

## 論文

## [2148] SRC 柱の二軸曲げ耐力

筒井茂行\*<sup>1</sup>・世良耕作\*<sup>2</sup>・西村泰志\*<sup>3</sup>・南 宏一\*<sup>4</sup>

## 1. はじめに

建物形状の複雑化などから柱の設計において二軸曲げ状態を想定した耐力算定が必要となる場合が増加している。現行の日本建築学会「鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準（1987）」（以下「SRC規準」という）では、柱の耐力評価は一軸対称断面であることを前提とした $0^\circ$ 方向の軸方向力と曲げモーメントの相互作用（以下「N-M相関関係」とよぶ）が示されている。しかし、斜め方向からの外力を想定した場合の耐力は、許容応力度設計用について略算的な累加強度式が紹介されているが、終局時の耐力評価についての推奨耐力式は示されていない。そこで、ここでは図-1に示す最も基本的な二軸対称十字型鉄骨を内蔵する正方形断面SRC柱を取りあげ、実用設計において任意方向からの外力を想定した場合の軸方向力を考慮した終局曲げ耐力を評価するための資料とすることを目的に、 $45^\circ$ 方向の耐力算定の方法について検討する。

2. 一般化累加強度理論による $45^\circ$ 方向のN-M相関関係の算定

二軸対称断面に限ってはあながち $45^\circ$ 方向について、以下の手順で一般化累加強度理論<sup>1)</sup>によりN-M相関関係を求めた。

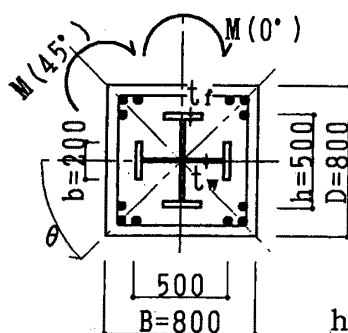
無筋コンクリート部分については、図-2に示すようにSRCで一般的に用いられる簡略化されたコンクリートのストレスブロックの形状を $45^\circ$ 方向にも応用し、軸方向力と曲げモーメントの関係を求めた。N-M関係式を式(1)に示す。

$$0 \leq n < 0.25 \text{ の場合、 } m = n \left( 0.5 - 2 \frac{\sqrt{n}}{3} \right) \quad (1)$$

$$0.25 \leq n \leq 0.5 \text{ の場合、 } m = (0.5 - n) \left( 0.5 - 2 \frac{\sqrt{0.5 - n}}{3} \right)$$

ただし、 $M = m \cdot D'^3 \cdot F_c'$ 、 $D' = \sqrt{2} D$ 、 $F_c' = 0.85 - 2.5 p_c$ 。

$N_0 = B D F_c'$ 、 $n = N / 2 N_0$ 、 $p_c = b t_r / (B D)$



$h \times b \times t_w \times t_r$   
 $h = 500$ 、 $b = 200$

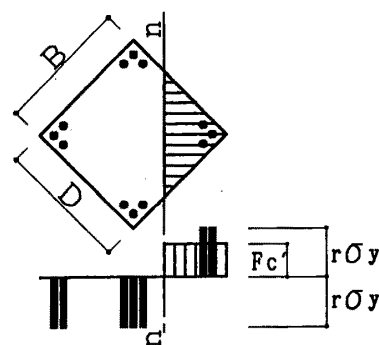


図-2

図-1 解析モデル

鉄筋 12-D29

無筋コンクリートのストレスブロック

\* 1 (株)日本設計構造設計部主管 (正会員) \* 2 (株)日本設計取締役技術センター担当

\* 3 大阪工業大学助教授 工学部建築学科、博士 (工学) (正会員)

\* 4 福山大学教授 工学部建築学科、工学博士 (正会員)

鉄筋部分は主筋が等量ずつ4隅に配筋されているとし、軸方向力が0の場合は対角線上にある二つのコーナー付近の主筋のみが曲げ耐力に寄与する、曲げモーメントが0の場合は4隅の主筋すべてが軸方向力に寄与するとそれぞれ考え、N-M相関関係を得る。

