

制震補強建物の耐震性能評価法に関する研究

その4 9階建て粘性系ダンパー補強建物に対する検討とエネルギー吸収時刻歴による評価結果との比較・検討

Study on Seismic Capacity Evaluation Method of Buildings Retrofitted by Energy Dissipation System

Part4 Study for a 9-Story Building Retrofitted by Viscous Damper and Comparison Examination with Evaluation Results by Time History of Energy Absorption

○天羽 祥太<sup>1</sup>, 北嶋 圭二<sup>2</sup>, 中西 三和<sup>2</sup>, 安達 洋<sup>3</sup>

\*Shota Amo<sup>1</sup>, Keiji Kitajima<sup>2</sup>, Mitsukazu Nakanishi<sup>2</sup>, Hiromi Adachi<sup>3</sup>

This paper shows confirmation of adaptability for a 9-story building retrofitted by viscous damper and comparison examination with evaluation results by proposal technique and by time history of energy absorption.

1. はじめに

本研究は、定常応答解析を実施して制震補強建物の保有減衰性能を評価する手法(以下、提案手法)に関するものである。前報(その3)では、履歴系ダンパーによる9階建て制震補強建物に対する提案手法の適応性について検討した。本報(その4)では、前報と同じ9階建て建物を粘性系ダンパーで制震補強し、その適用性について検討する。さらに、提案手法による評価結果とエネルギー吸収時刻歴による評価結果(平均等価減衰: substitute damping)<sup>1)</sup>を比較・検討し、両評価手法の違いを明確にする。

2. 粘性系ダンパー補強建物に対する検討

2.1 建物および解析概要 検討対象建物は、前報(その3)で履歴系ダンパーにより制震補強検討した9階建て高層集合住宅である。本報では、同じ建物を粘性系ダンパー(オイルダンパー)により制震補強し、提案手法の適用性について検討する。解析は、平面フレーム弾塑性解析プログラムを用いて行った。主架構の履歴特性は、修正武田モデルを採用した。Table1に建物の各階重量および総重量を、Fig.1に解析モデルを示す。

Table1 Weight of building

階	各階重量 mi [kN]	総重量 Σ mi [kN]
9	4980	4980
8	3573	8552
7	3599	12151
6	3633	15785
5	3746	19531
4	3871	23402
3	3955	27357
2	4539	31895
1	4662	36557

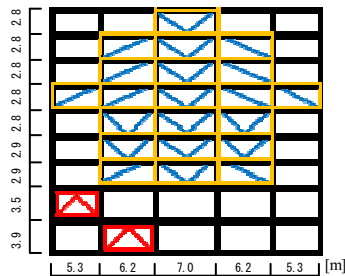


Fig.1 Analysis model of 9-story building

Table2 Parameter of viscoelastic damper

階	履歴系ダンパー			粘性系ダンパー				
	降伏耐力 [kN]	降伏変位 [cm]	初期剛性 [kN/cm]	リリーフ荷重 [kN]	1次減衰係数 [kN/(cm/sec)]	初期剛性 [kN/cm]	2次減衰係数 [kN/(cm/sec)]	リリーフ速度 [cm/sec]
9	302	0.21	1461	302	101	1461	1.2	3.0
8	306	0.21	1494	306	102	1494	1.2	3.0
7	306	0.21	1494	306	102	1494	1.2	3.0
6	306	0.20	1495	306	102	1495	1.2	3.0
5	302	0.21	1428	302	101	1428	1.2	3.0
4	302	0.21	1429	302	101	1429	1.2	3.0
3	312	0.21	1493	312	104	1493	1.2	3.0

粘性系ダンパー補強建物は、制震ダンパーとしてリリーフ弁付のオイルダンパーを想定し、履歴系ダンパーとほぼ同等の性能を持たせるために、履歴系ダンパーの降伏耐力と同じ荷重のリリーフ荷重を設定した。また、初期剛性も履歴系ダンパーと同じ値とした。解析モデルは、Maxwellモデルを採用した。制震ダンパーの諸元をTable2に示す。

