

RC 柱の2軸曲げ履歴復元特性

古市耕輔¹・村山八洲雄²

¹正会員 工修 鹿島技術研究所 第一研究部 (〒182 東京都調布市飛田給 2-19-1)

²フェロー会員 工博 鹿島技術研究所 第一研究部 (〒182 東京都調布市飛田給 2-19-1)

1. はじめに

一般に、構造物に2方向の地震力が作用すると、その柱部材には2軸曲げが生じる。また、A型や逆Y型の主塔を有する斜張橋においては、一方向(橋軸方向)の地震力によっても、常時の偏載荷重との組合せにより塔部材に2軸曲げが生じることとなる。従来から重要な構造物においては、非線形応答解析を行い部材及び構造形の安全性を検討している。また、阪神・淡路大震災後は以前と比べ、設計上より大きな地震動も対象とした、構造物の動的応答解析や部材のじん性に基つた耐震検討が行われるようになった。そこでは各部材の軟化域を含む、部材力と部材変形に関する復元力特性が必要となってくるが、特に2軸曲げに関する情報が十分に得られていない。そこで、今回断面形状が長方形で、そのコンクリートの圧縮強度が設計基準強度で400~600kgf/cm²と大きく、軸方向鉄筋比が小さく、常時の軸圧縮応力度が大きいという特徴を有している斜張橋塔部材を対象として、2軸曲げの模型実験を実施し、その挙動を把握することとした。また、設計に用いる非線形地震応答解析手法の検証を目的として、各試験体のシミュレーション解析を行った。

2. 実験

(1) 概要

実験は、基本的挙動の把握を目的として、塔部材のせん断スパンが大きいこと、及びシミュレーションとの比較において積分過程による誤差の影響を除くため純曲げ加力とし、2軸曲げ3体と比較のための1軸曲げ1体とした。2軸曲げの実験は、軸圧縮力80kgf/cm²を載荷した状態で、Y軸回りに一定の曲げモーメントを加えてX軸回りに交番載荷したもの(B1試験体)、曲げモーメントを断面主軸に対して45°方向に交番載荷したもの(B2試験体)、及び2方向にランダムな荷重を載荷したもの(B

3試験体)の3体について行った。また、比較用の1軸曲げ実験は、同一条件下で、X軸回りだけに交番載荷(U1試験体)した。(表-1参照)

表-1 試験体一覧

名称	コンクリート 圧縮強度 (kgf/cm ²)	載荷方向 (deg)
U1	443	$\theta_M=0^\circ$, 繰り返し
B1	426	$M_y=0.57\text{tm}$, 繰り返し
B2	407	$\theta_M=45^\circ$, 繰り返し
B3	430	エンベロップ地震波, 曲率制御

