

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 9 月 13 日現在

機関番号：32689

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26630258

研究課題名(和文)低層鉄骨造建築物を対象としたDIY制振補強構法の開発

研究課題名(英文)Development of DIY seismic response control method for low-rise steel buildings

研究代表者

曾田 五月也(Soda, Satsuya)

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：70134351

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,500,000円

研究成果の概要(和文)：靱性保証型の低層鉄骨造に粘性系ダンパをDIY設置して十分な制振効果の得られることを明らかにした。筒型粘弾性ダンパにはリリーフ機構を併用し、粘弾性仕口ダンパは変形増幅機構を併用することが効果的であることを鉄骨造部分架構の動加力試験、実寸の軽量鉄骨造骨組を用いた振動台実験、および実建物への設置の施工実験により確認した。鋼材同士のDIY接着剤接合に関する一連の実験により、接着面をショットブラスト処理すること、接着剤強度は温度上昇により低下するもののダンパと金物の自重を十分に支え得ること、接着面の寸法効果に関してはドリルねじやクランプを併用することで改善できることなど、実用化の可能性を確認した。

研究成果の概要(英文)：The use of load relief mechanism for tubular viscoelastic dampers and the use of deflection amplification mechanism for joint viscoelastic dampers are found to significantly improve the energy absorption performance of the entire low-rise steel structures. The effects are confirmed through the dynamic loading test to the joint test pieces and shaking table tests as well as construction experiment on the actual size light-gauge steel frames. By a series of experiments on the DIY adhesive bonding of steel to each other, it was found that we need shot blasting on adhesive surfaces. It was also found that adhesive strength reduces due to the temperature rise but it can support the full weight of the damper including its mounting metals. With respect to the size effect of the adhesive surface, it can be improved by a supplemental use of drilling screws or clamps. We confirmed the possibility of practical use of adhesive bonding of steel to each other.

研究分野：工学

キーワード：低層鉄骨造 DIY 粘弾性ダンパ 振動台実験 施工実験 接着剤接合 制振補強

1. 研究開始当初の背景

低層の鉄骨造建築物では、変形能力に依存した靱性型の設計を採用するが多い。これらの建物が極めて強い地震動の作用を受けると、倒壊に至らぬまでも、大きな塑性変形、さらには残留変形を伴う変形が生じて、仕上げ材量の被害も免れ得ない状況になることが懸念される。ひとたびこのような被害に至ると復旧は極めて困難になるため、社会活動や資源環境の観点からも早急に耐震補強すべき構造といえる。現実には、補強は進まないでいるが、その大きな理由は該当する建物の数が極めて多いことと補強に要するコストが必ずしも低くないためである。

2. 研究の目的

申請者等は、力学的な明快性を保ちながら、DIY 工法の導入を視野に入れて、トータルコストの低減を目指した補強方法の検討を進めている。最終的には、簡易なマニュアルを参照することで、低層鉄骨造建築物に関する専門知識を持たない者でも制振補強の設計・施工・管理を一貫して行うことができるDIY 制振補強工法を提案することを目指している。

3. 研究の方法

本研究では、工法に適用する制振デバイスとして柱梁接合部に設置する2種類の粘弾性ダンパ選択した(図1)。ダンパを構造部材に取り付けるための金具を接着剤により接合する工法につき、その現状での問題点と対応策を明らかにしてDIY 工法の実用化を前進させることを目的とする。

