

1. 屋外に設置後 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 Confirmation of Friction Damper Performance of External Damping Brace 20 Years after Installation Outdoors

土田 堯章* 波田 雅也** 上田 英明* 北嶋 圭二***

—概要—

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。2019年12月現在で約100棟（摩擦ダンパー約3,800基）の適用実績がある。

今回、1998年に制震ブレース工法を適用した第一号物件（写真1）の解体に伴い、建物の外壁面に設置した摩擦ダンパーを全数回収し、その性能を確認する機会を得た。

本報では、屋外に設置された状態で20年が経過した摩擦ダンパーに対し、補強工事当時の受入検査と同じ条件で実施した性能確認試験の結果について報告する。

—技術的な特長—

制震ブレース工法を適用した第一号物件は、日本大学理工学部駿河台校舎5号館（以下、5号館）のRC造4階建て塔屋および屋上階段支持壁である。5号館に設置した摩擦ダンパーの規格荷重は98kN（10tf）である。

回収した摩擦ダンパーに対し、補強当時に実施した受入検査と同じ条件で性能確認試験を行った（写真2、図1）。その結果、履歴形状は補強当時とほぼ一致し、安定した完全弾塑性型の履歴形状を示した。また、補強当時の摩擦荷重に対する20年後の摩擦荷重の比率は、平均摩擦荷重で平均97.0%、切片荷重で平均97.6%であり、摩擦荷重の変化は約3%と非常に小さかった。

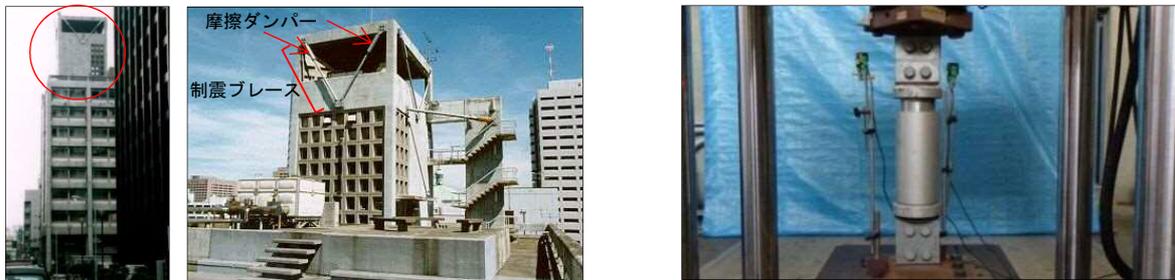


写真1 補強建物の外観

写真2 性能確認試験状況

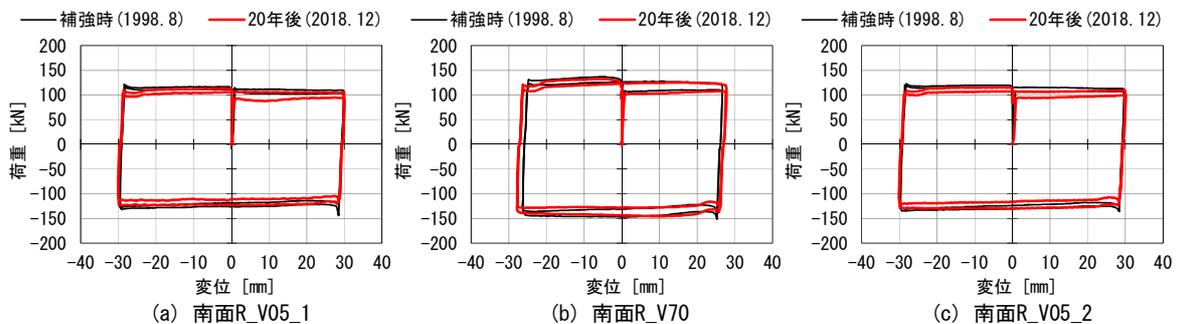


図1 南面Rの性能確認試験結果（荷重-変位関係）

※本報の内容の一部は、日本建築学会大会学術講演概要集（2019.09.pp.893-894）で発表済みである。

*技術研究所 構造研究部 建築構造研究室 **技術研究所 構造研究部 土木構造研究室
***日本大学理工学部 教授

屋外に設置後 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 Confirmation of Friction Damper Performance of External Damping Brace

