

論文

[2118] 高層WR-PC造桁行き方向フレームの耐震性に関する実験的研究

窪田敏行*1・福田幹夫*2・前谷浩之*3

1. はじめに

「中高層壁式ラーメン鉄筋コンクリート造設計施工指針・同解説」[1]が1987年に作られ、以後同工法による建物が数多く設計・建設されてきた。同工法は場所打コンクリートによる工法のため現場の手間不足などからプレキャスト化が望まれ、その工法の開発も進められてきた。しかし、現状では実験データも少ないのでプレキャスト構造ということで2次設計における構造特性係数 D_s を、場所打コンクリートの工法に比べて0.05上乘せして設計することになっている。本研究は、11階建ての壁式鉄筋コンクリート造をプレキャスト化した場合の耐震性を確認しようとするもので、本報告は11階建壁式ラーメンプレキャスト構造(WR-PC造)を D_s 値0.35として試設計した桁行き方向フレームについて実験を行い、一体打ちしたものとプレキャスト構造を比較しその耐力、変形状についてまとめたものである。

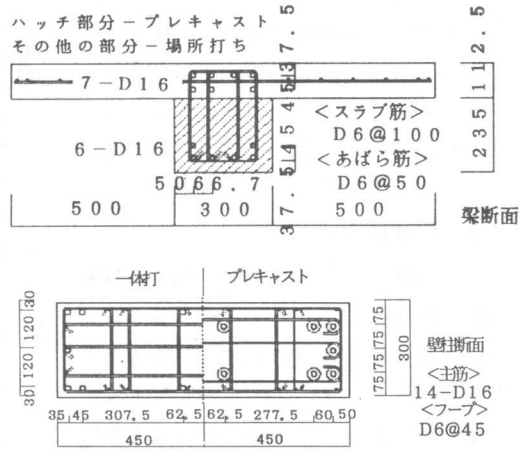


図1 試験体部材断面

2. 実験概要

2.1 試験体

試験体の断面寸法を図1に、配筋を図2に示した。試験体は、試設計した建物(長辺方向10スパン、短辺方向1スパンの11階建共同住宅)の桁行き方向下部1層半、1スパン分の中壁柱を取りだした十字形であり、縮尺を1/2としたものである。試験体は全部で3体あり、表1に示すように一体打試験体1体、プレキャスト試験体2体である。プレキャスト試験体は、壁柱部分と梁の上部スラブ厚さを除く部分がプレキャスト

表1 試験体の種類

No	試験体名	梁下端筋の定着	工法
1	WRPC-1	通し	一体打ち
2	WRPC-2	曲げ上げ	プレキャスト
3	WRPC-3	通し	プレキャスト

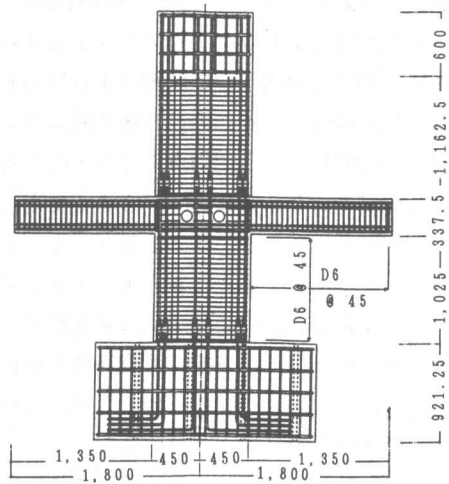


図2 試験体配筋図

*1 近畿大学教授 理工学部建築学科、工博(正会員)
 *2 近畿大学助手 理工学部建築学科、工修(正会員)
 *3 近畿大学大学院生 工学研究科

スト部材であり、壁柱・梁接合部部分とスラブは場所打コンクリートで造られている。壁柱脚は主筋をスプラインスリーブ継手で継ぐことによって接合されている。梁の下端筋を通しにしたものと曲げ上げ定着したもの1体ずつである。壁柱・梁接合部の配筋を図3に示す。壁柱主筋の断面における位置は、プレキャスト部材では主筋の継ぎ手としてスプラインスリーブ継ぎ手を用いるので一体打ちに比べて断面のより内側になっている。したがって、壁柱・梁接合部において、一体打ちでは壁柱主筋が梁筋の外側にあるのに対して、プレキャストでは梁筋の内側に位置している。使用した鉄筋およびコンクリートの材料試験結果は表2に示す。