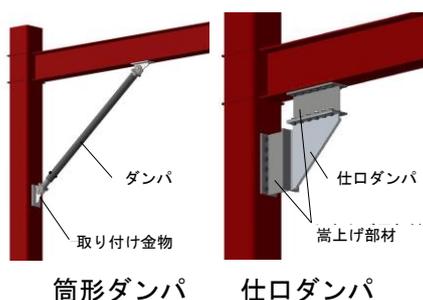


図1 DIY 工法用のダンパの設置形式

既存低層鉄骨造建築物の調査結果から対象建築物の代表的な柱梁断面寸法を決定し、非構造部材の損傷度を指標にした設計クライテリアを示す。

4. 研究成果

4.1 DIY 制振工法用デバイスの開発

リリーフ機構付き筒形粘弾性ダンパに関しては、そのリリーフ機構部分の性能検証実験から、外筒と内筒とを高力ボルトをで締め付けることで安定した滑り荷重を得る機構である。同機構は、トルクを管理することで締め付け直しを行った後も同程度の性能を示すことから、トルクレンチによる簡易な管理が可能な機構であることを明らかにした。粘弾性仕ロダンパは大型の木造用として既開発の製品を鉄骨ラーメン構造の柱梁接合部に設置するものであるが、両部材には嵩上げ用部材を介して設置することでダンパの変形量を増幅して、ダンパのエネルギー吸収効率を高める方式とした。鉄骨造建築物の仕口部に粘弾性仕ロダンパを嵩上げ設置した場合の直付け設置した場合に対するせん断変形量の増幅倍率を解析的に検討し、嵩上げの場合には直付けの場合に比して3-4倍の変形に増幅できることを明らかにした。

4.2 接着剤接合技術の開発

鉄骨造躯体へダンパを取付けたための金物の接合法として、DIY 工法として作業性に優れた接着剤接合を主要な方法として採用した。想定される現場での様々な外的要因を考慮した接着剤接合の力学性能を検証するためにJISの方法に準じた一連の実験を実施した。はじめに、接着剤接合の施工工程を整理することで、接着剤接合法が安価で、非専門家の作業としても容易に実用化可能であることを示した。また、接着剤の接合理論から接着強さを高めるためには被着面の適切な表面処理が必要であることと、金属同士の接着にはエポキシ樹脂、及びアクリル樹脂を主剤とする接着剤を用いることが好ましいことを確認した。次いで、ダンパ取付け作業が実

施可能となるまでの待ち時間の短縮に向けて、接着剤接合部の短期クリープ実験を実施したところ、上記の接着剤によりダンパの取付け用金物を接合した翌日にはダンパを設置することが可能であることを明らかにした。被着面の表面処理方法に関する実験的検討では、躯体の鉄骨部材表面は現場でサンドペーパーにより処理し、金物側は事前にショットブラストによる処理を施すことで十分な接着強度を確保できることを示した。さらに、熱老化による促進劣化実験から、適切な表面処理を施した接着面では、接着剤接合は30年相当の劣化を受けても十分な接着強度を維持できることを明らかにした。

次いで、接着剤接合強度の劣化要因とその対策について検討した。接着剤接合強度の主な劣化要因として考えられる寸法効果と温度変化が与える影響について検討し、寸法効果に関しては実験的検討とFEM解析による検討を実施した。接着剤接合では、引張とせん断のいずれの応力に対しても寸法効果を有しており、接着強さが接着面積に比例しないことを実験的に確認した。寸法効果による接着強度の低下を防ぐためには、接合面の端部に生じる引っ張り応力をドリルねじによる締め付けによる圧縮力で抑え込むことが有効であることを示した。続いて、接着剤接合部の温度上昇による接着強度の劣化に関する実験的検討を行った。夏場に想定される温度環境下では1種類の接着剤を除き、2種類の接着剤でその接着強度が平温時の公称接着強さより小さくなることを確認した。一方で、接着剤接合は火災による温度上昇によってもその強度が低下するが、ダンパと金物の自重を支えるために最低限必要な耐力を保持することも明らかになった。エポキシ系を主剤とする接着剤では接合部の温度が200℃に達するとせん断接着強さが4～5割程度低下することを明らかにした。一方、アクリル系を主剤とする接着剤では加熱前後で接着強度に大きな変化はなく、破壊性状も変化しないことを示した。これらの温度上昇による接着強度の低下を考慮して安全率を検