20 years after Installation Outdoors

○土田 堯章* 波田 雅也* 上田 英明* 北嶋 圭二**
Takaaki TSUCHIDA Masaya HADA Hideaki AGETA Keiji KITAJIMA

ABSTRACT The authors have put in practical use a seismic control method that improves seismic performance while using a building by attaching a seismic control brace incorporating a friction damper to the outer wall of an existing building. This time, we collected the friction damper for which 20 years had passed while being installed outdoors, and conducted the performance confirmation test under the same conditions as at the time of reinforcement. As a result of the test, it was found that the change in performance was small and the friction damper had the same performance as at the time of reinforcement.

Keywords :制震補強、制震ブレース、摩擦ダンパー、経年変化

Response Control Retrofit, Damping Brace, Friction Damper, Aging Effect

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¹⁾²⁾。2019年12月現在で約100棟（摩擦ダンパー約3800基）の適用実績がある。集合住宅への適用例を写真1に示す。

摩擦ダンパーは、ダイス（輪）の内径より少し太いロッド（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け力が生じる仕組みを利用したダンパーである。摩擦ダンパーの機構を図1に示す。一定の荷重で摩擦面が摺動し、

エネルギー吸収力が高い完全弾塑性型の履歴特性を発揮する。

また、ダイスとロッドを鋼製の内筒および外筒で覆うとともに、シーリングやOリング等により防水・防塵機構を施すことでメンテナンスフリーの仕様としている。これまでに複合サイクル促進試験や大気暴露試験を実施しており、経年特性を確認している³⁾。

今回、1998年に制震ブレース工法を適用した第一号物件⁴⁾の解体に伴い、建物の外壁面に設置した摩擦ダンパーを回収し、その性能を確認する機会を得た⁵⁾。

本報では、屋外に設置された状態で20年が経過した摩擦ダンパーに対し、補強工事当時の受入検査と同じ条件で実施した性能確認試験の結果について報告する。



写真1 集合住宅への適用例

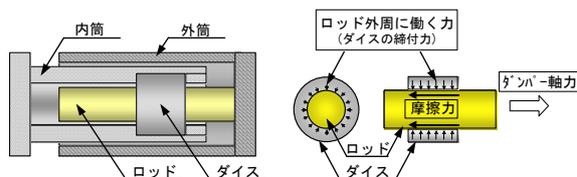


図1 摩擦ダンパーの機構

*技術研究所 構造研究部

**日本大学理工学部 教授

※本報の内容の一部は、日本建築学会大会学術講演梗概集（2019.09.pp.893-894）にて発表済みである。

2. 補強建物および設置した摩擦ダンパーの概要

2.1 補強建物概要

補強建物の外観を写真2に示す。1959年竣工の日本大学理工学部駿河台校舎5号館（以下、5号館）は地上9階、地下1階、塔屋4階建てのSRC造であり、補強対象は2×2スパン4階建てのRC造耐震壁付ラーメン構造の塔屋および高さ9.15mの屋上階段支持壁である。制震ブレース工法を採用した第一号物件として、1998年に補強工事が完了している。塔屋および屋上階段の平面図と立面図を図2に、塔屋4階の柱および階段支持壁の断面図を図3に示す。既存躯体のコンクリート強度は 17.7N/mm^2 、使用鉄筋はSR235 ($\sigma_y=294.2\text{N/mm}^2$)である。

制震ブレースは、塔屋4階の3構面に対してV字型に3セット（摩擦ダンパー6基）、階段支持壁と塔屋を繋ぐ水平ブレースとして1セット（摩擦ダンパー1基）設置した。塔屋のブレース鋼管は $\phi 114.3 \times 6.0$ 、水平ブレースの鋼管は $\phi 165.2 \times 7.1$ である。制震ブレースの取付方法は、塔屋R階および4階床梁にPC鋼棒で締付ける方法と