2.2 実験方法

図4に加力装置を示した。軸力は長期の設計荷重に相当する100 tonを、試験体頂部に乗せた鉄骨梁と試験床との間を途中にセンターホール油圧ジャッキを挟んだ4本のPC鋼棒で試験床とを結び加えた。4本のジャッキは連通管で連結し常に軸力が一定になるように制御した。水平力は、反力壁と試験体頂部にセットした容量100 tonのアクチュエータで加え、加力点の水平変位制御により繰返し载荷をした。繰返しは、加力点の床位置に対する水平変位を壁柱脚から加力点の高さで除した水平部材角が1/2000と1/800で正負1サイクル、1/400、1/200、1/100、1/50で正負2サイクル、1/30で正負1サイクルとした。梁の先端には両端をピンとしその間にロードセルを挟んだ直径50 mmのロードを取り付けローラー支持とした。支持反力はこのロードセルにより計測した。

変形の計測は図5に示す位置に変位計を取り付け水平変位、梁の変位、1階壁柱の曲げ変形等を測定した。鉄筋のひずみは図2に示す位置にひずみゲージを貼付し部材端のひずみ、せん断補強筋のひずみ等を計測した。

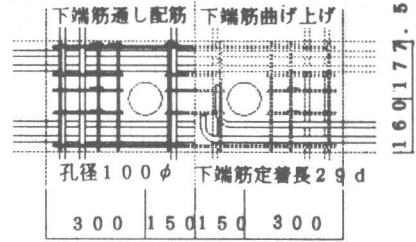


図3 壁柱・梁接合部配筋

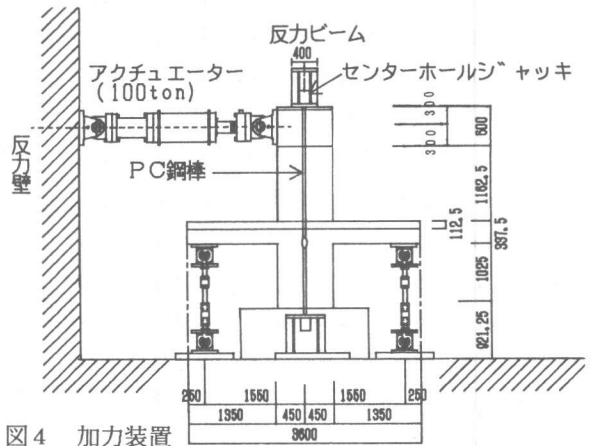


図4 加力装置

表2 材料試験結果

鉄筋降伏強度 (kg/cm ²)		コンクリート Fc (kg/cm ²)	
D 16 (柱主筋)	3 9 5 2	WRPC-1 1F	3 8 8
D 16 (梁主筋)	4 3 2 7	WRPC-1 2F	4 4 0
D 6 (壁筋、肋筋)	3 6 5 7	WRPC-2 1F	3 6 3
		WRPC-2 スラブ	4 2 9
		WRPC-2 梁	3 8 9
		WRPC-2 2F	3 5 4
		WRPC-3 1F	3 6 5
		WRPC-3 スラブ	4 2 7
		WRPC-3 梁	3 4 1
		WRPC-3 2F	3 8 7

