RC柱断面のCode Calibration

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
信州大学工学部　学生員　市川義政

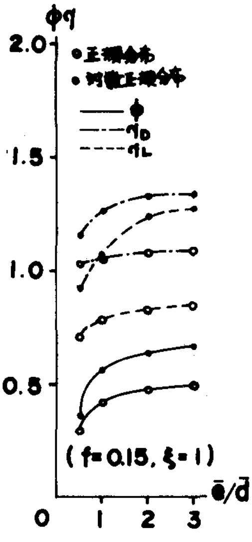
1．まえがき　鉄筋コンクリート構造物の設計法を現行の許容応力度設計法から，終局強度設計法もしくは限界状態設計法に移行するに当って，最大の問題点は安全のレベルをどの辺に設定するかということである。その場合すでにこれらの設計法を採用している各国の係数を参考にすることになるが，それと同時に現行の設計法の安全レベルに整合した係数を求めてみること，すなわちCode Calibrationすることがどうしても必要である。なぜなら諸外国と日本とではこれらの係数が決まる背景が異なるからである。まず安全のレベルの設定には絶対的な判断基準はなく，それまでの安全のレベルにほぼ合わせることが行なわれる。ところが日本の現行の設計法による安全レベルと，諸外国が係数を決めたときの安全レベルは必ずしも同じではない。次に係数を決める場合に重要な要因となる，強度および荷重の公称値，特性値，平均値，ばらつきなどが諸外国と日本とではやはり必ずしも同じではない。そこで筆者らは先にRCはり断面についてのCode Calibrationについて発表[1)]した。今回は柱断面について報告する。

2．鉄筋コンクリート柱断面に対するCode Calibrationの方法．　Code Calibrationの方法は先のはり断面の場合と同様で，強度減少係数ϕおよびj荷重の荷重係数γ_jを求める一般式は次のようである[1)]。$\phi=\bar{R}(1-\beta\alpha_R)V_R/R^n$（正規分布の場合）又は$\bar{R}\exp(-\beta V_R^2/\sqrt{V_R^2+V_S^2})/R^n$（対数正規分布の場合）‥‥(1)　ここに，$\bar{R}$：強度の平均値，$R^n$：強度の公称値，$\beta=(\bar{R}-\bar{S})/\sqrt{\sigma_R^2+\sigma_S^2}$ 又は $\ln(\bar{R}/\bar{S})/\sqrt{V_R^2+V_S^2}$ ‥‥(2)，$\alpha_R=\sigma_R/\sqrt{\sigma_R^2+\sigma_S^2}$ ‥‥(3)，$\bar{S}$：荷重影響の平均値，σ_R：強度の標準偏差，σ_S：荷重影響の標準偏差，V_R：強度の変動係数，V_S：荷重の変動係数である。$\gamma_j=\bar{y}_j(1+\beta\alpha_j V_{y_j})/y_j^n$ 又は $\bar{y}_j\cdot\exp(\alpha V_{y_j})/y_j^n$ ‥‥(4)　ここに，$\bar{y}_j$：j荷重影響の平均値，y_j^n：j荷重影響の公称値，$\alpha_j=\sigma_{y_j}/\sqrt{\sigma_R^2+\sigma_S^2}$ ‥‥(5)，σ_{y_j}：j荷重影響の標準偏差，V_{y_j}：j荷重の変動係数，α：$(\sum_j \bar{y}_j)\exp(\beta V_S^2/\sqrt{V_R^2+V_S^2})=\sum_j \bar{y}_j\exp(\alpha V_{y_j})$ ‥‥(6)　を満たす値，である。いま鉄筋コンクリート柱断面を，対称鉄筋長方形断面で代表させ，終局時の破壊形式は引張破壊と仮定し，抵抗終局軸圧縮力N_uの算定はACI基準で採用されている式によるものとすれば，N_uは確率変数である，σ_{cu}（コンクリートの円柱供試体の強度），σ_{sy}（鉄筋の降伏点），A_s（鉄筋量），b（断面の幅），d（有効高さ），d'（鉄筋の図心と縁端までの距離），e（偏心距離）およびA_a（抵抗終局軸圧縮力解析修正係数）の関数として次のように表わされる。$N_u=(0.5k_1k_3\sigma_{cu}/k_2)[0.5(1+\frac{d'}{d})-\frac{e}{d}+\sqrt{\{0.5(1+\frac{d'}{d})-\frac{e}{d}\}^2+4k_2\sigma_{sy}(1-\frac{d'}{d})A_s/(k_1k_3\sigma_{ca}bd)}]bdA_u$ ‥‥(7)　次に現行の許容応力度設計法で設計された断面をつり合い断面で代表させて，公称作用圧縮軸力を逆算し，それを用いて作用軸力N_sを表わすと，死荷重＋活荷重時については次のようになる。$N_s=\nu_E(D+L)\bar{b}\bar{d}A_a$ ‥‥(8)　ここに，D，Lは確率変数で，死，活荷重影響係数（公称値については次の関係がある。$D^n+L^n=1$），A_aも確率変数で，作用圧縮力解析修正係数，$\nu_E=\{P_0\sigma_{sa}$

