

信州大学工学部 学生員 ○今尾雄一

信州大学工学部 正 員 長 尚

信州大学工学部 正 員 小山 健

1. まえがき

現行の日本の鉄筋コンクリート部材の設計法は、いわゆる許容応力度設計法である。しかしこの方法の最大の欠点は破壊に対する安全度を評価することが困難であることである。そのため世界のすう勢は、より合理的な安全度の評価が可能な設計法をめざして、終局強度設計法からさらに限界状態設計法に移行しつつある。日本においてもその方向に進むものと思われるが、その場合次に述べるような理由から、現在主としてアメリカにおいて採用されている終局強度設計法を、とりあえず採用すべきであると考え。 (1) 理論的には限界状態設計法が秀れているが、終局強度設計法より設計々算が複雑になる。実用的観点からは計算はなるべく簡単な方が望ましい。 (2) 荷重および強度の特性値ならびに部分安全係数などの定量的評価が難しい。特に、安全性の評価は、すべて確率・統計理論で行なえるものではなく、中でも安全のレベルを決めるには、現行の設計の安全レベルとの対比が必要となる。しかし現行の許容応力度設計法と限界状態設計法の整合 (Code Calibration) は困難である。したがって限界状態設計法の方がより正しく安全性を評価することには必ずしもならない。 (3) 終局限界状態における強度設計法の基本的部分と終局強度設計法は一致する。以上のような理由から、日本で終局強度設計法を採用するとした場合、現行の許容応力度設計法とほぼ同じ安全レベルにするには、強度低減係数および荷重係数は、曲げ部材の場合どの程度の値となるかについて述べる。

2. 強度低減係数および荷重係数の評価

常時 (死荷重 + 活荷重) における終局強度設計法の基本式は次の式 (1) のように表わされる。

$\phi R_n \geq \gamma_D D_n + \gamma_L L_n$ (1) ここに、 ϕ : 強度低減係数、 R_n : 公称強度、 γ_D : 死荷重係数、 γ_L : 活荷重係数、 D_n : 公称死荷重影響、 L_n : 公称活荷重影響である。式 (1) 中の ϕ 、 γ_D 、 γ_L を信頼性理論により評価すると次のようになる。¹⁾ $\phi = (1 - \beta \alpha_{RS} V_R) / \mu_R / R_n$ (2), $\gamma_D = (1 + \beta \alpha_{RS} \alpha_{DL} V_D) \mu_D / D_n$ (3), $\gamma_L = (1 + \beta \alpha_{RS} \alpha_{DL} V_L) \mu_L / L_n$ (4) ここに、 β : 安全指数、 α_{RS} 、 α_{DL} : 分離関数で通常 0.75、 μ_R : 強度の平均値、 V_R : 強度の変動係数、 μ_D : 死荷重影響の平均値、 V_D : 死荷重の変動係数、 μ_L : 活荷重影響の平均値、 V_L : 活荷重の変動係数である。ここで現行の許容応力度設計法により設計された断面について、 μ_R 、 V_R 、 R_n 、 μ_D 、 V_D 、 D_n 、 μ_L 、 V_L 、 L_n などを求め、式 (2) ~ (4) の関係を式 (1) に入れ、これを等式として β を求めると次のような式 (5) を得る

$$\beta = \frac{\mu_R - (\mu_D + \mu_L)}{\alpha_{RS} \{ V_R \mu_R + \alpha_{DL} (V_D \mu_D + V_L \mu_L) \}} \quad (5)$$

。この式 (5) から得られた β の値を、式 (2) ~ (4) に用いると、現行の許容応力度設計法と安全

度が整合した終局強度設計法の中、 γ_D 、 γ_L が得られる。具体的に β を求める式を、長方形断面の場合について示す。現行の許容応力度設計法によって設計された長方形断面をつり合い断面で代表させると、設計用曲げモーメントの平均値 $\bar{M}a$ は、幅 b と高さ d の設計値が平均値 $\bar{b}$ 、 $\bar{d}$ であると考えられ

