

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	長周期地震動をうける超高層建物のオイルダンパーによる制振補強効果
Title(English)	EFFECTS OF RETROFIT BY USING OIL DAMPERS IN HIGH-RISE BUILDING SUBJECTED TO LONG-PERIOD GROUND MOTIONS
著者(和文)	佐藤大樹, 長江拓也, 北村春幸, 梶原浩一
Authors(English)	Daiki Sato, Takuya Nagae, Haruyuki Kitamura, Koichi Kajiwara
出典(和文)	日本建築学会技術報告集, Vol. 24, No. 58, pp. 969-974
Citation(English)	AIJ Journal of Technology and Design, Vol. 24, No. 58, pp. 969-974
発行日 / Pub. date	2018, 10
権利情報	日本建築学会

長周期地震動をうける超高層建物のオイルダンパーによる制振補強効果

EFFECTS OF RETROFIT BY USING OIL DAMPERS IN HIGH-RISE BUILDING SUBJECTED TO LONG-PERIOD GROUND MOTIONS

佐藤大樹 — * 1 長江拓也 — * 2
北村春幸 — * 3 梶原浩一 — * 4

Daiki SATO — * 1 Takuya NAGAE — * 2
Haruyuki KITAMURA — * 3 Koichi KAJIWARA — * 4

キーワード：
オイルダンパー, 超高層建物, 長周期地震動, 振動台実験

Keywords:
Oil damper, High-rise building, Long-period ground motion, Shaking table test

A series of shaking table tests by using E-defense on a high-rise building are conducted in order to assess effects of retrofit by using oil dampers. The specimen consists of a four-story steel frame and an upper substitute layers made of concrete slabs and rubber bearings. Oil dampers are installed to the steel frame. Long-period ground motions and a design ground motion are used for the tests. Total input energies of the specimen and absorbed energy are estimated. The deformations of specimen are reduced especially in the portion having dampers. In the moment frame, the energy is mostly dissipated in oil dampers.

1. はじめに

国立研究開発法人防災科学技術研究所が有する実大三次元震動破壊実験施設 (E - ディフェンス) において, 超高層建物を対象とした大規模な振動台実験が実施されている¹⁾³⁾。そこでは, 実験装置で上層部分を近似したサブストラクチャ実験手法を用いて, 鋼構造骨組に超高層建物の地震応答を与え, 骨組の耐震性を検証している。

巨大海溝型の地震動による長周期地震動が超高層建物に作用した場合, 超高層建物は数分間にわたって共振し, 大きな地震エネルギーが建物に入力される。このため, 骨組は累積塑性変形による損傷を被る可能性が高い⁴⁾。このような地震動を踏まえて, 超高層建物の耐震性能を向上させるためには, 制振ダンパーによって骨組のエネルギー吸収量を軽減する制振補強が有効である⁵⁾。本報では一連の実験のうち, オイルダンパーを骨組内に組み込んだ内容を報告する。実際の鋼構造骨組内において, 長周期地震動を含む複数の地震動を入力した加振実験について, 等価減衰や繰返しによる骨組の累積損傷 (エネルギー) に着目した検討を行うことで, オイルダンパーによる制振補強効果を確認する。さらに, 実験終了後に取り外したオイルダンパーに対して実施された, 同様の変位履歴に基づく単体試験結果と比較しつつ, ダンパー性能を検証する。

2. 実験概要

図1に実験状況と名称を示す。試験体の上層部分は5層分の重量をコンクリート版3枚それぞれに集約し, 「単体積層ゴム6基」と「積層ゴムと鋼製U型ダンパーを直列に結合した塑性化装置1基」によって5層分の非線形復元力特性を持たせた。これより, 下層の骨組部分に長周期地震動を受ける超高層建物の応答変形を与える²⁾³⁾。軸組図および骨組の基準階伏図を図2(a), (b)に示す。また, 骨組部分の柱および

梁断面を表1にまとめて示す。なお, 本報では試験体の長辺方向 (図2(b)) を検討の対象としている。図3に示すように, 下層の骨組内部にオイルダンパーを設置した。また, 本報では断りの無い限りダンパーを設置していない状態での試験体²⁾³⁾を耐震試験体 (図1(a)) と呼び, オイルダンパーを設置した試験体を制振試験体 (図1(b)) と呼ぶ。

本研究では既存超高層建物の制振補強の更なる普及を目的としているため, ダンパーを設置するガセットプレートは既存の床スラブコンクリートのはつり工事を要しない極力簡易な方法を採用した⁶⁾。本試験体では板厚16mmのガセットプレートを梁および柱に現場溶接し, そこにダンパーをボルト接合した。オイルダンパーを設置した実験の前に, 同じ試験体を用いて鋼製ダンパーを設置した状態での振動台実験を行った。鋼製ダンパーについては, 本試験体で想定した21層フレームモデルを用いた時刻歴応答解析結果⁵⁾を参考にして, 鋼製ダンパーの降伏荷重を決定した⁶⁾。ダンパーを設置する際のガセットプレートは鋼製ダンパーとオイルダンパーで同じものを利用する。そのため, オイルダンパーのリリーフ荷重も, 鋼製ダンパーの降伏荷重



(a) 耐震試験体 (b) 制振試験体
図1 E - ディフェンスによる実験状況と試験体名称

¹⁾ 東京工業大学未来産業技術研究所 准教授・博士 (工学)
(〒226-8503 神奈川県横浜市緑区長津田町4259)

²⁾ 名古屋大学減災連携研究センター 准教授・博士 (工学)

³⁾ 東京理科大学理工学部建築学科 教授・博士 (工学)

⁴⁾ 国立研究開発法人防災科学技術研究所 部門長・博士 (工学)

¹⁾ Assoc. Prof., FIRST, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

²⁾ Assoc. Prof., DMRC, Nagoya Univ., Dr. Eng.