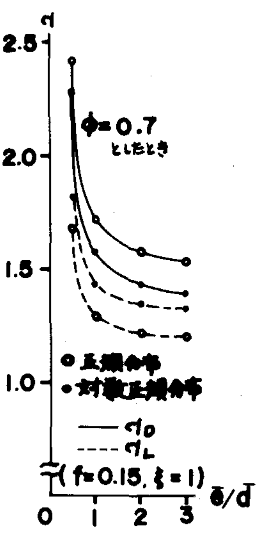
$(1-\bar{d}'/\bar{d})-0.5k_0\sigma_{ca}(k_0/3-\bar{d}'/\bar{d})\}/(\bar{e}/\bar{d}-0.5+0.5\bar{d}'/\bar{d})$……(9)，$\sigma_{ca}$，$\sigma_{sa}$ はコンクリートおよび鉄筋の許容応力度，$p_0=k_0^2(k_0/3-0.5-0.5\bar{d}'/\bar{d}+\bar{e}/\bar{d})/[30\{(1-k_0)(1+\bar{d}'/\bar{d})-(2k_0-\bar{d}'/\bar{d}-1)(\bar{e}/\bar{d}-0.5+0.5\bar{d}'/\bar{d})\}]$……(10)，$k_0=15\sigma_{ca}/(15\sigma_{ca}+\sigma_{sa})$……(11)，上つき－は平均値を示す。これらの式(7)，(8)を用いて，一次近似法[1),2)]により，式(1)，(4)に示すϕ，γ_jを求めると次のようになる。1)正規分布の場合：$\beta=(C_R-C_S)/\rho$，$\phi=C_R(1-\beta\alpha_R V_R)/C_R^n$，$\gamma_D=1+\beta\alpha_D V_{DA}$，$\gamma_L=\bar{L}(1+\beta\alpha_L V_{LA})/L^n$。2)対数正規分布の場合：$\beta=\ln(C_R/C_S)/V_f$，$\phi=C_R\exp(-\beta V_R^2/V_f)/C_R^n$，$\gamma_D=\exp(\alpha V_{DA})$，$\gamma_L=\bar{L}\exp(\alpha V_{LA})/L^n$。ここに，$C_R=0.85\bar{\sigma}_{cu}\{0.5(1+\bar{d}'/\bar{d})-\bar{e}/\bar{d}+\sqrt{\{0.5(1+\bar{d}'/\bar{d})-\bar{e}/\bar{d}\}^2+2.353\bar{\sigma}_{sy}(1-\bar{d}'/\bar{d})p_0/\bar{\sigma}_{cu}}\}$，$C_R^n$：$C_R$中の平均値を公称値にしたもの，$C_S=\nu_E(\bar{D}+\bar{L})$，$\rho=\sqrt{\rho_R^2+\rho_S^2}$，$\rho_R=\sqrt{[\{(2Y^2+X)/Z+2Y\}^2V_{\sigma cu}^2+(X/Z)^2(V_{\sigma sy}^2+V_{As}^2)+\{1+(Y+T)/Z\}^2V_d^2+\{(2Y^2+X)/Z+2Y\}V_b^2+\{1+(Y-T)/Z\}^2(\bar{d}'/\bar{d})^2V_{d'}^2+4(1+Y/Z)^2(\bar{e}/\bar{d})^2V_e^2+4(Z+Y)^2V_{Au}^2}/[X/\{p_0\bar{\sigma}_{sy}(1-\bar{d}'/\bar{d})\}]$，$X=4p_0k_2\bar{\sigma}_{sy}(1-\bar{d}'/\bar{d})/(k_1k_3\bar{\sigma}_{cu})$，$Y=0.5(1+\bar{d}'/\bar{d})-\bar{e}/\bar{d}$，$Z=\sqrt{Y^2+X}$，$T=X/(1-\bar{d}'/\bar{d})$，$\rho_S=\nu_E\sqrt{\bar{D}^2V_D^2+\bar{L}^2V_L^2+(\bar{D}^2+\bar{L}^2)V_{Aa}^2}$，$V_i$：$i$の変動係数，$V_R=\rho_R/C_R$，$V_S=\rho_S/C_S$，$V_f=\sqrt{V_R^2+V_S^2}$，$V_{DA}=\sqrt{V_D^2+V_{Aa}^2}$，$V_{LA}=\sqrt{V_L^2+V_{Aa}^2}$，$\alpha_R=\rho_R/\rho$，$\alpha_D=\nu_E\bar{D}V_{DA}/\rho$，$\alpha_L=\nu_E\bar{L}V_{LA}/\rho$，$\alpha$：$(\bar{D}+\bar{L})\exp(\beta V_S^2/V_f)=\bar{D}\exp(\alpha V_{DA})+\bar{L}\exp(\alpha V_{LA})$を満たす値，である。以上の式には，断面の幅，有効高さ，偏心距離および軸力の平均値は直接必要でなく，$\bar{d}'/\bar{d}\,(=f)$および$\bar{e}/\bar{d}$を与えれば，計算することができる。したがって，これらの平均値の具体的な値に関係のない一般的な結果が得られることになる。