した。なお、5号館への補強効果と施工状況については、文献3で報告しているので参照されたい。

5号館は補強工事から20年を経て、「日本大学駿河台校舎キャンパス整備事業」に伴い、2018年10月から解体工事が開始された。筆者らは、屋外に設置後20年が経過した摩擦ダンパーの経年特性を確認できる貴重な機会であると考え、5号館の解体工事の際に摩擦ダンパーを7基すべて回収し、性能確認試験を実施した。回収した摩擦ダンパーを写真3に示す。

2.2 設置した摩擦ダンパーの概要

設置した摩擦ダンパーの規格荷重はいずれも98kN（10tf）であり、許容ストロークは補強設計時に想定した最大変位量の3倍以上（V型：振幅 $\pm 30\text{mm}$ 、階段用：振幅 $\pm 70\text{mm}$ ）としている。

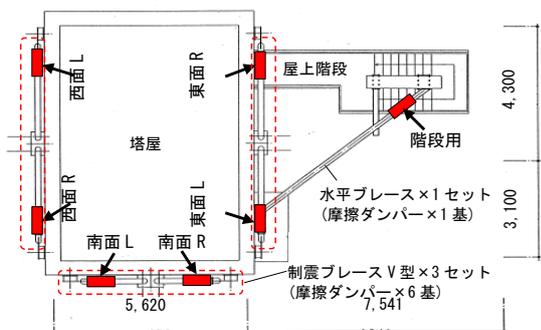
設置した摩擦ダンパーは、全数に対して受入試験を行い、設計で想定した性能を有することを確認している。また、荷重や剛性の検査値を用いて制震ブレースの荷重-変位関係を再評価し、補強設計時の解析モデルと一致することを確認するなど、徹底した品質管理を行っている。



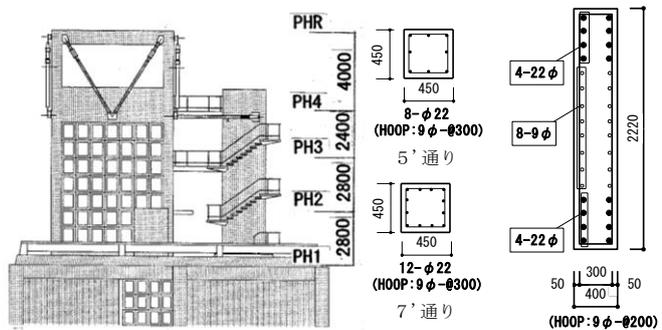
写真2 補強建物の外観



写真3 回収した摩擦ダンパー



(a) 塔屋4階平面図



(b) 立面図

(a) 塔屋柱 (b) 階段支持壁

図2 塔屋および屋上階段

図3 部材断面図

3. 20年後の性能確認試験

3.1 試験方法

回収した摩擦ダンパー7基のうち4基(東面 R、西面 R、南面 R、階段用) に対して、補強当時の受入試験と同じ条件で性能確認試験を実施した。なお、残りの3基(東面 L、西面 L、南面 L) については、性能確認試験を実施せず、屋外暴露試験を行うこととした。

性能確認試験の試験状況を写真4に、試験条件を表1に示す。試験方法は、動的アクチュエータによりダンパー軸方向に変位制御で加振する。入力波形は2サイクルの三角波(一定速度、正負交番)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回加振する。高速(V70)は実地震時に想定されるエネルギー吸収速度を三角波で再現した加振条件である。確認項目は、履歴形状および摩擦荷重(平均摩擦荷重 P_{ave} 、切片荷重 $P_{\delta=0}$)⁶⁾とする。

