

論文 45度方向から載荷された SRC 柱の二軸曲げ耐力

松井弘成*1・筒井茂行*2・西村泰志*3・南宏一*4

要旨：近年、柱の設計において二軸曲げ状態を想定した耐力計算をする必要性が増大している。本論文は、45度載荷を受けるSRC柱の二軸曲げ耐力を解析的に検討し、任意方向の曲げ耐力を求める式 $(M_x/M_{x0})^\alpha + (M_y/M_{y0})^\alpha \leq 1$ の指数 α が軸力比 n の関数によって表現される事を明らかにし、実用的な推定式を提案した。また、その妥当性を検討した結果良い精度で評価できることが示された。

キーワード：SRC柱、二軸曲げ耐力、解析、軸力比 n 、指数 α

1. はじめに

SRC柱を設計する場合、通常X軸、Y軸独立に耐力の検討を行っている。近年、構造物の複雑化、地震力などの任意方向の荷重に対して、柱に二軸曲げ状態を想定した設計を行うことの必要性が増大してきている。これらの終曲耐力を評価する場合、終曲強度理論に基づく数値解析によって評価される場合が多いが、柱の任意方向の耐力を求めるには、式(1)に示すような楕円近似が最も簡便であると考えられる。

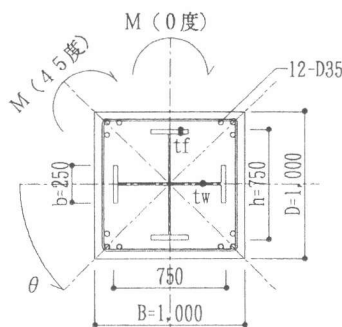


図-1 解析モデル断面

$$\left(\frac{M_x}{M_{x0}}\right)^\alpha + \left(\frac{M_y}{M_{y0}}\right)^\alpha \leq 1 \tag{1}$$

そこで、本論文では、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SRC柱を解析モデルとして、45度載荷の曲げ耐力が断面諸元、材料強度、軸力比 $n \{N/N_0\}$ (N : 作用軸力、 N_0 : 終局中心圧縮耐力) によって、どのように影響されるのかをメッシュ解析 [1] [2] により解析的に検討し、更に、式(1)の指数部 α の実用的な推定式を提案する。

2. 解析モデル及び数値解析

仮定した解析モデルの断面寸法は、図-1に示した通りである。数値解析にはコンクリート断面を 50×50 、鉄骨断面を 240 メッシュに分割した。鉄筋については鉄筋各1本を1要素として、最外縁ひずみ度を随時増加させながら中立軸位置ごとに、平面保持の仮定により断面力を計算するメッシュ解析を用い、軸力比が -0.4 から 0.6 の範囲で解析を行った。用いた解析パラメータはコンクリート強度、鉄骨断面のフランジおよびウェブの厚さ、鋼材の降伏応力度の3種類とした。コンクリート強度は 19.6 および 39.2 (MPa) の2通り、鉄骨断面のせ

*1 大阪工業大学大学院 工学研究科建築学専攻 (正会員)

*2 (株)日本設計構造設計部 (正会員)

*3 大阪工業大学助教授 工学部建築学科 工博 (正会員)

*4 福山大学教授 工学部建築学科 工博 (正会員)

3. 45度荷重を受ける柱の曲げ耐力の特性

解析より得られたN-M相関関係の二例を図-3に示す。縦軸は作用軸力N、横軸は抵抗モーメントを示す。図中の太線は45度、細線は0度荷重した場合の解析結果を示す。一般的に、実用的な軸力比nが0.1~0.5程度の範囲では45度荷重の曲げ耐力は0度荷重の曲げ耐力を下回る。しかし、 ω が大きくなると、45度荷重の曲げ耐力は0度荷重の曲げ耐力を上回る場合がある。これは、鉄骨の塑性断面係数は0度方向に比べ45度方向の方が大きくなる為であると考えられる。しかしながら、図-4に示すように、45度方向にモーメントを受けた場合、0度方向と同等もしくはそれ以上の抵抗モーメントを発揮する時の曲率は、0度方向にモーメントを受けた場合の曲率と比べて、1.5倍以上の曲率が必要になることがわかる。従って、45度方向の耐力が0度方向と同等もしくはそれ以上の耐力を発揮する場合には、より大きな変形能力を確保しなければならないことになる。