図-3に正方形断面について0°方向のSRC規準によるもの、および式(1)による45°方向の無筋コンクリート断面部分、鉄筋部分、およびそれぞれの方向ごとに累加したRC断面のN-M相関関係を示す。

鉄骨部分は、いくつかの代表的な中立軸位置ごとに軸方向力と曲げモーメントの関係を算定し、各ポイント間を直線的に結び近似する。表-1に各ポイントの算定式を示す。

表-1 二軸対称十字H断面の45°方向N-M相関関係

|   | N   | M   |
|---|---|---|
| 0 | $\{2 \{h \cdot b - (s_j - t_f)(b - t_w)\} - t_w^2\} s \sigma_y$ | 0   |
| 1 | $\{2 \{h \cdot b - (s_j - t_f)t_w\} - t_w^2\} s \sigma_y$       | $b \cdot t_f (s_j + \frac{b}{2}) s \sigma_y / \sqrt{2}$   |
| 2 | $\{2 (s_j - b) t_w - t_w^2\} s \sigma_y$                        | $\{2 \cdot b \cdot t_f \cdot s_j + t_w (b - t_f) (s_j - \frac{b}{2} - \frac{t_f}{2})\} s \sigma_y / \sqrt{2}$ |
| 3 | 0   | $\{2 \cdot b \cdot t_f \cdot s_j + \frac{1}{2} t_w (s_j - t_f)^2\} s \sigma_y / \sqrt{2}$                     |

ただし、 $s_j = h - t_f$

図-4に表-1によって得られる鉄骨部分のN-M相関関係を、0°方向と合わせて示す。図-5はRCとSを一般化累加した結果を示す。なお、0°方向は「SRC規準」によった。

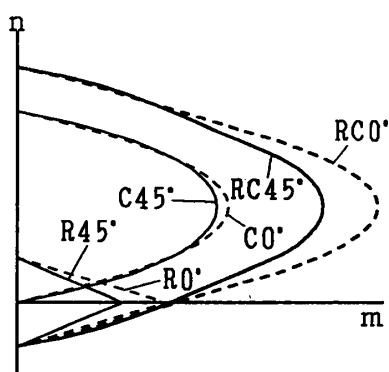


図-3 RC断面の  
N-M相関関係

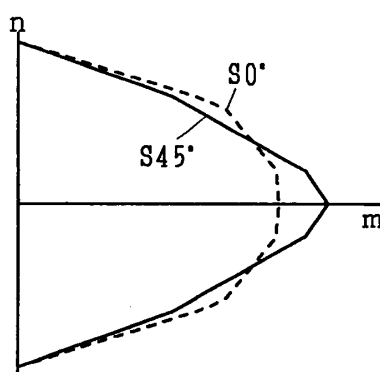


図-4 S断面の  
N-M相関関係

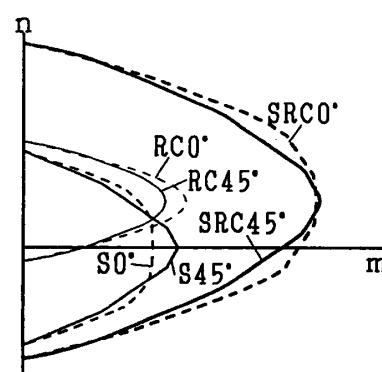


図-5 SRC断面の  
N-M相関関係

図-3～5の  
共通凡例 R、C、RC、SRCはそれぞれ鉄筋、コンクリート、鉄筋コンクリート、鉄骨鉄筋コンクリートをあらわす。

0°、45°は曲げモーメントの方向をあらわす。

例えばR45は、鉄筋部分の45°方向を表す。

### 3. 数値解析による一般化累加強度式の妥当性の検討

図-1に示す断面をモデルとして、文献2に示すメッシュ解析を行った。解析パラメーターは、コンクリート強度の大小、鉄骨断面の要素厚さの大小、鋼材の降伏強度の大小の3種類とし、表-2に組合せを示す。材料の応力度-歪み度関係は、鋼材は完全弾塑性型とし弾性定数は2100t/cm<sup>2</sup>、コンクリートは図-6に示すように仮定した。鉄筋強度は、 $\sigma_y = 3850\text{kg/cm}^2$ とした。

