

1. まえがき 鉄筋コンクリート長方形はり断面の最適許容応力度設計については先に発表¹⁾した。今回はT形はり断面の最適許容応力度設計と最適終局強度設計(ACI基準による)について報告する。なおこれらの結果を利用して、日本における現行の許容応力度設計とACI基準による終局強度設計の比較についても述べる。

2. 設計変数および目的関数 長方形断面の場合と同様に、有効高さ d および鉄筋量 A_s をそのまゝ設計変数としないで、次式中の C および p を設計変数とする。 $d = C\sqrt{M/b}$, $A_s = pbd$ ここで次のような常数パラメータを定義する。 $f = d'/d$, $w = b_o/b$, $\alpha = t\sqrt{b/M}$ これらの設計変数と常数パラメータを用いた、目的関数(コンクリートと鉄筋の費用の和が最小となる)は次のようになる。 $Z = \{(1+f)w + pg\}C \rightarrow \min$. ここに g はコンクリート単価に対する鉄筋の単価の比である。

3. 最適許容応力度設計 制約条件は次のようになる。 $0.5wk^2 + \{(1-w)\frac{\alpha}{k} + np\}k - 0.5(1-w)\frac{\alpha^2}{k^2} - np = 0$, $[\frac{k^2}{3}\{1-(1-w)(1-\frac{\alpha}{kC})^3\} + \frac{np}{k}(1-k)^2]C^3 \geq \frac{1}{\sigma_a}$, $\frac{k}{1-k}[\frac{k^2}{3}\{1-(1-w)(1-\frac{\alpha}{kC})^3\} + \frac{np}{k}(1-k)^2]C^3 \geq \frac{\tau_a}{\sigma_a}$ ここに k は状態変数である。この最適化問題に直接探索法を適用して、種々な σ_a , σ_a , α , g の組み合わせに対して最適解 C_{opt} , p_{opt} が得られた。最適解に対する検討から次のことがいえる。(a)最適解がつまりあい断面となるケースは比較的少なく、つまりあい断面より有効高さは大きく、鉄筋量は少ない場合が最適解となるケースが多い。(b)長方形断面の場合と同じような最適解の一定性が存在する。(c)最適断面において、中立軸がウェブに入るのは α がほぼ0.125より小さいときである。(d)最適解は単鉄筋断面である。

4. 最適終局強度設計 ACI基準318-71による終局曲げモーメントおよび鉄筋比の上下限制限より次のような制約条件を得る。 $pC\{C(1-\frac{\sigma_y p}{1.7fw}) + \frac{(1-w)p}{w}\} - \frac{1}{\sigma_y}\{0.4250\frac{\alpha^2(1-w)}{w} + \frac{1}{\alpha g}\} = 0$, $\frac{14.06w}{\sigma_y} \leq p \leq 0.75(w\rho_b + \rho_f)$ ここに $\rho_f = \frac{0.85\alpha(1-w)}{C\sigma_y}$ である。この最適化問題は、長方形断面に対してFriel²⁾が試みているように、ラグランジュの未定乗数法により解くことができる。ほとんどの結果は鉄筋比の上下限界と一致するものではなく、かつ中立軸はフランジに入る。そのような場合の最適解は次のようになる。 $p_{opt} = w / (\frac{g}{1+f} + \frac{\sigma_y w}{0.85\alpha^2})$, $C_{opt} = 1 / \sqrt{0.9\sigma_y p_{opt}(1-\frac{p_{opt}\sigma_y}{1.7fw})}$ σ_c , σ_y , α , g の種々な組み合わせについての最適解を検討して次のことがいえる。(a)鉄筋比の下限値が最適解となることはない。上限値が最適解となるケースは α が非常に小さく、 σ_c が低く、 σ_y が大きくしかも g が非常に小さい場合に僅かにある。(b)最適断面を用いると、鉄筋比の上限値付近の断面に比べて、圧縮破壊する確率が非常に低下する。(c)最適解は単鉄筋断面である。

5. 許容応力度設計と終局強度設計の比較 日本におけ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と、ACI基準による終局強度設計法に基づいて設計されたはり断面について種々検討した結果次のことがいえる。許容応力度設計断面に比べ終局強度設計断面の方が有効高さは低い。しかし最適断面では両者の差は小さくなる。費用は最適断面では終局強度設計断面の方が安くなるが、鉄筋比の上限値付近の断面では逆に高くなる。代表的なモデルについて破壊確率を求めて比較したところ、終局強度設計の方が、破壊確率が1.5~2.5倍高い。このことは日本の現行の許容応力度設計法の材料安全率が、ACI基準の荷重係数の安全レベルより高くとられていることを意味している。そこで現行の日本の水準で、信頼性理論に基づくCode Calibration³⁾を試みたところ、減少係数中、死荷重に対する荷重係数 γ_L は、 $\phi = 0.6(0.9)$, $\gamma_D = 1.25(1.85)$, $\gamma_L = 1.10(1.45)$ となり、ACI基準に比べ平均1.13倍の荷重係数となった。参考文献 1)長尚:鉄筋コンクリート長方形はり断面の最適設計, 土木学会論文報告集, 才250号, 1976. 2) L.L. Friel: Optimum Singly Reinforced Concrete Sections, Journal of A.C.I., Nov. 1974. 3) Ravindra, M.K. et. al., Illustrations of Reliability-Based Design, Proc. ASCE. Vol.100, No. ST9, 1974.