

大阪市立大学大学院（日本構研情報棟） 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

平成7年1月の兵庫県南部地震を契機に、道路橋示方書[1]（以下、道示という）が改訂され、地震時の挙動が複雑な RC 橋脚に対しては、動的解析による照査を行うようになった。その際、地震力は RC 柱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。ところが、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、得られた荷重－水平変位関係などについて検討した。

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 に示す。

3. 実験方法

載荷方法および測定方法を図-2、図-3 に示す。水平二方向が含まれる平面を XY 平面とし、載荷方向に対する角度 θ は、X 軸から Y 軸に向かう角度で定義する。実験における各試験方式は、 $\theta = 0^\circ$ 方向単調載荷実験（方式 1）、等二軸曲げ載荷となる $\theta = 45^\circ$ 方向載荷実験（方式 2）、一軸曲げ正負交番載荷実験（方式 3）および二軸曲げ正負交番載荷実験（方式 4～6）とした。なお、二軸曲げ正負交番載荷実験における Y 方向荷重強度 F_y は次式で定義する。

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

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、試験方式ごとに、 $\alpha = 0.25$ （方式 4）、 $\alpha = 0.5$ （方式 5）、 $\alpha = 0.75$ （方式 6）とし、一軸曲げ正負交番載荷実験となる試験方式 3 は Y 方向荷重が作用しない場合と考え、 $\alpha = 0$ として取り扱っている。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

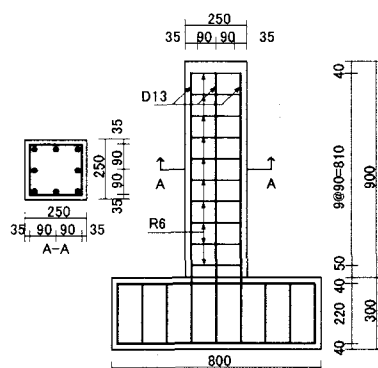


図-1 実験供試体（単位:mm）

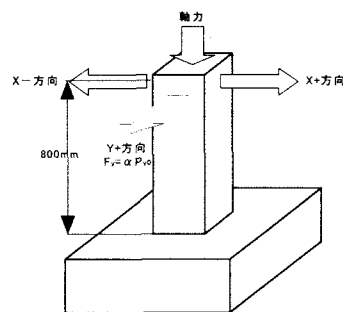


図-2 載荷方向概略

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 $\times 10^4$ (N/mm^2)	降伏強度 (N/mm^2)	ヤング係数 $\times 10^4$ (N/mm^2)	X方向	Y方向*
1	30.2	2.60	365	1.90	240	1.81	単調	単調
2	30.2	2.60	365	1.90	240	1.81	単調	単調
3	30.2	2.65	378	1.75	239	1.71	正負交番	$\alpha = 0$
4	30.2	2.65	378	1.75	239	1.71	正負交番	$\alpha = 0.25$
5	28.8	2.86	378	1.75	239	1.71	正負交番	$\alpha = 0.5$
6	31.5	2.98	378	1.75	239	1.71	正負交番	$\alpha = 0.75$

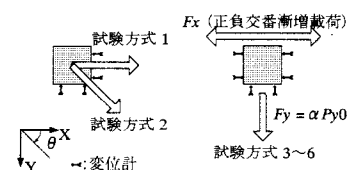


図-3 載荷方法と測定位置

61.25 kN を導入した。また、水平方向の載荷および変位計測は、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、試験方式 5 における実験終了時の損傷状況を図-4 に示す。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。

