

信州大学工学部 正員 小山 健
 信州大学工学部 正員 長 尚
 信州大学工学部 学生員 市川義政

1. 序

先に筆者らは鉄筋コンクリート構造物設計法における、常時（死荷重＋活荷重）の終局限界状態を対象としたコード・キャリブレーションについて発表した¹⁾。その際断面形状の違いは結果に余り影響を及ぼさないものとして、断面形状は便宜上長方形はり断面で代表させた。本文では念のために丁形断面を含んだ場合の計算を行なったので報告する。

2. 丁形はり断面を含めたコード・キャリブレーションの方法

土木学会コンクリート委員会の終局強度小委員会の提案²⁾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。 $(1/\gamma_{nm})f(\sigma_{cr}/\gamma_{mc}, \sigma_{sr}/\gamma_{ms}) \geq \gamma_{nf}g\{\gamma_{fu}(G_R + \gamma_{Ll}Q_{RL})\}$ (1)

ここに、 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, γ_{fu} , γ_{Ll} : 荷重係数, σ_{cr} : コンクリートの強度の特性値, σ_{sr} : 鉄筋の強度の特性値, G_R : 死荷重の特性値, Q_{RL} : 活荷重の特性値, $f(\cdot)$: 設計用強度算定式, $g\{\cdot\}$: 曲げモーメント算定式である。この式(1)を次のように書き改める¹⁾。 $(1/\gamma_{nms})f(\sigma_{cr}/\eta, \sigma_{sr}) \geq \gamma_D M_D^k + \gamma_L M_L^k$ (2) ここに、 $\gamma_{nms} = \gamma_{nm} \gamma_{ms}$ (3)

, $\eta = \gamma_{mc}/\gamma_{ms}$ (4), $\gamma_D = \gamma_{nf} \cdot \gamma_{fu}$ (5), $\gamma_L = \gamma_{nf} \cdot \gamma_{fu} \cdot \gamma_{Ll}$ (6), M_D^k , M_L^k : それぞれ死荷重および活荷重の特性値から計算される曲げモーメントである。現行の設計法に基づいて設計されたはり断面の安全レベルの評価は、次式で表される β_w で行なう¹⁾。

$\beta_w = \ln\{f_R(\bar{x})/f_S(\bar{y})\}/\sqrt{V_R^2 + V_S^2}$ (7) ここに、 $f_R(\cdot)$: 断面強度算定式, $f_S(\cdot)$: 現行の設計の曲げモーメント算定式, $\bar{x}$: 材料強度, 断面寸法などの確率変数, $\bar{x}$ はそれらの平均値, $\bar{y}$: 荷重, $\bar{y}$ はその平均値, V_R , V_S : $\bar{x}$, $\bar{y}$ の変動係数である。整合式による方法では次式により、 γ_{nms} , γ_D , γ_L を求めることができる¹⁾。

$\gamma_{nms} = f_R(\sigma_{cr}/\eta, \sigma_{sr}) \exp(\beta_w \alpha_R V_R) / f_R(\bar{x})$ (8), $\gamma_D = \bar{M}_D \exp(\alpha \beta_w V_{DE}) / M_D^k$ (9), $\gamma_L = \bar{M}_L \exp(\alpha \beta_w V_{LE}) / M_L^k$ (10)。

ここに α_R, α : 定数, V_{DE}, V_{LE} : それぞれ死荷重および活荷重の変動係数である。目標安全性指標による方法では、次式により $\gamma_D' (= \gamma_{nms} \gamma_D)$, $\gamma_L' (= \gamma_{nms} \gamma_L)$, η を求めることができる¹⁾。

$\sum_i (\beta_i - \beta)^2 w_i \rightarrow \min$ (11) ここに、 $\beta_i = \ln\{f_R(\sigma_{cr}, \sigma_{sr}) (\gamma_D' M_D^k + \gamma_L' M_L^k) / [f_R(\sigma_{cr}/\eta, \sigma_{sr}) (\bar{M}_D + \bar{M}_L)]\} / \sqrt{V_R^2 + V_S^2}$ (12), β : 目標安全性指標(前記 β_w の重みつき平均値を用いる), w_i : 重みである。なお M_D , M_L は断面寸法の平均値を用いて次式から逆算して求められるものとする。

$M_D = m_D V_E \bar{b} \bar{d}^2$ (13), $M_L = m_L V_E \bar{b} \bar{d}^2$ (14) ここに、 m_D : 死荷重率, m_L : 活荷重率, V_E : 定数で、エツキは公称値を示す。上記式(2)~(14)中、断面形状の違いによって

差が出てくるのは、断面強度算定に関係する $f_R(\cdot)$, V_R などの部分と、曲げモーメントを逆算するための V_E の部分である。丁形断面の場合これらの部分の算定式は、中立軸がフランジに入るかウェブに入るかによって用

いる式が異なってくる。しかも中立軸の位置は材料強度および断面寸法などの確率変数の関数である。しかしこのことを厳密に考慮に入れて計算することは困難であり、又ここで述べるコード・キャリブレーションの目的から考えるとその必要もないので、中立軸の位置は便宜的に上記確率変数の平均値のみから定まるものとして扱うことにする。

なお長方形断面の場合は、式(13), (14)を逆算するときつり合い断面を用いたが、丁形断面では一般につり合い断面より有効高さの大きい断面が用いられることが多いと考えられるので、先に筆者の一人が発表した最適断面³⁾を用いることにする。この場合は、 $V_E = 1/C_{opt}$ (15) ここに、 C_{opt} : 最適係数である。最終的に設計フォーマットのパラメータは、まず目標安全性指標による方法で、 η , γ_D' , γ_L' を求め、次いでこの η を

