

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	高層建物の耐震性評価に関するE-ディフェンス実験 その9 振動台実験におけるエネルギーの釣合の検証
Title	
著者(和文)	島田侑, 佐藤大樹, 北村春幸, 長江拓也, 福山國夫, 梶原浩一, 井上貴仁, 中島正愛
Authors	daiki sato, Haruyuki Kitamura, Koichi Kajiwara, Masayoshi NAKASHIMA
出典 / Citation	日本建築学会大会学術講演梗概集, Vol. C-1, , pp. 879-880
Citation(English)	, Vol. C-1, , pp. 879-880
発行日 / Pub. date	2008, 9
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/110007104621

振動台実験におけるエネルギーの釣合の検証 高層建物の耐震性評価に関する E-ディフェンス実験—その 9

正会員 ○島田侑¹ 佐藤大樹² 北村春幸³ 長江拓也⁴
福山國夫⁴ 梶原浩一⁴ 井上貴仁⁴ 中島正愛⁴

キーワード: エネルギー, 長周期地震動, 高層建物, 振動台実験

1. はじめに

長周期地震動は継続時間が長く, 入力エネルギーも通常の地震動に比べ大きい, 構造物のエネルギー吸収能力を適切に評価することが重要となる¹⁾。試験体の損傷をエネルギーで評価するに当たり, 本報では振動台実験において入力エネルギーと試験体の吸収エネルギーを算出しエネルギーの釣合が成立していることを確認する。

2. 実験結果に基づくエネルギーの釣合式

多質点系の運動方程式は, 次式のように表せる。

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + \{F(x)\} = -[M]\{1\}\ddot{z}_0 \quad (1)$$

ここに, $[M]$, $[C]$: 質量, 減衰マトリクス, $\{F(x)\}$, $\{x\}$: 復元力, 相対変位ベクトル, z_0 : 地動変位である。式(1)を時刻 t までのエネルギーの釣合式で表すと次式のようになる²⁾。

$$W_{ek}(t) + W_h(t) + W_{es}(t) + W_p(t) = E(t) \quad (2a)$$

$$E(t) = -\sum_{i=1}^N \int_0^t \dot{x}_i m_i \ddot{z}_0 dt \quad (2b)$$

ここに, 時刻 t における, $W_{ek}(t)$: 運動エネルギー, $W_h(t)$: 減衰により吸収されるエネルギー, $W_{es}(t)$: 弾性歪エネルギー, $W_p(t)$: 累積塑性歪エネルギー, $E(t)$: 入力エネルギーである。また, N : 層数, m_i : 質量である。式(2b)から分かるように, $E(t)$ を求める際に, 相対速度 \dot{x}_i が必要となる(3章, 後述)。

式(2a)左辺第一項を, 右辺に移項すると次式となる。

$$W_h(t) + W_{es}(t) + W_p(t) = E(t) - W_{ek}(t) = W'(t) \quad (3a)$$

$$W'(t) = -\sum_{i=1}^N \int_0^t \dot{x}_i m_i \ddot{X}_i dt \quad (3b)$$

ここに, \ddot{X}_i : i 層の絶対加速度である。なお, 地震動終了時刻 t_0 では $W_{ek}(t_0) = 0$ となるため, 式(3a)より次式が成立することが分かる。

$$E(t_0) = W'(t_0) \quad (4)$$

一方, 絶対加速度と質量から求めた層せん断力 Q_i , 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, それぞれ次式の如く表される。

$$Q_i = \sum_{j=1}^N m_j \ddot{X}_j, \quad W_i(t) = \int_0^{\delta_i(t)} Q_i d\delta_i \quad (5a, b)$$

また, i 層の吸収エネルギー $W_i(t)$ を全層で合計した $W(t)$ は, 式(5b)に式(5a)を代入することで次式の様に表すことができる。

$$W(t) = \sum_{i=1}^N W_i(t) = \sum_{i=1}^N \int_0^t \dot{x}_i m_i \ddot{X}_i dt \quad (6)$$

よって, 式(3b), (6)より, $W(t) = W'(t)$ となることがわかる。また $t = t_0$ では, $W(t_0) = E(t_0)$ も明らかであり, 地震終了時の吸収エネルギーは, 入力エネルギーと釣合することが分かる。また $E(t_0)$ は, 相対速度 \dot{x}_i を用いずに, 質量 m_i , 絶対加速度 \ddot{X}_i , 層間変形 δ_i で求めることが出来る。