討し、接着剤接合の安全率は、夏場の温度環境下での接着強度を基に定めることとし、高温時の接着強度に対して安全率3倍以上を見込むことが妥当であることを示した。最後に、上記の強度低下を防止する上で有効な取付け用金物の形状はそのウェブを二又とし、端部にドリルねじ用の孔を設ける仕様とすることの有効性を示した(図2)。

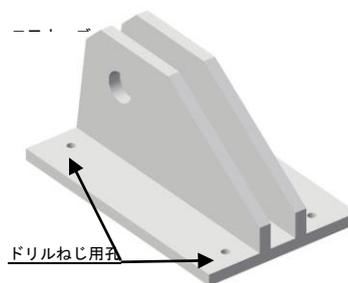


図2 取付け用金物の設計例

4.3 粘弾性仕口ダンパの適用性

4.3.1 動加力試験による確認

粘弾性仕口ダンパを鉄骨造ラーメンの柱梁仕口部に設置することの有効性を検討するために、鉄骨柱梁L字形接合部の動加力実験を行った。実験結果から、鉄骨柱梁仕口部にダンパを設置することで架構の最大耐力、等価剛性、等価減衰定数が増大することを示した(図3)。特に、ダンパをかさ上げして設置することで、直付けの場合よりもエネルギー吸収性能をほぼ倍増できることを明らかにした。また、ダンパを設置することで柱梁接合部の曲げ応力が減少し、構造躯体の損傷の進行を抑制できることを示した。ダンパの接合箇所に損傷が生じなかったことから、鉄骨造建築物に粘弾性仕口ダンパを適用することが可能で、十分な制振効果を期待できることを示した。

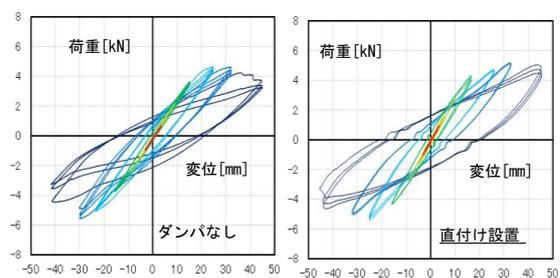


図3-1 荷重変形関係の比較

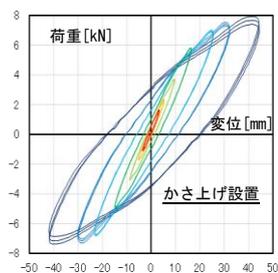


図 3-2 荷重変形関係の比較 (続き)

4.3.2 振動台実験による確認

仕口部分の変形角が比較的小さい鉄骨造ラーメンであっても、粘弾性仕口ダンパを嵩上げ設置することで十分な制振効果の得られることを実証するための実大軽量鉄骨フレームの振動台実験を実施した。図 4 の上に実験全体の状況を、同図の下に仕口ダンパの主構造の仕口部への設置状況を示してある。一方向からの地震動入力に対する実験結果から、4 基のダンパを仕口部にかさ上げ設置することで、設置前と比較して最大層間変形角を 60%程度低減でき、主構造の塑性化を防げることを示した(図 5)。さらに、せん断質点モデルに置換したダンパ設置前後の試験体の時刻歴応答解析結果が、実験結果を精度よく模擬できていることから、構築したダンパの力学モデルの妥当性を示した。