3.2 試験結果

a) 20年後の性能確認試験結果

設置から20年が経過した摩擦ダンパー(南面

R) に対して実施した性能確認試験結果(荷重-変位関係)を図4に示す。図中には、補強当時の受入試験結果も合わせて示している。図より、補強当時と20年後で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(V70)時も安定した完全弾塑性型の履歴形状を示し、さらに高速後の低速2回目(V05_2)でも低速1回目(V05_1)と変わらぬ性能を発揮していることがわかる。

b) 20年後の摩擦荷重の変化

20年間屋外に設置されていた後の「初動」に着目し、低速加振1回目(V05_1)の試験結果について、補強当時と20年後を比較・検討する。図5(a)~(c)には、東面 R、西面 R および階段用の摩擦ダンパー3基について、低速1(V05_1)で得られた荷重-変位関係を示している。図4(a)および図5(a)~(c)より、屋外に設置して20年後に初めて摺動させたにもかかわらず、いずれの摩擦ダンパーとも、履歴形状が20年前の補強当時とほぼ一致し、安定した完全弾塑性型の履歴を示していることが確認できる。



写真4 性能確認試験状況

表1 性能確認試験条件

加振名	加振条件・確認事項	
低速1 (V05_1)	加振条件	振幅±30mm(階段用±70mm)、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
高速 (V70)	加振条件	振幅±30mm(階段用±70mm)、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速度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
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

※性能確認試験条件は20年前の受入検査と同じ条件であり、低速1・高速1・低速2の順で計3回加振する
 ※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る
 ※摩擦荷重は、各加振の2サイクル目で評価する

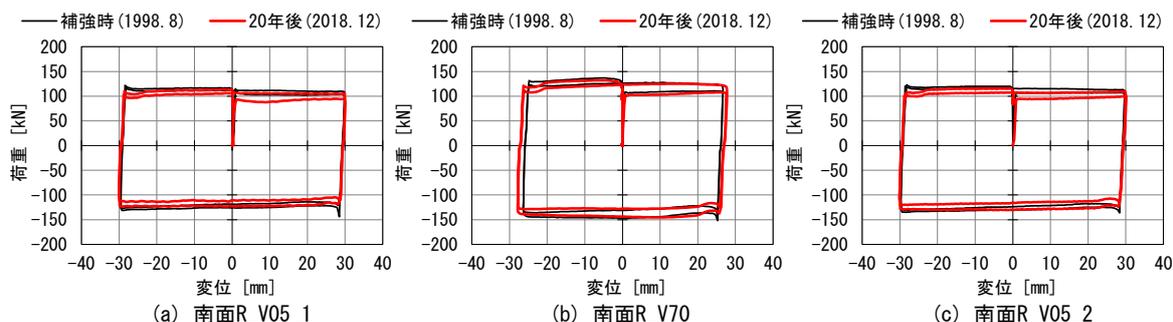


図4 南面Rの性能確認試験結果(荷重-変位関係)

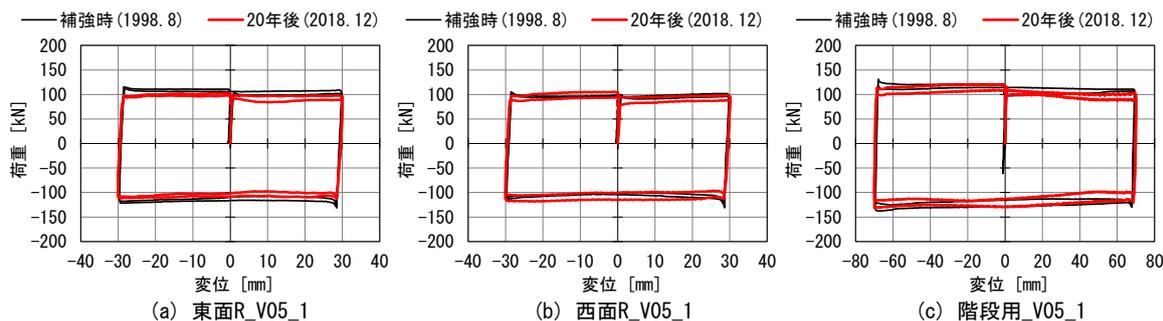


図5 補強当時と20年後の低速1回目(初動)の比較(荷重-変位関係)

