

(V-64) RC 柱のコンクリートおよび鉄筋の力学的挙動を考慮した極限圧縮耐力式

防衛大学校 正会員 加藤清志 日大生産工 正会員 木田哲量
浅野工学専門学校 正会員 加藤直樹 防衛大学校 正会員 黒田一郎

1. ま え が き

1999 年だけでも、コロンビア、トルコ、ギリシャ、台湾、メキシコなどの地震、ベネズエラの水害に伴うコンクリート構造物の耐震性および耐久性向上は全世界的問題であり、地道な研究が営々と続けられており、著者らも材料および構造の見地から基礎的研究(図-1 参照)を進めてきた。本報告では、圧縮耐力一般式の提案と現用の RC 柱の終局限界状態設計法に基づく上限界式の問題点を示すものである。

2. 現 状 分 析

柱の圧縮耐力に関しては、現在のところ標方書により上限値を与えている¹⁾。とくに、帯鉄筋柱に関しては横拘束効果を見逃し、主筋の設計降伏強度までを有効とし、いわゆる終局限界状態設計法を適用し、一方、コンクリート部材に関しては使用限界状態設計法により、その分担能を算定している。すなわち、世界的に柱の“終局限界状態設計法”の中に“使用限界状態設計法”が混在しており、統一的概念に合理性がない。

3. 極限終局限界圧縮耐力の定式化

3.1 高強筋の定義 近年、柱の主筋および拘束筋に高強度鉄筋を使用するケースが多くなっている。ここで、常用されている棒鋼の品質は SR235、SR295、SD295、SD345、SD390 等で、いま、対称断面圧縮の場合、全体としての圧縮耐力は、コンクリートがその強度 f'_c に、かつ、主筋が降伏強度 f_{yd} に同時に達するとすると、コンクリートの一般変形能 (0.2%) とから式 (1) が成り立つ。 $\epsilon = f'_c/E_c = f_{yd}/E_s \equiv 2,000 \times 10^{-6}$ (1)

$\therefore f_{yd} = \epsilon \cdot E_s = 400 \text{ N/mm}^2$ 。すなわち、主筋の降伏強度が 400 N/mm^2 (SD390 相当) 以下の品質であれば、式 (1) が成り立ち、換言すれば 400 N/mm^2 以下であれば“普通強度鋼”といえ、これ以上であれば“高強度鋼”といえる。

3.2 普通鋼棒使用の場合の耐力 コンクリートが強度 f'_c に、かつ、主筋が降伏強度 f_{yd} に同時に達しているとする、耐力は式 (2) で与えられる。 $N'_{ou} = A_c f'_c + A_s f_{yd} = A_c (1 + mp) f'_{ck}$ (2) ここに、 $m = f_{yd}/f'_{ck}$ 、 $p = A_s/A_c$ 。

図-2 は強度比の縮小、すなわち、コンクリート強度増ほど、また、主筋の降伏強度の大きいほど、柱の耐力が向上することを示す。

3.3 高強度鋼棒使用の場合の耐力

柱構成材の応力分担能は、 $\sigma = f'_c$ 。で $\sigma < f_{yd}$ 。よって、 $\epsilon = f'_c/E_c = \sigma/E_s$ $\therefore \sigma = E_s/E_c \cdot f'_c = n f'_c$ 。したがって、極限終局耐力の一般式は、式(3)で与えられる。

$$N'_{ou} = A_c f'_c + A_s \sigma = A_c (1 + np) f'_{ck} \quad (3)$$

一方、弾性係数比 n は $n = \phi(f'_{ck})$ (4)

式(3),(4)から、 $N'_{ou} = A_c \{ 1 + p \phi(f'_{ck}) \}$

$$= A_c f'_{ck} + A_s \{ \phi(f'_{ck}) f'_{ck} \} \quad (5)$$

ここに、 $\phi(f'_{ck}) \equiv \phi(f'_{ck}) \cdot f'_{ck}$ [鋼材相当降伏強度] (図-3 参照)

