

2. 設置後約 20 年が経過した外付け制震ブレース用「40tf 摩擦ダンパー」性能確認

A Study of Aging Effect on a 40tf class Friction Damper in Exterior Damping Brace
After about 20 years in Use

土田 堯章* 波田 雅也* 上田 英明**

一概要一

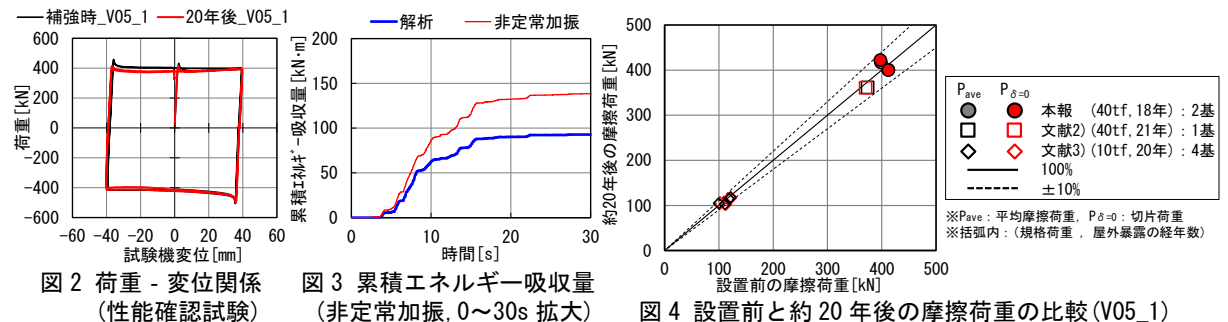
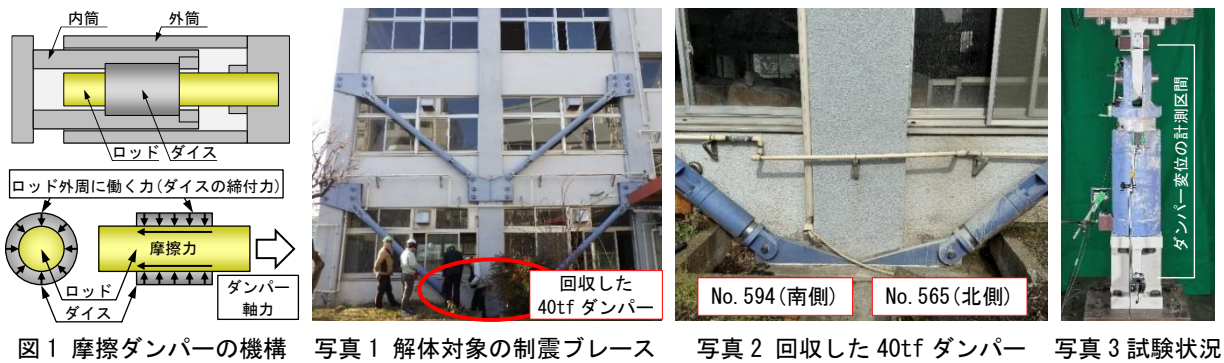
筆者らは、「摩擦ダンパー (図 1)」を組み込んだ制震ブレースを既存建物の外壁面に設置することで、建物を使用しながら耐震性能を向上させる補強工法 (以下、制震ブレース工法) を開発・実用化している。現在までに 100 棟以上の適用実績があり、累計約 4,100 基の摩擦ダンパーが使用されている。摩擦ダンパーの製品規格の中で最も適用実績が多いのは、規格荷重 392kN (40tf) のダンパー (以下、40tf ダンパー) であり、3,100 基以上が使用されている。

今回、2006 年に当社が制震ブレース工法による耐震補強工事を実施した RC 造 4 階建て中学校校舎 (第 1 期竣工: 1963 年) が、補強工事から 18 年を経て新校舎に建替えることとなり、設置していた 40tf ダンパーを回収し、経年変化を実物で評価できる貴重な機会を得た (写真 1~3)。

本報では、屋外に設置された状態で約 20 年が経過した 40tf ダンパーに対して、まず設置前の受入試験と同じ条件で性能確認試験を行い、摩擦荷重の経年変化を確認した。さらに、補強設計時の時刻歴応答解析結果から抽出した 40tf ダンパーの応答変位波形を用いた非定常加振を行い、設計で想定したエネルギー吸収量が発揮されるかを確認した。

