

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	E-ディフェンス震動台実験に基づく長周期地震動を受ける超高層建物のエネルギー分担
Title	
著者(和文)	大下優作, 佐藤大樹, 長江拓也, 北村春幸
Authors	daiki sato, Haruyuki Kitamura
出典 / Citation	日本建築学会大会学術講演梗概集, Vol. B-2, , pp. 445-446
Citation(English)	, Vol. B-2, , pp. 445-446
発行日 / Pub. date	2011, 8
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: http://ci.nii.ac.jp/naid/110009518836

E-ディフェンス震動台実験に基づく長周期地震動を受ける超高層建物のエネルギー分担

正会員○大下優作^{*1} 同 佐藤大樹^{*1}
同 北村春幸^{*1} 同 長江拓也^{*2}超高層建物
エネルギー
長周期地震動
鋼製ダンパー
震動台実験
オイルダンパー

1. はじめに

長周期地震動を受ける超高層建物に関する一連の大規模振動実験が E-ディフェンスにおいて実施された。試験体は、初期に建設された高さ約 80 m の超高層建物 (21 階建て, 1 次固有周期 $T = 2.4$ s) を想定しており, 下層を 4 層の実架構部とし, その上にコンクリート柱と積層ゴムからなる縮約層を配す。この実験手法によって, 試験体に長周期地震動と対応するエネルギーが入力されることから確かめられた¹⁾。

2007 年度に既存建物の耐震性能を検証する実験が実施され, 2009 年度にダンパーによる耐震改修に関する実験が実施された。本報では, 試験体において吸収されたエネルギーの配分を詳細に分析することで, 超高層建物の実架構内におけるダンパーの合理的な設置方法に資する資料を提供する。なお, 本研究の最終的な目標は, 既存超高層建物の耐震改修における効率的なダンパー配置手順の提案である。加振入力波は, 標準波の El centro レベル 2 地震動 (最大速度 50kine) (EL2), 長周期地震動である東京気象庁波 (TOK), 川崎東扇島波 (HOG), 名古屋三の丸波 (SAN, SAN08, SAN06) である²⁾。実験条件と試験体名を図 1 に示す。

2. 実験値に基づくエネルギー評価

2.1 エネルギー算出方法

以下に実験より各層の吸収エネルギーを算出する手法を述べる。時刻 t のときの入力エネルギー $E(t)$ は, 下式で求められる³⁾。

$$E(t) = -\sum_{i=1}^N \int_0^t \dot{x}_i(t) m_i \ddot{z}_0(t) dt \quad (1)$$

ここで, N : 層数, $x_i(t)$: i 層の相対変位, m_i : i 層の質量, z_0 : 地動変位である。また, 絶対加速度と質量から求めた層せん断力 $Q_i(t)$, および層間変形 δ_i との履歴の面積より得られる i 層の吸収エネルギー $W_i(t)$ は, それぞれ次式にて表される¹⁾。

$$Q_i(t) = -\sum_{j=i}^N m_j \ddot{x}_j(t), \quad W_i(t) = \int_0^{\delta_i(t)} Q_i(t) d\delta_i \quad (2a, b)$$

ここで, $\ddot{x}_i(t)$: i 層の絶対加速度である。全層の吸収エネルギー $W(t)$ は, 次式で求められる。

$$W(t) = \sum_{i=1}^N W_i(t) \quad (3)$$

式(3)より求めた $W(t)$ には, 減衰により吸収されるエネルギーも含まれている。入力エネルギー $E(t)$ の速度換算値 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³⁾。

