

B-50

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4 実験結果)

Cyclic Loading Tests of Middle column of Bottom in RC High-Rise Building
under Long-Period Earthquake Ground Motion
(Part4. Experimental Results)

○天羽 祥太¹, 古谷 章², 北嶋 圭二³, 楠 浩一⁴, 田才 晃⁴, 中西 三和³, 安達 洋³

*Shota Amo¹, Akira Furuya², Keiji Kitajima³, Koichi Kusunoki⁴, Akira Tasai⁴, Mitsukazu Nakanishi³, Hiromi Adachi³

This paper presents the results of RC column specimens under dynamic and static horizontal loading. The effects of strain rate and maximum load are investigated.

1. はじめに

本報その4では前報(その3)に引き続き実験結果について報告する。

2. 繰り返し載荷による水平荷重の推移

繰り返し載荷による水平荷重の推移を Fig.1 に示す。Fig.1 の縦軸は静的、動的載荷両試験体の各サイクルの正負最大荷重を静的載荷時の正負の最大耐力で除した繰り返しによる耐力低下の比率を表したものである。最大耐力を経験するまでのサイクルでは、両試験体共に各部材角における 10 回の繰り返し載荷による耐力低下が小さいことがわかる。また最大耐力経験した部材角 R=1/100 と直後の R=1/75 の繰り返しでは両試験体共に 2 割ほど耐力低下していることがわかる。その後の R=1/200, 1/75 を一対とした繰り返しでは両試験体共に R=1/200 では耐力低下がみられなかったのに対し、R=1/75 では徐々に耐力低下を起こした。静的載荷試験体では、R=1/75 (-650C) より耐力低下が大きくなり R=1/75 (-699C) で、動的載荷試験体では、R=1/75 (550C) より耐力の低下が著しく進行し、R=1/75 (582C) で実験を終了した。

3. 軸力比-軸変位関係

各サイクルの軸力比と軸変位の変動を Fig2 に併せて示す。変形を繰り返す毎に両試験体共に同量の軸縮みが進行するが、500C を過ぎたあたりから静的載荷試験体では軸縮みが進行しても軸力を維持していたのに対して、動的載荷試験体では 582C で急激な軸縮みとともに軸耐力を失った。

4. 歪速度が最大荷重に及ぼす影響

文献²⁾より鉄筋の材料強度推定式に式(1)を、コンクリートの材料強度推定式に式(2)を使用した。これは、鉄筋とコンクリートが完全付着の状態、コンクリートの歪速度と鉄筋の圧縮歪速度が等しいと仮定してい

る。また、最大水平荷重を経験するまでに得られた最大の歪速度が最大荷重に影響すると仮定し、試験体の危険断面に最も近い歪ゲージ計 8 点より圧縮時の最大歪速度を平均した値をコンクリートの材料強度推定式に、引張時の最大歪速度を平均した値を鉄筋の材料強度