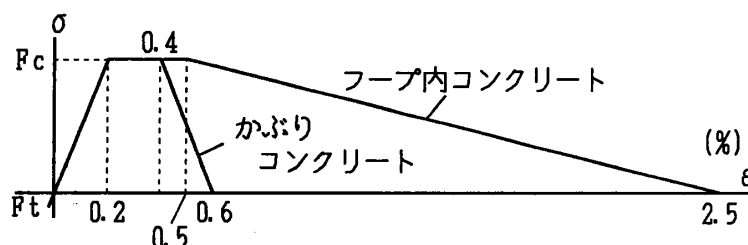


図-6 仮定したコンクリートの応力度-歪み度関係

表-2 解析パラメータの組合せ

|                                      | $F_c = 240\text{kg/cm}^2$ |                           | $F_c = 400\text{kg/cm}^2$ |                           |
|--------------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| $\sigma_y$<br>$= 3630\text{kg/cm}^2$ | 板要素厚さ小<br>H-500x200x12x25 | 板要素厚さ大<br>H-500x200x25x40 | 板要素厚さ小<br>H-500x200x12x25 | 板要素厚さ大<br>H-500x200x25x40 |
| $\sigma_y$<br>$= 4510\text{kg/cm}^2$ | 板要素厚さ小<br>H-500x200x12x25 | 板要素厚さ大<br>H-500x200x25x40 | 板要素厚さ小<br>H-500x200x12x25 | 板要素厚さ大<br>H-500x200x25x40 |

各組合せごとに0°方向と45°方向の2方向について、最外縁の歪み度を順次増加させながら各段階ごとにN-M相関関係を算定し、断面の終局軸耐力の計算値の1/50ごとの軸方向力に対応する曲げモーメントと曲率の関係を求め、曲げモーメントが最大になる点を探した。このようにして得られたN-M相関関係を「解析解」とよぶことにする。解析解の一覧を図-7に示す。図中の実線は0°方向、破線は45°方向の解析解であり、点線は0°方向の曲げ耐力が最大になる曲率を超えない範囲での45°方向の最大曲げ耐力を示す。図-8に解析で得られた曲げモーメントと曲率の関係、最大曲げモーメントを与える曲率と軸方向力の関係の一例として $F_c = 240\text{kg/cm}^2$ 、 $\sigma_y = 4510\text{kg/cm}^2$ 、板要素厚さ大の場合を示す。RC強度に比較してS強度が大きい場合は45°方向では軸方向力の範囲によっては最大曲げモーメントは0°方向の最大曲げモーメントよりも大きくなるが、最大曲げモーメントに達する曲率は0°方向が最大曲げモーメントに達する値の2倍以上とかなり大きな変形となることが分かる。したがって、45°方向の設計用耐力として解析解の最大曲げモーメントを採用すると、0°方向と45°方向で変形量に大きな差を許容することになり、実用設計では危険側となる可能性がある。そこで、ここでは45°方向の最大曲げ耐力は0°方向の最大曲げモーメントが得られる曲率以内の範囲での最大曲げモーメントを採用することにし、図-7の破線を「解析解」とした。なお、図-8において最大曲げモーメントを与える曲率と軸方向力の関係がなめらかな線とならないのは、モデル化に伴う計算誤差であろうと推測される。

以上より、解析した断面の範囲では実用設計で多く用いられる軸方向力の範囲 ( $-0.2N_0 \sim 0.6N_0$ 、ただし  $N_0$  は断面の終局軸方向耐力) ではほとんどの場合  $45^\circ$  方向の曲げ耐力は  $0^\circ$  方向の曲げ耐力に比較して小さいことがわかる。