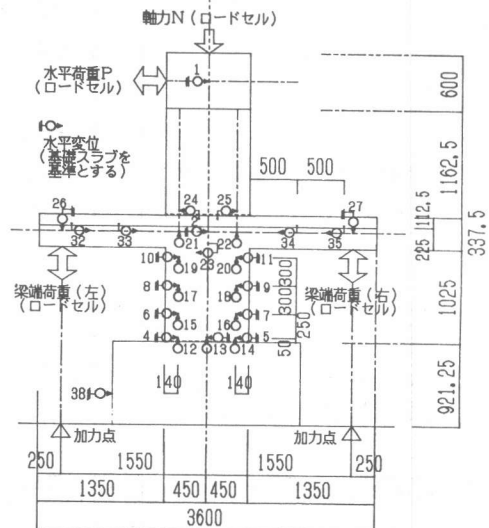


図5 変形計測位置

3. 実験結果及びその考察

3.1 破壊性状

図6にNo. 1 (一体打) とNo. 2 (プレキャスト・曲げ上げ定着) の試験体について、水平荷重 (= 1階の壁柱のせん断力) と2階床梁中央の基礎に対する相対水平変位との関係を、図7に最終ひび割れ図を示した。破壊経過は、①R=1/800と1/400の繰返し時に1階壁柱脚、梁、2階柱脚に曲げひび割れが発生、②R=1/400と1/200の繰返し時に1階壁柱に曲げせん断ひび割れが、また、壁柱・梁接合部に斜めひび割れが発生、③R=1/200と1/100の繰返し時に1階壁柱及び梁にせん断ひび割れが発生している。ひび割れのパターンは試験体による差はほとんどない。ただし、打継部での応力の伝達の違いと思われるが、プレキャストの試験体に1階壁柱頭に斜めひび割れがみられるが一体打ではみられない。

図6の中に主筋の降伏時点を記号で示したが、試験体3体とも壁柱主筋及び梁主筋の降伏は1階壁柱脚、梁下端、2階壁柱脚、梁上端の順序で生じている。1階壁柱脚はR=1/400のとき、梁下端はR=1/200の前後、2階壁柱脚と梁上端はR=1/200~1/100のときに降伏している。試験体による大きな差はみられなかった。

1階壁柱脚の圧壊はR=1/100の繰返し時にみられたが、一体打の試験体では1/30の繰返し時の大きな変位時に主筋の座屈がみられた。しかし、図6に示す荷重~変形関係では特に荷重の急激な低下は認められない。プレキャスト試験体には座屈は認められなかった。