(2) 試験体諸元

試験体の形状寸法はすべて同一で、断面が16cm×25cmの長方形、長さは1.3mである。試験区間の軸方向鉄筋比は0.95%、帯鉄筋比は0.16%とした。

コンクリートについては、最大骨寸法10mmのマイクロコンクリートを用い、その実験時の圧縮強度は円柱供試体で407~443 kgf/cm²であった。

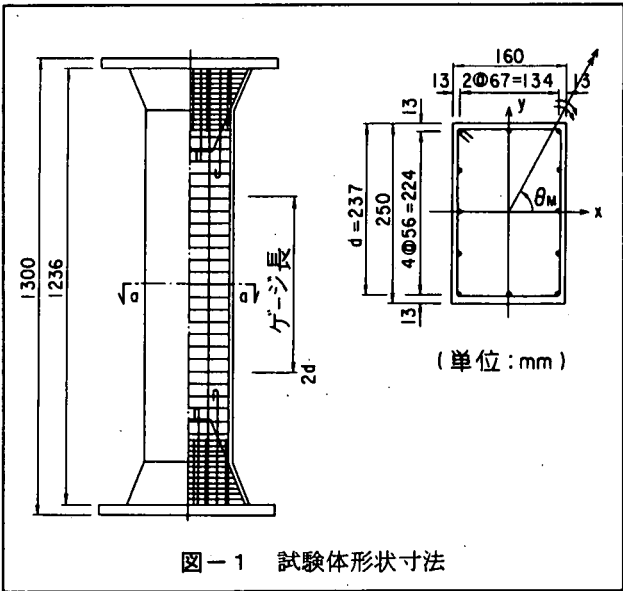


図-1 試験体形状寸法

コンクリートの引張り（割裂）強度は、圧縮強度のおよそ13分の1であった。

軸方向鉄筋にはD6鉄筋（SD30）を、帯鉄筋には縮小異形3mm鉄筋（SD30）を使用した。引張り試験の結果、軸方向鉄筋の降伏強度は3,030 kgf/cm²、引張り強さは4,785kgf/cm²、帯鉄筋の降伏強度は3,250 kgf/cm²、引張り強さは4,930 kgf/cm²であった。

(3) 実験方法

任意の方向の純曲げモーメントは、試験体の周囲に120度の間隔で配置した3本の押し引きジャッキを用い、その荷重を組み合わせることによって載荷した¹⁾。軸力は、P-Δ効果による誤差を排除するため、試験体の中心を通るアンボンドP C鋼棒を介してセンターホール・ジャッキにより載荷した。試験体の中央にゲージ長50 cm（断面長辺の2倍）の変位計を断面の4隅に取付け、4個の相対長さ変化のデータを取得し、50 cm区間の平均曲率と曲率の方向を計算によって求めた。

(4) 結果

実験結果を図-2, 3 に示す。実験結果の特徴的な事項を述べると以下のとおりである。

a) 1軸曲げ

U1試験体において、包絡線はピーク荷重のあとには比較的勾配の大きい軟化領域がみられる。また、ヒステリシス履歴は、大きな軸力の影響で座標原点付近で大きくくびれている。

b) 2軸曲げ

許容曲げモーメント相当の常載曲げ M_y に加えこれに直角な交番曲げ M_x を受けるB1試験体の $M_x-\Phi_x$ 関係は、U1試験体の場合に類似している。ただし、U1試験体で見られたヒステリシス履歴のくびれは、大変形時には緩和されているようである。 $M_y-\Phi_y$ の関係は、最大荷重程度までは1軸曲げと大差ない挙動を示すが、より大きな交番変形を受けると M_y が一定にもかかわらず常載曲げ方向の変形 Φ_y の値が次第に増加している。

45°方向に交番載荷したB2試験体の $M-\Phi$ 関係の包絡線とヒステリシスの形状はU1試験体の場合と類似しているが、他方向曲げの影響で最大荷重の大きさが1軸曲げに比べて最大荷重が1/2程度に、最大荷重時の曲率が1/4程度に減少している。U1試験体で見られたヒステリシス履歴のくびれは緩和されている。また、塑性域に達しても最大曲げモーメントの方向と最大曲率の方向の関係はほぼ一定になっている。

ランダム載荷したB3試験体の $\Phi_x-\Phi_y$ 関係を見ると、幾つかははっきりした凸部を有するのに対し、 M_x-M_y 関係では、部材降伏の影響で凸部が不明確な丸みを帯びた形状を示しているほか、2軸曲げ載荷による荷重の低下