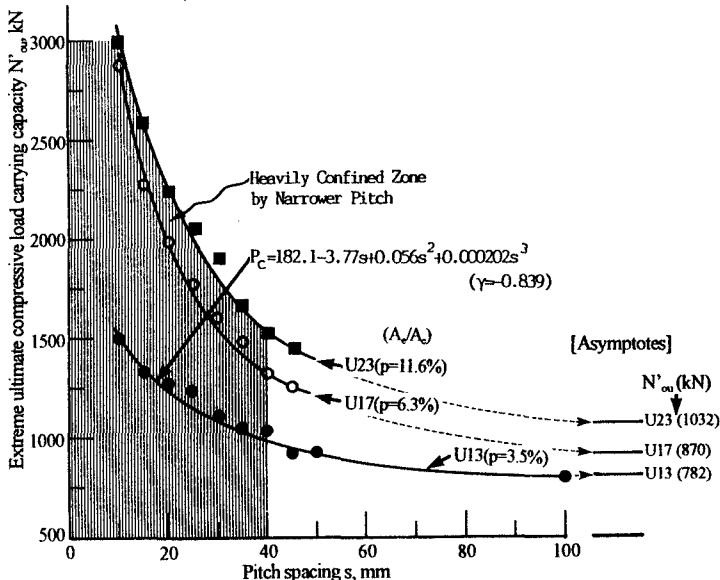


図-1 耐力とピッチおよび漸近線との関係

キーワード：RC 柱、応力 - ひずみ関係、終局限界状態設計法、極限耐力、横拘束

〒239-8686 横須賀市走水 1-10-20、防大土木工学教室 Tel(0468)41-3810 内 2357 Fax(0468)44-5913

4. 計算例

主筋に SBPD1275/1420、また、コンクリート強度 $f'_c=30\text{N/mm}^2$ を使用する。

$f_{yd}=1275\text{N/mm}^2 > 400\text{N/mm}^2$ ；よって高強度鋼で、式 (3) を採用。
正方形断面柱 $150 \times 150 \times 530\text{mm}$ に対し、次の 3 ケースに関し極限終局圧力を求める。

- ① 4U13 ($4 \times 125\text{mm}^2$) ; $p=0.0347$ ② 4U17 ($4 \times 227\text{mm}^2$) ; $p=0.0631$
③ 4U23 ($4 \times 416\text{mm}^2$) ; $p=0.1156$

[準備計算] $f'_c \approx f_{ck}=30\text{N/mm}^2$ に関し $E_c=28\text{kN/mm}^2$ 、 $E_s=200\text{kN/mm}^2$; $n=E_s/E_c=7.14$ 。

[ケース①] $N'_{ou}=150^2(1+7.14 \times 0.0347) \times 30=782 \times 10^3\text{N}(782\text{kN})$

[ケース②] $N'_{ou}=150^2(1+7.14 \times 0.0631) \times 30=870 \times 10^3\text{N}(870\text{kN})$

[ケース③] $N'_{ou}=150^2(1+7.14 \times 0.1156) \times 30=1032 \times 10^3\text{N}(1032\text{kN})$

これらの極限值すなわち“漸近線”を図-1 に併記した。

いずれもよく対応していることがわかる。なお、拘束 RC 柱の耐力に関しては前報²⁾ に示した。

5. 常用式による耐力との比較検討

帯鉄筋柱の耐力の上限値は、式 (6) で与えられている¹⁾。 $N'_{oud}=(0.85f'_{cd}A_c+f_{yd}A_{st})/\gamma_b$ (6)
ここに f'_{cd} : 設計圧縮強度 ($\gamma_c=1.3$)、 A_{st} : 主筋量、 γ_b : 部材係数 ($=1.3$)