2.2 保有減衰性能の評価結果 9層平面フレームモデルに対して定常加速度波形を入力する定常応答解析を実施し、解析結果を等価1自由度系に縮約して粘性系ダンパー補強建物の保有減衰性能を評価する<sup>2)</sup>。Fig.2に定常応答解析の1自由度系縮約結果の履歴ループを、Table3に各々履歴面積から算定した保有減衰性能を、それぞれ基本建物、履歴系ダンパー補強建物と併せて示す。なお、本節の定常応答解析は、前報<sup>2)</sup>で提案した等価剛性比例型(5%)を用いて解析を実施している。

算定の結果、粘性系ダンパー補強建物の保有減衰性能は24%であり、その内訳が構造減衰5%、主体構造の損傷による履歴減衰(損傷減衰)が6%、ダンパーによる付加減衰が13%であるという結果が得られた。

これより、静的増分解析を行うことができない速度依存型の粘性系ダンパー補強建物であっても、履歴系ダンパー補強建物と同じ手法で保有減衰性能が評価可

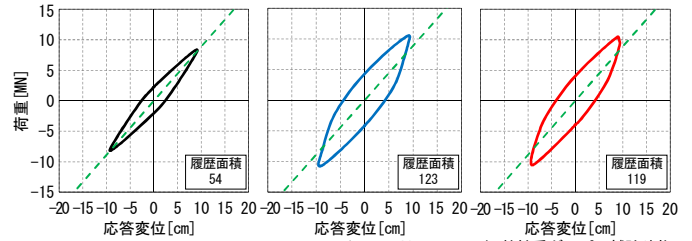


Fig.2 Result of steady-state response analysis

Table3 Result of damping capacity [%]

	保有減衰性能	構造減衰性能	損傷減衰性能	付加減衰性能
基本建物	11	5	6	
履歴系ダンパー補強建物	25	5	6	14
粘性系ダンパー補強建物	24	5	6	13

1 : 日大理工・院(前)・海建 Graduate Student, Nihon Univ. 2 : 日大理工・教員・海建 Prof., Nihon Univ., Dr. Eng.

3 : 日大・名誉教授 Prof. Emeritus, Nihon Univ., Dr. Eng.

能であること、履歴系ダンパーの降伏耐力と粘性系ダンパーのリリーフ荷重が同じ場合には、概ね同等の付加減衰性能と評価されることが確認された。

**2.3 時刻歴地震応答解析による確認** 前報(その3)<sup>2)</sup>に示した検討用地震波 6 波を用いて、9 層平面フレームモデルの時刻歴地震応答解析を行い、粘性系ダンパー補強建物の応答値を確認する。履歴系ダンパーおよび粘性系ダンパー補強建物の最大応答層間変形角と最大応答相対変位を Fig.3 に示す。2.2 節にて同等の付加減衰性能と評価された両補強建物の応答値は、ほぼ同じ値を示していることより、粘性系ダンパーに対しても提案手法による保有減衰性能の評価結果は概ね妥当であることが確認できた。

**3. エネルギー吸収時刻歴による評価結果との比較**

建物の減衰性能の評価方法として、一般的には時刻歴応答解析結果のエネルギー吸収時刻歴(Fig.4)から評価する方法(平均等価減衰: substitute damping)<sup>1)</sup>が用いられケースが多い。しかし、この方法は、制震補強建物に対する評価法としての適用性について十分な検討がなされていないことなどが指摘されている。

そこで本章では、提案手法による評価結果とエネルギー吸収時刻歴による評価結果を比較・検討することで、両者の特徴を把握し、違いについて明確にする。

**3.1 エネルギー吸収時刻歴による評価結果**

Fig.4 に地震応答解析で得られたエネルギー吸収時刻歴の一例(ELCENTRO 入力時)を、Table5 に各入力地震動のエネルギー吸収時刻歴より算出した、建物全体への総入力エネルギー(E)、構造減衰消費エネルギー(E<sub>h</sub>)、構造体損傷エネルギー(E<sub>s</sub>)、制震ダンパー吸収エネルギー(E<sub>d</sub>)各々の等価粘性減衰定数換算値を一覧して示す。E、E<sub>s</sub>、E<sub>d</sub> 各々の減衰定数換算値(h(E)、h(E<sub>s</sub>)、h(E<sub>d</sub>))は、E<sub>h</sub> が減衰定数 5%での減衰消費エネルギーであることより、E/E<sub>h</sub>、E<sub>s</sub>/E<sub>h</sub>、E<sub>d</sub>/E<sub>h</sub> の比率より求めている。