³⁾ Prof., Dept. of Architecture, Tokyo Univ. of Science, Dr. Eng.

⁴⁾ Director, Natl. Res. Inst. for Earth Science and Disaster Prevention, Dr. Eng.

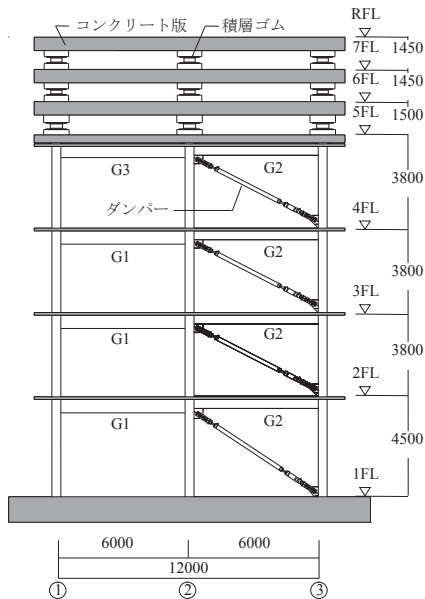
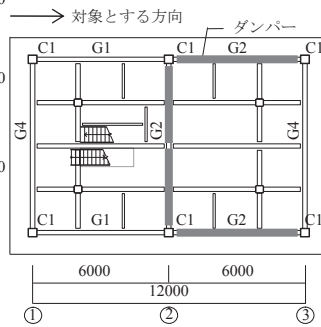


表 1 骨組部分の部材断面

柱	C1	□-400x400x25
梁	G1	H-600x200x8x19
	G2	H-400x200x8x13
	G3	H-500x200x9x16
	G4	H-800x199x10x15



(a) 対象とする方向に対する立面図

(b) 骨組の基準階伏図

図 2 試験体図 (単位: mm)

表 2 オイルダンパー諸元

層	一次粘性係数 (kN/(m/s))	二次粘性減衰比	リーフ荷重 (kN)	リーフ速度 (m/s)	ダンパー部圧縮剛性 (kN/m)	ブレース部剛性 (kN/m)
F-4th F	12500	0.068	400	0.032	140000	309846
F-3rd F	12500	0.068	400	0.032	140000	309846
F-2nd F	12500	0.068	400	0.032	140000	309846
F-1st F	12500	0.068	400	0.032	140000	288933

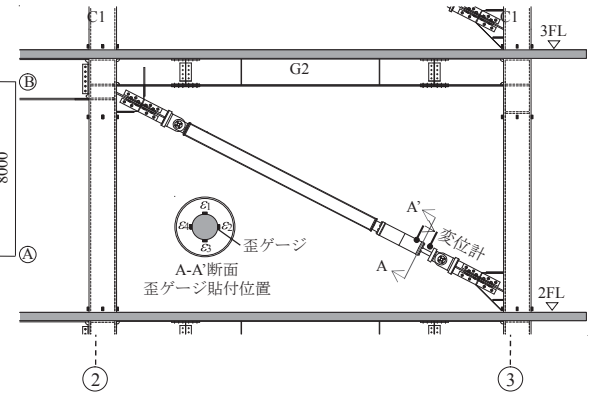
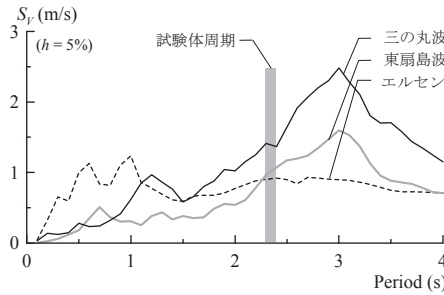


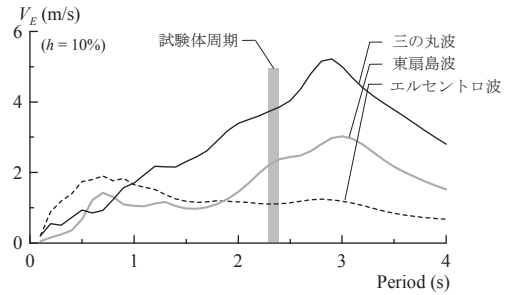
図 3 オイルダンパーの設置状況および計測詳細

表 3 本報で用いる入力波

地震動	想定地震
エルセントロ波	-
東扇島波	東海地震
三の丸波	東海・東南海地震



(a) 速度応答スペクトル



(b) エネルギースペクトル

図 4 入力波の概要

と同等となるように、一般的に使用されている中からオイルダンパーを選んだ。本報で使用したオイルダンパーの諸元を表 2 に示す。

本実験では合計 833 ch の計測を、サンプリング周波数 200 Hz で行った。耐震試験体での実験^{2),3)}と同様に、振動台加速度、床加速度を加速度計で、層間変形を変位計により計測した。加速度および変位記録を用いて試験体への入力エネルギー E および各層で吸収するエネルギー W_i を算出する³⁾。G1 梁 (図 2) のすべてについて、梁端部における曲げモーメントと回転角を、歪ゲージおよび変位計を用いて求めた³⁾。曲げモーメントと回転角から、梁端の塑性化により吸収した累積塑性歪みエネルギー W_p を算出する。オイルダンパーの荷重 dF はダンパーに貼付けた 4 枚の歪ゲージにより得られる歪の平均値に、事前の単体加振実験より得られた校正値を乗じることで算出した。ダンパー変形 $d\mu$ は、ダンパーに設置した変位計より求めた (図 3)。ダンパーの荷重と変形記録から、ダンパーにより吸収したエネルギー dW を算出する。