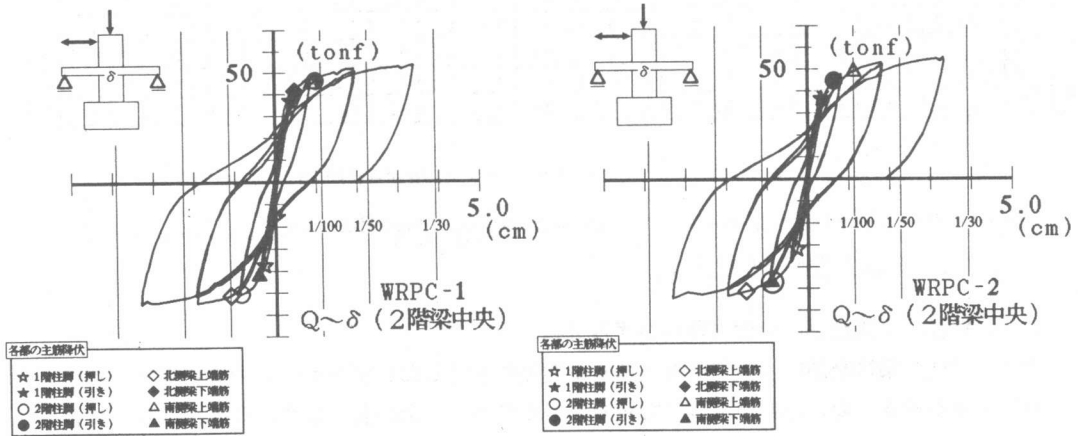


図6 水平荷重~水平変位関係

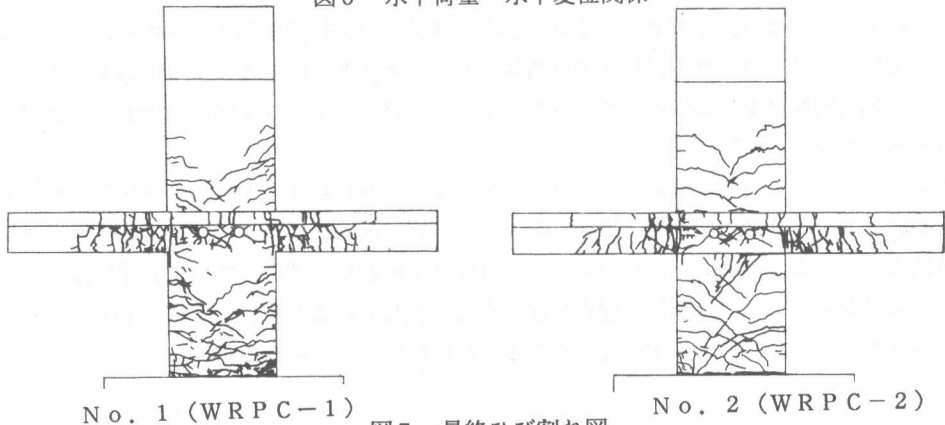


図7 最終ひび割れ図

3.2 諸耐力

表2に1階壁柱のひび割れ発生荷重と水平最大荷重を示した。同時に計算値を示し実験値との比も示した。曲げひび割れ発生荷重の計算値は、1階壁柱脚を計算された曲げひび割れモーメントとし、実験における曲げひび割れ発生時の梁の支点反力を用いモーメントの釣合から求めたそのときの頂部水平力とした。また、曲げせん断ひび割れ発生荷重、せん断ひび割れ発生荷重の計算に用いるせん断スパン(M/Q)は、そのひび割れ発生時の実験反力から求めたモーメント分布の実験値を用いた。最大水平荷重の計算値は、計算で求めた1階壁柱脚と梁端の終局モーメントを用いモーメントの釣合から頂部の水平荷重を求めたものである。ただし、実験時の軸力の水平分力を加えて補正をした。各ひび割れ荷重の実験値と計算値は、曲げひび割れに関しては差が大きいが、曲げせん断と、せん断ひび割れに関しては、最大2.2%の誤差となっているものもあるがほとんどが約10%以内の誤差に収まっている。最大水平荷重は、実験値の方が計算値より約10%大きいと良く一致している。一体打ちとプレキャスト試験体の各荷重の差は特に認められない。なお、各耐力式は現場打WRC造について耐力式を検討した文献[2]に従った。

表3 1階壁柱のひび割れ荷重及び最大水平荷重

試験体		曲げひび割れ荷重			曲げせん断ひび割れ荷重			せん断ひび割れ荷重			最大荷重		
		実験値 (tf)	計算値 (tf)	実/計	実験値 (tf)	計算値 (tf)	実/計	実験値 (tf)	計算値 (tf)	実/計	実験値 (tf)	計算値 (tf)	実/計
NO1	押	20.8	15.0	1.39	31.6	34.0	0.93	37.1	37.7	0.99	55.0	49.5	1.11
	引	17.0	15.8	1.08	26.9	31.3	0.86	39.2	38.9	1.01	53.4	50.1	1.07
NO2	押	18.2	14.6	1.25	30.4	33.0	0.92	38.1	37.5	1.01	54.3	50.2	1.08
	引	17.8	16.1	1.11	33.8	34.2	0.99	43.4	38.2	1.14	55.4	50.2	1.10
NO3	押	21.3	15.3	1.39	36.1	32.9	1.10	45.7	37.5	1.22	55.8	50.9	1.10
	引	14.3	18.3	0.78	33.3	36.7	0.91	41.8	38.3	1.09	54.6	51.0	1.07