るから、次のように逆算できる。 $\bar{M}_a = \gamma_s \bar{b} \bar{d}^2$ (6) 二に、 $\gamma_s = 0.5 \sigma_{ca} k_o (1 - \frac{1}{k_o})$, $k_o = 15 \sigma_{ca} / (15 \sigma_{ca} + \sigma_{sa})$ (7) である。二で、この断面に作用する曲げモーメント M_a は次式で表わせるものとする。 $M_a = f_a(D^c, L^c, A_a) = \bar{M}_a(D^c + L^c) A_a$ (8) 二に、 D^c : 死荷重影響係数(平均値 $\bar{D}^c$, 公称値 D_n^c), L^c : 活荷重影響係数(平均値 $\bar{L}^c$, 公称値 L_n^c), A_a : 設計用曲げモーメント解析影響係数(平均値 1)で、 ξ を死活荷重比 ($= L_n^c / D_n^c$) とすれば次のような関係がある。 $D_n^c + L_n^c = 1$, $L_n^c = \xi / (1 + \xi)$ (9) したがって μ_D , μ_L は次の式 (10) のようになる。 $\mu_D = \bar{D}^c / \bar{b} \bar{d}^2$, $\mu_L = \bar{L}^c / \gamma_s \bar{b} \bar{d}^2$ (10) 次に強度は ACI 基準に示されている式で評価するものとするれば、許容応力度設計法でつりあい断面に設計された断面の平均値 $\bar{M}_u$ は次のように表わされる。 $\bar{M}_u = \gamma_R \bar{b} \bar{d}^2$ (11) 二に、 $\gamma_R = \sigma_{sy} \rho_s \{1 - \rho_s \sigma_{sy} / (1.7 \sigma_{cu})\}$ (12) である。二に、 σ_{sy} : 鉄筋の降伏点強度, σ_{cu} : コンクリートの圧縮強度, ρ_s : つりあい鉄筋比である。二で強度 M_u は次式で表わせるものとする。 $M_u = f_u(\sigma_{cu}, \sigma_{sy}, A_s, b, d, A_u) = \sigma_{sy} A_s \{d - A_s \sigma_{sy} / (1.7 \sigma_{cu} b)\}$ (13) 二に、 A_s : 鉄筋断面積, A_u : 終局曲げモーメント算定影響係数である。一次近似法により強度の変動係数 V_R を求めると次のようになる。 $V_R = \sqrt{a_0 V_{\sigma_{cu}}^2 + (1 - 2a_0)(V_{\sigma_{sy}}^2 + V_{A_s}^2) + (1 - a_0)(V_b^2 + 4V_d^2 + V_{A_u}^2)} / (1 - a_0)$ (14) 二に、 V_j : j の変動係数, $a_0 = \rho_s \sigma_{sy} / (1.7 \sigma_{cu})$ (15) である。これらの関係を用いると、 β は次のようになる。 $\beta = \{\gamma_R - (\bar{D}^c + \bar{L}^c) \gamma_s\} / [0.75 \{\gamma_R \gamma_k + 0.75 (V_b \bar{D}^c + V_L \bar{L}^c) \gamma_s\}]$ (16)

3 計算結果

いま活荷重が公称値を上回る確率を p_L とすれば、公称値 L_n と平均値 $\bar{L}$ との間には次のような関係がある。 $\bar{L} = L_n / \{1 + t(p_L) V_L\}$ 二に $p_L = \int_{-\infty}^t \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{u^2}{2}} du$ である。強度については、公称値を下回る確率が p_R (鉄筋), p_R (コンクリート) とすれば次の関係がある。 $\bar{\sigma}_{sy} = \sigma_{sy}^n / \{1 - t(p_R) V_{\sigma_{sy}}\}$, $\bar{\sigma}_{cu} = \sigma_{cu}^n / \{1 - t(p_R) V_{\sigma_{cu}}\}$ 二で用いる p , V の値は若干の文献を参照して次のように選んだ。 $p_R = 0.05$, $p_{\sigma_{cu}} = 0.25$, $p_{\sigma_{sy}} = 0.01$, $V_b = 0.1$, $V_L = 0.3$, $V_{A_s} = V_{A_u} = 0.1$, $V_{\sigma_{cu}} = 0.2$, $V_{\sigma_{sy}} = 0.08$, $V_{A_s} = 0.03$, $V_b = 0.04$, $V_d = 0.04$ 。現行の許容応力度設計の代表的なものの4種(表-1)についての計算結果を図-1~3に示す。なおT形断面については設計断面として最適断面を用い、 q : コンクリートの費用に対する鉄筋のそれの比, $\alpha = t \sqrt{b/M_u}$, $w = b_o/b$ である。これらの図から $\phi = 0.55 \sim 0.7$, $\gamma_D = 1.05 \sim 1.1$, $\gamma_L = 1.2$ であることがわかる。T形断面については特殊な α についての結果のみなので一般的事とは言いえないが、ACI 基準の $\phi = 0.9$, $\gamma_D = 1.4$, $\gamma_L = 1.7$ に比べ値、傾向共にかなり違っている。参考文献 1) Ravindra, M. K. et al., Illustration of Reliability-Based Design, Proc. ASCE Vol 100, No. ST 7, 1974, 2) 土木学会: 鉄筋コンクリート設計法の最近の動向, 1975

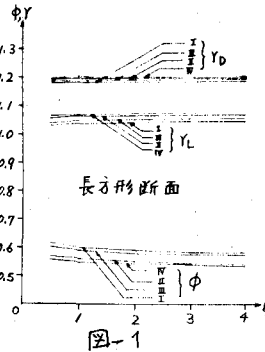


図-1

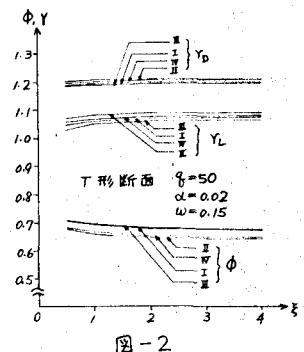


図-2

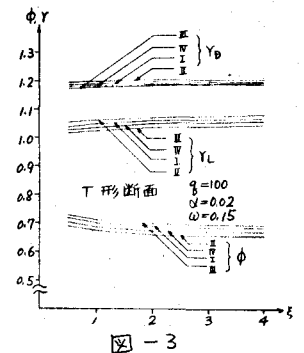


図-3

表-1

	$\sigma_{ca}(\sigma_{cu})^{1/2}/\text{cm}^2$	$\sigma_{sa}(\sigma_{sy})^{1/2}/\text{cm}^2$
I	60 (180)	1400 (2400)
II	80 (240)	1600 (3000)
III	100 (300)	2000 (3500)
IV	120 (360)	2100 (4000)