

B-48

長周期地震動を受ける超高層 RC 造建物の最下層中柱を対象とした多数回繰り返し載荷実験
(その 2 超高層 RC 造建物の時刻歴応答解析)

Cyclic Loading Tests of Middle column of Bottom in RC High-Rise Building under Long-Period Earthquake Ground Motion
(Part 2. Results of Response Analysis for RC High-rise Buildings)

○栗橋 成紀¹, 古谷 章², 北嶋 圭三³, 楠 浩一⁴, 田才 晃⁴, 中西 三和³, 安達 洋³

*Naruki Kurihashi¹, Akira Furuya², Keiji Kitajima³, Koichi Kusunoki⁴, Akira Tasai⁴, Mitsukazu Nakanishi³, Hiromi Adachi³

The purpose of this study is to investigate the performance of bottom columns in RC High-rise buildings under a cyclic loading. The static and dynamic tests RC columns are performed in this study. In this paper, Results of Response Analysis for RC High-rise Buildings.

1. はじめに

本報(その 2)では, プロトタイプを提案し, 長周期かつ継続時間が長い地震動を用いて立体弾塑性地震応答解析を行い建物及び部材の応答性状を確認した.

2. 時刻歴応答解析概要

2. 1 プロトタイプ構造諸元

プロトタイプの構造諸元は, 既報(その 1)のデータベースを参考に超高層 RC の標準的な諸数値を設定した. プロトタイプ構造諸元を Table.1 に, プロトタイプの伏図及び軸組図を Fig.1 に示す. プロトタイプは, 平面形状が, スパン長 7.0m, 5×4 スパンの整形な超高層 RC とした. 建物高さ 103.15m, 軒高 97.45m, 1階階高 4.20m, 基準階階高 3.25m の地上 32 階建て(塔屋を含む), 基準階床面積 980m², 中柱支配面積 49m²としている. 梁断面 650×900~600×850mm, 柱断面 1100×1100~900×900mm とした. 使用鉄筋材料は, 主筋 SD490, 390(D41~D29), せん断補強筋 KSS785, SD295(S13,D13)とした. また, コンクリートの設計基準強度 Fc=60~30N/mm²とした.

2. 2 振動モデル概要

時刻歴応答解析には弾塑性立体骨組解析プログラム SNAP を用いた. 部材モデルは, 梁を材端剛塑性ばねモデル, 柱を MS ファイバーモデルとした. 復元力特性は, 梁では武田モデルを, 柱ではコンクリートと鉄筋の要素ごとに履歴則を定めた. 減衰は瞬間剛性比例型の内部粘性減衰として, 減衰定数 h=3.0%とした. なお, 同立体モデルにて静的弾塑性荷重増分解析を併せて行った.

2. 3 入力地震動

入力地震動を Table.2 に示す. レベル 2(Lv.2)地震動として EL CENTRO-NS, TAFT-EW, HACHINOHE-NS (翠川)の観測波を最大速度 50.0cm/sec とし基準化した 3 波, 東京都杉並区阿佐ヶ谷を想定観測地点とした

告示波(EL CENTRO 位相), 告示波(神戸位相), 告示波(八戸位相)の告示波 3 波, 長周期かつ継続時間の長い長周期地震動を模擬したサイト波 TS-TOK-NS, TS-YKL-NS, C-SAN-EW, KK-WOS-EW, KK-OSA-NS の 5 波の計 11 波とした.

Table.1 Structural Dimensions of Prototype

建物高さ[m]	103.15	
軒高[m]	97.45	
階数	32	
1階階高[m]	4.20	
基準階階高[m]	3.25	
スパン長[m]	7.0	
スパン数	X方向	5
	Y方向	4
基準階床面積[m ²]	980	
中柱支配面積[m ²]	49	
一次固有周期T1[sec]	X方向	2.02
	Y方向	2.11
ベースシア係数C _B (保水水平耐力)	X方向	0.157
	Y方向	0.153
減衰[%]	3.0	

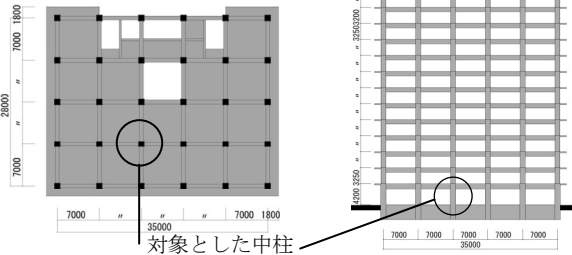


Fig.1 Framing Plan and elevation of Prototype

Table.2 Input Earthquake Motion

地震波	地点	地震波名	最大加速度 [cm/sec ²]	最大速度 [cm/sec]	継続時間 [sec]
観測波3波 (Lv.2)	東京都杉並区阿佐ヶ谷	EL CENTRO-NS	510.2	50.0	54
		TAFT-EW	496.0		54
		HACHINOHE-NS (翠川)	348.9		234
告示波	東京都杉並区阿佐ヶ谷	告示波(EL CENTRO位相)	686.4	80.6	81
		告示波(神戸位相)	692.7	71.9	163
		告示波(八戸位相)	610.2	66.3	
関東	東京・気象台	TS-TOK-NS	244.5	34.2	200
		TS-YKL-NS	499.2	69.7	
東海/東南海	みなとみらい	C-SAN-EW	185.9	50.5	328
		KK-OSA-NS	69.3	28.3	440
南海	大阪管区気象台	KK-OSA-NS	69.3	28.3	440
		KK-WOS-EW	68.3	24.8	298