加振における入力地震動については、標準地震波として最大速度を 50 cm/s に基準化したエルセントロ波 (EL Centro 1940) を用いた。また、首都圏に予想される長周期地震動^{7),8)}として、東海地震を想定した東扇島波、および東海・東南海地震動を想定した東海地方の長周期地震動⁹⁾である三の丸波を採用した (表 3)。図 4(a), (b) に速度応答スペクトル S_v (減衰定数 $h = 5\%$) およびエネルギースペクトル V_E ($h = 10\%$) を示す。図 4(a), (b) には、制振試験体と耐震試験体に対して振動台と

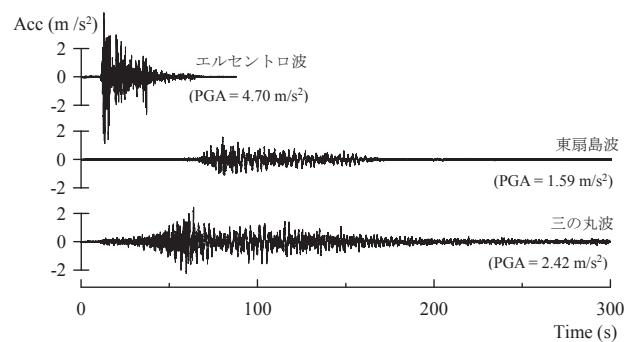


図 5 入力波の時刻歴波形

頂部加速度の伝達関数より得られた 1 次固有周期の範囲をそれぞれ示す (約 2.3~2.4 秒)。この範囲において三の丸波の S_v はエルセントロ波に比べて 1.5 倍程度であるが、三の丸波の V_E はエルセントロ波に比べて約 4 倍となっている。図 5 に入力波の加速度時刻歴波形を示す。図 5 より、長周期地震動である三の丸波は、エルセントロ波に比べ最大加速度 (PGA) では小さい値であるが、継続時間は約 5 倍の長さを有することがわかる。

3. 振動台実験結果

3.1 試験体へのエネルギー入力と応答性状

図6に、各層の加速度記録を用いて算出した、試験体への入力エネルギー E の時刻歴を、耐震試験体と制振試験体と比較して示す。入力エネルギーの算出方法については文献3)を参照されたい。図6より、長周期地震動である三の丸波の入力エネルギー E は、最大速度を50 cm/sに基準化したエルセントロ波に比べて約8倍の値となっていることがわかる。ここでは図示しないが、図6の入力エネルギーの値を、式(1)を用いて速度換算値 V_E に変換し、図4(b)の減衰定数 $h=10\%$ のエネルギースペクトル上にプロットすると、それぞれの地震動においてよく対応することを確認している⁹⁾。

$$V_E = \sqrt{2E/M} \quad (1)$$

ここで、 M は質量である。

図6より、耐震試験体と制振試験体での入力エネルギーを比較すると、試験体の固有周期の違いにより三の丸波および東扇島波では耐震試験体の方が制振試験体に比べて入力エネルギーが大きい結果となっていることが確認できる。

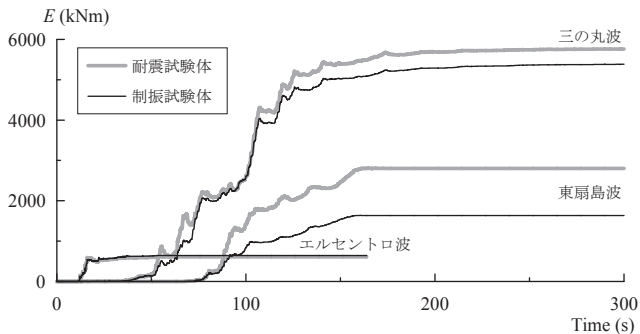


図6 試験体における入力エネルギーの時刻歴波形

3.2 骨組部分の応答性状

骨組部分の最大層間変形角 R および吸収エネルギー W を図7(a)~(c)に示す。各層における吸収エネルギーの算出方法については、文献3)を参照されたい。エルセントロ波では耐震試験体に比べ制振試験体で層間変形角が1/3程度に低減されていることがわかる。一方、吸収エネルギーについては制振試験体のほうが、耐震試験体よりも1.5~2.7倍大きな値となった。三の丸波では、耐震試験体に対して制振試験体での層間変形角が1/2程度低減され、吸収エネルギーについては制振試験体のほうが、耐震試験体よりも1.2~1.5倍大きな値となった。これは骨組部分に設置されたダンパーによって、その層のエネルギー吸収効率が上昇したためである^{5,10)}。入力波ごとにみると、耐震、制振試験体ともに、エルセントロ波に対して三の丸波での入力エネルギーはいずれの層においても10倍以上の値を示していることがわかる。

図8に、エルセントロ波、東扇島波および三の丸波より得られたオイルダンパーの荷重 dF -変位 du 履歴を示す。ここでは例として骨組部分2層目のダンパーについて結果を示す。図9には、オイルダンパー荷重 dF と、ダンパー変位 du を微分して求めた速度 du/dt 関係(プロット)を示す。なお、図9中の破線は、表2に示したオイルダンパー諸元(1次,2次粘性係数およびリリーフ荷重)より得られる、荷重-速度関係(設計値)を示したものであり、いずれの加振においても、実験値(プロット)は、設計値と良い一致を示し、実大架構内に設置さ