3. エネルギーの算出方法

本報では, X, Y の 2 軸同時加振を行った Elcentro 波 (設計波) 100%, 気象庁波 100%, 東扇島波 100%, 三の丸波 100% 加振での長辺方向 (Y 方向 (図 1)) のエネルギーの釣合について検討する。

加速度センサ・変位センサは, 各層の図 1 に示す位置に配置している。本報では, 層せん断力 Q_i (式(5a)) を求める際, A-3 通りに近い位置の加速度センサ・変位センサで計測された絶対加速度および層間変位を用いた。なお, 本報では入力加速度として, 試験体コンクリート基礎上の加速度を用いることとし, 入力エネルギーやエネルギースペクトルを算出する際は, その値を用いている。

入力エネルギー $E(t)$ (式(2b)) を算出する際の各層の相対速度 \dot{x}_i は, 各層で計測された絶対加速度 \ddot{X}_i に 0.1Hz のハイパスフィルターをかけた後, 周波数領域で積分して絶対速度を求め, 振動台加速度 \ddot{z}_0 から算出した速度 \dot{z}_0 を引くことで得ている。各層の質量は, 本報その 2 で示された値を用いる。このようにして求めた層せん断力 Q_i と層間変形 δ_i から, 履歴曲線を描き曲線の囲む面積を求めることで, 各層の吸収エネルギー $W_i(t)$ を求める (式(5b))。

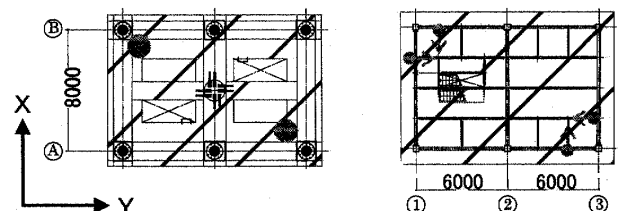


図 1 計測センサ設置位置 単位: (mm)

Verification of the Balance of the Energy in E-Defense Shaking Table Test

E-Defense Shaking Table Test for Evaluation of Seismic Performance of High-Rise Building Part. 9

Yu Shimada, Daiki Sato, Haruyuki Kitamura, Takuya Nagae
Kunio Fukuyama, Kouichi Kajiwara, Takahito Inoue, Masayoshi Nakashima

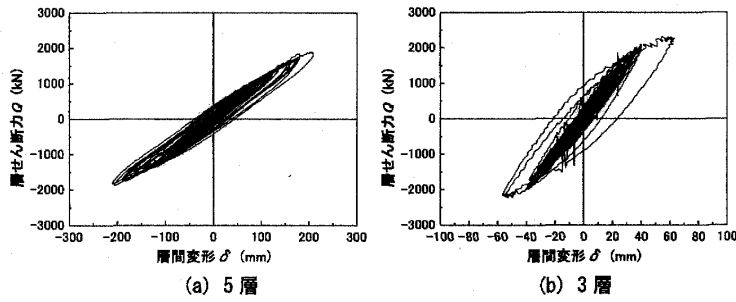


図2 履歴曲線 (三の丸入力時)

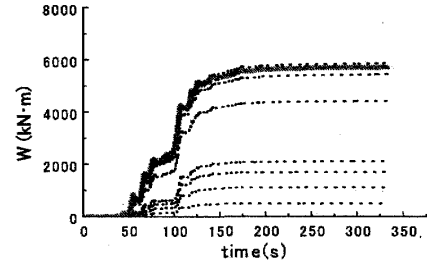


図3 エネルギーの時刻歴波形 (三の丸入力時)
(.....:下から $W_1(t) \sim W_7(t)$, — : $E(t)$)

表1 各層吸収エネルギーと入力エネルギー

	$W_1(t_0)$	$W_2(t_0)$	$W_3(t_0)$	$W_4(t_0)$	$W_5(t_0)$	$W_6(t_0)$	$W_7(t_0)$	$W(t_0)$	$E(t_0)$
気象庁	27.4	31.1	36.6	38.1	144.6	126.2	155.5	559.5	500.3
Elcentro	32.8	38.0	43.2	35.3	166.8	120.6	200.4	637.1	612.9
東扇島	149.4	185.1	173.7	136.2	1312.0	625.9	263.2	2845.5	2773.1
三の丸	497.2	615.1	584.8	408.1	2315.4	1026.6	420.4	5867.7	5723.5

