

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	長周期地震動を受ける制振補強高層建物のE-ディフェンス実験：その2 鋼製ダンパーによる制振効果の検討(構造)
Title	
著者(和文)	大下 優作, 大内 隼人, 島田 侑, 佐藤 大樹, 長江拓也, 北村春幸, 中島正愛
Authors	daiki sato, Haruyuki Kitamura, Masayoshi NAKASHIMA
出典 / Citation	日本建築学会関東支部研究報告集, Vol. 80, , pp. 353-356
Citation(English)	, Vol. 80, , pp. 353-356
発行日 / Pub. date	2010, 2
rights	日本建築学会
rights	本文データは学協会の許諾に基づきCiNiiから複製したものである
relation	isVersionOf: <a href="http://ci.nii.ac.jp/naid/110008729972">http://ci.nii.ac.jp/naid/110008729972</a>

長周期地震動を受ける制振補強高層建物の E-ディフェンス実験  
その2 鋼製ダンパーによる制振効果の検討

構造-振動

準会員 ○ 大下優作<sup>\*1</sup> 正会員 大内隼人<sup>\*1</sup> // 島田侑<sup>\*1</sup>  
// 佐藤大樹<sup>\*1</sup> // 長江拓也<sup>\*2</sup> // 北村春幸<sup>\*1</sup>  
// 中島正愛<sup>\*2</sup>

高層建物 長周期地震動 震動台実験

制振構造 エネルギー

1. はじめに

本報その2では、鋼製ダンパーを設置し、制振補強を行った制振補強高層建物試験体(H-2/3, H-1/5)と、2007年度3月に行った、無補強試験体(F-07)の実験結果を比較し、応答性状の違いを述べる。

2. 制振超高層建物実験概要

2.1 鋼製ダンパー概要

表1に、鋼製ダンパーの諸元を、図1に実架構部分に配置したダンパー取付け詳細図を示す。鋼製ダンパーには、座屈拘束型ブレースを用いる。H-2/3の縮約層にはU型ダンパー(図2(d))を設置し、実架構部分における骨組と、ダンパーの剛性比および強度比が等しくなるように設計されている。実架構部分のダンパーは、部材長さLに対して塑性化部の長さはL/4、降伏耐力は384 N/mm<sup>2</sup>である。

2.2 計測概要

図2に、計測機器設置状況を示す。鋼製ダンパーは、ダンパーの弾性部に歪ゲージを4枚貼り付けし、歪みを計測している(図1, 2(b))。図1の、A-A'断面の4つの歪ゲージで計測された歪みをε<sub>1</sub>~ε<sub>4</sub>とし、各歪ゲージから得られた計測値の平均からダンパー軸力<sub>dF</sub>を下式で求める。

$$dF = \frac{1}{4}(\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3 + \epsilon_4) \cdot A \cdot E \quad (1)$$

ここで、A:弾性部断面積, E:ヤング係数である。  
ダンパー両端部の変位計でダンパーの軸方向変位を計測した(図2(c))。

3. 応答最大値比較

本章では、F-07, H-2/3, H-1/5の3つの試験体について応答結果を比較する。各階応答値は、想定した21層建物に置換したときに、等価な層<sup>1)</sup>にプロットする。図3に、高さ方向の応答分布を示す。図3(a)絶対加速度より、HOG, SAN入力時はH-2/3, H-1/5

表1 鋼製ダンパー諸元

FL	<sub>dF</sub>	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	<sub>dU</sub>
	(kN)	(kN/m)	(kN/m)	(m)
6	112	5920	100	0.0189
5	168	8880	150	0.0189

<sub>dF</sub>:降伏せん断力, k<sub>1</sub>:初期剛性, k<sub>2</sub>:2次剛性, <sub>dU</sub>:弾性限変形

FL	L <sub>c</sub>	A	<sub>dF</sub>	<sub>dU</sub>	<sub>dF'</sub>	<sub>dU'</sub>	<sub>d</sub> k
	(m)	(mm <sup>2</sup> )	(kN)	(m)	(kN)	(m)	(kN/m)
2-4	1.78	1280	384	0.0047	324	0.0056	81571
1	1.88	1280	384	0.0050	307	0.0063	76360

t:芯材板厚, W:芯材幅, L<sub>c</sub>:塑性化部長さ, A:芯材断面積, <sub>dF</sub>:降伏軸方向耐力, <sub>dU</sub>:降伏軸方向変形, <sub>dF'</sub>:降伏水平方向耐力, <sub>dU'</sub>:降伏水平方向変形, <sub>d</sub>k:等価剛性