3. 計算結果

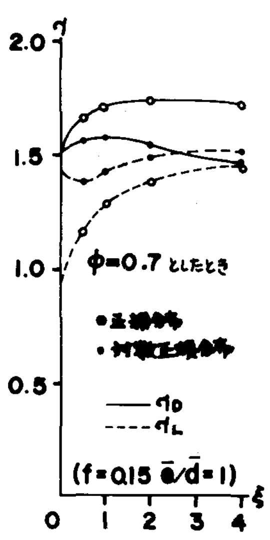
$\sigma_{ca}=80\,\mathrm{kg/cm^2}$，$\sigma_{cu}^n=240\,\mathrm{kg/cm^2}$，$\sigma_{sa}=1600\,\mathrm{kg/cm^2}$，$\sigma_{sy}^n=3000\,\mathrm{kg/cm^2}$ の場合の例についての計算結果を，図－1～3に示す。ここで用いた変動係数その他の値は，はり断面の場合[1)]と共通なものは同じで，$V_D=0.1$，$V_L=0.3$，$V_{\sigma cu}=0.2$，$V_{\sigma sy}=0.08$，$V_{As}=0.03$，$V_b=0.04$，$V_d=0.08$，$V_{Aa}=V_{Au}=0.1$，$D^n/\bar{D}=1$，$L^n/\bar{L}=1.5$，$\sigma_{cu}^n/\bar{\sigma}_{cu}=0.85$，$\sigma_{sy}^n/\bar{\sigma}_{sy}=0.8$ であり，$V_{d'}=0.08$，$V_e=0.05$とした。図中のξは死荷重の公称値に対する活荷重の公称値の比，$\xi=L^n/D^n$である。



図－1



図－2



図－3

参考文献　1) 長，小山，今尾：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。 2) Ang, A. H-S：Structural Risk Analysis and Reliability Based-Design, Proc. ASCE, Vol. 99 No ST9, 1973.