**3.2 両手法による評価結果の比較・検討**

提案手法による評価結果(Table3)とエネルギー吸収時刻歴による評価結果(Table5)を比較・検討する。安全限界変形時の減衰性能が評価される提案手法による評価では、同等の性能を持つ 2 種類の制震ダンパー(履歴系ダンパー(付加減衰 14%)、粘性系ダンパー(付加減衰 13%))で補強した建物は、概ね同様の保有減衰性能(それぞれ 25%、24%)であるのに対し、小振幅から大振幅までの地震継続時間全域での減衰性能が評価されるエネルギー吸収時刻歴による評価では、総入力エネルギーの等価粘性減衰定数換算値(h(E))が、履歴系ダンパー補強建物(平均 12%)に比べて、粘性系ダンパー補強建物(平均 16%)

の方が高くなる特徴があることを確認した。これは、履歴系ダンパー(h(E<sub>d</sub>)の平均値: 5%)は小振幅時にはエネルギーを吸収しないが、粘性系ダンパー(h(E<sub>d</sub>)の平均値: 8%)は小振幅時からエネルギーを吸収するためであると考えられる。すなわち、エネルギー吸収時刻歴による評価結果は、損傷減衰や履歴系ダンパーなどの変位依存型の履歴減衰に比べ、構造減衰や粘性系ダンパーなどの速度依存型の粘性減衰の方が高く評価されるという特徴があることが確認された。

**4. まとめ**

以上、本報(その 4)では提案手法が 9 階建て粘性系ダンパー補強建物に対しても適応可能であることを確認し、提案手法とエネルギー吸収時刻歴による評価法の違いを明確にすることで、両手法の特徴を把握した。

参考文献 [1] 柴田明徳:「最新 耐震構造解析 第2版」, 森山出版, 2007.6 [2] 北嶋圭二ほか:「制震補強建物の耐震性能評価法に関する研究(その 1-3)」, 日本建築学会大会学術講演概要集 C-2, pp405-410, 2013.8

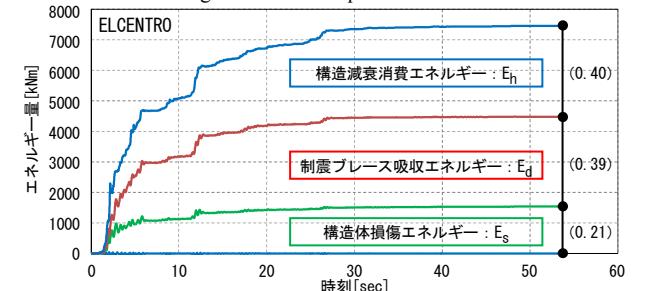
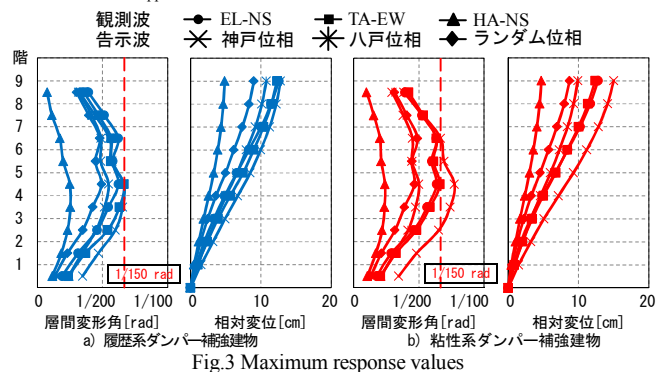


Table 5 Equivalent viscous damping factor [%]

	観測波	告示波	基本建物				履歴系ダンパー補強建物				粘性系ダンパー補強建物			
			h(E)	h(E <sub>h</sub> )	h(E <sub>s</sub> )	h(E <sub>d</sub> )	h(E)	h(E <sub>h</sub> )	h(E <sub>s</sub> )	h(E <sub>d</sub> )	h(E)	h(E <sub>h</sub> )	h(E <sub>s</sub> )	h(E <sub>d</sub> )
観測波	ELCENTRO	TAFT	9	5	4	13	5	3	5	15	5	3	7	
告示波	HACHINOHE	八戸位相	10	5	5	12	5	3	4	14	5	3	6	
	神戸位相	ランダム位相	9	5	4	13	5	3	5	19	5	4	10	
平均	平均	平均	9	5	4	12	5	3	5	16	5	3	8	