一技術的な特長一

設置して約 20 年が経過しても、40tf ダンパーの履歴形状は設置前とほぼ一致し、安定した完全弾塑性型の履歴形状を示した (図 2)。また、非定常加振時も安定した完全弾塑性型の履歴形状を示し、エネルギー吸収量は補強設計時の解析結果を約 1.5 倍上回った (図 3)。約 20 年後の摩擦荷重は、設置前に比べて ±7% 未満の変化であり、経年変化は非常に小さいことが分かった (図 4)。



※本報の一部は、日本建築学会大会学術講演概要集 (構造 II, pp.683-684, 2025.07) で発表済みである。

*技術研究所 構造研究部 **技術研究所 副所長

設置後約 20 年が経過した外付け制震ブレース用「40tf 摩擦ダンパー」性能確認 A Study of Aging Effect on a 40tf class Friction Damper in Exterior Damping Brace After about 20 years in Use

○土田 堯章* 波田 雅也* 上田 英明**
Takaaki TSUCHIDA Masaya HADA Hideaki AGETA

ABSTRACT The authors have commercialized a reinforcement method that improves the seismic performance of existing buildings by installing damping braces incorporating friction dampers on the exterior walls of the buildings. In this paper, we conducted a performance verification test on a 40tf friction damper that had been installed outdoors for approximately 20 years, under the same conditions as the acceptance test before installation, to confirm the change in friction load over time. Even after approximately 20 years of installation, the friction load of the 40tf damper changed by less than $\pm 7\%$ compared to before installation, indicating that the change over time was small.

Keywords :摩擦ダンパー, 経年特性, 制震補強, 外付け補強, 制震ブレース
Friction Damper, Aging Effect, Response Control Retrofit, Exterior Retrofit, Damping Brace

1. はじめに

筆者らは、「摩擦ダンパー」を組み込んだ制震ブレースを既存建物の外壁面に取り付けることで、建物を使用しながら耐震性能を向上させる補強工法（以下、制震ブレース工法）を開発・実用化している^{1),2)}。摩擦ダンパーは、ダイス（鋼材の環）の内径より少し太いロッド（銅合金の芯棒）をダイスにはめ込み、ダイスとロッドの摩擦面に一定の締付力が生じる仕組みを利用したダンパーである（図 1）。一定の摩擦荷重を保持しつつ摺動し、エネルギー吸収効率の高い完全弾塑性型の履歴特性を発揮する。既報³⁾では、実建物に初めて設置した規格荷重 98kN(10tf)の摩擦ダンパーについて、経年特性を確認するために性能確認試験を行った。その結果、設置後 20 年が経過しても摩擦荷重の変化は約 3%と非常に小さかったことが示されている。今回は、屋外に設置されて約 20 年が経過した規格荷重 392kN(40tf)の摩擦ダ

ンパー（以下、40tf ダンパー）を建物解体に伴い回収し、経年特性を確認できる機会を得た。なお、40tf ダンパーは、製品規格(10tf, 20tf, 30tf, 40tf, 60tf)のなかで最も適用実績が多く、累計 3,100 基以上が補強工事に適用されている。

本報では、設置後約 20 年が経過した 40tf ダンパーに対して、まず設置前の受入試験と同じ条件で性能確認試験を行い、摩擦荷重の経年変化を確認する。さらに、補強設計時の時刻歴応答解析結果から抽出した 40tf ダンパーの応答波形を用いて非定常加振を行い、設計で想定したエネルギー吸収性能が発揮されるかを確認する。

2. 補強建物と 40tf ダンパーの概要

2.1 補強建物の概要

補強建物は、都内に立地する公立中学校の地上 4 階、塔屋 1 階建ての鉄筋コンクリート造校舎である。補強建物は 1963 年の第 1 期竣工から 1976 年にかけて、計 4 回の増築工事が行われた。さらに 2006 年 8 月には、校舎全体に対して制震ブレース工法による補強工事が行われ、躯体の外壁面に計 60 本（東面:19 本、西:15、南:16、北:10）の