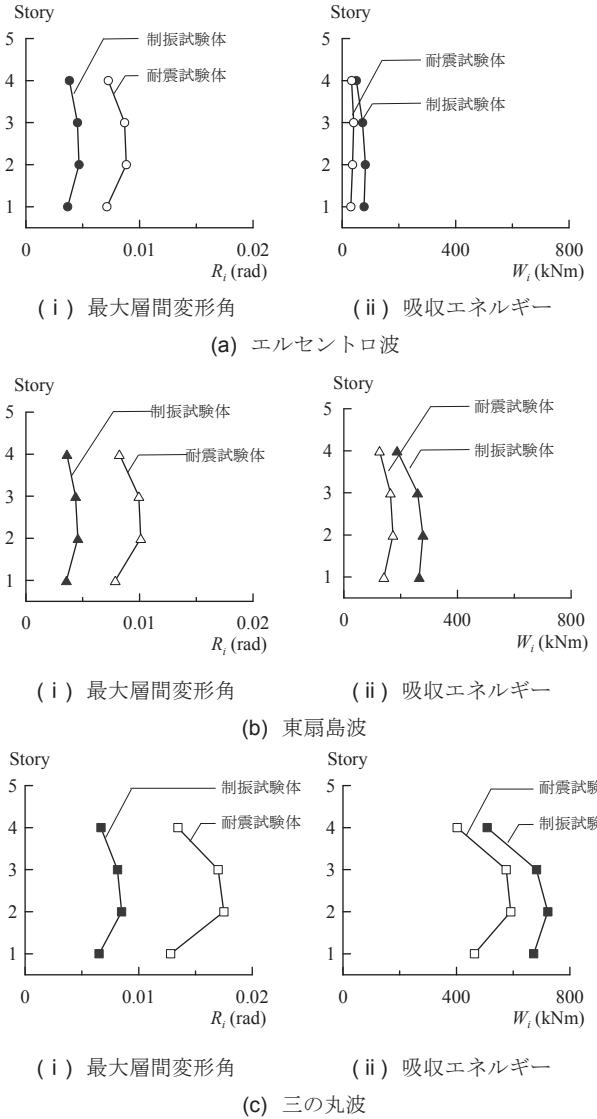


図7 各層の応答比較

れているオイルダンパーが安定した性能を発揮していることが確認できる。図8,9より、エルセントロ波および東扇島波では、ダンパー荷重がリリーフ荷重に達していないことわかる。一方、ダンパーの速度が大きい三の丸波ではリリーフ荷重に達していることが確認できる。三の丸波のように継続時間が長く、ダンパーのエネルギー吸収量が多い場合、ダンパーの内封油の温度上昇が懸念される。今回の実験においては、熱伝対により計測したダンパー表面温度は三の丸波入力によって約10°C上昇した(4章、後述)。なお、長時間の繰り返しによるオイルダンパーの上昇温度の簡易評価手法については4章で詳しく述べる。

図10(a)~(c)に、三の丸波加振時の制振試験体の2層における層間変位 $\delta(t)$ と、(a)全体架構(主架構+ダンパー)のせん断力 $Q(t)$ 、(b)ダンパーの水平方向荷重 $dQ(t)$ 、(c)主架構のせん断力 $fQ(t)$ の履歴をそれぞれ示す。なお、 $fQ(t)$ は、 $Q(t)$ からダンパー軸方向荷重 $dF(t)$ の水平方向成分を層で合算した $dQ(t)$ を引いて求めている。図10(c)には、耐震試験体の弾性範囲での実験より得られた層剛性 fK を破線で示している。図10(c)より、 fK と上記の方法で算出した制振試験体における主架構の履歴の傾きが概ね一致していることから、図10(c)に示した主架構の