Table.3 Maximum Response Story Shear and Relative Story Displacement

地震波名	最大応答層せん断力[kN]				最大応答層間変形角[rad]			
	X方向		Y方向		X方向		Y方向	
	階	階	階	階	階	階	階	階
EL CENTRO-NS	45.420	1	41.389	1	1/135	19	1/136	19
TAFT-EW	41.630	1	40.506	1	1/184	6	1/183	7
HACHINOHE-NS (翠川)	57.531	3	51.754	2	1/104	6	1/113	7
告示波(EL CENTRO位相)	62.317	1	58.726	1	1/116	19	1/111	17
告示波(神戸位相)	59.025	1	61.701	1	1/112	8	1/111	15
告示波(八戸位相)	55.878	1	57.714	1	1/122	15	1/114	6
TS-TOK-NS	48.278	1	45.576	3	1/129	7	1/127	8
TS-YKL-NS	40.008	1	37.121	1	1/163	16	1/165	16
C-SAN-EW	64.872	1	61.910	1	1/66	8	1/69	8
KK-OSA-NS	27.796	1	26.529	1	1/264	7	1/262	8
KK-WOS-EW	26.771	1	29.132	1	1/301	7	1/287	6

1 : 日大理工・院 (前)・海建 Graduate Student, Nihon Univ.

3 : 日大理工・教員・海建 Prof. Nihon Univ. Dr. Eng.

2 : 日本 ERI 株式会社 JAPAN ERI CO.,LTD.

4 : 横浜国大・教員・建築 Prof. Yokohama National Univ. Dr. Eng.

3. 時刻歴応答解析結果

3. 1 最大層せん断力, 最大絶対加速度及び速度

最大応答層せん断力及び層間変形角を Table.3, 最大応答絶対加速度及び速度を Table.4 に示す. 最大応答層せん断力の最大値は C-SAN-EW の 1 階 X 方向で 64872kN, 最大応答絶対加速度の最大値は告示波(神戸位相)の 1 階 X 方向及び Y 方向で 693cm/sec², 最大応答絶対速度の最大値は C-SAN-EW の 33 階 Y 方向で 184cm/sec であった.

3. 2 最大応答層間変形角

最大応答層間変形角分布を Fig.2 に示す. Lv.2 地震動時とした観測波では, HACHINOHE-NS(翠川)の X 方向で 1/104 と最も大きな値を示した. 長周期地震動では, C-SAN-EW の X 方向で 1/66 と一般的な設計クライテリアの層間変形角 1/100 を超える値を示した.

3. 3 時刻歴層間変位

EL CENTRO-NS では 19 階, C-SAN-EW では 8 階で最大応答層間変形角を示した. その際の時刻歴応答層間変位を Fig.3 に示す. EL CENTRO-NS では, 応答層間変形角は 1/100 を下回る継続時間の短い時刻歴応答波形を示したのに対して, C-SAN-EW では, 50~100 秒付近で層間変形角 1/100 を超える多数回の繰返しが見られた.

3. 4 等価周期及び最下層軸力変動

各地震動における等価周期 T_e 及び最下層中柱の応答軸力比を Table.5 に示す. 等価周期 T_e は, プロトタイプを 32 質点系モデルに置換し, 質点の質量は各層荷重とし, 架構を曲げせん断バネモデルとして求めた. なお, 各層のバネ剛性は, 各層の最大変形時のせん断力点と原点を結んだ線の傾きを等価剛性 K_e とし, 等価周期 T_e はバネ剛性を等価剛性 K_e とした質点系モデルの一次固有周期とした. 等価周期 T_e は弾性時の一次固有周期が 2.11 秒であったのに対し, C-SAN-EW では 3.89 秒で最も長い周期となった.

最下層中柱における応答軸力比 η ($\eta=N/bDFc$)の変動については, レベル 2(Lv.2)地震動, 告示波, 長周期地震動を模擬したサイト波のいずれでも大きな軸力比の変動は見られず, 概ね $\eta=0.24$ であった.

4. まとめ

長周期かつ継続時間の長い地震動時における超高層 RC の時刻歴応答解析を行い, 以下の知見が得られた.