(2) 荷重変位曲線および包絡線 試験方式 1, 2 における荷重-変位曲線および道示による一軸曲げを受ける RC 柱の荷重-変位曲線を図-5 に示し、試験方式 3~6 により得られた X 方向の荷重-変位曲線における最大荷重値の包絡線を図-6 に示す。また、各試験結果における最大荷重値と各試験による損傷の範囲を併せて表-2 に示している。なお、道示による算定には、各供試体の材料強度が異なることから、一つの目安として全供試体の材料試験強度の平均値であるコンクリート 29.0 N/mm²、主鉄筋 359.1 N/mm²、帯鉄筋 230.0 N/mm² の値を用いた。図-5 により、道示により算定された降伏荷重値以降、試験方式 1 の荷重-変位曲線の傾きが変化し、試験方式 2 の X および Y 方向の分力は道示による降伏荷重に一致する事が分かる。45° 方向に対する合力は一軸曲げを受ける試験方式 1 の最大荷重値に比べ 15% 増加している。図-6 からは、試験方式 5, 6 において耐力の低下が確認でき、試験方式 3~6 において Y 方向の荷重強度 F_y 、すなわち α が大きなものほど X 方向の最大荷重が低下していることが分かる。

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) 45° 方向載荷試験より、X および Y 方向の最大荷重値は、道示による一方向曲げに対する降伏荷重に一致した。
- (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い場合ほど X 方向の最大荷重が低下することが確認できた。

謝辞 本研究を行うにあたり、大阪工業大学八幡工学実験場・園田恵一郎教授、東洋技研コンサルタント(株)・島田功氏、大阪市立大学・鬼頭宏明助教授および角掛久雄助手に協力を頂きました。記して感謝いたします。

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

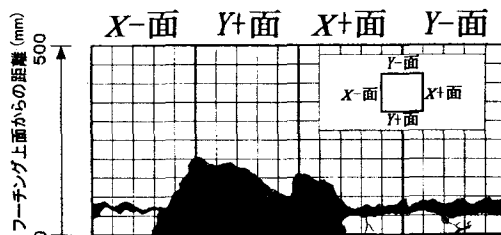


図-4 試験方式 5 における損傷状況

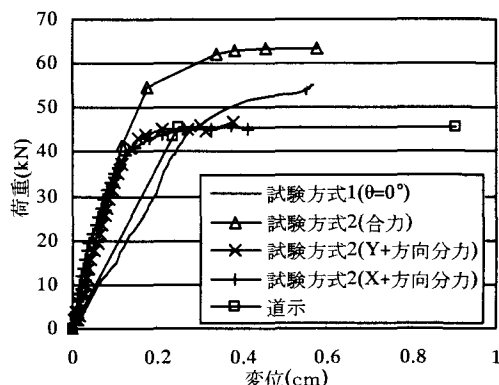


図-5 試験方式 1, 2 における荷重-変位曲線

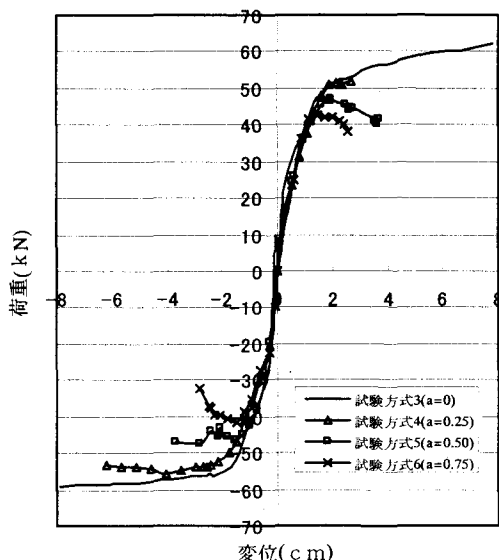


図-6 X 方向の最大荷重値より求めた包絡線(試験方式 3~6)

表-2 X 方向の最大荷重値および損傷範囲

試験方式	最大荷重値(kN)	損傷範囲(mm) (*はヒンジ長)	
		圧縮側	引張側
道示	45.8	125*	125*
1	52.8	75	125
2	45.0	150	200
3	54.3**	100	250
4	51.3	150	200
5	46.9	200	100
6	42.7	180	130

**：明確な最大荷重値が得られなかったため、 $\pm 10 \delta_{y0}$ 時の荷重値の平均値を採用した。