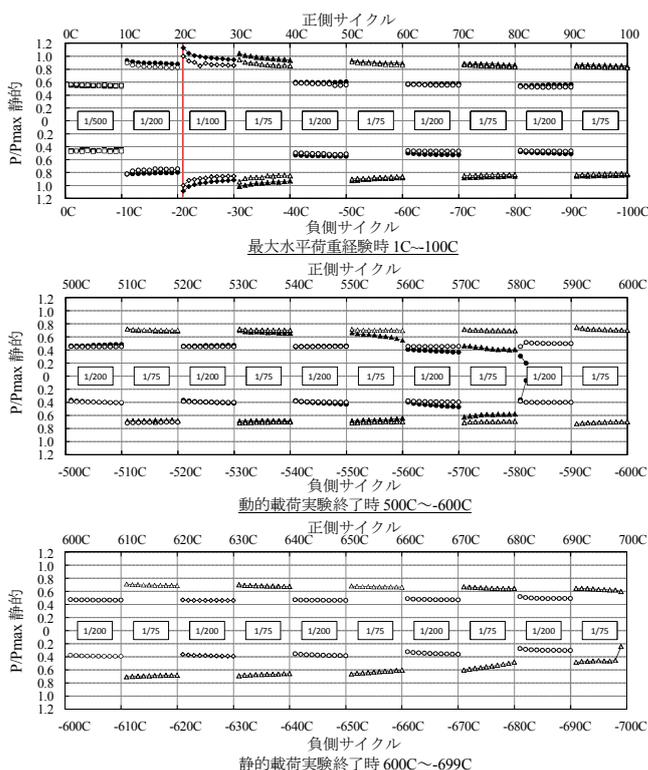


Fig.1 Horizontal Load Change by Cyclic Loading

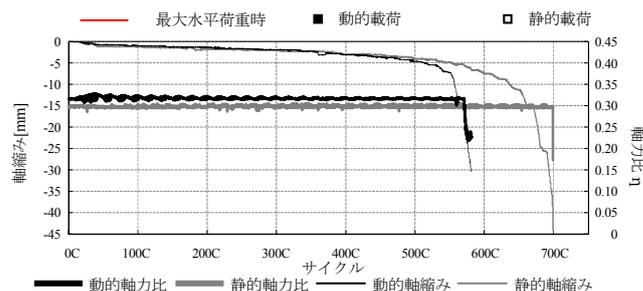


Fig.2 Relationship of Axial Force Ratio and Deformation

1 : 日大理工・学部・海建 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.

推定式に用いた。なお、歪速度は計測インターバル (1/100[sec])毎の歪の時間的変化量($\Delta\varepsilon$)として計算した。式の適用範囲は歪速度が $10^{-3}\sim 10^{-1}$ [1/sec]の範囲である。

$$\frac{Df_y}{s f_y} = 1.20 + 0.05 \log \left| \dot{\varepsilon} \right| \quad (1)$$

$s f_y$: 鉄筋の静的降伏強度, Df_y : 鉄筋の動的降伏強度, $\dot{\varepsilon}$: 歪速度

$$\frac{D F_y}{s F_y} = 1.38 + 0.08 \log \left| \dot{\varepsilon}_D \right| \quad (2)$$

$s F_y$: コンクリートの静的圧縮強度, $D F_y$: コンクリートの動的圧縮強度, $\dot{\varepsilon}_D$: 歪速度

材料強度上昇一覧を Table.1 に、実験で得られた各試験体の最大耐力及びファイバーモデルによる曲げ終局強度の解析結果を Table.2 に示す。コンクリートの動的 material 強度上昇率は約 26%、主筋およびせん断補強筋の動的 material 強度は約 10% 静的 material 強度に比べ上昇した。両試験体共に解析値に比べ実験値が下回る値を示したが、軸力による P- δ 効果を考慮すると実験時の最大荷重と解析結果が概ね近似した値である。

5. 静的及び動的載荷実験時における回転角

過去の知見より、異なる載荷方法によるコンクリートのひび割れや剥落等の違いが確認されており、それを定量的に把握する為、試験体柱脚部より柱反曲点高さの 500mm まで 100mm ピッチでパイゲージを取り付け、各区間の回転角を算出した。部材角 $R=1/500(10C) \sim 1/75(40C)$ の変形レベルにおける柱の各区間の回転角を Fig.3 に示す。両試験体共に回転角が柱脚部に集中している。また載荷方法の違いによる回転角に大きな違いはなかった。

6. 履歴吸収エネルギー

100C までのサイクルごとの履歴吸収エネルギー量を Fig.4 に、最大水平荷重時の履歴吸収エネルギー量を Table.3 に示す。部材角 $R=1/500$ の変形レベルにおける繰り返し載荷では両試験体共に履歴吸収エネルギー量は少ない。その後の繰り返し載荷では、静的載荷試験体に比べ動的載荷試験体のエネルギー吸収量が小さいことがわかる。両試験体の最大耐力時 ($R=1/100(-21C)$) では、静的載荷試験体が動的載荷試験体に比べ約 2.3 倍の履歴吸収エネルギー量を示している。

7. まとめ

本実験で得られた知見を以下に示す。

- ・歪速度による材料の強度上昇の影響により、静的載荷試験体に比べ動的載荷試験体は最大水平荷重が上昇した。
- ・軸力支持能力を喪失したことにより、静的載荷試験体では $R=1/75 (-69C)$ 動的載荷試験体は $R=1/75 (582C)$ で水平耐力が低下した。
- ・載荷方法の違いによる柱の曲率に大きな違いがない

ことを確認した。

- ・静的載荷試験体に比べ動的載荷試験体のエネルギー吸収量が小さいと考えられる。

Table.1 List of Dynamic Materials Strength by the Strain Rate

試験体名	材料	歪速度 $\dot{\varepsilon}$ [1/sec]	静的材料強度 $s F_y$ [N/mm ²]	動的材料強度 $D F_y$ [N/mm ²]	強度上昇率 $D F_y / s F_y$
動的載荷試験体	コンクリート	0.03	64.7	81.5	1.26
	鉄筋	0.08	418.2	479.4	1.15
	せん断補強筋	0.01	1021.2	1110.4	1.09