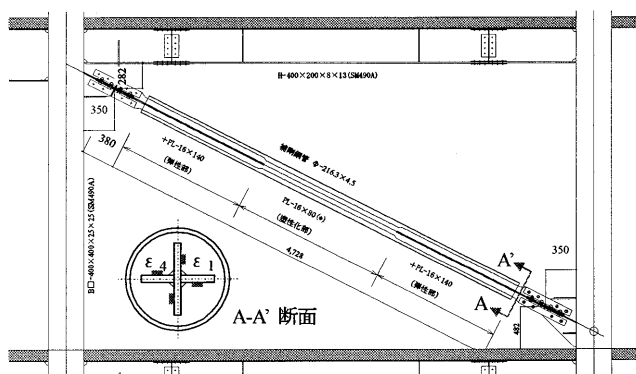


図1 ダンパー取付け詳細図

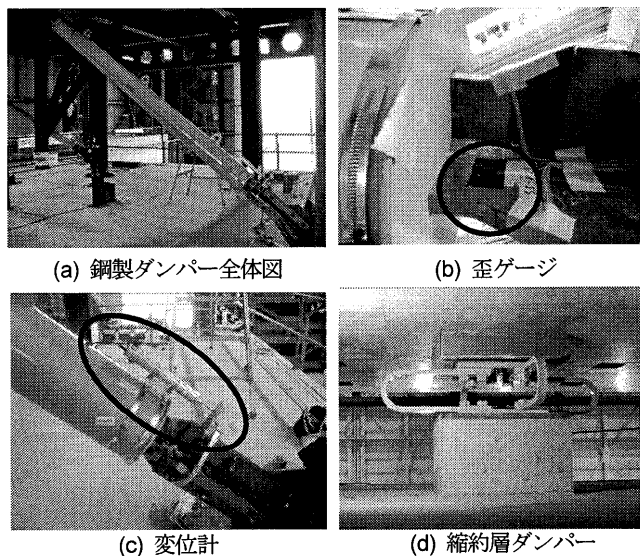


図2 計測機器設置状況

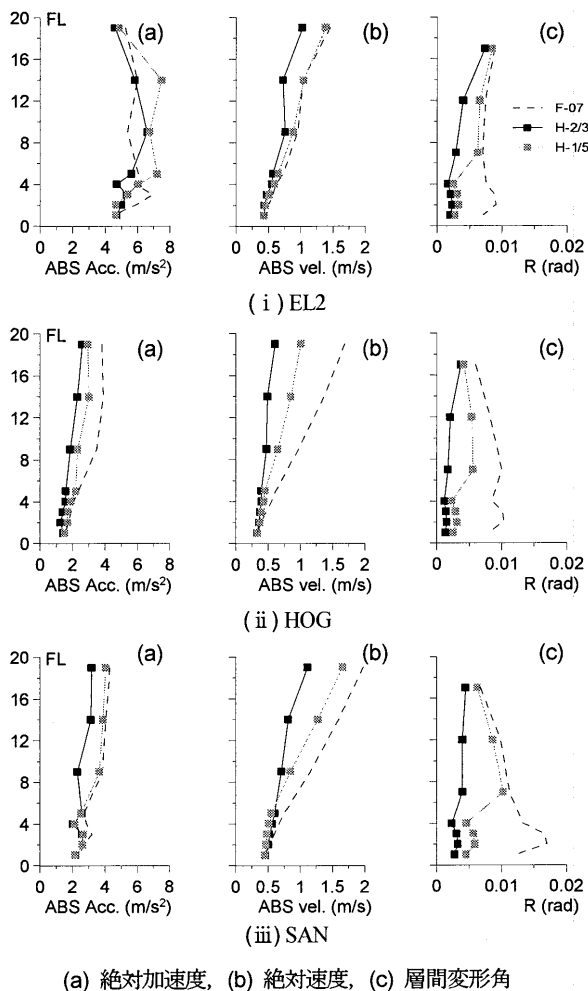


図3 各地震動における応答最大値

でF-07に比べ応答が低減されている。しかし、EL2入力時では、低層で応答が低減されているが、中層ではF-07に比べ、増大しているため、応答低減効果は見られなかった。図3(b)絶対速度では、F-07、H-2/3、H-1/5共に、ダンパーの設置により応答が低減されており、H-1/5では、ダンパー非設置の縮約層でも応答低減効果が見られる。図3(c)層間変形角では、ダンパーを設置することで、H-2/3、H-1/5は、全ての地震動入力時に、応答が0.01 rad (1/100)程度まで低減された。特に、SAN入力時のH-2/3では、全層にわたり0.005 rad (1/200)以下に抑えられた。これには、ダンパー設置に伴う固有周期の変化によって、後述する入力エネルギーが減少した効果も含まれている。