

既存 RC 造建物の制震補強設計法に関する研究
(その 2 補強設計スタディーと補強設計法の有効性の確認)

Seismic Retrofit Design Method of Energy Dissipation System for Existing RC Buildings

Part 2 Retrofit Design Study and Confirmation of Efficacy

○歌田航己³, 北嶋圭二¹, 天羽祥太², 中西三和¹, 安達洋⁴

* Kouki Utada³, Keiji Kitajima¹, Shota Amo², Mitsukazu Nakanishi¹, Hiromi Adachi⁴

Abstract: This paper describes the retrofit design study and confirmation of efficacy.

1. はじめに

本報(その 2)では, 1 自由度系における制震ダンパー必要量を用いて, 多層骨組各層の制震ダンパー量を算定する. さらに, 時刻歴応答解析による応答変位および定常応答解析による保有減衰性能を確認することにより提案する補強設計法の有効性を確認する.

2. 補強設計スタディー

2.1 必要減衰性能および必要付加減衰量の算定

安全限界時の必要減衰性能は, 検討用地震動 6 波に対し安全限界周期(1.02sec)の 1 質点弾性応答解析を行い, 応答変位が安全限界変位(9.7cm)となるときの減衰定数の大きさとして評価した. 必要減衰性能の評価結果を一覧にして Table1 に示す. 必要減衰性能は, 入力地震動の違いによりばらつきが大きい, その最大値は 27%(告示波(神戸位相))であった. 本検討では, この最大値を必要減衰性能の値として採用し, 27%から構造減衰 5%を差し引いた 22%を制震ダンパーによる必要付加減衰量(h_d)と設定した.

2.2 ダンパー必要量と必要ベースシア係数の算定

完全弾塑性型の履歴特性を有する履歴系制震ダンパーの付加減衰量(h_d)は, 制震ダンパー負担せん断力(Q_d)と主架構負担せん断力(Q_f)の比(Q_d/Q_f)から式(1)により算定できる⁴⁾. この(Q_d/Q_f)が 1 自由度系における制震ダンパー必要量となる. (Q_d/Q_f)は, 式(1)を変形した式(2)より算定し, 補強建物の必要ベースシア係数(${}_R C_B$)は, 式(3)により算定する. 算定の結果, (Q_d/Q_f)が 0.49 となり, ${}_R C_B$ は 0.38 であった(無補強建物の安全限界時ベースシア係数 C_B は 0.25). ここで, 制震ダンパー塑性率(μ_d)は, 一般的な履歴系ダンパーを想定し 8 とした.

2.3 多層骨組各層の制震ダンパー量の算定

制震補強建物の応答層間変形角が各層で一様になるように配慮して, 多層骨組各層の制震ダンパー量(Q_{di})を算定する. 制震補強建物に対する静的増分解析において,

Table1 Demand damping performance [%]

	観測波			告示波			平均
	EL CENTRO	TAFT	HACHINOHE	八戸位相	神戸位相	ランダム位相	
減衰定数	17	12	14	25	27	15	18

補強建物の必要ベースシア係数(${}_R C_B$)に到達するステップで各層同時に設計クライテリアである層間変形角 1/150rad に到達するように各層の制震ダンパーを設定すれば, 地震応答解析時に各層の応答層間変形角はほぼ一樣になる⁵⁾. この考え方に基づいて, 式(4)により補強建物の各層の層せん断力を求め, 層間変形角 1/150rad 到達時の主架構(無補強建物)の層せん断力を差し引くことにより, 各層の必要制震ダンパー量を算定する(式(5)). 算定結果を Table2 に, 制震補強建物の必要ベースシア係数時の層せん断力と, 主架構および制震ダンパーの負担層せん断力を Fig.1 に示す.

$$h_d = 0.8 \times \frac{2}{\pi} \left(1 - \frac{1}{\mu_d} \right) \times \frac{Q_d}{Q_f} \quad (1) \quad \frac{Q_d}{Q_f} = \frac{h_d}{0.8 \times \frac{2}{\pi} \left(1 - \frac{1}{\mu_d} \right)} \quad (2)$$

$${}_R C_B = \left(1 + \frac{Q_d}{Q_f} \right) \times C_B \quad (3)$$

h_d : 必要付加減衰量
 μ_d : 制震ダンパー塑性率(=8)
 Q_d/Q_f : 1 自由度系における制震ダンパー必要量
 ${}_R C_B$: 補強建物の必要ベースシア係数
 C_B : 無補強建物の安全限界時ベースシア係数

$$Q_{fi} + Q_{di} = W_i \times {}_R C_B \times A_i \quad (4) \quad Q_{di} = (Q_{fi} + Q_{di}) - Q_{fi} \quad (5)$$

