

二軸曲げ交番荷重を受ける RC 柱の基礎的実験

大阪市立大学大学院（日本構研情報㈱） 正会員 ○佐藤 知明

大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 小林 治俊

大阪市立大学工学部 学生員 上野 宏和

1. はじめに

兵庫県南部地震後に改訂された道路橋示方書[1]（以下、道示という）によれば地震時の挙動が複雑な RC 橋脚には動的解析による照査を行うようになったが、地震力は橋脚に対し互いに直交する 2 つの主軸方向にそれぞれ独立して作用するものと理想化して取り扱われている。しかし、実際の地震力は三次元的挙動を示すことから橋脚には複雑に慣性力が作用し、現在の設計には一般に考慮されていない二軸曲げが生じる。そこで、本研究では二軸曲げを受ける正方形断面を有する RC 橋脚の基礎的な力学特性を検討するため、地震時の水平二方向慣性力が繰り返し作用する現象を想定して正負交番載荷実験を行い、損傷状況、最大耐力および曲げモーメント M_x – M_y 相関曲線との比較について検討した。

2. 実験供試体

供試体は想定 RC 柱の 1/10 モデルを 6 体製作した。図-1 にその形状および鉄筋配置を示す。なお、供試体の柱断面は 250×250 mm の正方形断面とした。実験時のコンクリート、主鉄筋（SD345–D13）および帯鉄筋（R6）の物性値を表-1 に示している。

3. 実験方法

図-2 は載荷方法であり、各試験方式を一軸曲げ正負交番載荷実験（方式 1）および二軸曲げ正負交番載荷実験（方式 2～4）とした。そして二軸曲げ正負交番載荷実験における Y 方向荷重 F_y は一定荷重であり、次式で定義する。

$$F_y = \alpha P_{y0}$$
(1)

ここで、 P_{y0} は一軸曲げ設計時の初降伏荷重強度である。また、パラメータ α は、試験方式 2～4 に対してそれぞれ $\alpha = 0.25, 0.5, 0.75$ とし、一軸曲げ正負交番載荷実験である試験方式 1 は Y 方向荷重が作用しない場合であり、 $\alpha = 0$ として扱う。X 方向の載荷は変位制御により行い、一軸曲げ設計時の初降伏変位 δ_{y0} を基準として、 $5 \delta_{y0}$ までは 0.5 倍刻みで増加させ、以降は 1 倍刻みで増加し、 $10 \delta_{y0}$ まで正負交番載荷を行った。なお、各供試体には、上部工荷重を想定し、柱基部において軸圧縮応力 0.98 N/mm^2 に相当する鉛直軸力 61.25 kN を導入した。なお、水平方向の載荷および変位の計測は、柱基部から 800 mm の高さにおいて行った。

4. 実験結果と考察

(1) 破壊形式 全供試体に共通して、最大荷重到達前に RC 柱基部から高さ 250 mm 以内に曲げ、あるいは圧縮破壊によるかぶりコンクリートの剥落が見られた。例として図-3 は、試験方式 3 における実験終了時の損傷状況

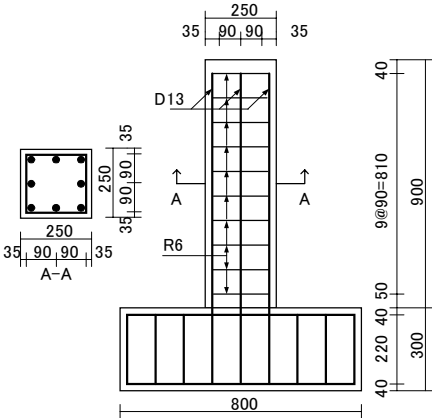


図-1 実験供試体（単位:mm）

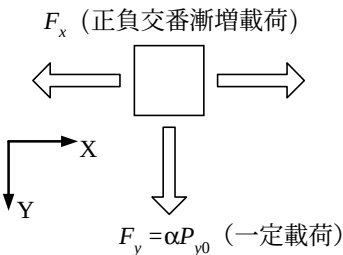


図-2 載荷方法

表-1 実験供試体の材料特性と載荷方式（※ α は式（1）を参照）

試験方式	コンクリート		軸方向鉄筋		帯鉄筋		載荷方式	
	圧縮強度 (N/mm^2)	ヤング係数 $\times 10^4$ (N/mm^2)	降伏強度 (N/mm^2)	ヤング係数 $\times 10^5$ (N/mm^2)	降伏強度 (N/mm^2)	ヤング係数 $\times 10^5$ (N/mm^2)	X方向	Y方向*
1	30.2	2.65	378	1.75	239	1.71	正負交番	$\alpha = 0$
2	30.2	2.65	378	1.75	239	1.71	正負交番	$\alpha = 0.25$
3	28.8	2.86	378	1.75	239	1.71	正負交番	$\alpha = 0.5$
4	31.5	2.98	378	1.75	239	1.71	正負交番	$\alpha = 0.75$

である．図のように，Y+，X+，X- 面のかぶりコンクリートが圧縮破壊により剥落し，さらに正負交番載荷であるため Y+面は両隅が高い位置まで損傷し V の字を描くようにかぶりコンクリートが剥落していた．また，両隅の圧縮破壊の角落ち高さはおよそ 150 mm から 200 mm であった．なお，道示に基づく 1 軸曲げにおける塑性ヒンジ長は 125 mm である．表-2 に損傷の範囲をまとめている．