$$V_E = \sqrt{2E(t_0) / \sum_{i=1}^N m_i} \quad (4)$$

2.2 エネルギー算出結果及びエネルギーの吸収割合

前章で述べた地震動入力時に得られた実験結果から, 各試験体 (F-07, H-2/3, H-1/5, V-1/5) における 1 次固有周期 T , 各層の

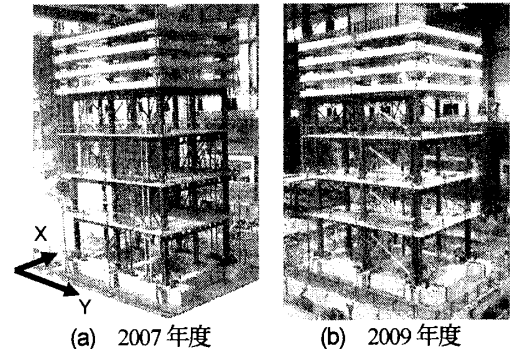


写真1 試験体写真

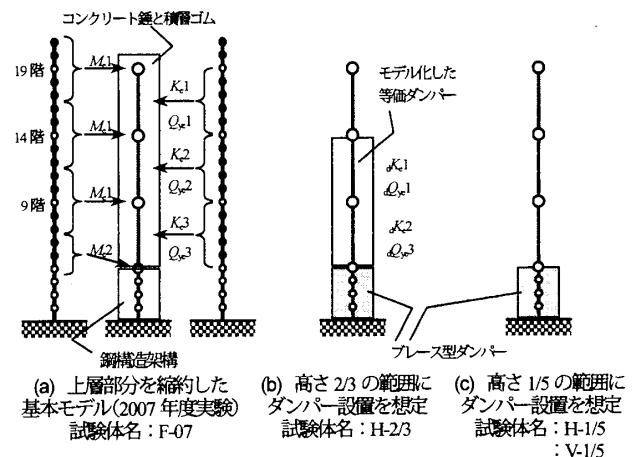


図1 実験条件と試験体名

吸収エネルギー量 W_i , 試験体全体に入力されたエネルギー E , E の速度換算値 V_E を表 1 に示す。

Y 方向の全層が吸収したエネルギー W に対する各層が吸収したエネルギー W_i の分担率 W_i/W を試験体毎に図 2 に示す。表 1, 図 2 より, 地震動によって入力されるエネルギーは異なるが, 各層に吸収されるエネルギーの配分は類似することが確認できる。これは, 建物に入力されるエネルギーは試験体の耐力に基づき各層に分配されるためである³⁾。H-2/3 では 6 層までダンパーを設置したことにより, 6 層において負担するエネルギーが多くなった。V-1/5 は他の試験体に対し, オイルダンパー設置層の実架構部でエネルギー分担率が高く, その分上層部における分担率が小さくなっている。すなわち, 全層におけるエネルギーが均等化したことが示唆される。なお, V-1/5 の SAN 加振中に 6 層目の塑性化装置が破損したが, 図 2(d) をみると, 塑性化装置が破損する前の他の地震動に比べ大きな変化は見られない。

2.3 ダンパーのエネルギー分担率と実効変形比

図 3 に, 実架構部での吸収エネルギー W_{1-4} に対するダンパーに

表1 地震動毎のエネルギー等算出結果

		F-07					H-2/3						H-1/5				V-1/5			
		FL	EL2	TOK	HOG	SAN	EL2	TOK	HOG	SAN	SAN08	SAN06	EL2	TOK	HOG	SAN	EL2	TOK	HOG	SAN
W_i (kNm)	7	109	115	166	431	88	122	332	206	367	313	119	107	285	325	85	69	166	251	
	6	135	110	270	1110	187	147	156	652	1290	856	168	118	212	827	114	102	158	828	
	5	274	128	576	2777	182	139	233	865	1795	896	253	112	336	1494	165	77	230	1187	
	4	21	42	15	450	13	6	25	85	187	76	48	7	51	269	76	46	136	468	
	3	30	35	37	720	23	11	53	141	285	114	75	15	86	383	108	71	196	638	
	2	25	20	41	700	28	8	75	160	308	117	84	15	96	413	112	74	203	659	
		1	20	24	29	512	27	12	72	166	295	110	76	18	93	394	97	71	179	599
E (kNm)		652	410	1247	6429	562	502	1000	2351	4605	2585	847	434	1225	4109	789	543	1361	4588	
V_E (m/s)		1.23	0.97	1.70	3.85	1.14	1.08	1.52	2.33	3.26	2.44	1.40	1.00	1.68	3.08	1.35	1.12	1.77	3.25	
T (s)		2.34	2.18	2.30	2.43	1.82	1.72	1.80	1.87	1.87	1.93	2.18	2.05	2.15	2.22	2.05	2.26	2.22	2.38	

(b) Y方向

		F-07					H-2/3						H-1/5				V-1/5			
		FL	EL2	TOK	HOG	SAN	EL2	TOK	HOG	SAN	SAN08	SAN06	EL2	TOK	HOG	SAN	EL2	TOK	HOG	SAN
W_i (kNm)	7	199	158	263	500	121	114	98	259	437	500	149	88	120	362	109	51	98	280	
	6	126	130	628	1180	211	142	101	873	1506	1498	159	113	215	921	117	78	211	966	
	5	173	151	1336	2633	215	112	116	1078	2325	1932	167	147	339	1680	122	79	313	1327	
	4	33	36	126	403	8	14	7	56	220	168	21	18	46	204	50	52	187	508	
	3	40	36	164	576	14	24	8	104	326	239	37	27	77	293	72	77	260	682	
	2	36	27	173	591	16	23	7	124	360	250	47	27	86	322	82	83	279	722	
		1	31	26	141	463	19	28	15	155	359	232	46	33	95	329	77	82	266	673
E (kNm)		611	513	2825	6064	636	434	365	2721	5767	4967	650	438	987	4340	637	494	1646	5382	
V_E (m/s)		1.19	1.09	2.55	3.74	1.21	1.00	0.92	2.50	3.65	3.38	1.22	1.00	1.51	3.16	1.21	1.07	1.95	3.52	
T (s)		2.39	2.20	2.44	2.41	1.61	1.60	1.69	1.79	1.73	1.87	2.02	2.02	2.14	2.05	2.18	2.11	2.15	2.30	