Q_{fi} : 1/150rad 到達時の主架構の負担層せん断力

Q_{di} : 制震ダンパーの負担層せん断力

W_i : i 層より上部の総重量

A_i : 地震層せん断力係数の分布係数

Table2 Result of calculation on damper quantity

層	制震補強建物 層せん断力 $Q_{fi} + Q_{di}$ [kN]	主架構 負担せん断力 Q_{fi} [kN]	制震ダンパー 負担せん断力 Q_{di} [kN]
9	3929	2841	1088
8	5793	3984	1809
7	7441	5012	2429
6	8925	6006	2919
5	10272	7040	3232
4	11477	8252	3225
3	12539	9443	3097
2	13565	10663	2902
1	14409	12153	2256

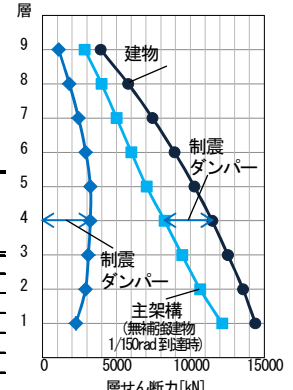


Fig.1 Story-shear force distributions

Table3 Parameter of damper

層	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・sec/cm]	初期剛性 [kN/cm]	2次減衰係数 [kN・sec/cm]	リリーフ速度 [cm/sec]
9	117	0.24	492	117	39.05	492	0.47	3.0
8	195	0.24	820	195	65.09	820	0.78	3.0
7	266	0.24	1116	266	88.57	1116	1.06	3.0
6	312	0.24	1313	312	104.14	1313	1.25	3.0
5	352	0.25	1403	352	117.23	1403	1.41	3.0
4	345	0.25	1389	345	115.13	1389	1.38	3.0
3	335	0.25	1326	335	111.83	1326	1.34	3.0
2	311	0.25	1221	311	103.74	1221	1.24	3.0
1	243	0.25	953	243	80.91	953	0.97	3.0

1: 日大理工・教員・海建 2: 大成建設 3: 日大理工・学部・海建 4: 日大名誉教授

2.4 各層に取り付ける制震部材の性能の決定

各層の制震部材の設置本数(10本)と取付角度を考慮し、各層の制震ダンパーの性能を決定する。実施設計では、各層に配置するダンパー本数も調整するが、ここでは全スパンに配置することとしダンパー性能を決定した。なお、粘性系ダンパーを採用する場合には、この段階でリリーフ荷重が履歴系ダンパーの降伏荷重と同じになるようなオイルダンパーを採用することで粘性系ダンパーの性能が決定できる。決定した制震ダンパーの諸元(履歴系ダンパー採用時および粘性系ダンパー採用時)を Table3 に示す。

2.5 制震補強建物の静的増分解析

Fig.2 には、履歴系ダンパーを採用時の制震補強建物の静的増分解析結果(各層の層せん断力-層間変位関係)を示す。各層の層間変形角が概ね 1/150rad で一様になっていることが確認できる。

2.6 地震応答解析による応答値の確認

前報(その 1)の 3.2 節に示した検討用地震波 6 波を用いて、9 階建て平面フレームモデルの時刻歴地震応答解析を行い、各建物の応答値を確認する。Fig.3 に無補強建物、履歴系ダンパー補強建物および粘性系ダンパー補強建物の地震応答解析結果(最大層間変形角)を示す。無補強建物では、多くの層で安全限界の層間変形角 1/150rad より大きな応答が生じているのに対し、制震補強建物では各層とも設計クライテリアを満足し、かつ概ね各層の層間変形角が一様になっていることが確認できる。すなわち、本制震補強設計法を用いれば試行錯誤を繰り返すことなく、各層の制震ダンパー量が算定可能であることが確認できたといえる。