Table.2 Difference of the Maximum horizontal Load between Test and Analysis

試験体名	実験時最大荷重 [kN]	実験時荷重上昇率 (動的/静的)	P- δ 効果 [kN]	ファイバーモデル解析時最大荷重 [kN]	P- δ 効果を考慮したファイバーモデル解析時最大荷重 [kN]
静的載荷試験体	-146.0	1.09	-13.7	151.5	137.8
動的載荷試験体	-158.6		-14.6	171.9	157.3

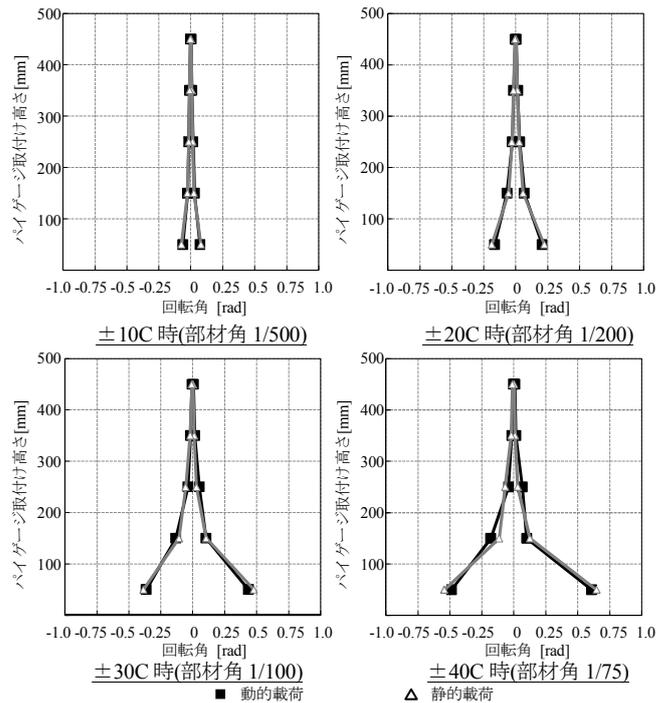


Fig.3 Distribution of curvature

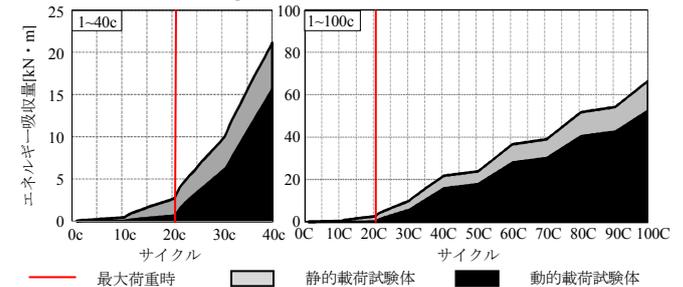


Fig.4 Relationship of Energy Absorption and Cyclic

Table.3 Energy Absorption at the Maximum Horizontal Load

試験体名	最大水平荷重時		
	エネルギー吸収量 [kN·m]	サイクル	静的E/動的E
静的載荷試験体	3.95	-21	2.3
動的載荷試験体	1.69	-21	

【参考文献】

- 1) 竹井祐人, 五百井荘: 既存超高層鉄筋コンクリート建造建築物の耐震性能に関する研究 (架構計画と材料の高強度化, 耐震構造の構造特性の推移), 千葉大学 卒業研究発表梗概, 2010. 2. 5
- 2) 小島陽一, 小川勲, 渡邊則人, 中西三和, 安達洋, 青山博之: 動的載荷時における鉄筋コンクリート造ト形柱梁接合部の力学的性状に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp241-242, 2006
- 3) 出水俊彦, 斎藤大樹, 福山洋, 森田高市, 向井智久, 濱田真, 菊田繁美, 金川基, 葉研地彰, 佐々木仁: 長周期地震動を受けるRC 造超高層建築物の構造性能(その1, 5, 6), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp499-500, 507-510, 2009
- 4) 幡中伸彦, 田才晃, 楠浩一, 坂東大輔, 安武悠, 中西三和, 安達洋: 長周期地震動を受ける高層RC 建造物の柱部材の軸力支持能力に関する動的検証実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp41-44, 2011

【謝辞】

本研究は、平成22年度文科省学術研究費補助金(基盤研究B)「鉄筋コンクリート造柱の地震時軸耐力喪失過程と建物の倒壊リスクに関する動的検証」(研究代表者: 中西三和)の一環として行ったものである。ここに記して感謝の意を示す。