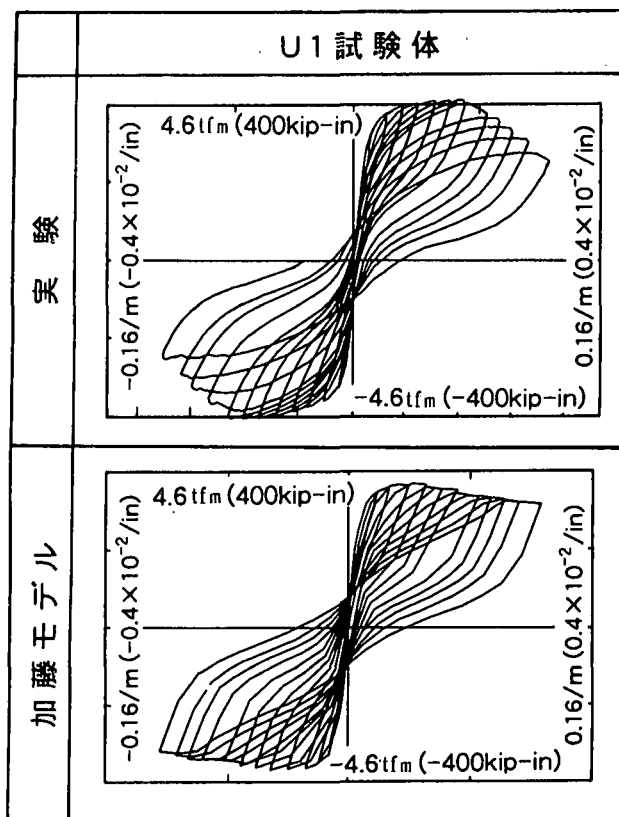


図-2 1軸曲げ実験・解析結果

がみられる。

3. 解析

(1) 解析方法

解析にはファイバーモデルを用い、曲率を入力とし曲げモーメントを出力とした。材料のモデル化としては、断面内コンクリートは、帯筋よりも外側の非拘束コンクリートと内側の拘束コンクリートに分類してモデル化した。このうち非拘束コンクリートの応力-ひずみモデルは、試験体と同一配合のコンクリートのひずみ制御による1軸圧縮試験の結果に適合するように設定した。また、拘束コンクリートについては、1軸圧縮試験結果をKent & Parkの提案する方法で修正して用いた。鉄筋モデルとしては、加藤モデルを用いた²⁾。

(2) 解析結果

図-2に1軸曲げの解析結果を示す。包絡線とヒステリシス履歴、及び最大荷重など、解析はほぼ実験を再現している。ただし、軟化領域において、実験でみられる最大荷重後の急激な荷重低下は解析で表現できていない。

また、図-4に2軸曲げの解析結果を示すが、実験の項で述べたような加力パターンの相違が M_x-M_y 関係、 $\Phi_x-\Phi_y$ 関係、及び $M-\Phi$ 関係に及ぼす影響は、ほぼシミュレートできている。