3. 定常応答解析による保有減衰性能の確認

設定した必要付加減衰量が確保されていることを確認するために、無補強建物および制震補強設計建物(履歴系ダンパー補強建物、粘性系ダンパー補強建物)の保有減衰性能を評価する。保有減衰性能は、平面フレームモデルに対して定常応答解析を行い、応答解析結果を 1 自由度系に縮約して安全限界変位レベルでの定常ループを抽出し、1 ループの履歴面積より等価粘性減衰定数換算値を算定して評価する¹⁾。Fig.4 に 1 自由度系に縮約した定常応答解析結果を、Table4 に各々の履歴面積から算定した等価粘性減衰定数換算値(保有減衰性能)を一覧にして示す。算定の結果、制震補強建物の付加減衰性能は、履歴系ダンパー補強時 22%、粘性系ダンパー補強時 27%となっており、2.1 節で算定した必要付加減衰量(h_d) 22%が確保されていることが確認できる。なお、本研究での定常応答解析は、等価剛性比例型¹⁾ ($h=5\%$)を用いて解析を実施し

ている。

すなわちこの結果は、等価線化法に基づき無補強建物の縮約 1 自由度系で必要付加減衰量を算定し、その減衰量を満足するように多層骨組の各層に制震ダンパーを配置した制震補強建物が、設定した必要付加減衰量を確保していることを示しており、提案する補強設計法の有効性を裏付ける結果であるといえる。

4. まとめ

制震補強建物(履歴系ダンパー補強建物および粘性系ダンパー補強建物)の補強設計法を提案し、補強設計スタンダードを通して、その有効性を確認した。

[参考文献]

- 1) 天羽祥太ほか: 定常応答解析による制震補強建物の保有減衰性能の評価法の提案, コンクリート工学年次論文集, Vol.36, No.2, pp.823-828, 2014.7
- 2) 構造計画研究所: RESP-F, RESP-F3, RESP-F3Dマニュアル
- 3) 国土交通省住宅局建築指導課ほか: 2007年度版 建築物の構造関係技術基準解説書, 2007.8
- 4) 北嶋圭二ほか: 制震化されたRC造建物の耐震性能評価法に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.2, pp.889-894, 2006
- 5) 笠井和彦ほか: 弾塑性ダンパーの剛性・降伏力・塑性率の調整による制震構造の応答制御手法, 日本建築学会構造系論文集, 第595号, pp.45-55, 2005.9

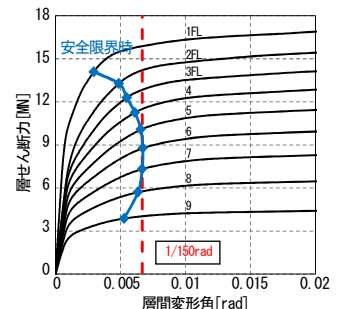


Fig.2 Result of pushover analysis on retrofitted building

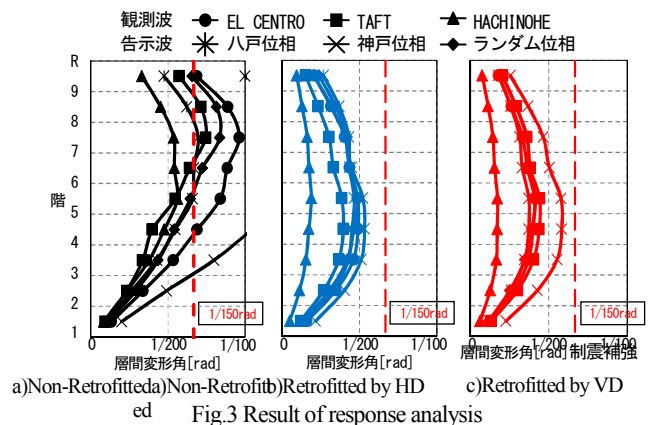


Fig.3 Result of response analysis

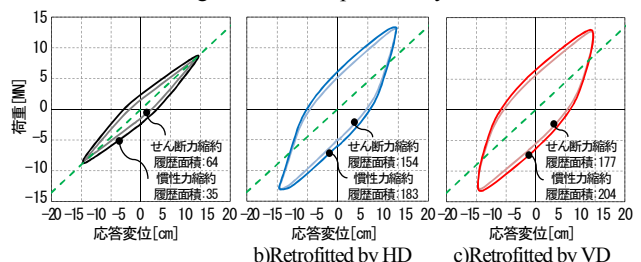


Fig.4 Result of steady-state response analysis

Table4 Capacity damping performance [%]

	保有減衰	構造減衰	損傷減衰	付加減衰
無補強建物	12	5	7	22
履歴系ダンパー補強建物	34	5	7	27
粘性系ダンパー補強建物	39	5	7	27