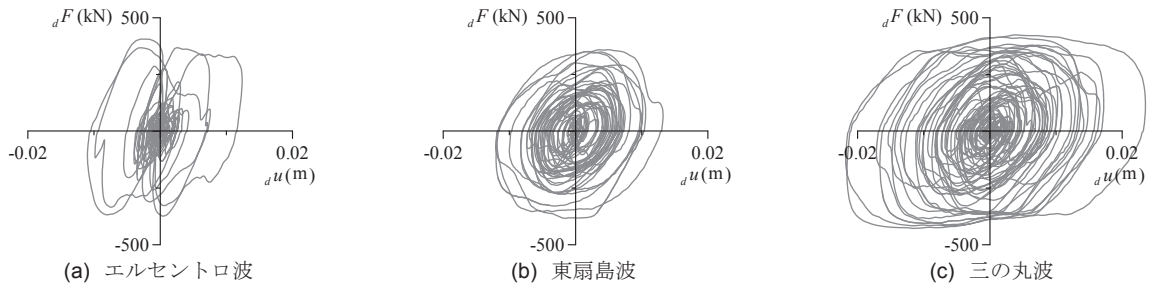


図8 骨組の2層目に設置したオイルダンパーの荷重-変位履歴

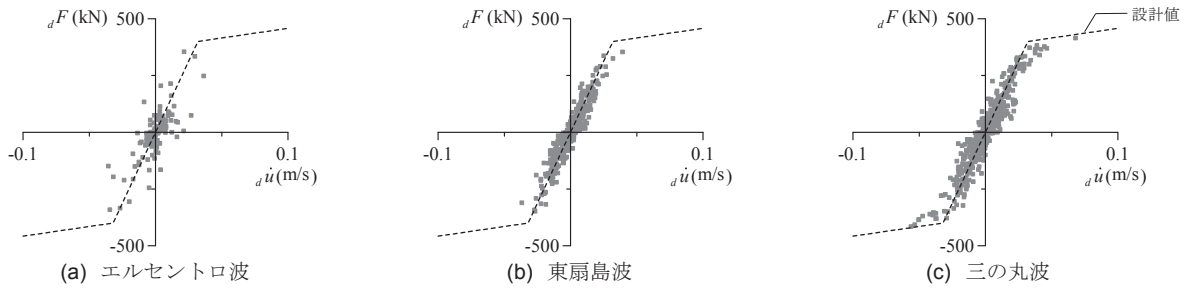


図9 骨組の2層目に設置したオイルダンパーの荷重-速度履歴

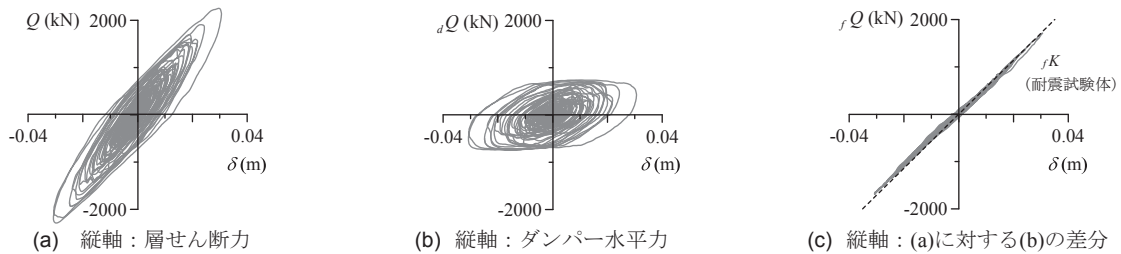


図10 三の丸波入力時の2層目における層せん断力とダンパー水平力の関係

せん断力 ${}_f Q(t)$ の算出が妥当であるといえる。図10(c)では主架構の履歴は概ね弾性に留まっていることから、全体架構で吸収したエネルギーの大半がオイルダンパー(図10(b))で吸収された様子が見てとれる。なお、ガセットプレートの歪レベルは十分に小さく弾性範囲である。

耐震試験体では、三の丸波での実験における主架構の吸収エネルギーの90%程度が梁の端部に集中していた³⁾。図11に、制振試験体の三の丸波加振において、3階G1梁の1通り側での梁端で計測された曲げモーメント ${}_c M$ -回転角 ${}_c \theta$ の履歴を、同位置で計測された耐震試験体での結果と重ねて示す。耐震試験体の履歴が大きな塑性変形を伴うのに対して、制振試験体は耐震試験体 비해回転角が1/3程度まで低減し、かつ概ね弾性の履歴を示していることが確認できる。

3.3 エネルギー分担率と減衰特性

骨組部分で吸収したエネルギーに対するダンパーのエネルギー吸収分担に着目した検討を行う。骨組部分の各層に設置されているオイルダンパーでの吸収エネルギー ${}_d W_i$ の合算値を ${}_d W_{1-4}$ と呼ぶこととする。同様に、架構部分全体の吸収エネルギー W_i の合算値を W_{1-4} と呼ぶ。そして、 W_{1-4} から ${}_d W_{1-4}$ を引いた値を、主架構での吸収エネルギー ${}_f W_{1-4}$ と呼ぶ。図12に、エルセントロ波、東扇島波および三の丸波での振動台実験より得られた耐震試験体および制振試験体での W_{1-4} を示す。なお、制振試験体では W_{1-4} を ${}_d W_{1-4}$ と ${}_f W_{1-4}$ に分けて示しているが、耐震試験体の場合はエネルギーを全て主架構で吸収するため $W_{1-4} = {}_f W_{1-4}$ である。図より、三の丸波での結果を耐震試験体と制振試験体と比較すると、耐震試験体 비해制振試験体での W_{1-4} は、図7でも述べ

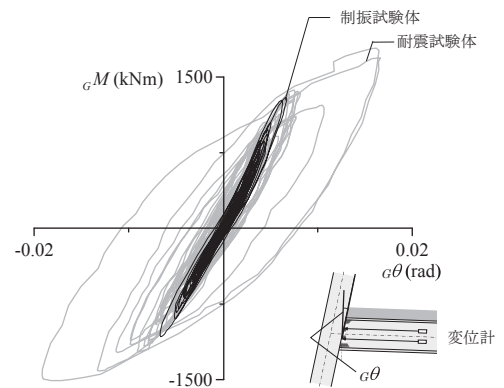


図11 3階床位置の梁端モーメントと回転角

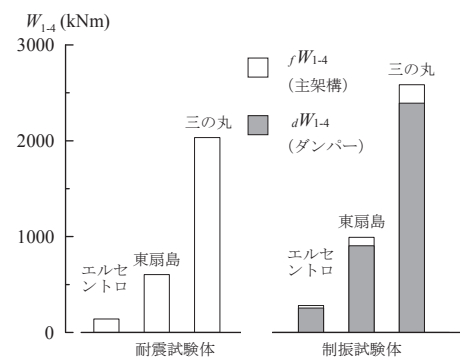


図12 骨組部分のエネルギー配分

たように大きな値となっていることがわかる。しかし、ダンパーを設置している制振試験体では、エネルギーの85%以上をダンパーで吸収しているため、制振試験体での $dW_{1,4}$ は耐震試験体に比べ約0.1倍となるかに小さく、主架構の損傷を大幅に低減できていることがわかる。

次に、ダンパーによる制振効果を等価減衰定数によって評価する。本報では、全体架構での層間変形が最大となった1サイクルにおける、 i 層の層せん断力 Q_i —層間変形 δ_i の履歴(図10(a))を用いて、減衰定数 $h_{e,i}$ を次式で評価した¹¹⁾。

$$h_{e,i} = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{\Delta W_i}{W_{e,i}} \quad (2)$$