表2 補強当時と20年後の摩擦荷重の一覧

試験体	試験日	加振名	平均摩擦荷重 P_{ave} [kN]	切片荷重 $P_{\delta=0}$ [kN]		
				+	-	平均
東面R	1998.08 (補強時)	V05_1	112.3	105.9	-116.2	111.1
	2018.12 (20年後)	V05_1	102.4	97.7	-108.3	103.0
	20年後/補強時		91.2%	92.2%	93.2%	92.7%
西面R	1998.08 (補強時)	V05_1	101.8	95.1	-104.4	99.8
	2018.12 (20年後)	V05_1	106.0	94.4	-114.3	104.3
	20年後/補強時		104.2%	99.2%	109.4%	104.5%
南面R	1998.08 (補強時)	V05_1	117.7	111.8	-126.5	119.2
	2018.12 (20年後)	V05_1	113.5	105.8	-122.9	114.4
	20年後/補強時		96.4%	94.6%	97.1%	96.0%
階段用	1998.08 (補強時)	V05_1	121.7	114.2	-129.0	121.6
	2018.12 (20年後)	V05_1	117.1	107.7	-128.4	118.1
	20年後/補強時		96.2%	94.3%	99.6%	97.1%

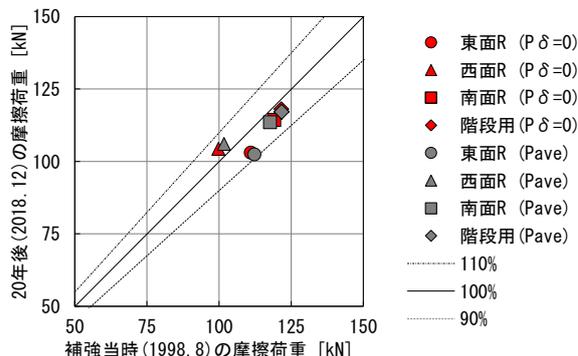


図6 補強当時と20年後の摩擦荷重の相関

また、補強当時と20年後の摩擦荷重の一覧を表2に、相関を図6に示す。補強当時の摩擦荷重に対する20年後の摩擦荷重の比率は、平均摩擦荷重 P_{ave} で91.2%~104.2% (平均97.0%)、切片荷重 $P_{\delta=0}$ で92.2%~109.4% (平均97.6%) の範囲であり、摩擦荷重の変化は非常に小さかった。

4. まとめ

設置後20年が経過した摩擦ダンパーに対して、補強当時の受入試験と同じ条件で性能確認試験を実施し、ダンパーの信頼性向上に資する貴重なデータを取得した。得られた知見を以下に示す。

- ・摩擦ダンパーの20年後の履歴形状は、補強当時とほぼ一致し、安定した完全弾塑性型の履歴を示した。
- ・補強当時の摩擦荷重に対する20年後の摩擦荷重の比率は平均摩擦荷重で平均97.0%、切片荷重で平均97.6%であり、摩擦荷重の変化は約3%と非常に小さかった。

[参考文献]

- 1)北嶋：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 第652号、pp.160~165、2004.5
- 2)上田、北嶋：制震ブレースを用いた耐震補強工法、青木あすなろ建設技術研究所報 第1号、2016.3
- 3)北嶋、上田ほか：ダンパーを用いた既存RC造建物の耐震補強法に関する研究(その17 摩擦ダンパーの荷重と形状の関係および経年特性)、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.147~148、1999.9
- 4)北嶋、上田ほか：ダンパーを用いた既存RC造建物の耐震補強法に関する研究(その21 日大5号館塔屋の補強工事への適用)、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.155~156、1999.9
- 5)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、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.893~894、2019.7
- 6)日本免震構造協会：パッシブ制震構造設計・施工マニュアル、第3版、2013.11