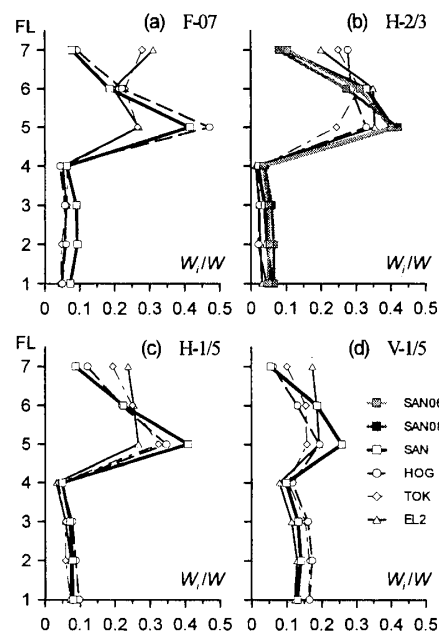


図2 各層が吸収したエネルギーの分担率

よる吸収エネルギー $W_{i,4}$ の分担率を示す。本研究で用いたオイルダンパーのリリーフ荷重は、鋼製ダンパーの降伏荷重とほぼ等しい値に設定しているが²⁾、V-1/5でのダンパーのエネルギー分担率は、H-2/3およびH-1/5に比べ高い値となっていることが確認できる。

図4(a), (b)に実架構部での鋼製およびオイルダンパーの実効変形比をそれぞれ示す。ダンパーの実効変形比とは、最大層間変形に対するダンパーの最大変形の水平方向成分の割合である。図4(a)より、H-2/3に比べてH-1/5の方が、実効変形比が高いことが確認できる。これは、H-1/5でのダンパーの塑性率がH-2/3に比べて大きく、H-1/5でのダンパーの見かけ上の剛性が、主架構の剛性に比べて相対的に低くなったためである。図4(b)のV-1/5の実効変形比は、H-2/3、H-1/5に比べて高い値を示していることがわかる。このことにより、図2(d)に示したV-1/5での実架構部において、ダンパーのエネルギー分担率がH-2/3、H-1/5に比べ高い値になったと思われる。

3. まとめ

E-ディフェンスで実施された超高層建物に関する実験から、エネルギーの分担率等に関して以下に得られた知見を示す。

- (1) 地震動毎に試験体に入力されるエネルギーは異なるが、各層に吸収されるエネルギーの配分は地震動に依らず類似することが実験からも確認できた。
- (2) H-2/3に対してH-1/5のダンパーの塑性率はEL2で約1.5倍、SANで約2倍と大きく、ダンパーの見かけ上の剛性が低くなっているため、実効変形比がH-1/5の方が大きい値を示した。
- (3) オイルダンパーのエネルギー分担率が高くなる要因を実効変形比の関係から述べた。

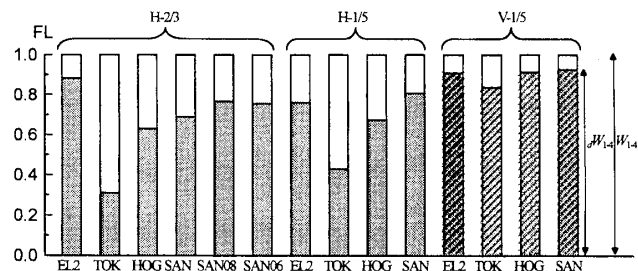


図3 ダンパーのエネルギー分担率

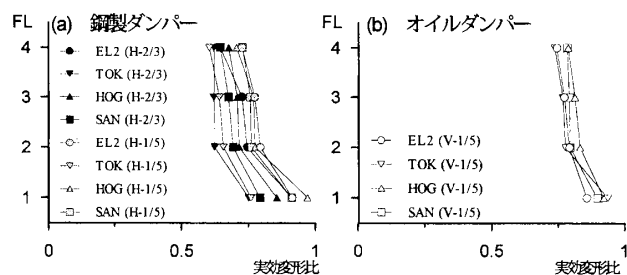


図4 ダンパーの実効変形比

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」の一環として実施されました。また、大林組 佐野剛志氏には多くの貴重なご助言をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 佐藤大樹, 島田侑, 大内隼人, 長江拓也, 北村春幸, 福山誠夫, 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—部分切り出し架構に対するE-ディフェンス実験台実験—, 日本建築学会構造系論文集, 第653号, pp.1217-1226, 20010.7
- 2) 野崎康行, 大内隼人, 島田侑, 佐藤大樹, 長江拓也, 北村春幸, 中島正愛: 長周期地震動を受ける制震超高層建物のE-ディフェンス実験—その1 E-ディフェンス実験概要—, 日本建築学会関東支部研究発表会, 2010.3
- 3) 秋山宏: エネルギーの釣合に基づく建築物の耐震設計, 技報堂出版, 1999.11

*1 東京理科大学

*2 独立行政法人 防災科学技術研究所 兵庫耐震工学研究センター