H-1/5では、いずれの地震動入力時にもダンパーを設置した実架構部分(1~4層)で、層間変形角は大きく低減したが、ダンパーを設置していない縮約層では、F-07とほとんど変化は無かった。ダンパー設置層と非設置層での変わり目の層で、層間変形角の変化が大きくなるが、ダンパーを部分的に配置したことでF-07の応答を超えることは無かった。

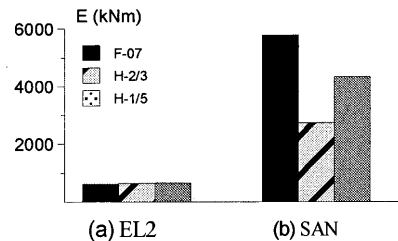


図4 入力エネルギー量の比較

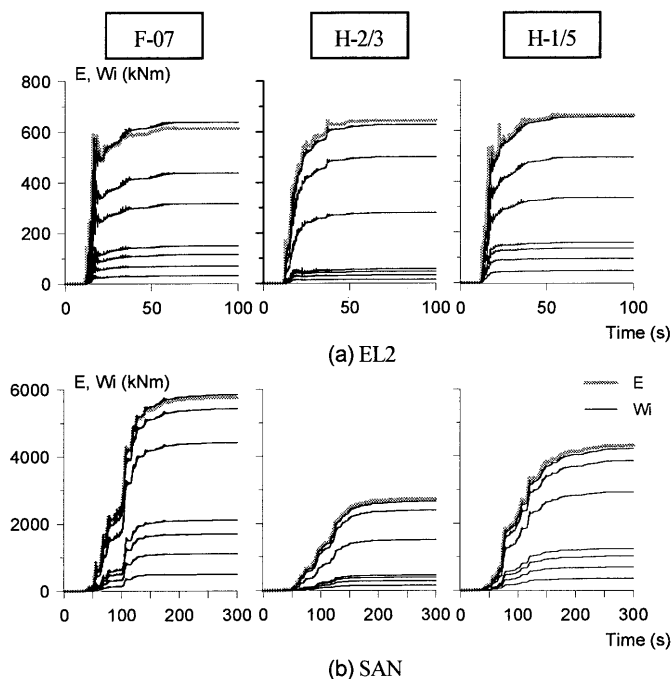


図5 入力エネルギーと各層吸収エネルギー時刻歴(下から1,2,~7層)

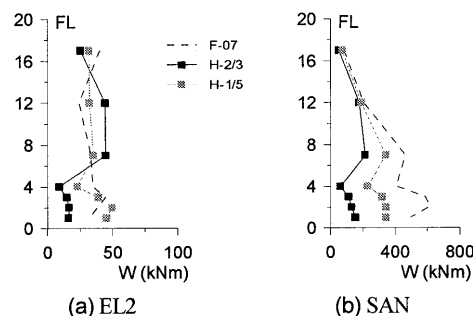


図6 吸収エネルギー量高さ方向分布

#### 4. エネルギー比較

##### 4.1 入力エネルギーと各層吸収エネルギーの比較

本章では、EL2入力時と、長周期地震動のうち最も応答が大きかったSAN入力時に着目して、ダンパーを設置したことによるエネルギー吸収量、エネルギー分布の変化を比較する。