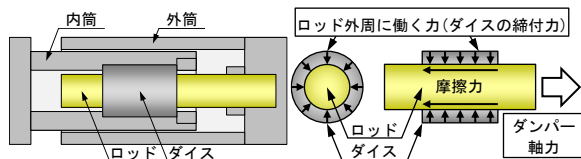


図 1 摩擦ダンパーの機構

*技術研究所 構造研究部 **技術研究所 副所長
※本報の一部は、日本建築学会大会学術講演梗概集（構造Ⅱ, pp.683-684, 2025.07）で発表済みである。

40tf ダンパー付き制震ブレースが設置された(写真 1)。補強工事から 18 年を経て新校舎に建替えることとなり、2024 年 4 月から旧校舎(補強建物)の解体工事が段階的に始まった(図 2, 3)。適用実績が最も多い 40tf ダンパーの経年特性を確認できる貴重な機会であるため、解体対象となった箇所から 40tf ダンパー 2 基を回収した(写真 2, 3)。

2.2 40tf ダンパーの概要

回収した 40tf ダンパー 2 基(製造番号:No.565, No.594)の規格は、設定摩擦荷重:392kN(40tf)、許容ストローク:±40mm(限界ストローク:±55mm)である。いずれも補強工事の制震ブレース設置前に受入試験を行い、設計で想定した性能を有することを確認している。

なお、回収した 40tf ダンパーは、塗装の塗り替えを除くメンテナンスは施されておらず、約 20 年間に渡って屋外に暴露された状態であった。



写真 1 補強建物外観



図 2 補強建物配置図

写真 2 回収前の設置状況

写真 3 回収した 40tf ダンパー



図 3 補強建物の東立面図

3. 性能確認試験

3.1 試験方法

40tf ダンパーの経年変化を確認するために、No.565 に対し、設置前の受入試験と同じ条件で性能確認試験を実施した。性能確認試験の試験条件を表 1 に、試験状況を写真 4 に示す。試験方法は、動的アクチュエータを用いて、ダンパー軸方向に変位制御で加振する。入力波形は速度一定の三角波とし、低速加振 1 回目(V05_1)、高速加振(V70)、低速加振 2 回目(V05_2)の順で計 3 回の加振を行う。なお、摩擦熱の影響を排除するため、加振毎に 15 分のインターバルを設けている。

確認項目は、履歴形状と摩擦荷重(平均摩擦荷重 P_{ave} 、切片荷重 $P_{\delta=0}$)²⁾とする。

3.2 試験結果

荷重-変位関係を設置前の受入試験結果と合わせて図 4 に示す。図より、設置前と約 20 年後を比較すると、荷重-変位関係の履歴形状がほぼ一致していることが確認できる。また、高速加振時も完全弾塑性型の履歴形状を示し、さらに高速後の低速加振 2 回目も、1 回目と変わらない性能を発揮していることがわかる。

表 1 性能確認試験の試験条件 (No. 565)

加振名	加振条件・確認事項	
1 低速1 (V05_1)	加振条件	振幅±40mm, 速度0.5cm/sec一定, 2サイクルの三角波
	確認事項	許容ストローク内における履歴形状および摩擦荷重 (P_{ave} , $P_{\delta=0}$) を確認
2 高速 (V70)	加振条件	振幅±40mm, 速度7.0cm/sec一定, 2サイクルの三角波
	確認事項	地震時に想定されるエネルギー吸収量を三角波で再現した加振時における履歴形状および摩擦荷重を確認
3 低速2 (V05_2)	加振条件	低速1 (V05_1) と共通
	確認事項	高速加振 (V70) 後に再度, 履歴形状および摩擦荷重を確認

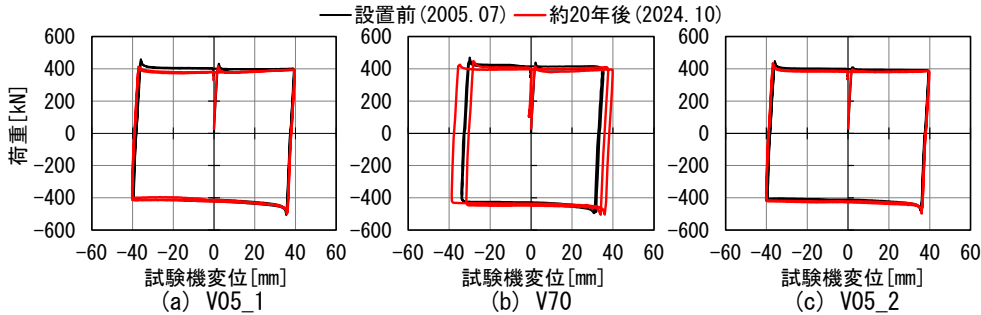


図 4 荷重-変位関係 (性能確認試験)