ここで、 ΔW_i は i 層全体架構での1サイクル間の吸収エネルギー、 $W_{e,i}$ は i 層全体架構での弾性歪エネルギーである。

図13に、本試験で行った全入力波²⁾を用いて算出した、骨組の2層目における $h_{e,2}$ と層間変形角 R_2 ($=\delta_2 / 3.8\text{ m}$)の関係を示す。なお、図13には耐震試験体および制振試験体(オイルダンパー)に加え、比較のために鋼製ダンパーを用いた試験結果⁹⁾(図中:制振試験体(鋼製ダンパー))も併記している。図13より、耐震試験体では架構が弾性に留まる範囲では $h_{e,2}$ が0.02~0.03の範囲に分布している。 $R_2 = 0.01$ を超えると主架構の塑性化により $h_{e,2}$ の値が上昇し、 $R_2 = 0.02$ 付近では約 $h_{e,2} = 0.15$ となっていることが確認できる。鋼製ダンパーを設置した制振試験体では、鋼製ダンパーが塑性化する $R_2 = 0.002$ 付近⁴⁾から $h_{e,2}$ の値が上昇し、 $R_2 = 0.006$ 付近では耐震試験体の試験で得られた最大値と同等の $h_{e,2} = 0.16$ となっていることが確認できる。鋼製ダンパーの弾性範囲となる低い変形レベルではエネルギーを吸収しないため耐震試験体と同程度の $h_{e,2} = 0.02 \sim 0.03$ となっていることがわかる。一方、オイルダンパーを設置している制振試験体は、低い変形レベルから約 $h_{e,2} = 0.16$ と高い値を示している。 $R_2 = 0.008$ 付近において $h_{e,2}$ が若干減少するのは、オイルダンパーがリリースしているためである。

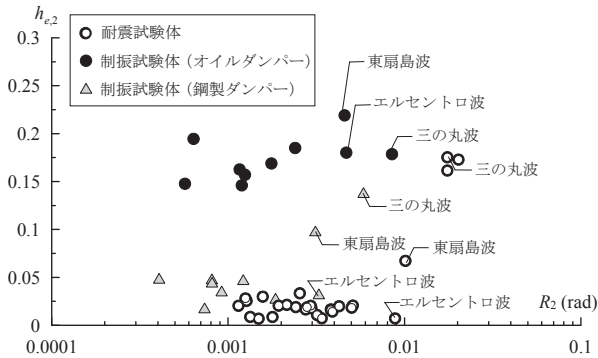


図13 等価減衰と層間変形角の関係(2層目)

4. オイルダンパーの単体実験

4.1 単体実験結果

設計時に想定したオイルダンパーによる制振効果を得るためには、ダンパー単体での試験結果に基づき評価された性能が、架構内に設置された状態においても同等の値を示すことが必要条件となる。一般に単体試験は一方向加振で理想的な境界条件の基で行われることが多いが、実際の架構に取り付けられたダンパーは、ガセットの変形や構面外変形、直交する梁からの応力など、さまざまな影響を受けることが予想される。本研究では、振動台実験後にオイルダンパーを取り外し、E-ディフェンス振動台実験の2層目で計測されたダンパー変位 d_u の時刻歴を強制変位波形として用いたダンパー単体加振試験(図14)

を行い、架構に設置されている状態と比較した¹²⁾。

図15(a),(b)には振動台および単体試験でのダンパー変位—荷重履歴を、表4には実験結果をまとめて示す。図15および表4より、応答波加振試験での変位波形の最大値 dU_{max} および標準偏差 dU_{rms} には、振動台実験で計測された値に対して5%の誤差が生じているが、振動台実験で計測された変位を概ね再現できていると判断できる。そのような条件下の実験において、ダンパー荷重の最大値 dF_{max} および標準偏差 dF_{rms} の誤差は5%以下であった。加振終了時刻 t_0 でのダンパーの累積吸収エネルギー $dW(t_0)$ は、振動台実験に比べ10%程度の誤差を有するが、これは上述したように応答波加振試験に用いた変位波形の誤差によって生じているものと思われる。以上より、架構内に設置されているダンパーは、単体試験と同等の性能を示していることを確認した。なお、周期2.2秒、片振幅35mmの正弦波加振で、三の丸波の3倍以上のエネルギーが連続で入力された場合でも、ダンパー性能に変化がないことを単体試験より確認している。

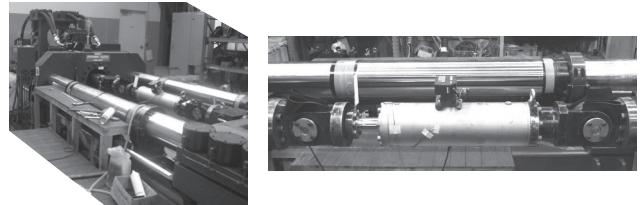


図14 ダンパー単体試験状況

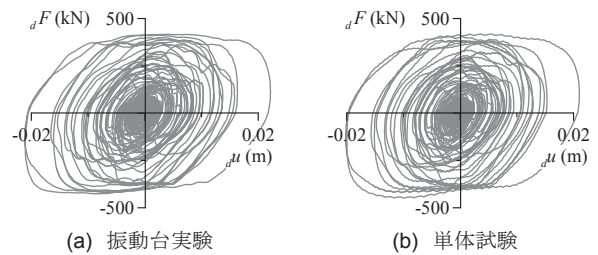


図15 ダンパー履歴

表4 振動台実験と応答波加振試験結果の比較

	dU_{max} (m)	dU_{rms} (m)	dF_{max} (kN)	dF_{rms} (kN)	$dW(t_0)$ (kNm)
単体試験	0.021	0.004	419	102	295
振動台実験	0.022	0.004	417	104	326
単体試験/振動台実験	0.95	0.96	1.01	0.98	0.90