1) 超高層 RC における応答層間変形は, 観測波 3 波に比べて長周期地震動時では, 大きくなることを確認した. また, その応答層間変形角は一般的な設計クライテリアである 1/100 を超える大変形を示す場合がある.

2) 時刻歴応答層間変位結果より, 長周期かつ継続時間の長い地震動では, 比較的大きな同一変位で多数回繰返す傾向が見られた.

3) 建物の一次固有周期は 2 秒付近であり観測波 3 波の等価周期は 3 秒付近である. また長周期地震動を模擬した三の丸波の等価周期は 3.89 秒の応答を確認した.

4) 長周期地震動時における最下層中柱の軸力比は概ね $\eta=0.24$ であった.

Table.4 Maximum Response Absolute Acceleration and Velocity

地震波名	最大応答絶対加速度[cm/sec ²]				最大応答絶対速度[cm/sec]			
	X方向	階	Y方向	階	X方向	階	Y方向	階
EL CENTRO-NS	510	1	510	1	118	33	121	33
TAFT-EW	496	1	496	1	110	33	119	33
HACHINOHE-NS(翠川)	349	2	349	1	131	33	130	33
告示波(EL CENTRO位相)	686	1	686	1	123	25	123	33
告示波(神戸位相)	693	1	693	1	144	33	155	33
告示波(八戸位相)	610	1	610	1	124	33	130	33
TS-TOK-NS	244	1	244	1	99	33	98	33
TS-YKL-NS	499	1	499	1	91	31	90	33
C-SAN-EW	384	33	407	33	181	31	184	33
KK-OSA-NS	122	33	135	33	47	33	48	33
KK-WOS-EW	125	33	138	33	45	33	48	33

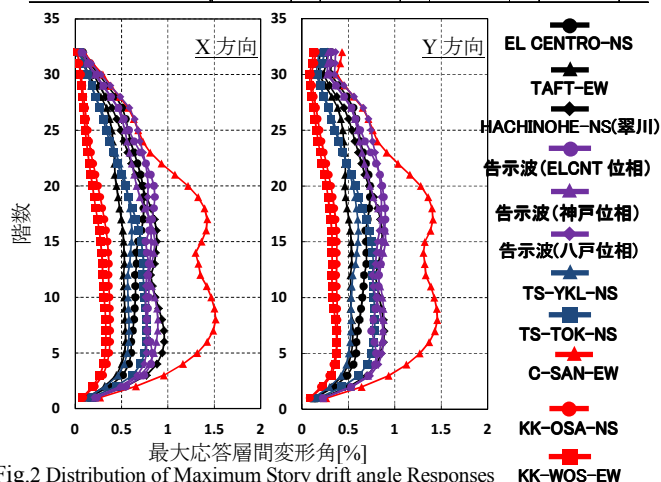


Fig.2 Distribution of Maximum Story drift angle Responses

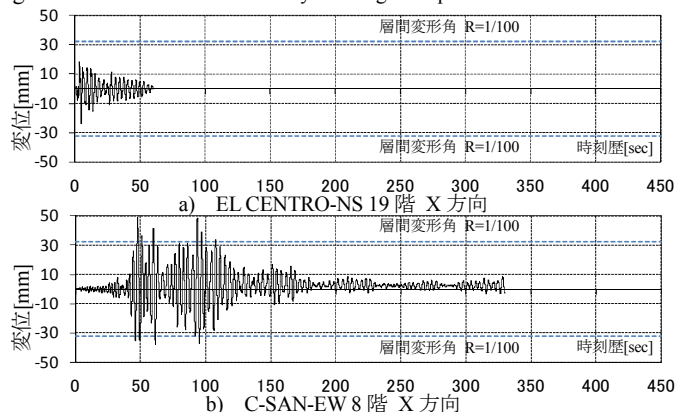


Fig.3 Time History of Relative Story Responses

Table.5 Response Results of each Earthquake Motion

地震波名	等価周期 T_e [sec]		最下階中柱応答軸力比 η	
	X方向	Y方向	最大	最小
1次固有周期	2.02	2.11	—	—
増分解析時	—	—	0.24	0.23
EL CENTRO-NS	3.18	3.27	0.24	0.23
TAFT-EW	3.06	3.12		
HACHINOHE-NS(翠川)	3.30	3.36		
告示波(EL CENTRO位相)	3.24	3.35	0.24	0.23
告示波(神戸位相)	3.23	3.31		
告示波(八戸位相)	3.27	3.36		
TS-TOK-NS	3.23	3.36	0.24	0.23
TS-YKL-NS	3.16	3.22		
C-SAN-EW	3.83	3.89		
KK-OSA-NS	2.95	3.05		
KK-WOS-EW	2.83	2.95		

【参考文献】

- 1) 全国管報販売共同組合: 2007 年版建築物の構造関係技術基準解説書, 2007.8
- 2) 日本建築学会: コンクリート造建築物の靱性保証型耐震設計指針・同解説 1999.8
- 3) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説 2010.2