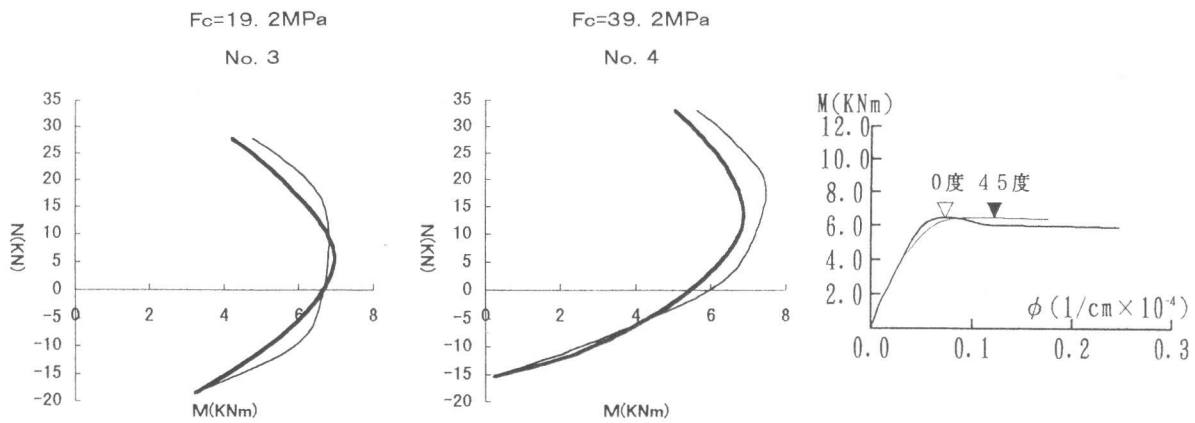


図-3 N-M相関関係 ——— 0度荷重
————— 45度荷重

図-4 モーメント-曲率関係

4. 指数部 α の提案式の導入

4.1 指数部 α と軸力比 n の関係の特性

図-5に解析より得られた(1)式における指数部 α と軸力比 n の関係を示す。縦軸は α 、横軸は軸力比 n を示す。なお、 α は次式(2)によって求めた。

$$\alpha = \frac{\log 0.5}{\log(0.7071x)} \quad (2)$$

$$x = \frac{M_{45}}{M_0}$$

ここに、 M_{45} : 45度方向の曲げ耐力
 M_0 : 0度方向の曲げ耐力

いずれの場合も、軸力比 n が 0.35~0.46 の間で α は n の正の4次関数でほぼ近似できる形となっている。この範囲内で極値をとり、 α は軸力比の正(圧縮の時を正とする)の時の極小値以降は多少の変動はあるものの、ほぼ一定値を取っている。また、 α が 2 を超える範囲では45度方向の耐力が0度方向の耐力を上回ることを示しており、 ω が大きく ($\omega > 0.993$) 鉄骨断面が大きい場合(③グループ)には α の値が著しく大きくなっている。