4.2 正弦波を用いた性能評価

正弦波置換法¹³⁾とは、ランダム波に内在する様々なパラメータを、共通の振幅と振動数で表される正弦波に置換することで、様々なランダム波を用いることなく、正弦波のみでその特性を包括的に把握できる手法である。ランダム波による長時間の加振試験は、ランダム波の選定や作成が煩雑であること、アクチュエータや制御コンピュータの性能により、一般的に実験が困難な場合が多く、かつランダム波での結果は、ある地震波に対する特解でしかなく、その結果のみでダンパー性能を評価するには難しい。それに比べて正弦波に置換する本手法は、実験が非常に簡便となるだけでなく、これまで数多く行われてきた正弦波による試験結果を利用して、ランダム振動時のダンパー特性を幅広く評価することができる利点を有する。本手法はこれまでに風応答および長周期地震動を対象とした粘弾性ダンパーの温度上昇に対して有効性が確認されている¹³⁾¹⁶⁾。

ランダム波を正弦波に置換した場合の振幅 A_r および振動数 f_r はランダム振動時のダンパー変位の実効継続時間 d_t ¹⁷⁾(ダンパー変位波形の

二乗累加値が全体の5~95%となる時間、図16)、 t_0 間における標準偏差 σu_{rms} および繰り返し数 N_0^+ (変位波形が0軸を正の傾きで超える回数)を用いて次式よりそれぞれ求めることができる¹³⁾。

$$A_r = \sqrt{2} \cdot \sigma u_{rms} \quad , \quad f_r = N_0^+ / \epsilon t_0 \quad (3a,b)$$

本試験では式(3)よりそれぞれ $A_r = 8.61$ mm, $f_r = 0.412$ Hzとなった。図16(a)には振動台実験より得られたダンパーの変位波形を、図16(b)には正弦波置換法によって求めたダンパー変位波形を示す。図17, 18には、正弦波加振試験でのダンパー履歴面積より求めた吸収エネルギー W_d および上昇温度 $\Delta_d\theta$ の時刻歴を、振動台実験と単体実験での応答波(図15(b))および正弦波実験と比較して示す。図17, 18より、正弦波置換法による正弦波加振試験は、振動台実験結果と同等のエネルギー吸収で、温度上昇についても同等の値を示しており、オイルダンパーについても正弦波置換法の有効性が確認できた。

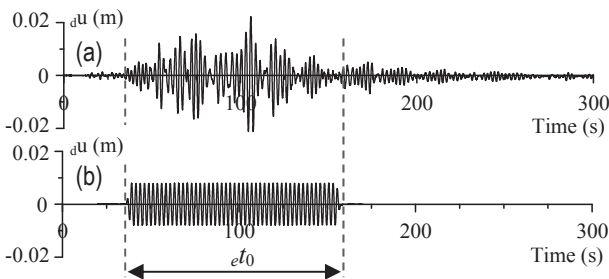


図16 変位時刻歴: (a)振動台, (b)正弦波

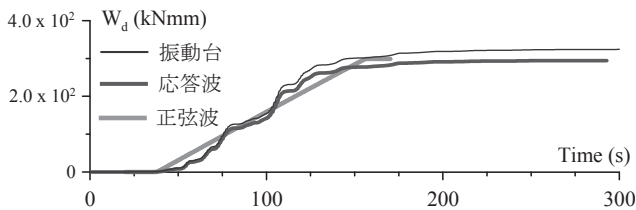


図17 ダンパーの吸収エネルギー時刻歴の比較

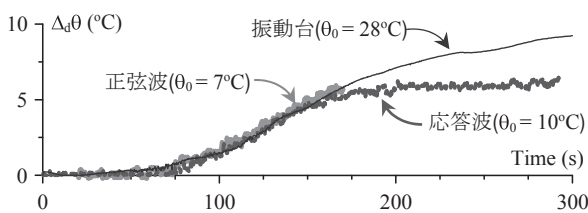


図18 初期(=周辺)温度 θ_0 に対する上昇温度時刻歴の比較

5. まとめ

本研究では、既存超高層建物の制振補強促進に資する実験資料の提供を目標として、オイルダンパーを設置した試験体(制振試験体)に対する実験を行った。さらに、振動台実験終了後にダンパーを取り出し、振動台実験で計測された変位波形を用いて単体加振試験を行った。本実験条件において、以下に本実験より得られた知見を示す。

- (1) エルセントロ波では耐震試験体に比べ制振試験体で層間変形角が1/3程度に低減され、三の丸波では、耐震試験体に対して制振試験体での層間変形角が1/2程度に低減された。いずれの加振においても、ダンパー荷重-速度関係が、設計値と良い一致を示し、実大架構内に設置されているオイルダンパーが安定した性能を発揮していることが確認できる。
- (2) 耐震試験体では、主架構が損傷しているのに対し、制振試験体

の主架構は概ね弾性に留まっていることから、全体架構で吸収したエネルギーの大半がオイルダンパーで吸収されていることが確認された。オイルダンパーを設置した架構は、微小変形から高い減衰性能を示し、制振試験体では、エネルギーの85%以上をダンパーで吸収しているため、制振試験体は主架構の損傷を大幅に低減できている。