図4に、本報その1、式(1)で算出した加振終了時刻 $t_0$ の入力エネルギー $E(t_0)$ を示す。図4より、EL2入力時は、全ての試験体において、ほぼ同等のエネルギーが入力された。また、SAN入力時

の入力エネルギー量を見ると、F-07 に比べ H-2/3, H-1/5 の入力エネルギー量が減少した。これは、本報その 1 での事前解析により予見された通り、「特定の周期帯」<sup>4), 5)</sup> にエネルギースペクトルのピークをもつ SAN の場合、周期変動による影響が大きいためである。ダンパーを設置したことにより、建物固有周期が短周期化したため、 $E(t_0)$  が H-2/3 では 1/2 程度、H-1/5 では 2/3 程度まで減少した。

図 5 に、その 1, ((1), (2)式) で算出した入力エネルギー  $E(t)$  と、各層吸収エネルギー  $W_i(t)$  の時刻歴を示す。各層のエネルギー吸収量は、対象とする層より下層までの吸収エネルギー量の和で示している。図 5 より、いずれの地震動においても、入力エネルギー  $E(t)$  と試験体全体の吸収エネルギー量  $W(t)$  は良く一致している。EL2 入力時に、F-07, H-1/5 において各層吸収エネルギー量の値は同程度であったが、H-2/3 では実架構部分の吸収エネルギー量が、F-07, H-1/5 に比べ 1/3 程度であった。EL2 の H-2/3, H-1/5 では、F-07 に比べ、エネルギーの増加が緩やかになっているが、これはダンパー設置により小さい変形レベルからダンパーがエネルギーを吸収したためである。

図 6 に、吸収エネルギー量の高さ方向分布を示す。図 6 より、EL2 入力時に、H-2/3 は、F-07 に比べ低層でエネルギーが吸収されず、中層でエネルギー吸収量が増大した。また、SAN 入力時では、ダンパーを設置したことにより、低層でエネルギー吸収量が低減された。F-07, H-2/3, H-1/5 共に、高層ではほぼ同等のエネルギーが吸収されていた。

図示はしていないが、HOG でも SAN とほぼ同様な傾向にあった。

### 4.2 エネルギースペクトルとの対応

図 7 に、入力エネルギー  $E(t)$  の速度換算値  $V_E$  とエネルギースペクトル  $h=10\%$  の対応を示す。 $V_E$  は、加振終了時刻  $t_0$  の  $E(t_0)$  を用いて次式より求められる。

$$V_E = \sqrt{2E(t_0) / \sum_{i=1}^N m_i} \quad (2)$$

図中の  $V_E$  は、各加振から得られた 1FL, RFL の加速度の伝達関係から求めた 1 次固有周期でプロットしている。EL2, SAN 共に、いずれの試験体においてもエネルギースペクトルと  $V_E$  は良く対応していることが確認できる。これより、実大規模の実験において、耐震構造だけでなく、制振構造においてもエネルギースペクトル ( $h=10\%$ ) の安定性が確認された。