4. 実験結果

三の丸波入力時の、5層、3層の層せん断力(式(5a))一層間変形の履歴曲線を図2に示す。図3は、図2の履歴曲線から面積を求めた各層吸収エネルギー $W_i(t)$ (式(5b))と入力エネルギー $E(t)$ (式(2b))を示す。図3より地震動終了時刻 t_0 での $E(t_0)$ と $W(t_0)$ はほぼ一致していることが確認できる。表1に三の丸波以外の地震動の各層の吸収エネルギー $W_i(t_0)$ の一覧を示す。表1より、各地震動の入力エネルギー $E(t_0)$ と、全層の吸収エネルギー $W(t_0)$ を比較すると、 $W(t_0)/E(t_0)$ は気象庁1.12倍、Elcentro1.03倍、東扇島1.03倍、三の丸1.03倍と概ね良い対応を示しており、 $E(t_0)$ と $W(t_0)$ は釣合うことが三の丸波以外の地震動でも確認できる。次に、エネルギーの速度換算値 V_E を求めエネルギースペクトルとの対応を見る。 V_E は、次式で表される。

$$V_E = \sqrt{2E(t_0) / \sum m_i} \quad (7)$$

各地震動の V_E とエネルギースペクトルの比較を図4に示す。各地震動の V_E は、A-3位置で計測された地震応答時の1F, RFの加速度の伝達関数から1次の固有周期を求めプロットしている。エネルギースペクトルと V_E も良い一致を示している。

地震波毎の試験体への入力エネルギー $E(t_0)$ の比較では、東扇島波、三の丸波では、それぞれElcentro波の $E(t_0)$ の4.5倍、9.3倍のエネルギーが入力され、長周期地震動による入力エネルギー $E(t_0)$ が大きいことがわかる。

各地震動の吸収エネルギー $W_i(t_0)$ の高さ方向の分布を図5に示す。縮約層の吸収エネルギーは5層分の $W_i(t_0)$ であるので、その1/5倍の値を、想定した21層モデル(その2

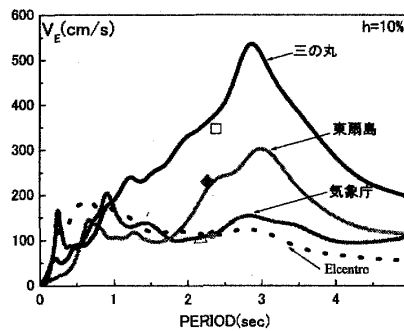


図4 エネルギースペクトルと V_E の対応

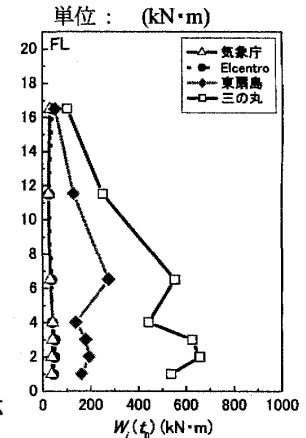


図5 $W_i(t_0)$ の高さ方向の分布

参照)と等価な層にプロットしている。図5より、試験体を21層に置換した場合の $W_i(t_0)$ の分布において、長周期地震動である東扇島波、三の丸波の入力時には、中層から低層にかけて吸収エネルギーが大きくなる傾向が分かる。

5. まとめ

実験より得られた計測記録から、エネルギーの釣合に着目した検証を行った。これより、振動台実験において入力エネルギーと試験体の吸収エネルギーは、釣合っていることが実験結果から確認することができた。今後は、エネルギーを評価指標として試験体の損傷を検証していく予定である。

謝辞

本研究では、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」の下で防災科学技術研究所からの委託研究として東京理科大学が実施した「長周期地震動による被害軽減対策の研究開発(その2)」の研究成果の一部である。

文献

- 1) 日本建築学会:長周期地震動と建築物の耐震性, 日本建築学会, 2007.12.
- 2) 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 東京理科大学大学院理工学研究科建築学専攻 大学院生
*2 東京理科大学理工学部建築学科 助教 工学博士
*3 東京理科大学理工学部建築学科 教授 工学博士
*4 (独)防災科学技術研究所 兵庫耐震工学研究センター

Tokyo Univ. of Science
Asst.Prof.,Tokyo Univ. of Science,Dr.Eng.
Prof.,Tokyo Univ. of Science,Dr.Eng.
Hyogo EERC, NIED