詳しく見ると、2軸曲げにおいても、1軸曲げの場合と同様、 $M-\Phi$ 関係の包絡線で最大荷重以降の荷重低下

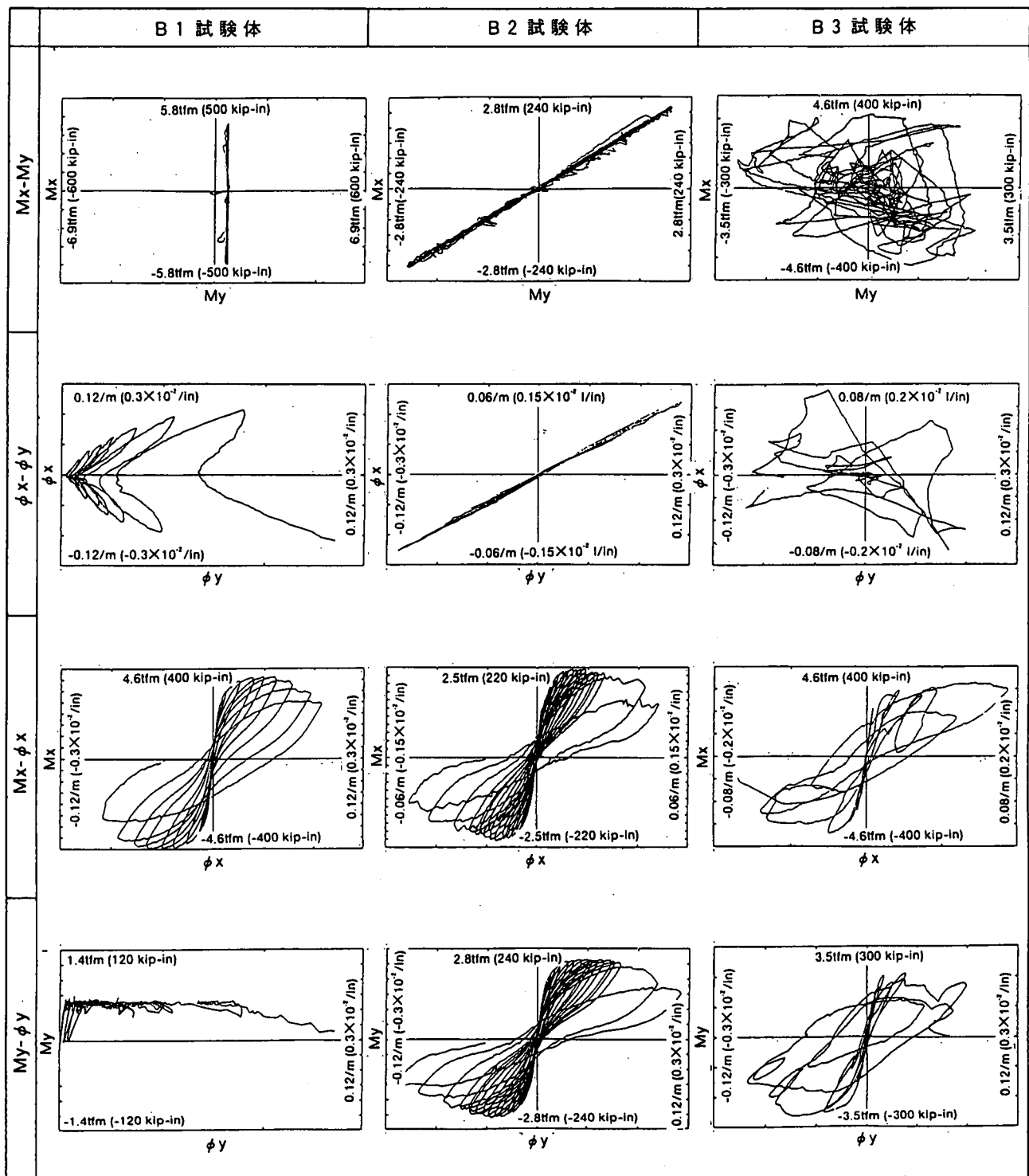


図 - 3 2 軸曲げ実験結果

が解析において緩慢になっている。そしてこれが影響して、B 1 試験体の $M_y - \Phi_y$ 関係、B 2 試験体の $M_x - \Phi_x$ 関係と $M_y - \Phi_y$ 関係、B 3 試験体の $M_x - M_y$ 関係と $M_x - \Phi_x$ 関係において1軸曲げの場合と同様に、最大荷重以降（載荷の終盤）で解析と実験の間に差が現れている。

4. あとがき

斜張橋の塔のようにせん断スパン比と作用軸力が大きいRC柱部材を想定し、2軸曲げ実験及びファイバーモデルによる解析を行った。その結果、柱部材の2軸曲げ挙動が把握された。また、これらの様子はファイバーモデルに基づいた解析によってほぼシミュレートできることが確認された。