(2) 最大耐力 ここでは示さないが X 方向に対する荷重－変位の履歴曲線での包絡線を図-4 に，また表-2 に各包絡線の最大耐力値を示している．Y 方向の荷重強度の違いによる X 方向の最大耐力は， $\alpha = 0, 0.25, 0.5, 0.75$ に対して，それぞれ 52.5, 51.3, 46.9, 42.7 kN となっており， α が大きな場合のものほど最大耐力値が低下していた．なお，道示による算定値には，各供試体の材料強度が異なることから，表-1 に示す全供試体の材料試験強度の平均値を用い，ファイバーモデルにより求めた．その際，応力－ひずみ関係において，コンクリートには拘束効果を考慮し，鉄筋にはひずみ硬化を考慮している．

(3) 相関曲線 実験より得られた最大荷重 F_x と一定荷重 F_y との関係を図-5 に示す．また同図には M_x － M_y 相関曲線

$$\left(\frac{M_x}{M_{x0}}\right)^{\beta} + \left(\frac{M_y}{M_{y0}}\right)^{\beta} = 1$$

(2)

を用いて，係数 β を 2 および 3 とした場合の曲線も図示している．上式で M_x, M_y は降伏を評価するための二方向主軸別の曲げモーメント，また M_{x0}, M_{y0} は二方向主軸別の曲げ耐力である．なお，各主軸における曲げ耐力は，載荷位置までの高さ h (=800 mm) により除して算出している．Y 方向荷重係数 $\alpha = 0 \sim 0.5$ の場合には，相関曲線の係数 β が 2 のものによく一致し， $\alpha = 0.75$ の場合には，最大耐力値は約 10 % 大きくなっており，係数 $\beta = 3$ に近いものであった．本研究では試験体数が少ないため，係数 β を特定するには至らないが，係数 β の値は 2～3 の範囲で近似できるものと考えられる．

5. まとめ

- 本実験により得られた主なことを以下に記す．
- (1) 一定荷重 F_y が作用する圧縮面（Y+面）において，大きな圧縮破壊の損傷が見られた．
 - (2) 二軸曲げ正負交番載荷実験より，Y 方向荷重強度が大きくなるほど X 方向の最大耐力が低下する．
 - (3) 本実験結果は， M_x － M_y 相関曲線 [式 (2)] の係数 β の値が 2～3 の範囲で近似できる．

参考文献 [1] 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，日本道路協会，1996.12 および 2002.3

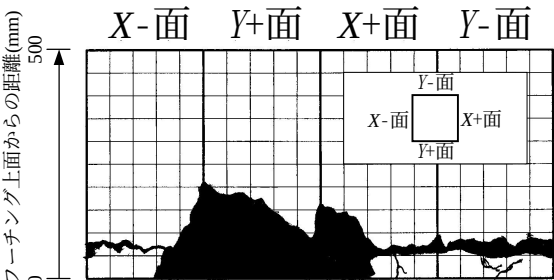


図-3 試験方式3における損傷状

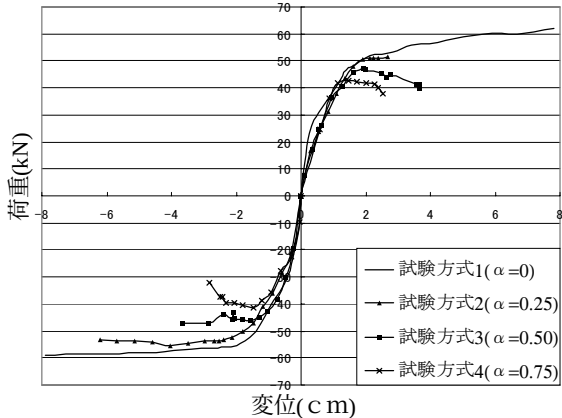


図-4 X方向の最大荷重値より求めた包絡線

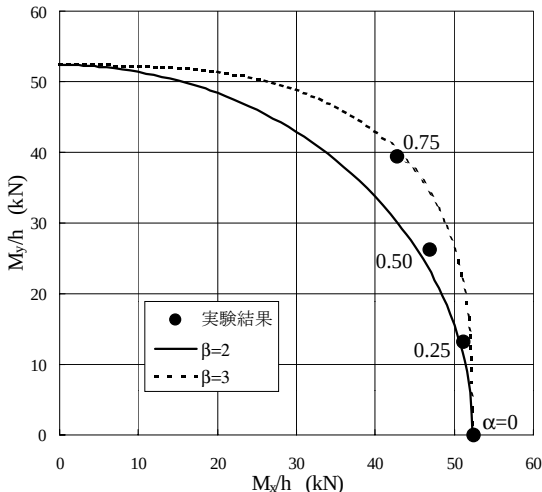


図-5 実験結果と相関曲線

表-2 X方向の最大耐力値および損傷範囲

試験方式	最大耐力値 (kN)	損傷範囲 (mm)	
		圧縮側	引張り側
道示	53.2	125**	125**
1	52.5*	100	250
2	51.3	150	200
3	46.9	200	100
4	42.7	180	130

* 明確な最大値が得られなかったため， $\pm 10 \delta_{y0}$ 時の荷重の平均値を採用 ** ヒンジ長