

# V-226 高軸力・2軸曲げを受けるRC部材の剛性評価方法に関する適用性検討

鹿島建設(株)技術研究所 正会員 古 市 耕 輔  
 鹿島建設(株)技術研究所 正会員 村 山 八洲雄  
 鹿島建設(株)技術研究所 正会員 須 田 久美子

## I. はじめに

斜張橋のRCタワー等では構造形状の特徴から2軸曲げの検討を必要とする場合がある。引張鉄筋の他に側方鉄筋と圧縮鉄筋を有する柱部材であり、死荷重による軸力も80~100 kgf/cm<sup>2</sup>と非常に高いレベルにある。

既往のRC部材の平均剛性評価法のうち、軸圧縮力も考慮できる方法には、堺・角田らの方法<sup>1)</sup>（Bransonの方法を軸力も考慮できるように拡張）がある。しかし、実験的に適用が確認されている範囲は1軸曲げの引張鉄筋のみを有する断面に限られており、軸力も軸圧縮応力度で10~15 kgf/cm<sup>2</sup>の低軸圧縮力（偏心量一定）で載荷した場合である。ここでは、RCタワーの曲げが卓越する部分に着目し、曲げと軸力を受けるRC柱部材の剛性評価方法について実験的に検討した。1軸曲げ及び2軸曲げについて検討項目は以下の通りである。

- (1) 偏心量一定で高軸力（斜張橋タワーレベル）載荷時  
；文献<sup>1)</sup>の方法の適用性
- (2) 軸力一定で低軸力（橋脚レベル）及び高軸力載荷時  
；文献<sup>1)</sup>の方法の適用性
- (3) 2軸曲げ載荷時；評価方法の提案と適用性

## II. 実験方法及び試験体

実験は写真-1に示すように、断面の任意方向に曲げモーメントが載荷できる装置を用いて行った。この装置は曲げモーメントの載荷をする3本の押引両用ジャッキと軸圧縮力載荷専用ジャッキの計4台のジャッキで構成されている。

試験体は図-1の通りで、実構造物で一般に想定されている断面の約1/20の縮小模型である。軸方向鉄筋比0.95%、帯鉄筋比0.16%、また、各試験体の材料特性及び載荷条件については表-1に示す。

## III. 実験結果

前述の検討項目に対する実験結果は以下の通りである。

(1) 1軸曲げにおいて軸圧縮力レベルの影響を調べるため、偏心量 $e/d=0.4$ 一定（ $d$ は断面の有効高さ）で実験を行った（図-2）。これは、文献<sup>1)</sup>の $e/d=1.3 \sim 3.1$ に比較して高軸力である。ひびわれ発生後の実験値と計算値（文献<sup>1)</sup>の方法を側方筋も考慮できるように修正したもの）はよく一致しており、この方法は高軸力の場合にも適用できることがわかった。

(2) 1軸曲げにおいて、軸力一定で、低軸力（軸圧縮応力度 $\sigma_N = 7$  kgf/cm<sup>2</sup>）の場合と、高軸力（ $\sigma_N = 80$  kgf/cm<sup>2</sup>）の場合を図-3に示す。軸力一定の場合も計算値は実験値によく一致している。

(3) 2軸曲げについては軸力一定（高軸力）で実験した。

① RCタワーのような長方形断面の2軸曲げでは、一般に、モーメントの方向 $\theta_M$ と曲率の方向 $\theta$ 。が

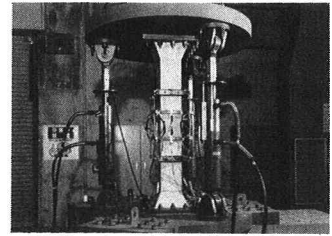


写真-1 2軸曲げ実験状況

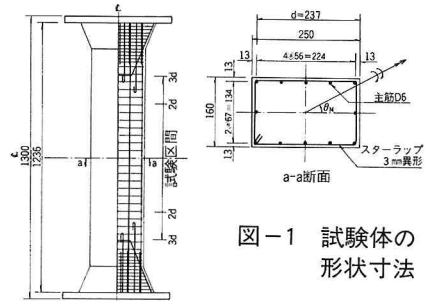


図-1 試験体の形状寸法

表-1 材料特性と載荷条件

| 試験体<br>No. | コンクリート（実験時）                    |                                                 |                                | 軸力の加力条件                                           |                                   | 曲げモーメントベクトルの方向<br>$\theta_M$ |
|------------|--------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|
|            | 圧縮強度<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | 弾性係数<br>$\times 10^4$<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | 割裂強度<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | 軸圧縮応力度<br>$\sigma_N$ 一定<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | 偏心量 $e/d$<br>一定<br>( $d=23.7$ cm) |                              |
| 1          | 45.8                           | 3.66                                            | 3.5                            | —                                                 | 0.4                               | 90°                          |
| 2          | 47.3                           | 3.69                                            | 2.8                            | 7                                                 | —                                 | 90°                          |
| 3          | 44.3                           | 3.62                                            | 3.0                            | 80                                                | —                                 | 90°                          |
| 4          | 43.5                           | 3.60                                            | 3.1                            | 80                                                | —                                 | 0~180°                       |
| 5          | 49.0                           | 3.62                                            | 3.2                            | 80                                                | —                                 | 45°                          |