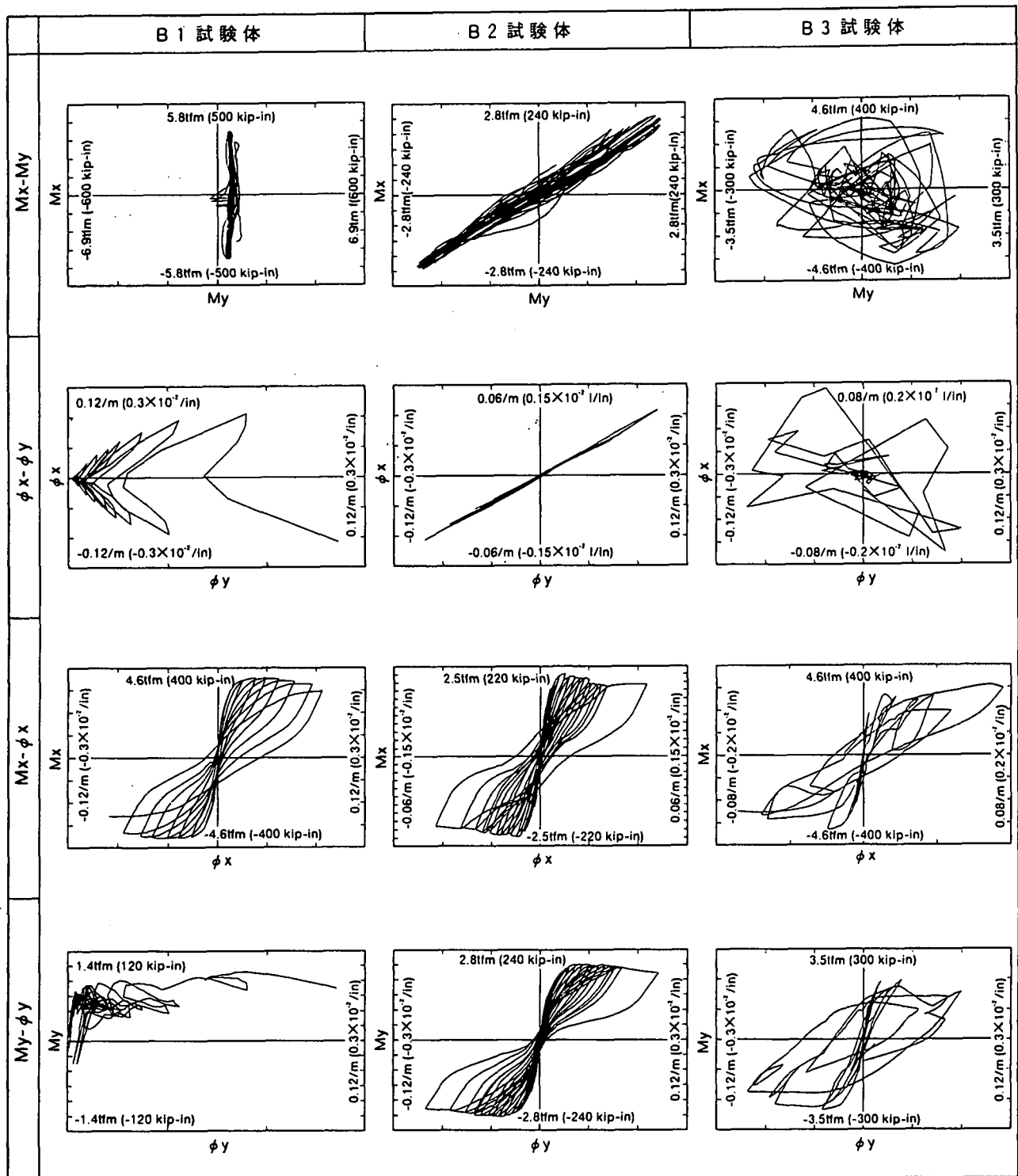


図 - 4 2 軸曲げ解析結果

謝辞： 本シミュレーション解析には、カリフォルニア大学バークレー校のMahin教授指導を受けたことをここに記し感謝の意を表します。

2) 村山, 古市, S.Sivasubramanyan, S.A.Mahin ; 鉄筋モデルの相違がRC柱部材のM- ϕ 解析結果に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 16, No. 2, pp. 165-170, 1994,

参考文献

- 1) 村山, 須田, 古市 ; 高軸力・二軸曲げを受けるRC部材の剛性評価方法, 鹿島建設技術研究所年報, 第37号, pp. 57-64, 1989.