$$Q_{bc} = \frac{(1.8\sqrt{\sigma_B + N/A}) Z_s}{M/Q}$$

$$M_U = -0.9a_s \sigma_y D + 0.4a_w \sigma_{wy} D + 0.5ND (1 - N/BD\sigma_B)$$

$$Q_{BSC} = 0.265 b D \sqrt{\sigma_B} + M_{BSC} / (M/Q - d/2)$$

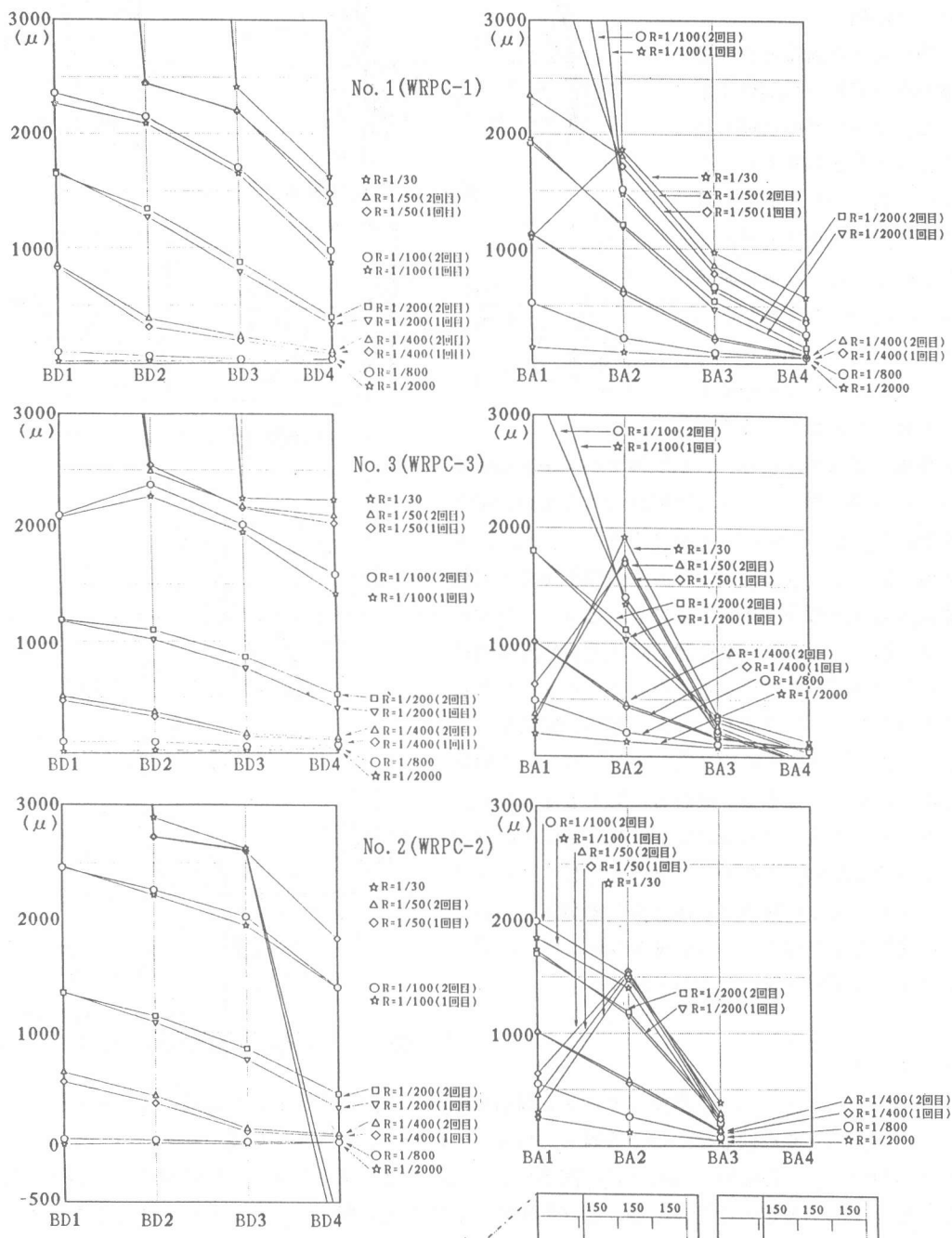
$$Q_{sv} = \left\{ \frac{0.053 P_t^{0.23} (\sigma_B + 180)}{M/Qd + 0.12} + 2.7 \sqrt{P_{we} \sigma_{wy}} + 0.1 \sigma_{os} \right\} b_s j$$