- (3) 制振試験体は耐震試験体に比べ回転角が1/3程度まで低減し、概ね弾性の履歴を示した。ダンパーを設置することで、梁端の最大回転角だけでなく、累積損傷を大幅に低減できる。
- (4) 振動台実験で計測されたダンパー変位波形を用いてダンパー単体での加振試験を行った結果、架構内に設置されているダンパーは、単体試験と同等の性能を示していることを確認した。また長周期地震動を受けた際のオイルダンパーの温度上昇について、正弦波置換法を適用することで再現できることを確認した。

謝辞

本研究は文部科学省が推進する「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト」の一環として行われたものです。本報は元東京理科大学北村研究室大学院生の島田侑氏、大内隼人氏、大下優作氏の修士論文の成果の一部をまとめたものです。ダンパー単体実験の際には三和テッキ株式会社の五十幡直文氏に多大なご協力をいただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 井上貴仁, 長江拓也, 梶原浩一, 福山國夫, 中島正愛, 齊藤大樹, 北村春幸, 福和伸夫, 日高桃子: 長周期地震動による被害軽減対策の研究開発の全体計画と概要, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1, pp.823-824, 2008.9
- 2) 長江拓也, 鐘育森, 島田侑, 福山國夫, 梶原浩一, 井上貴仁, 中島正愛, 齊藤大樹, 北村春幸, 福和伸夫, 日高桃子: 超高層建物の耐震性能を検証する実架構実験システムの構築-E-ディフェンス振動台実験-, 日本建築学会構造系論文集, 第640号, pp.1163-1171, 2009.6
- 3) 佐藤大樹, 島田侑, 大内隼人, 長江拓也, 北村春幸, 福山國夫, 梶原浩一, 井上貴仁, 中島正愛: 長周期地震動を受ける鋼構造超高層建物のエネルギー吸収と分担率-一部分切り出し架構に対するE-ディフェンス振動台実験-, 日本建築学会構造系論文集, 第653号, pp.1217-1226, 2010.7
- 4) 土木学会, 日本建築学会: 海溝型巨大地震による長周期地震動と土木・建築構造物の耐震性向上に関する共同提言, 2006.11
- 5) 島田侑, 佐藤大樹, 長江拓也, 北村春幸, 福山國夫, 梶原浩一, 井上貴仁, 中島正愛, 齊藤大樹, 福和伸夫, 日高桃子: 超高層建物の下層階に部分配置する履歴型ダンパーの効果と影響に関する検討-長周期地震動を想定した耐震改修-, 日本建築学会構造系論文集, 第649号, pp.549-557, 2010.3
- 6) 佐藤大樹, 長江拓也, 大内隼人, 島田侑, 北村春幸, 福山國夫, 梶原浩一, 井上貴仁, 中島正愛, 齊藤大樹, 福和伸夫: 長周期地震動を受ける超高層建物の鋼製ダンパーによる制振改修に関するE-ディフェンス振動台実験, 日本建築学会構造系論文集, 第76巻, 第667号, pp.1139-1648, 2011.9
- 7) 佐藤俊明, 堀一男: 関東地震による首都圏の広帯域強震予測, 免震構造設計指針, 日本建築学会, pp.263-274, 2001.9
- 8) 土方勝一郎, 植竹富一, 金谷淳二, 真下真, 早川崇, 渡辺史史, 佐藤俊明: 想定東海地震の東京湾岸における長周期地震動予測, 日本建築学会構造系論文集, 第617号, pp.55-62, 2007.7
- 9) 愛知県建築住宅センター: 名古屋三の丸地区における地域特性を考慮した耐震改修のための基盤地震動の作成(概要版), (財)愛知県建築住宅センター耐震構造委員会設計入力地震動検討部会, pp.1-48, 2004.6
- 10) 加藤翼, 佐藤大樹, 佐藤利昭, 北村春幸, 長江拓也, 石井正人, 吉江慶祐: オイル・鋼製ダンパーを用いた下層部分制振補強の効果と影響に関する検討, 日本建築学会技術報告集, 第21巻, 第48号, pp.533-538, 2015.6
- 11) 柴田明徳: 最新 耐震構造解析, 森北出版, 2000.3
- 12) 佐藤大樹, 大内隼人, 長江拓也, 五十幡直文, 北村春幸, 中島正愛: 実大架構内に設置したオイルダンパーの性能評価および長周期地震動による温度上昇, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, pp.529-530, 2010.9
- 13) 佐藤大樹, 笠井和彦: 長時間ランダム振動時の粘弾性ダンパーの特性および正弦波による評価手法, 構造工学論文集, Vol.53B, pp.67-74, 2007.3
- 14) 佐藤大樹, 所健, 笠井和彦, 北村春幸: 風応答振動時における粘弾性ダンパーの特性および正弦波による簡易評価手法, 日本建築学会構造系論文集, 第80巻, 第710号, pp.571-581, 2015.4
- 15) 佐藤大樹, 笠井和彦, 松田和浩, 杉山暢方: 風応答時における実大粘弾性ダンパーの簡易評価実験および解析モデルの提案, 第24回風工学シンポジウム論文集, pp.289-294, 2016.12
- 16) 長山祥, 佐藤大樹, 笠井和彦, 杉山暢方, 松田和浩: 長周期・長時間地震動における実大粘弾性ダンパーの特性評価実験, 日本地震工学会第11回年次大会梗概集(CD-ROM), P2-10, 2015.11
- 17) Trifunac, M.D. and Brady, A.G.: A Study on Duration of Strong Earthquake Ground Motion., Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.65, No.3, pp.581-626, June 1975

[2018年2月7日原稿受理 2018年4月10日採用決定]