図-9は  $0^\circ$ 、 $45^\circ$  方向それぞれについて、一般化累加強度理論により求めた  $N-M$  相関関係と解析解を比較したものである。なお、同図には後述する略算解も合わせて示す。いずれの方向においても作用軸方向力が概ね  $-0.2N_0 \sim 0.6N_0$  の範囲で解析解の方が一般化累加強度理論の曲げ耐力より小さくなっている。これはコンクリートの最外縁歪み度が制限され、中立軸近傍の鉄骨断面が降伏歪みに達しないためである。

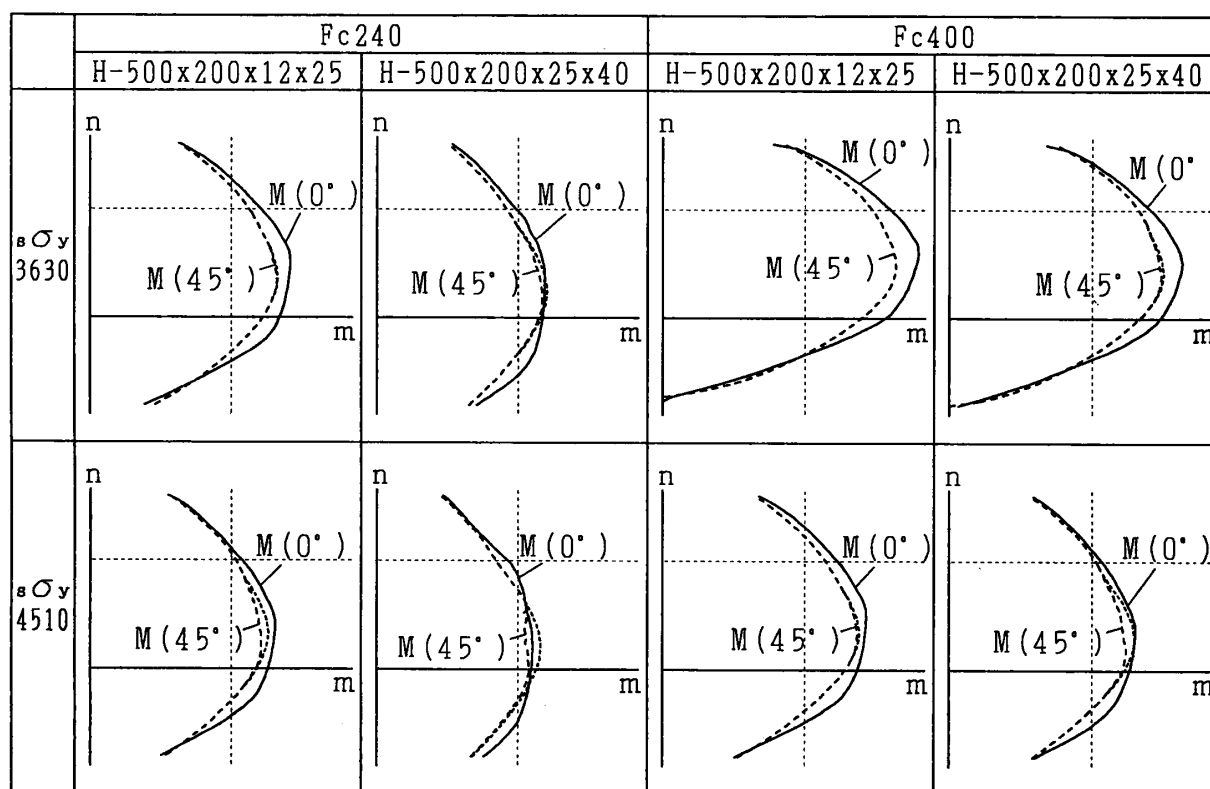


図-7 解析解一覧

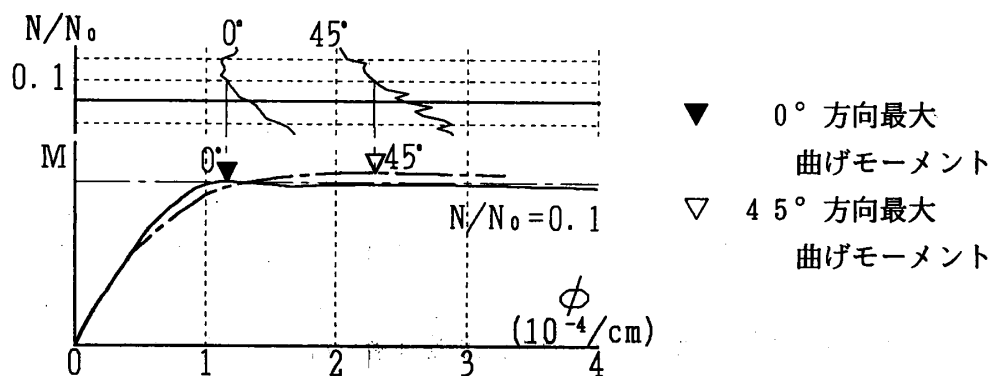


図-8 曲げモーメントと曲率関係の一例

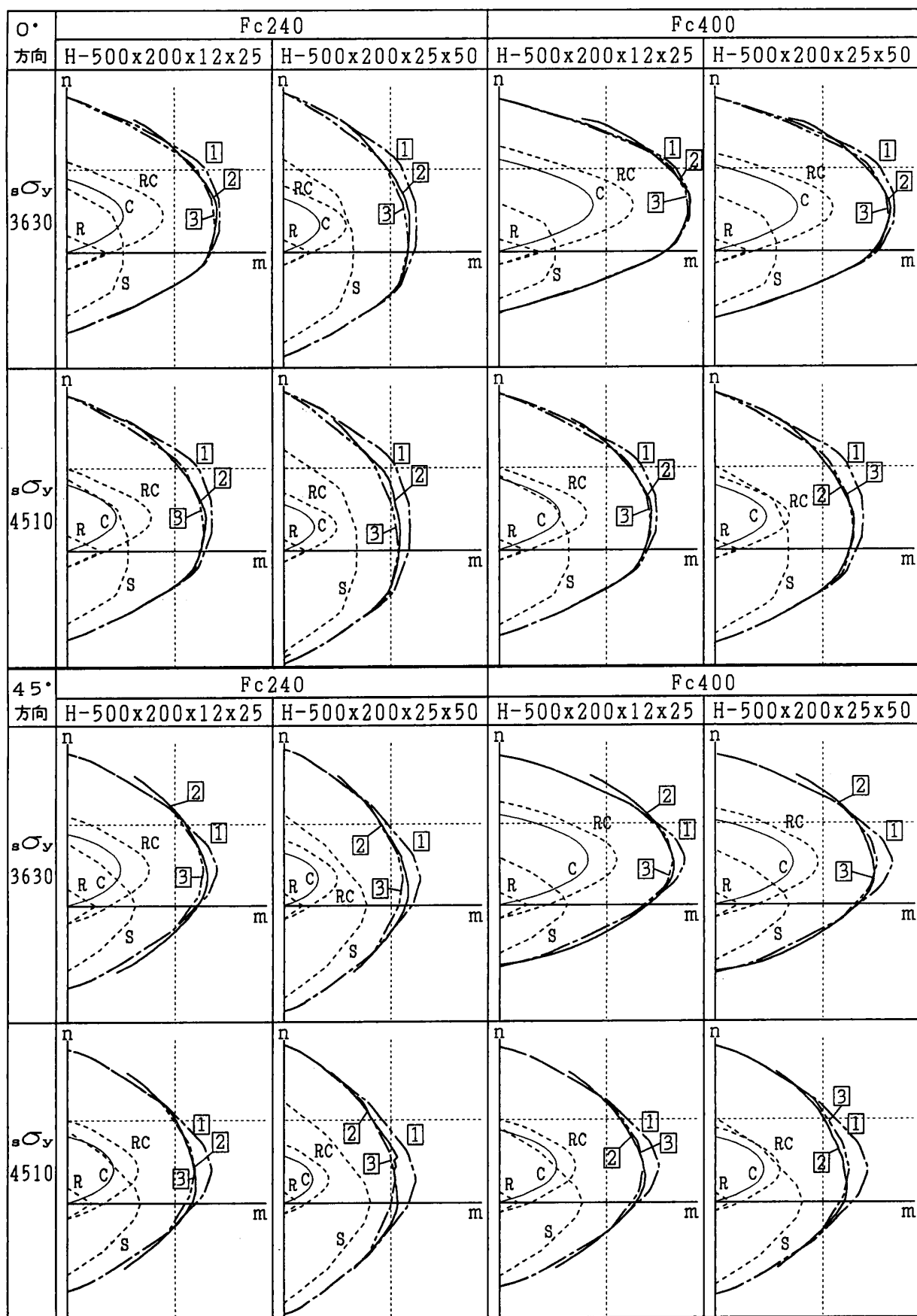


図-9 一般化累加強度理論式、解析解、略算解比較一覧

#### 4. 実用設計式の検討

一般化累加強度理論で求めた耐力が解析解を上回るという問題を解決する方法とし、一般化累加強度理論により求めたN-M相関関係を低減することが実用的には簡便である。そこで本報の解析の範囲内であるが、「コンクリート強度と鉄骨降伏強度の比」および「鉄筋部分の全塑性断面係数と鉄骨の全塑性断面係数の比」という簡単な二つの値をパラメーターにした低減係数および低減の範囲を算出する推定式を算定した。表-3に推定式を示す。