### 4.3 鋼製ダンパーの吸収エネルギー量比較

本節では、H-2/3 と H-1/5 のダンパーのエネルギー吸収量と、エネ

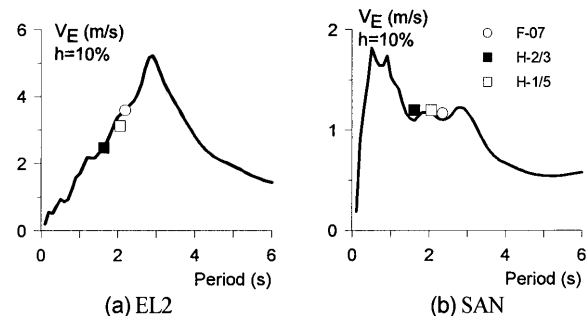


図 7 エネルギースペクトルとの対応

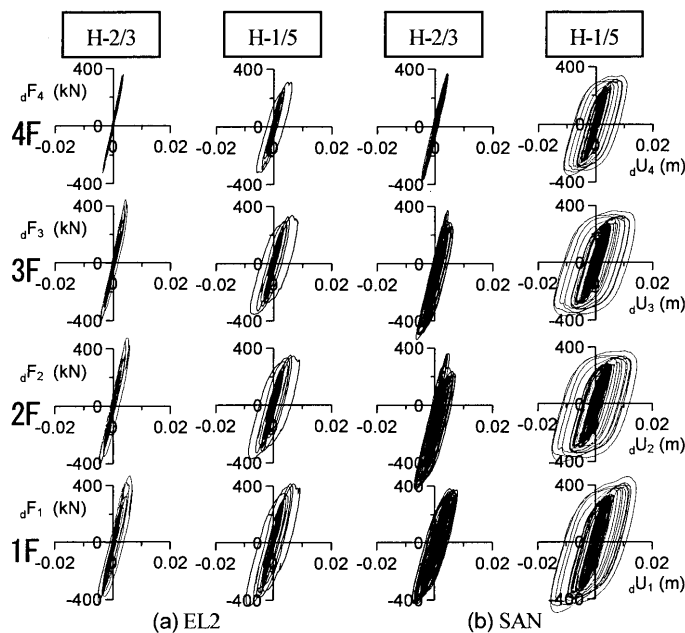


図 8 実架構部分ダンパー履歴曲線

表 2 各層ダンパー吸収エネルギー量 (単位: kNm)

FL	EL2		SAN	
	H-2/3	H-1/5	H-2/3	H-1/5
7	—	—	—	—
6	182.2	—	804.0	—
5	165.3	—	836.9	—
4	4.3	11.2	23.6	137.5
3	11.3	25.2	71.0	237.5
2	13.7	34.6	91.5	268.4
1	21.8	42.7	116.6	284.1
total	398.7	113.7	1943.5	927.5

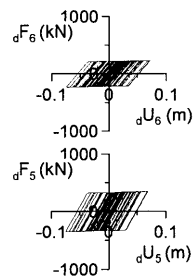


図 9 縮約層ダンパー履歴曲線

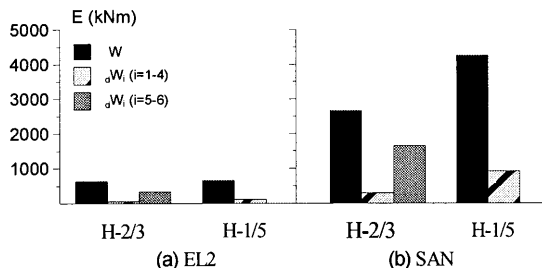


図 10 試験体全体およびダンパーのエネルギー吸収量の比較

ルギー分布について比較する。図8に、実架構部分の鋼製ダンパーにおいて、(1)式で得られた $dF$ と両端に設置した変位計から得られたダンパー変位 $dU$ で描いた履歴曲線を示す。図8は、B通(その1, 図1参照)の履歴曲線である。また表2に、 $dF$ と $dU$ の履歴面積より算出したダンパーの吸収エネルギー量 $dW_i$  ( $i=1\sim4$ )を示す。縮約層のU型ダンパーの吸収エネルギー量 $dW_i$  ( $i=5\sim6$ )は、U型ダンパーの復元力特性<sup>9)</sup>を持たせたバネに、計測された層間変形の時刻歴波形を強制変形として入力し、解析より求めた。例として図9に、SAN入力時の縮約層ダンパーの履歴曲線を示す。

図8より、EL2, SAN共に、H-2/3に比べH-1/5の履歴曲線の方がダンパーの変位が大きく、エネルギーを多く吸収していることが確認できる。これは縮約層のU型ダンパーを取り外したことにより、実架構部分の変形が大きくなったためだと考えられる。EL2, SAN入力時の試験体全体のエネルギー吸収量 $W$ とダンパーのエネルギー吸収量 $dW$ の比較を図10に示す。図10より、縮約層のU型ダンパーによるエネルギー吸収量 $dW_i$  ( $i=5\sim6$ )が、どちらの地震動においても試験体全体のエネルギー吸収量の大半を占めており、割合としては、EL2, SAN共に60%程度のエネルギーを吸収していた。さらにH-2/3に比べ、H-1/5では実架構部分の鋼製ダンパーのエネルギー吸収量がEL2入力時で約2倍、SAN入力時で約3倍に増大した。