写真 4 試験状況

4. 非定常加振

4.1 試験方法

補強建物が設計で想定した強震を受けた時の 40tf ダンパーの「初動」を確認するため、No.594 に対し、前章と同じ動的アクチュエータを用いて非定常加振を行った。試験条件を表 2 に示す。非定常加振の入力波形は、補強設計時の時刻歴応答解析にて最大応答値を示した結果(取付諸元: 図 5, 解析波形: TAFT 1952 EW, 最大速度を 50cm/s に基準化)から抽出した 40tf ダンパーの応答変位波形とした。補強建物の応答値は、最大応答層間変形角: 1/254rad(2 階)、最大層間変位: 13.8mm、ブレース接点間変位(40tf ダンパーの必要最小ストローク): 10.9mm であり、許容ストローク ±40mm に対して十分に余裕がある。

表 2 非定常加振の試験条件 (No. 594)

加振名	加振条件・確認事項	
1 非定常加振	加振条件	補強設計時の時刻歴応答解析結果から抽出した 40tf ダンパーの時刻歴応答変位波形 継続時間: 50.0s, 最大変位: 10.2mm, 最大速度: 13.9cm/s
	確認事項	補強建物が設計で想定した強震を受けた時の「初動」を確認
2 低速1 (V05_1)	加振条件	振幅±40mm, 速度0.5cm/s一定, 2サイクルの三角波
	確認事項	非定常加振後の履歴形状と摩擦荷重を確認

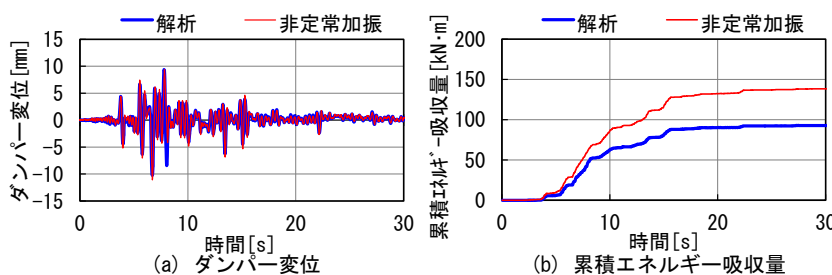


図 6 時刻歴波形 (非定常加振, 0~30s 拡大)

また、非定常加振後に低速 1(V05_1)の三角波を加振し、設置前の受入試験結果と比較する。

4.2 非定常加振結果

時刻歴波形を図 6 に、荷重-変位関係を図 7 に、それぞれ解析結果と比較して示す。図より、40tf ダンパーは、非定常加振時にも安定した完全弾塑性型の履歴を示していることがわかる。また、非定常加振による累積エネルギー吸収量は解析結果を約 1.5 倍上回った。

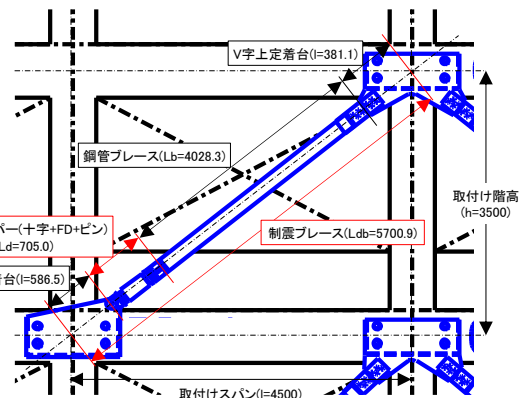


図 5 取付諸元

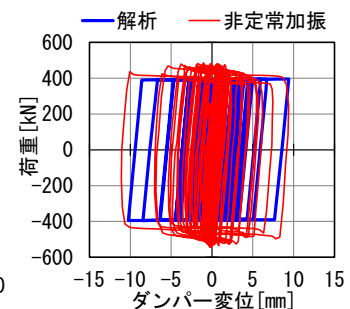


図 7 荷重-変位関係 (非定常加振)