なお、0°方向については低減の下限軸力において1倍、低減の上限軸力において低減率を一般化累加強度理論値に乘じるものとし、中間および低減の上限軸力以上は直線補完する。45°方向においては、低減の下限軸力以下および低減の上限軸力以上では1倍とし、一般化累加強度理論による最大曲げモーメントの軸力において低減率を一般化累加強度理論値に乘じるものとし、中間では放物線補完する。以下、一般化累加強度理論の結果を低減したものを「略算解」とよぶ。図-9に示すように、両者は比較的良好一致し、実用的に十分な簡便性と精度を持つと考えられる。

表-3 略算のための一般化累加強度理論に対する低減係数

|         | 0° 方向                               | 45° 方向                               |
|---------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 低減の上限軸力 | $n_{U00} = 0.6$                     | $n_{U45} = 0.0369 + 0.246\omega$     |
| 低減の下限軸力 | $n_{L00} = 0.800 - 0.428\omega$     | $n_{L45} = 0.891 - 0.427\omega$      |
| 低減率     | $\gamma_{00} = 1.340 - 0.189\omega$ | $\gamma_{45} = 1.127 - 0.0988\omega$ |

$$\text{ただし、} \xi_1 = \frac{s \sigma_y}{F_c} \text{、} \xi_2 = \frac{s Z_p \cdot s \sigma_y}{r Z_p \cdot r \sigma_y} \text{、} r Z_p = 0.9 \cdot a_t \cdot d$$

$$\omega = \sqrt{\xi_1 \cdot \xi_2} \text{ とする。}$$

#### 5. まとめ

二軸対称SRC断面の45°方向N-M相関関係について、以下のことが分かった。

- (1) 一般化累加強度理論により45°方向のN-M相関関係を簡便に求めることができる。
- (2) 本報でとりあげた二軸対称断面の範囲では、45°方向の曲げ耐力はほとんどの場合、0°方向の曲げ耐力より小さくなる。
- (3) コンクリート強度と鉄骨降伏強度の比および鉄筋部分の全塑性断面係数と鉄骨の全塑性断面係数の比という簡単な二つの値をパラメーターにした低減係数を用いることにより、最外縁コンクリートの歪み度の制限を考慮した解析解の近似値を簡便に推定することができる。

#### 参考文献

- 1) 若林 實、南 宏一、谷 資信、平野勝道「新建築学体系 4.2 合成構造の設計」彰国社、PP.103~105
- 2) 筒井茂行、世良耕作「軸方向力と2方向曲げモーメントを受けるSRC柱の終局曲げ耐力」日本建築学会大会学術講演梗概集、1992年8月、P1733