### 5. SAN08, SAN06における応答結果の比較検証

本章では、H-2/3試験体のSAN, SAN08, SAN06(その1参照)入力時と、F-07におけるSAN入力時の応答結果を比較する。図11に、エネルギースペクトルと $V_E$ の対応を示す。どの地震動でもエネルギースペクトルと良く対応していることが確認できる。

図12に、加振終了時刻 $t_0$ における入力エネルギー量 $E(t_0)$ を示す。図12より、H-2/3のSAN入力時では、ダンパーが設置されたことにより、入力エネルギー量が減少したが、スペクトルを調整したSAN08, SAN06入力時ではエネルギー量が増大し、特にH-2/3のSAN08で、F-07のSANの入力エネルギー量とほぼ同等のエネルギーが入力されたことが確認できる。

図13(a)に、入力エネルギー量 $E(t_0)$ がほぼ同等であったF-07のSANと、H-2/3のSAN08についての吸収エネルギー量の高さ方向分布を示し、(b)に層間変形角を示す。図13(a)では、F-07のSAN入力時で、主架構の塑性化が進んだため、実架構で多くのエネルギーが吸収されたが、H-2/3のSAN08入力時では、ダンパーの設置により主架構が塑性化せず、全層にわたってエネルギーが吸収された。図13(b)で、H-2/3のSAN08入力時に、層間変形角が下層でF-07のSAN入力時に比べ低減された。さらに、SAN08で層間

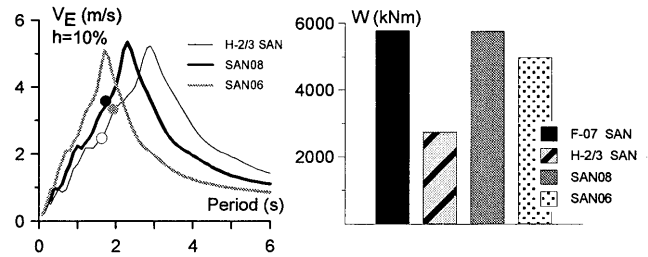


図11 エネルギースペクトルとの対応 図12 入力エネルギー量

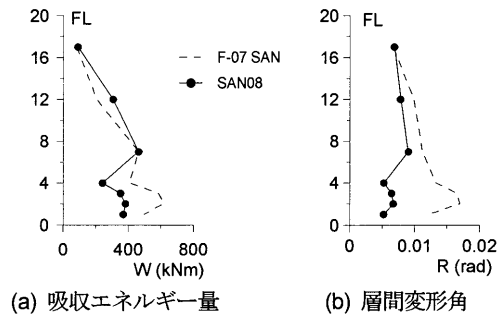


図13 高さ方向応答比較

変形角が最大となっている7層でも0.01 radを超えなかった。以上より、F-07のSAN入力時と同程度のエネルギーが入力されたH-2/3のSAN08入力時の層間変形角を比較することで、鋼製ダンパーの設置による応答低減効果が確認できた。

### 6. まとめ

本報では、F-07と、H-2/3, H-1/5の実験結果を比較することで、応答性状の違いを述べた。

- ・鋼製ダンパーの設置によって絶対速度、層間変形角で、応答低減効果が確認できた。応答を比較した場合、H-2/3に対し、H-1/5では低減効果は小さいが、ダンパー非設置の縮約層でも応答が低減したことより、H-1/5でも長周期地震動に対して応答低減効果が確認できた。
- ・特定の周期帯を持つ長周期地震動では、鋼製ダンパーの設置による建物固有周期の変動で、入力エネルギーの変化が大きい。本実験でもSANにおいて、吸収エネルギー量、エネルギー分布の多大な変動が確認できた。
- ・同程度のエネルギーが入力されたF-07のSAN入力時とH-2/3のSAN08入力時を比較することで、鋼製ダンパーの設置による応答低減効果を確認した。層間変形角では、低層で大きく応答を低減し、全ての層で0.01 radを超えなかった。

### 参考文献

その1にまとめて示す

- \*1 東京理科大学理工学部建築学科
- \*2 独)防災科学技術研究所 兵庫耐震工学研究センター