鋼製ダンパーには限界変位・繰り返し・周波数による依存性は存在しないことが確認できた。

4. 設計

本システムによる制振効果を時刻歴地震応答解析により確認した。

モデルは、一般財団法人 日本建築防災協会 発行『木造住宅の耐震診断と補強方法』 2012 年版 p.140 に記載されている A 建物[1]とした。本建物に U スパイダー制振システムを垂壁に設置することにより補強し、U スパイダー制振システム設置前と設置後の応答を比較することにより、U スパイダー制振システムの制振効果を検証する。また、解析に使用した入力地震波は、El Centro, 八戸, Taft の標準 3 波とした。

以下に、U スパイダー制振システムの設置位置を印で示す。(図 5)

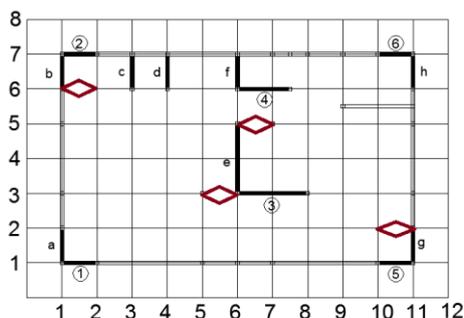


図5 1階補強後平面図

最大層間変形角の値を以下に示す。(表 1-1 表 1-2)

表 1-1 X方向 最大層間変形角 解析値 補強前

階	最大層間変形角(rad)		
	El_Centro_1940_NS	Hachinohe_1968_NS	Taft_1952_EW
2F	1/372	1/440	1/429
1F	1/9	1/15	1/15

表 1-2 X方向 最大層間変形角 解析値 補強後

階	最大層間変形角(rad)		
	El_Centro_1940_NS	Hachinohe_1968_NS	Taft_1952_EW
2F	1/315	1/341	1/269
1F	1/26	1/37	1/28

補強前建物は、脆性破壊し易い筋かいが卓越した建物をモデルとしたことから、最大層間変形角が 1/15 を超える結果となった。この結果は、在来軸組木造住宅においては倒壊に至る層間変形角であり危険と判断される。

補強後は、本システムが持つ靱性に富んだ履歴特性の効果により、最大層間変形角が 1/25 を下回る結果となった。在来軸組木造住宅における筋かい及び構造用合板による耐力壁は、1/25 の層間変形角で最大耐力の 0.8 を下回り破壊と判定される。このことから、U スパイダー制振システムにより本建物が脆性的破壊から逸脱した靱性に富んだ建物に改善されていることが確認できる。

5. 性能証明

垂れ壁用制振装置という明確なコンセプトを打ち出すことで他社との差別化をし、さらに性能が保証されることでより安心して安全な装置として自信を持って工

務店などに薦めることができることから、以上の内容を報告書にまとめ審査機関である日本建築総合試験所に提出した。

報告書は、

受付審査 平成 27 年 1 月 6 日

専門部会 平成 27 年 1 月～2 月 3 回開催

最終審査 平成 27 年 3 月 3 日

を経て、建築技術性能証明書 GBRC 性能証明第 14-34 号として性能証明書を取得した[2]。

6. まとめ

本研究は、職業能力開発大学校で行われている“ものづくり”教育の成果である。本研究により開発された制振装置 U スパイダーは、垂れ壁用制振装置という明確なコンセプトを打ち出していること、さらに性能が保証されていることでより安心して安全な装置として自信を持って最大の利用者である工務店などに薦めることができる。さらに、GBRC 性能証明 第 14-34 号の 1 部を紹介する。

証明方法

以下の資料 1 II により確認

I 本技術の目標性能達成の妥当性を確認した実験及び解析資料

II 本技術の設計・施工マニュアル。

適用範囲・使用材料・性能値・設計手順の他、施工法や作業要領・施工管理・製品規格についての資料これらの資料により、本システムによる制振効果は、同設計マニュアルに沿った時刻歴地震応答解析により確認できる。

この記述は、“ものづくり”そのものを示している。すなわち、“ものづくり”とは、単純な製品試作ではなく、明確な目標性能の設定と安定して性能を発揮するための適用範囲・使用材料・性能値・設計手順の明確な定義であるといえる。本研究が、今後の職業能力開発大学校における“ものづくり”教育の参考例となることを期待する。

文献

[1] 一般財団法人 日本建築防災協会
“木造住宅の耐震診断と補強方法”

[2] 一般財団法人 日本建築総合試験場
“建築技術性能証明書 GBRC 性能証明 第 14-34 号”