コンクリート強度

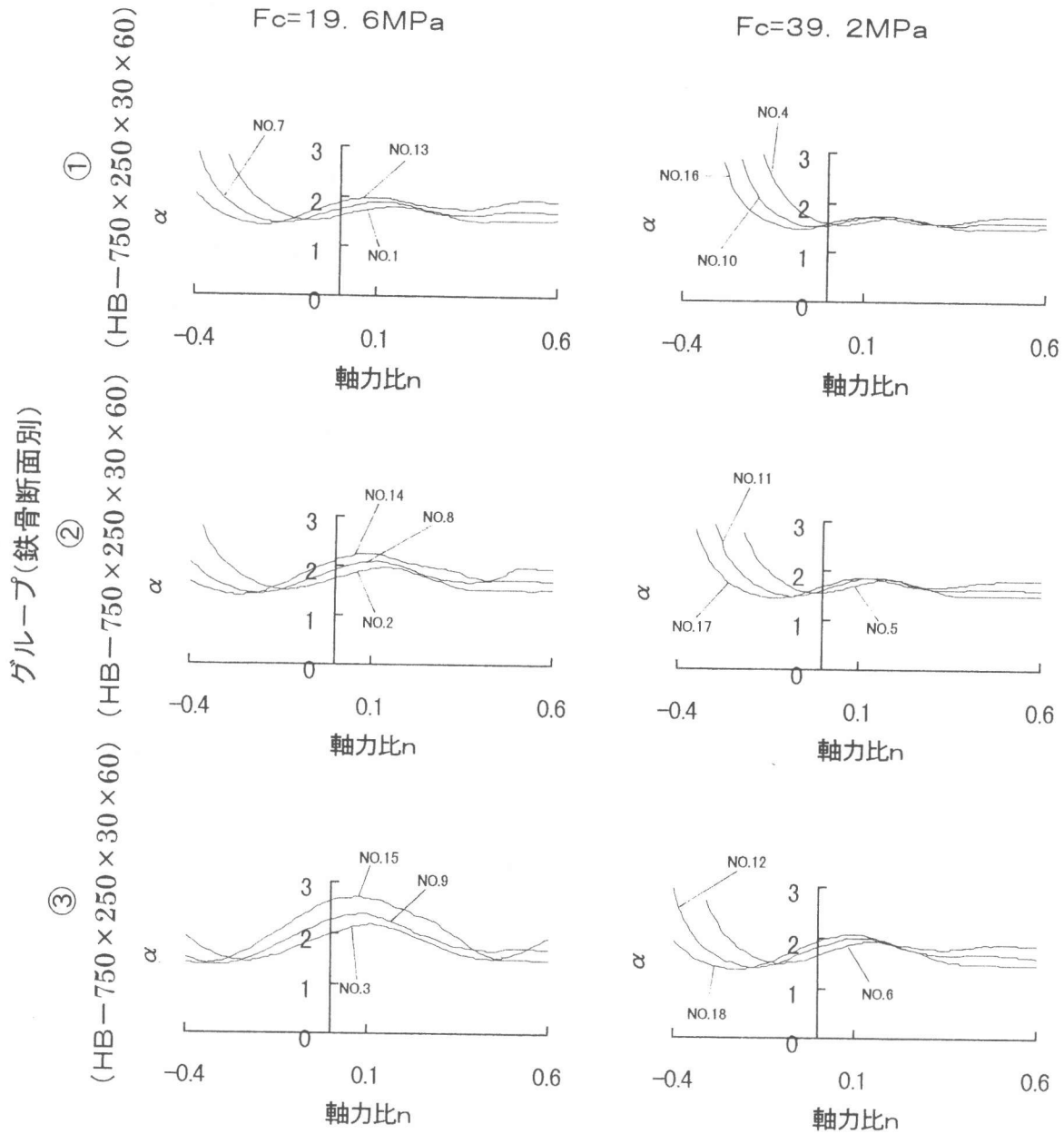


図-5 α と軸力比 n の関係

4. 2 変数 ω と β の関係

図-6 はコンクリート強度毎に分けた ω と β の関係を示したものである。実線はこれらの関係を最小二乗法を使い、(3) 式のように線形回帰したものである。

$$\beta = \frac{0.1649F_c}{19.6} \omega + 0.5058 \quad (3)$$

解析に想定している断面に限定すれば、 β と ω の関係はコンクリート強度とは一次的な関係があるのみで、基本的に同じ傾向にあることがわかる。また、本研究の範囲に限ってではあるが、コンクリートのせいと鉄骨のせいの比が 0.75 程度および鉄骨のフランジ厚 t_f とウェブ厚 t_w の比 T_f/T_w が 2~3 であれば、 F_c と ω が決まれば式 (3) によって β の値が推定可能であ