表-2 に高強度筋使用の場合に関し、本法と常用式による耐力を比較してあるが、常用式は横拘束効果のない提案式による場合に比し、1.05~2.0 倍も大きく、常用式による上限値は危険側にある。

6. 結論

①主筋の降伏強度が 400N/mm^2 以下の普通鋼であれば、圧縮耐力は強度比、鉄筋比、設計基準強度の関数式(2)で与えられる。②降伏強度 400N/mm^2 を超える高強度筋の場合は、弾性係数比、鉄筋比、設計基準強度の関数式(3)または、「鋼材相当降伏強度」の関数式(5)で与えられる。③重拘束柱に関する高強極限耐力は、横拘束筋のない場合の“漸近線”とな筋の場合のものを計算例で示した。④計算例に関し、帯鉄筋柱耐力上限値式を適用すると、極限耐力の約 1.1~1.9、平均 1.5 倍も大きな過大値を与えており、常用耐力算定式の上限值採用には注意を要する。

⑤主筋の座屈の効果は次報²⁾ にゆずる。

[謝辞] 本研究には、防大 本多健二、浅野工専 井上直之、同 海老沢政彦、他学生に、また、ワープロには防大 兼松俊枝氏等の尽力を受けた。付記して謝意を表する。

[参考文献] 1) 土木学会：コンクリート標準示方書[設計編]、(1996)。2) 黒田一郎、加藤清志、加藤直樹、小阪剛士：RC 柱構成部材の内力分担能と圧縮耐力に関する基礎的研究、第 27 回関東支部技研講演概要集、平 12.3。

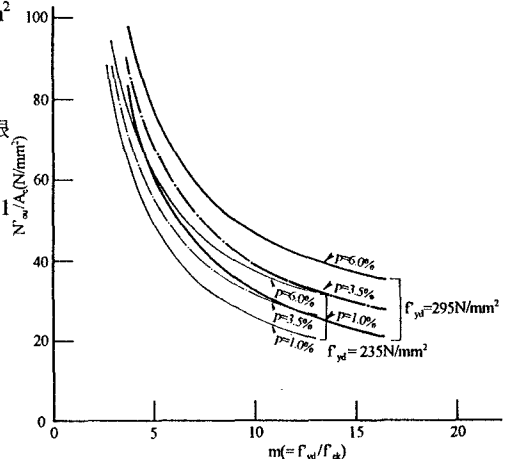


図-2 単位耐力と強度比との関係

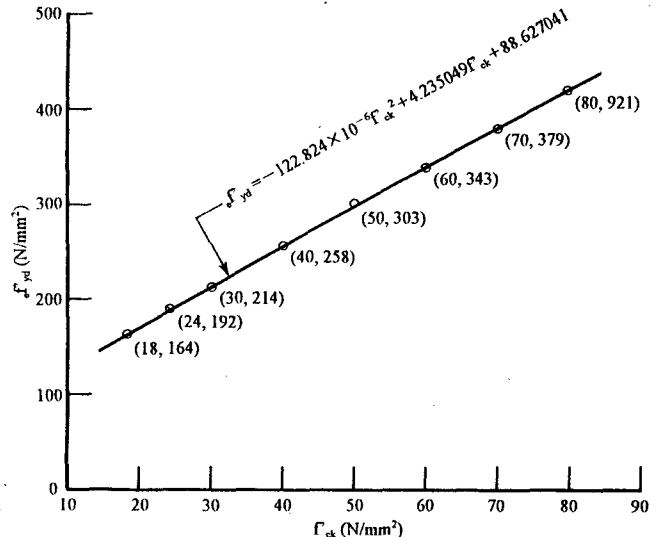


図-3 鋼材相当降伏強度と設計基準強度との関係

表-2 常用式との対比

A_s	4U13	4U17	4U23
	500mm^2	908mm^2	1664mm^2
式(3)本法(kN)	782	870	1032
式(6)常用式(kN)	830	1230	1972
式(6) / 式(3)	1.06	1.41	1.91