$$Q_{sc} = (1 + \sigma_o / 150) \frac{0.085 k_c (500 + \sigma_B)}{M/Qd + 1.7} b_j$$

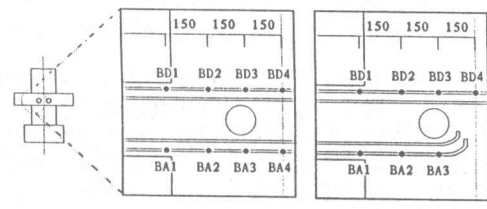
3.3 壁柱・梁接合部内の梁主筋のひずみ分布

図8は壁柱・梁接合部内の梁主筋に15cm間隔に貼付したひずみゲージにより測定したひずみ分布を水平繰返し折返し点について示したものである。上端筋のひずみ分布(BD)は3試験体共ほぼ同じ形状をしているが、下端筋の分布形状(BA)とは異なっている。下端筋の方が分布勾配が急になっている。また、下端筋の分布形状は、一体打試験体とプレキャスト試験体では異なっている。プレキャスト試験体では右端すなわち接合部中央でのひずみが非常に小さいのに対し、一体打試験体では最大約500μ生じている。プレキャスト試験体同士ではほぼ同じ分布形状を示している。

以上より、下端筋の方が上端筋より、また、プレキャスト試験体の方が一体打試験体より付着がよいこと、プレキャスト試験体では通し筋(N0.2)と曲げ上げ筋(N0.3)の定着効果が余り変わらないことがわかる。これは、一体打では1階壁柱と同時に壁柱・梁接合部を打設するのにに対しプレキャストでは壁柱・梁接合部のみを打設しているため、すなわち主筋の下でのコンクリートの沈降、ブリージングの違いがあるための影響と考えられる。



壁柱・梁接合部内の
図8 梁主筋のひずみ分布



3.4 1階壁柱脚の水平ずれと伸縮

図9に水平荷重と壁柱脚部の水平ずれとの関係を示した。ずれは基礎に埋め込んだボルトと基礎面から5cmの高さの壁柱側面に埋め込んだボルト間で計測したものである。一体打試験体(N o. 1)のずれが他のプレキャスト試験体(N o. 2、N o. 3)よりやや小さく $R=1/30$ の最後の

繰り返しではプレキャスト試験体が約4~5mmずれているのに対して一体打試験体では2mm程度である。しかし、2階床梁中央での水平変位約3.5cmに対して10%前後であり構造物全体の变形性能に大きな影響を与えるほどの差にはなっていない。また、図10には1階壁柱脚部曲げ主筋位置の曲げによる伸び縮みを水平荷重に対してプロットしたものを示した。3試験体ともほとんど同じ関係をしており、鉄筋継手からの抜け出しの壁柱脚への集中は特に大きくないことが分かる。図11は、N o. 1とN o. 2試験体について1階壁柱脚部の伸び縮みから求めた回転角をモーメントに対してプロットしたものであるが両者にもほとんど差が認められない。鉄筋継手が存在しても壁脚部変形は場所打構造とほとんど変わらないことが分かった。