ると考えられる。

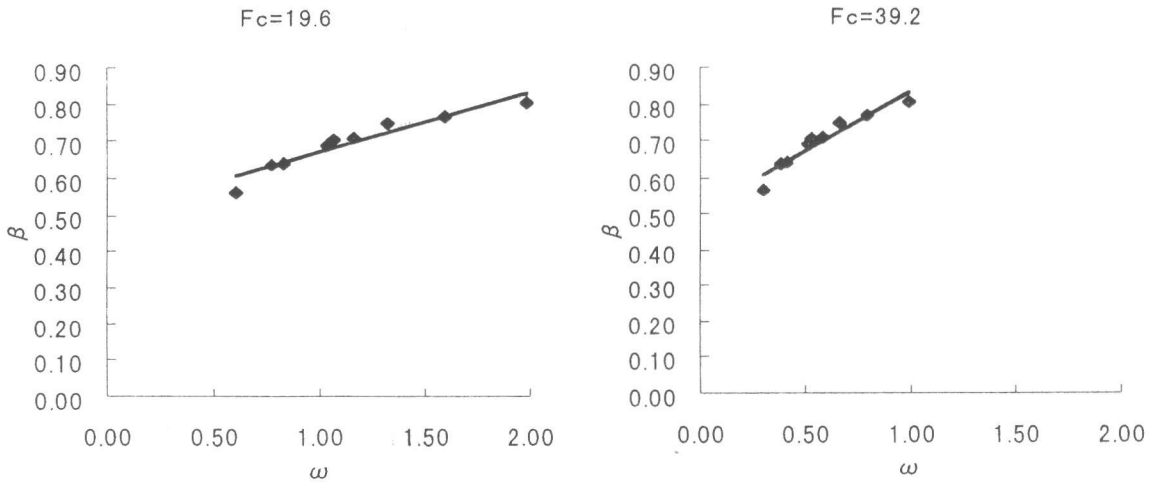


図-6 ωとβの関係

4. 3 αと軸力比nの関係の極値座標

αと軸力比nの関係図-7に示す。なお、このαと軸力比nの関係は前述の観点から

$$\alpha = An^4 + Bn^3 + Cn^2 + Dn + E \quad (4)$$

と表現したものである。いま、αは軸力比nが正の時の極小値以降は一定値を取るという仮定の下に、(4)式に基づいて極値間におけるα-軸力比n関係を決定する。まず、(3)式の直線をγ軸と置き、垂直方向にαおよび軸力比nをとり、γ-α平面、γ-軸力比n平面それぞれについて、各極値毎に線形回帰を行うと図-7に示す各極値の座標が求められる。

Fc=19.6MPaの場合

極小値のnが正の時 $n_1 = 0.075\gamma + 0.315$ $\alpha_1 = 0.350\gamma + 1.300$ (5)

極大値 $n_2 = -0.041\gamma + 0.178$ $\alpha_2 = 0.611\gamma + 1.41$ (6)

極小値のnが負の時 $n_3 = -0.185\gamma$ $\alpha_3 = -0.101\gamma + 1.556$ (7)

Fc=39.2MPaの場合

極小値のnが正の時 $n_1 = -0.049\gamma + 0.384$ $\alpha_1 = 0.416\gamma + 1.340$ (8)

極大値 $n_2 = -0.083\gamma + 0.196$ $\alpha_2 = 0.481\gamma + 1.573$ (9)

極小値のnが負の時 $n_3 = -0.373\gamma + 0.139$ $\alpha_3 = -0.252\gamma + 1.636$ (10)

ただし、 $\gamma^2 = (\beta - 0.5058)^2 + \omega^2$

$$\gamma = \frac{As\sigma_y}{BD} \sqrt{\frac{1}{Fc^2} + 7.1 \times 10^{-5}}$$

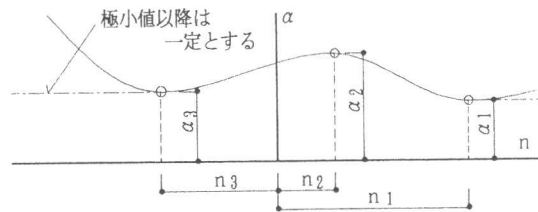


図-7 仮定したα-n関係

なお、図-8に示すようにコンクリート断面に対して鉄骨断面が大きい場合およびコンクリート強度に対して鉄骨強度が大きい場合、すなわちコンクリート強度が $F_c = 19.6 \text{ MPa}$ で $\omega > 1$ となる場合はγに対するαの値がばらつくので、本研究の範囲ではの③グループを適用外とした。式(5)~(7)あるいは式(8)~(10)の極値と極値の接線の傾きが0という条件か

