

信州大学工学部 正 員 長 尚
 信州大学工学部 正 員 小山 健
 K.K.名古屋鉄道 正 員 今尾 雄一

1. 序

日本で現在採用されている許容応力度設計法は、塑性論的および信頼性理論的にみて、設計された部材もしくは構造物の安全性を的確に評価することが難しく、バランスのとれた安全度を確保することができないという大きな欠点をもっている。そこで将来限界状態設計法に移行すべく、土木学会の終局強度設計小委員会で、設計指針の素案の検討が行なわれている¹⁾。この移行に際しての最大の問題点は、決め手となる判断基準がない安全性のレベルを、どの辺に設定して新しい設計基準の設計フォーマットのパラメータを決定するかということである。そこでこれらのパラメータを決定するための判断資料を得る目的で、現行の許容応力度設計法の平均的な安全レベルに、新しい設計法の安全レベルを合わせて、これらのパラメータを計算する、つまりコード・キャリブレーションすることにも必要となってくる。本文は現在小委員会の素案に示されている設計フォーマットに従って、鉄筋コンクリートはり断面の常時(死荷重+活荷重)の終局限界状態を対象として、比較的一般性のある、コード・キャリブレーションの方法について述べ、計算結果を示したものである。

2. コード・キャリブレーションの一方法

上記素案に示されている設計フォーマットを常時の終局限界状態について書くと次のようになる。(1/ γ_{nm})
 $f(\sigma_{cr}/\gamma_{mc}, \sigma_{sr}/\gamma_{ms}) \geq \gamma_{nf} g\{\delta_{fu}(G_R + \delta_{fL} Q_{RL})\} \dots (1)$ ニニ、 γ_{nm} : 強度安全係数,
 γ_{mc} : コンクリートの材料係数, γ_{ms} : 鉄筋の材料係数, γ_{nf} : 断面力安全係数, δ_{fu} , δ_{fL} : 荷重係数, σ_{cr} :
 コンクリート強度の特性値, σ_{sr} : 鉄筋強度の特性値, G_R : 死荷重の特性値, Q_{RL} : 活荷重の特性値である。
 ニニではコード・キャリブレーションの便宜を考えて、式(1)を次のように書き改める。(1/ γ_{nms})
 $f(\sigma_{cr}/\eta, \sigma_{sr}) \geq \delta_D S_R^P + \delta_L S_R^L \dots (2)$ ニニ、 $\gamma_{nms} = \gamma_{nm} \gamma_{ms}$, $\eta = \gamma_{mc}/\gamma_{ms}$, $\delta_D = \gamma_{nf} \delta_{fu}$,
 $\delta_L = \gamma_{nf} \delta_{fu} \delta_{fL}$, S_R^P : 死荷重の特性値から計算される断面力, S_R^L : 活荷重の特性値から計算される断面
 力である。コード・キャリブレーションの方法は先に筆者らが示した、終局強度設計法とのコード・キャリブ
 レーションの方法²⁾と基本的には同じである。現行の許容応力度設計法に基づいて設計されたはり断面について、そ
 の強度 R と断面力 S の平均値 $\bar{R}$, $\bar{S}$ と変動係数 V_R , V_S が計算でき、 R , S が対数正規分布するものとすれば
 , 安全レベルを示す安全性指標 β は次式から求められる。 $\beta = \ln(\bar{R}/\bar{S}) / \sqrt{V_R^2 + V_S^2} \dots (3)$ 一方信頼性
 理論に基づく設計基本式は安全性指標 β が与えられれば次式のように表わされる。 $\bar{R} \geq \bar{S} + \exp(\beta \sqrt{V_R^2 + V_S^2})$
 $\dots (4)$ この式(4)を式(2)の形に表現したとき、式(2)の γ_{nms} , δ_D , δ_L に相当する部分が、現行の設
 計の安全レベルに整合したパラメータを求める式となる。ニニでははり断面として長方形断面を用いるが、許容
 応力度設計法ではつりあい断面付近の断面が用いられるので、公称曲げモーメントはつりあい断面から逆算した
 。このため後述するように曲げモーメント、有効高さ、幅および鉄筋の太さ、量に無関係な、かなり一般性
 のある結果が得られた。線形近似法によって求めた結果は次の通りである。 $\beta = \ln\{f_R(\bar{\sigma}_c, \bar{\sigma}_s)/g_s(\bar{D}, \bar{L})\} / \sqrt{V_R^2 + V_S^2} \dots (5)$
 $\gamma_{nms} = \sigma_{sr} p_0 \{1 - \eta \sigma_{sr} p_0 / (1.7 \sigma_{cr})\} / [\bar{\sigma}_s p_0 \{1 - \bar{\sigma}_s p_0 / (1.7 \bar{\sigma}_c)\}] \exp(\beta \sqrt{V_R^2 + V_S^2}) \dots (6)$
 $\delta_D = \bar{D} \exp(\alpha \sqrt{V_D^2 + V_{Aa}^2}) / D_R \dots (7)$
 $\delta_L = \bar{L} \exp(\alpha \sqrt{V_L^2 + V_{Aa}^2}) / L_R \dots (8)$
 ニニ、 $\bar{\sigma}_c$: コンクリートの強度の平均値, $\bar{\sigma}_s$: 鉄筋の強度(降伏点)の平均値, $\bar{D}$, $\bar{L}$, D_R , L_R : 曲げ
 モーメントの中に占める死荷重と活荷重の比率の平均値と特性値, p_0 : 許容応力度設計法におけるつりあい鉄筋
 比, V_D , V_L , V_{Aa} : 死荷重, 活荷重および曲げモーメント算定修正係数の変動係数, α は次式を満足する値であ