4.3 非定常加振後の低速加振結果

荷重-変位関係を設置前の受入試験結果と比較して図 8 に示す。図より、設置して約 20 年後の初動として非定常加振を行った後も、履歴形状が設置前と殆ど変わっていないことがわかる。

5. 設置前と約 20 年後の摩擦荷重の比較

低速 1(V05_1)の結果を用いて、設置前と約 20 年後の摩擦荷重の関係を図 9 に示す。図中には既報 2),3)で示した結果も併せてプロットしている。設置前に対する約 20 年後の摩擦荷重の比率は、平均摩擦荷重 P_{ave} が 97.4%~104.8%、切片荷重 $P_{\delta=0}$ が 97.2%~106.4%の範囲であり、摩擦荷重の経年変化は±7%未満と非常に小さいことがわかった。

6. 試験後の分解状況と暴露試験

No.594 を分解して内部の状況を確認した結果、ダイスとロッドに錆の発生や変色は見られず、ダンパー内部に水分が浸入した形跡もなかった(写真 5)。また、No.594 は再度組み立て、分解していない No.564 とともに、茨城県つくば市内の屋外で暴露試験を開始した(写真 6)。その後の経年変化は、稿を改め報告したい。

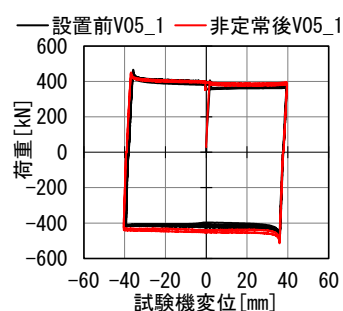


図 8 荷重-変位関係 (非定常加振後の低速加振)



写真 6 暴露状況 (2024. 12 開始)



写真 5 回収した 40tf ダンパーの分解状況 (No. 594)

7. まとめ

設置して約 20 年が経過した 40tf ダンパーに対し、設置前の受入試験と同じ条件の性能確認試験および非定常加振を実施した。得られた知見を以下に示す。

- ・約 20 年後の履歴形状は設置前とほぼ一致し、安定した完全弾塑性型の履歴を示した。
- ・非定常加振時も安定した完全弾塑性型の履歴を示し、エネルギー吸収量は補強設計時の解析結果を上回った。
- ・約 20 年後の摩擦荷重は、設置前に比べて±7%未満の変化であり、経年変化が非常に小さいことがわかった。

【参考文献】

- 1)北嶋圭二：外付け制震ブレースを用いた耐震補強工法と実施例、建築技術、No.652、pp.160-165、2004.5
- 2)上田、北嶋ほか：既存鉄筋コンクリート造建物の耐震補強に用いるリング機構式摩擦ダンパーに関する研究、日本建築学会構造系論文集、第 88 巻、第 810 号、pp.1273-1283、2023.8
- 3)上田、北嶋ほか：設置後 20 年が経過した外付け制震ブレースの「摩擦ダンパー」性能確認試験、日本建築学会大会、pp.893-894、2019.9

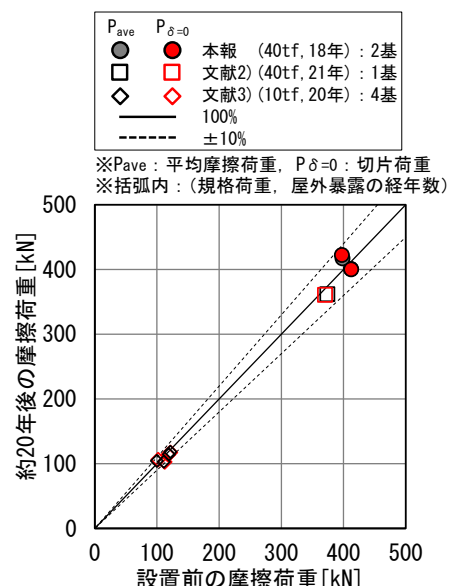


図 9 設置前と約 20 年後の摩擦荷重の比較