用いて整合式による方法で γ_{ms} を計算し、 $\gamma_D = \gamma'_D / \gamma_{ms} \dots (16)$, $\gamma_L = \gamma'_L / \gamma_{ms} \dots (17)$ を求めて決定する。

3. 計算に用いたデータ

本計算に用いた変動係数などのデータを、先に発表した論文の場合と同じものに、T形断面に必要なものを加えて表-1に示す。材料強度の組合わせに關する重みは、前と同様に表-2に示すものを用い、長方形断面とT形断面の重みは、T形断面となる場合が多いと考えられるので、1:3とした。T形断面の場合現行設計は前述したように最適断面を用いるが、その際のコングリートの単面に對する鉄筋の単価の比 $\eta = 75$ とし、フランジの幅 b に対するウェブの幅 b_w の比の平均値 $\bar{b} = 2.15, 2.2, 2.25, 2.3, 2.35$ の5種類、 $\alpha = t \sqrt{b/M_u}$ (t :ウェブの厚さ、 M_u :終局曲げモーメント)の平均値 $\bar{\alpha} = 0.025, 0.05, 0.075, 0.1, 0.125, 0.15, 0.175, 0.2$ の8種類とし、これらの重みはすべて同じとした。

4. 計算結果および考察

表-3に計算結果を、断面形状を長方形のみとして求めた結果と比較して示す。これらの結果を用いて式(1)に示す工本率の素案の形に表現すると表-4のようになる。ただし、 $\gamma_{ms} = 1.15$, $\gamma_{\eta} = 1.0$ とし、パラメータの端数は0.05で四捨五入とある。これらの結果をみると、 η 以外は断面形状を長方形のみとしたものとほぼ一致している。断面強度算定式(1)の中に占めるコンクリートの強度の割合は比較的少ないので、この程度の η の違いはほとんどないといえる。なおBの場合 γ_{ms} と γ_{η} の値が少し異なるが、設計に与える影響はこれらの値の積で考えるべきであるから、その意味では両者に差はないといえる。したがって、前の発表で予想したように、断面形状を長方形で代表させたことは妥当と考えられる。

参考文献: 1) 長 尚, 小山健: 鉄筋コンクリート構造物設計法のコード・キャリブレーション, 土木学会論文報告集, オ 287号,

1979. 2) 土木学会: コンクリート構造の設計指針, 1979. 10. 3) 長 尚: 鉄筋コンクリートT形はり断面の最適設計, 土木学会論文報告集, オ 258号, 1977.

表-1

	A	B
P_D^n : 死荷重がその公称値を上回る確率	0.5	0.5
P_D^n : " 特性値 "	0.05	0.05
P_L^n : 活荷重がその公称値 "	0.2	0.01
P_L^n : " 特性値 "	0.05	0.05
P_c^n : コンクリート強度がその公称値を下回る確率	0.2	0.2
P_c^n : " 特性値 "	0.2	0.2
P_s^n : 鉄筋の強度がその公称値を下回る確率	0.01	0.01
P_s^n : " 特性値 "	0.01	0.01
γ_D : 死荷重の変動係数	0.05	0.05
γ_L : 活荷重 "	0.35	0.15
γ_{ER} : 強度算定修正係数の変動係数	0.1	0.1
γ_{α} : モーメント "	0.1	0.1
γ_c : σ_c の変動係数	0.2	0.2
γ_s : σ_s "	0.05	0.05
γ_A : 鉄筋の断面積の変動係数	0.03	0.03
γ_b : b の変動係数	0.04	0.04
γ_d : d "	0.08	0.08
γ_{b_0} : b_0 "	0.04	0.04
γ_t : t "	0.04	0.04

表-2 kg/cm^2

σ_c^n / σ_{ca}	180 (60)	240 (80)	300 (100)
σ_s^n / σ_{sa}			
2400 (1400)	1.0	0.5	0.0
3000 (1800)	0.0	2.0	1.0
3500 (2000)	0.0	0.0(A) 0.5(B)	0.0(A) 1.0(B)

表-3

	B	η	γ'_D	γ'_L	γ_{ms}
A					
長方形のみ	3.62	1.11	1.49	1.53	1.22
T形を含む	3.58	1.04	1.48	1.52	1.18
B					
長方形のみ	4.87	1.39	1.84	1.74	1.49
T形を含む	4.83	1.15	1.86	1.76	1.42

表-4

	設計 フォーマット
A	
長方形のみ	$\frac{1}{1.05} f \left(\frac{\sigma_{CR}}{1.30}, \frac{\sigma_{AR}}{1.15} \right) \geq g \{ 1.25 (G_R + 1.05 Q_{RL}) \}$
T形を含む	$\frac{1}{1.05} f \left(\frac{\sigma_{CR}}{1.15}, \frac{\sigma_{AR}}{1.15} \right) \geq g \{ 1.25 (G_R + 1.05 Q_{RL}) \}$
B	
長方形のみ	$\frac{1}{1.30} f \left(\frac{\sigma_{CR}}{1.60}, \frac{\sigma_{AR}}{1.15} \right) \geq g \{ 1.25 (G_R + 0.95 Q_{RL}) \}$
T形を含む	$\frac{1}{1.25} f \left(\frac{\sigma_{CR}}{1.40}, \frac{\sigma_{AR}}{1.15} \right) \geq g \{ 1.30 (G_R + 0.95 Q_{RL}) \}$