る。 $(\bar{D} + \bar{L}) \exp(\beta \sqrt{V_S^2 / \sqrt{V_R^2 + V_S^2}}) = \bar{D} \exp(\alpha \sqrt{V_D^2 + V_{Aa}^2}) + \bar{L} \exp(\alpha \sqrt{V_L^2 + V_{Aa}^2}) \dots\dots (9)$ なお公称死活荷重比を $\xi = L^*/D^*$ とすれば, $D^* = 1/(1+\xi)$, $L^* = \xi/(1+\xi)$ と表わされる。これらのパラメータを具体的に計算するには次のようなデータが必要である。 p_D^* , p_D^* , p_L^* , p_L^* : 死荷重および活荷重がそれぞれの公称値もしくは特性値を超過する確率, p_c^* , p_c^* , p_s^* , p_s^* : コンクリートの強度および鉄筋の強度がそれぞれの公称値もしくは特性値を下まわる確率, V_D , V_L , V_{Aa} , V_{Au} , V_{oc} , V_{os} , V_{As} , V_b , V_d : 死荷重, 活荷重, 曲げモーメント算定修正係数, 断面強度算定修正係数, コンクリートの強度, 鉄筋の強度, 鉄筋断面積, 断面の幅および有効高さの変動係数, σ_c^* , σ_s^* : コンクリートおよび鉄筋の公称強度(許容応力度), ξ : 公称死活荷重比。本計算法では妥当と思われる p_j , V_j を決め, σ_c^* , σ_s^* , ξ の種々な組み合わせについてパラメータを求める。したがってこれらの組み合わせの数だけの違ったパラメータが得られることになる。ところでコード・キャリブレーションの目的は, すべてのケースについて整合させるのではなく, 平均的に安全レベルを整合させるのであるから, ここではこれらの組み合わせの重みつき平均をとることにする。もしすべてのケースについて合わせるとしたらこれらの組み合わせ毎にパラメータの値を変える必要がある。しかしそのようなことをすることは結果として, 許容応力度設計法のもつ安全性に関する不合理をそのまま残すことになり, 新しい設計法の意義がなくなってしまう。