ら (4) 式の係数を求めることによって α と軸力比 n の関係を決定することができる。

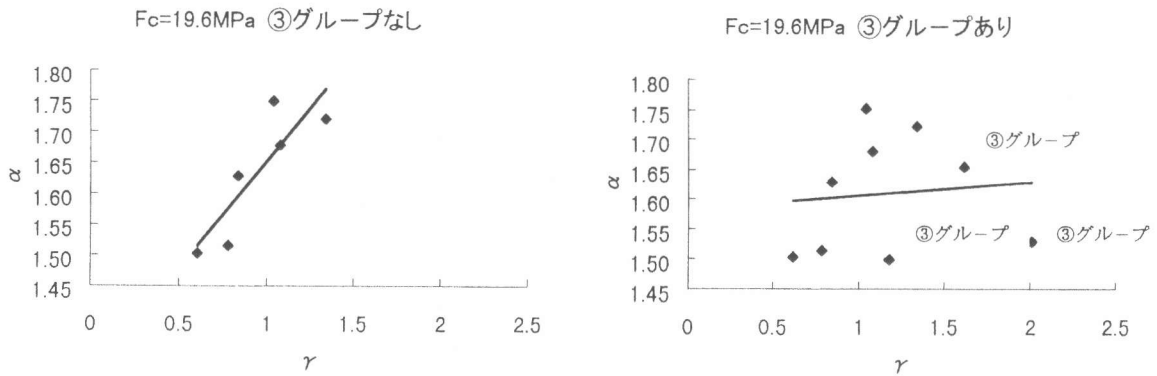


図-8 α に及ぼす γ の影響

4. 4 提案式の妥当性

図-9 は、前述の提案式によって求められた α と軸力比 n の関係式の妥当性を示したものである。縦軸は α 、横軸は軸力比 n を示す。細線は計算値、点線は計算値を 3% 低減したものおよび太線はメッシュ解析の結果を示す。提案式によって求められた計算値はメッシュ解析によって求められる精算値の $\pm 5\%$ の中にあり、提案式によって簡便に α の値を決定することができる。

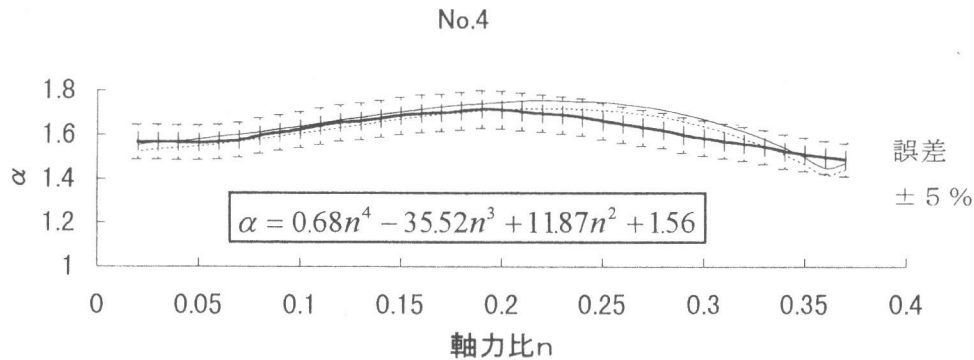


図-9 提案式の妥当性

5. まとめ

本研究の結果、次のような結果が得られた。

- (1) . 軸力比 n が 0.1 ~ 0.5 の実用的な範囲では、45 度方向の曲げ耐力は 0 度方向の曲げ耐力に較べ小さい。
- (2) . コンクリート部分の終局圧縮強度と鉄骨部分の終局圧縮強度の比、SRC 柱の全塑性モーメントと鉄骨の全塑性モーメントの比の 2 つのパラメータによって、軸力比 n と α の関係を簡便に求めることができる。

〈参考文献〉

- [1] 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、pp. 1733-1734
- [2] 筒井茂行、世良耕作、西村泰志、南宏一「SRC 柱の二軸曲げ耐力」コンクリート工学年次論文報告集、Vol 116、No. 2、1994 年 pp. 889-894