4. まとめ

プレキャスト化した中高層壁式ラーメン構造の桁行き方向構面の1/2縮尺による水平加力実験を行い耐力、変形性能について検討した結果、一体構造との局所的な違いはあるが、構造物としての耐力、変形性能は一体打とほぼ同等であった。また、プレキャスト試験体の梁下端筋の壁柱・梁接合部への定着性能は、曲げ上げ筋定着としても通し配筋したものとほぼ同じであった。

文献 [1] 日本建築センター「中高層壁式ラーメン鉄筋コンクリート造設計施工指針・同解説」
[2] 平石、稲井、今井、狩野「高層壁式ラーメン鉄筋コンクリート造建物における壁柱の耐震性能評価に関する研究」日本建築学会論文報告集第439号、1992.9

謝辞 本実験研究は、住宅都市整備公団とプレハブ建築協会により開発された高層WR-PC造に関してプレハブ建築協会に設けられた「WR-PC工法実験委員会」(委員長:武蔵工業大学望月重教授)の指導協力のもとに行われたものである。実験計画と試験体製作に関して長嶋(竹中工務店)、三瓶氏(フジタ)、竹田氏、上崎氏、坪井氏(フドウ建研)、藪崎氏(九段建研)にご協力頂いた。実験実施に際しては、近畿大学助手の村上氏、大学院生の前谷君、卒業生の中谷さん、東川君、吉田君、谷上君、松瀬君に協力頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

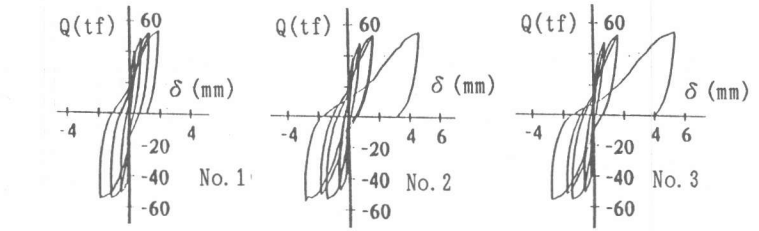


図9 1階壁柱脚の水平ずれ

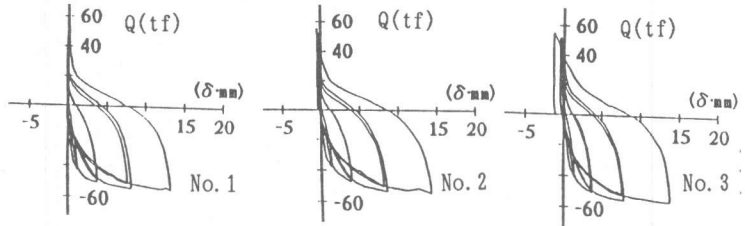


図10 1階壁柱脚の曲げによる伸縮

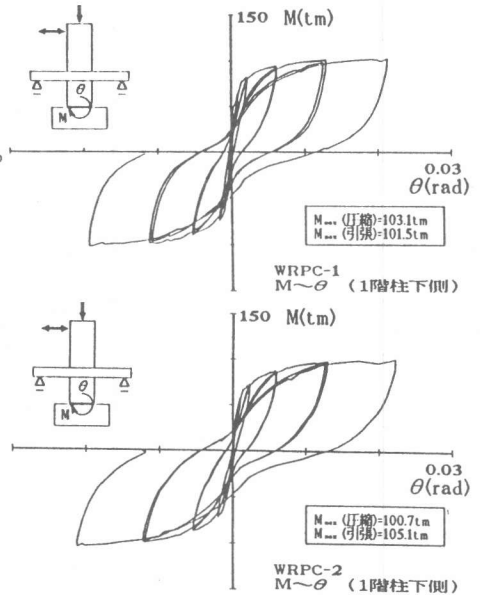


図11 1階壁柱脚のM~θ関係