3. 計算結果

計算に必要なデータは必ずしも整っているとは云えないが, 若干の文献を参考にして, まず変動係数についてはほぼ妥当と思われる次のような値を用いた。 $V_D = 0.1$, $V_L = 0.3$, $V_{Aa} = V_{Au} = 0.1$, $V_{oc} = 0.2$, $V_{os} = 0.08$, $V_{As} = 0.03$, $V_b = 0.04$, $V_d = 0.08$ 次に死荷重の公称値と平均値は一致するものとして $p_D^* = 0.5$, 活荷重の公称値は, たとえば道路と鉄道ではかなり違うと考えられるので, $p_L^* = 0.01$, 0.25 の2種類を用いた。荷重の特性値に関しては, $p_D^* = p_L^* = 0.05$ とした。強度の公称値と特性値は同じであるとして, $p_c^* = p_c^* = 0.25$, $p_s^* = p_s^* = 0.01$ を用いた。 σ_c^* , σ_s^* の組み合わせおよび重みを表-1のようにした。とは, 0 , 0.5 , 1 , 2 , 3 , 4 の6種類とした。なお η は, イギリスの CP 110 の, $\gamma_{mc} = 1.5$, $\gamma_{ms} = 1.15$ を参考にして, $\eta = 1.3$ とした。計算結果は次の通りである。

(A) $p_L^* = 0.01$ の場合: $\beta = 4.69$, $\gamma_{rms} = 1.30$, $\gamma_D = 1.26$, $\gamma_L = 1.58$ (B) $p_L^* = 0.25$ のとき: $\beta = 3.90$, $\gamma_{rms} = 1.19$, $\gamma_D = 1.20$, $\gamma_L = 1.39$ これらの結果を $\gamma_{mc} = 1.50$, $\gamma_{ms} = 1.15$, $\gamma_{nf} = 1.0$ とし, 端数を丸めて, 式(1)の形に書き直すと次のようになる。

$$(A) \left(\frac{1}{1.15} \right) f(\sigma_{cr}/1.5, \sigma_{sk}/1.15) \geq g \{ 1.25 (G_R + 1.25 Q_{RL}) \} \dots\dots (10)$$

$$(B) \left(\frac{1}{1.05} \right) f(\sigma_{cr}/1.5, \sigma_{sk}/1.15) \geq g \{ 1.20 (G_R + 1.15 Q_{RL}) \} \dots\dots (11)$$

$$\text{この計算方法による結果を CP 110 と比較してみる。まず CP 110 を式(1)の形に表現すると次のようになる。} f(\sigma_{cr}/1.5, \sigma_{sk}/1.15) \geq g(1.4 G_R + 1.6 Q_{RL}) \dots\dots (12)$$

$$\text{この形に本計算の結果を表わすと次のようになる。ただし CP 110 では } p_c^* = p_s^* = 0.05 \text{ としているのので, この値が上記のデータと異なっている。} (A) f(\sigma_{cr}/1.5, \sigma_{sk}/1.15) \geq g(1.45 G_R + 1.85 Q_{RL}) \dots\dots (13)$$

$$(B) f(\sigma_{cr}/1.5, \sigma_{sk}/1.15) \geq g(1.3 G_R + 1.5 Q_{RL}) \dots\dots (14)$$

この結果イギリスの基準はほぼ(A), (B)の中間的な値になっている。なお本法は Ang らの提案した方法に基づいているが, これとは別に Lind らの提案した目標安全性指標による方法がある。Lind らの方法の方が勝れた面もあるが, 結果は紙面の都合で当日発表する。最後に土木学会の提案について種々御教示を頂いた, 終局強度設計小委員会の河野通之副委員長に謝意を表します。

参考文献 1)土木学会: コンクリート構造の設計指針, 研究討論会資料, 1977. 2)長尚, 小山健, 今屋雄一: RC はり断面の終局強度設計への Code Calibration, 第32回土木学会年次講演会概要, 1977.