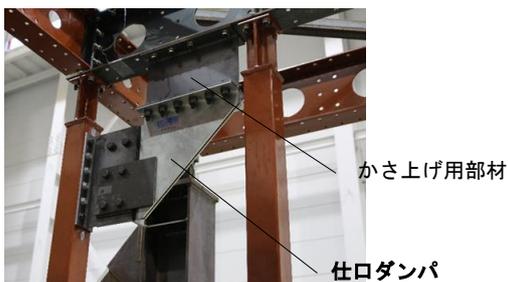


図 4 実験システムとダンパの設置状況

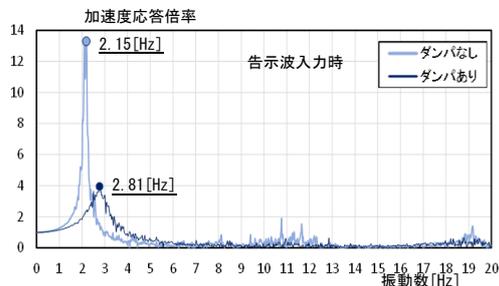
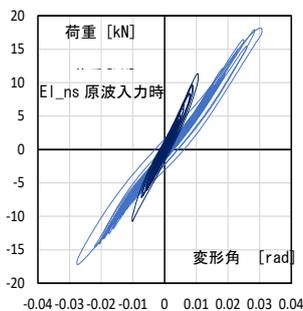


図 5 ダンパ設置前後の荷重変形関係(上)と加速度応答倍率(下)

4.4 低層鉄骨造建築物の制振補強による地震応答低減効果に関する解析的検討

リリーフ機構付き筒形粘弾性ダンパと、木造軸組構法用粘弾性仕口ダンパを設置した低層鉄骨造建築物の地震応答低減効果に関する解析的検討を行った。解析より、リリーフ機構付き筒形粘弾性ダンパを設置することで、低温時に負担するダンパの過大な荷重を抑制し、建築物の躯体や周辺部材を損傷させずに建築物の応答を低減できることを示した。また、粘弾性仕口ダンパを嵩上げ設置することで、直付けする場合よりもダンパによる応答低減効果を高めることができることを示した。さらに、嵩上げ用部材を介してダンパを設置することで、ダンパの容量や設置基数を低減できるため、建築物の制振補強に要するコストを節減できることを示した。

4.5 結論

低層鉄骨造建築物用の DIY 制振補強工法に対して、リリーフ機構付き筒形粘弾性ダンパと木造軸組構法用粘弾性仕口ダンパが適用可能であり、接着剤接合は高い接合強度と優れた施工性を有していることを示した。また、本研究により、提案する DIY 制振補強工法が、低層鉄骨造建築物の耐震補強を促進して都市の地震防災を

向上することに有用であることを示した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0件)

〔学会発表〕(計 8件)

- 1) 曾田五月也ほか、低層鉄骨造の損傷抑制用 DIY 制震補強に関する技術開発 -その 8- 接着剤の劣化要因を考慮した接着強さの力学性能検証実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、2015 東海、pp. 997-998
- 2) 曾田五月也ほか、その 9-接着剤接合部の接着強さの疲労耐久性に関する検討、同上、pp. 999-1000
- 3) 曾田五月也ほか、その 10-既存 5 層鉄骨造建物に対する DIY 制震補強工法の施工実験、同上、pp. 1001-1002
- 4) 曾田五月也ほか、その 11-接着剤の接着強さの寸法効果に関する検証実験、同上九州、2016、(掲載決定)
- 5) 曾田五月也ほか、その 12-被着面の表面処理方法が接着強さに与える影響に関する実験的検討、同上、(掲載決定)
- 6) 曾田五月也ほか、その 13-、接着剤接合強さに対する温度変化の影響に関する実験的検討、同上、(掲載決定)
- 7) 曾田五月也ほか、粘弾性仕口ダンパによる軽量鉄骨造の制振補強に関する研究その 1-粘弾性仕口ダンパを設置した鉄骨柱梁 L 字接合部の動加力実験、同上九州、2016、(掲載決定)
- 8) 曾田五月也ほか、その 2- 粘弾性仕口ダンパを設置した実大軽量鉄骨フレームの振動台実験、同上、(掲載決定)

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：

番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

- (1) 研究代表者
曾田五月也 (早稲大学理工学術院・教授)
Satsuya Soda
研究者番号：70134351
- (2) 研究分担者
宮津裕次 (広島大学工学(系)研究科・助教)
Yuji Miyazu
研究者番号：70547091
- (3) 連携研究者
(なし)

研究者番号：