異なり、 $x$ 軸と $y$ 軸の剛性比によって $\theta_M$ と $\theta_0$ の  
関係が決定される。図-4に実験で得られたひびわれ  
発生前後の $\theta_M$ と $\theta_0$ の関係を示す。 $\theta_M$ と $\theta_0$ 。  
の関係はひびわれ前後であまり変化が無く、 $\theta_M$ が  
座標軸に対して約 $45^\circ$ の角度にあるとき $\theta_0$ との差  
が最も大きくなる。

② そこで $\theta_M = 45^\circ$ の一方2軸曲げ載荷を行っ  
た。図-5に実験で得られた $M-\Phi$ スケルトンカー  
ブと、 $x-y$ 座標軸ごとに1軸曲げの方法で求めた  
 $M-\Phi$ 関係を合成した計算値 $(1)$ を示す。実験値と  
合成後の計算値 $(1)$ は一致しているが、 $x$ 成分と $y$   
成分でみると異なっている。一方、各載荷段階にお  
ける $\theta$ 。についてみると(図-6)、実験値では鉄  
筋降伏まではほぼ一定で、鉄筋降伏以降もほとんど  
変化していない。これに対し、計算値はひびわれ発  
生以降に $\theta_0$ が急激に減少している。これより、1  
軸曲げの $M-\Phi$ 関係を合成する方法では見掛け上実  
験値と一致するが実現現象とは異なる。

③ 2軸曲げを考慮した計算(計算値 $(2)$ )をする  
に当って、部材の平均的な主軸方向 $\alpha$ は次式で評価  
し、重心位置及び剛性の推定には文献<sup>1)</sup>の方法を準  
用した。

$$\alpha = \alpha_s \cdot (T_{cr}/T)^3 + \alpha_{cr} \cdot \{1 - (T_{cr}/T)^3\}$$

ここに、 $\alpha_s$  : 全断面有効断面の主軸方向

$\alpha_{cr}$  : ひびわれ断面の主軸方向

$T_{cr}$  : ひびわれ発生時のひびわれ

断面における引張鉄筋力

$T$  : 任意の荷重時のひびわれ

断面における引張鉄筋力

図-7は各主軸方向にそれぞれ求めた平均曲率を合  
成したものである。計算値 $(2)$ は $x$ 成分、 $y$ 成分と  
もに実験値によく一致しており、この方法を用いれ  
ば2軸曲げの平均剛性が精度よく評価できることが  
分かった。

#### IV. 謝辞

本報告をまとめるに当たって、北大・角田教授の  
御指導を受けました。ここに、感謝の意を表します。

#### 参考文献

1) K. SAKAI, Y. KAKUTA; MOMENT-CURVATURE RELATIONSHIPS OF REINFORCED CONCRETE MEMBERS SUBJECTED TO COMBINED BENDING AND AXIAL FORCE, ACI JOURNAL/MAY-JUNE 1980

注) \* :  $\alpha$ は、A C I -Code の破壊係数に対する、ひびわれ発生時の引張鉄筋力を求める際に用いる曲げ引張強度の比率

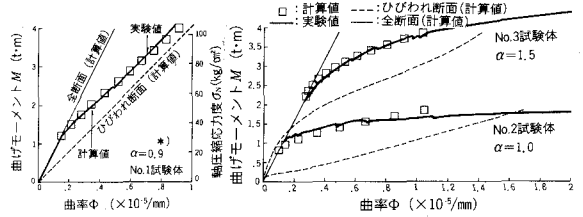


図-2 偏心率一定の  
 $M-\Phi$ 関係

図-3 軸力一定の  
 $M-\Phi$ 関係

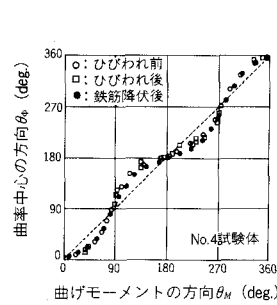


図-4  $\theta_M$ と $\theta_0$ の関係

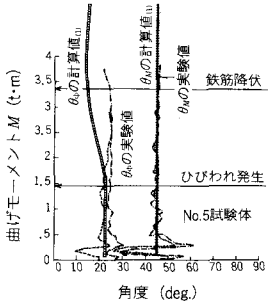


図-6 各載荷段階に  
おける $\theta_0$

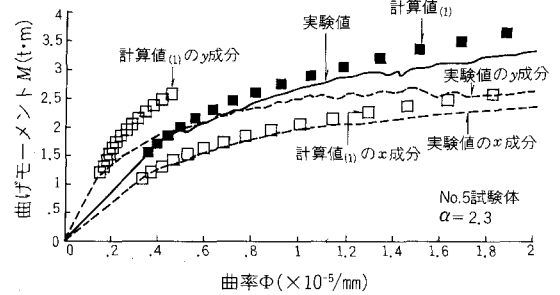


図-5 2軸曲げの $M-\Phi$ 関係(計算値 $(1)$ との関係)

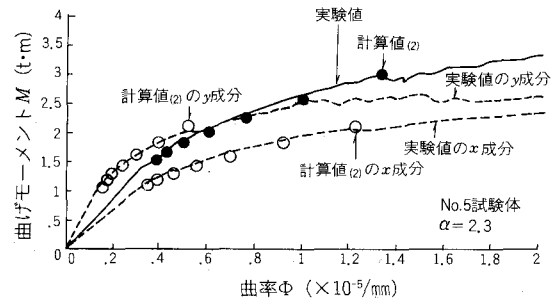


図-7 2軸曲げの $M-\Phi$ 関係(計算値 $(2)$ との比較)