

I-165 コンクリート標準示方書の安全係数について

信州大学工学部 学生員 松田 武久
 信州大学工学部 正員 長 尚
 建設省関東地建 丸山 徳彦

1. ま え が き

土木学会「コンクリート標準示方書」¹⁾で採用された、水準Ⅰの限界状態設計法において、経済性と安全性に直接関係する安全係数（ γ ）について、先に²⁾具体的に数値で検討した。その際、常時作用荷重によって断面寸法が決まる代表例として、単鉄筋長方形はり断面を、地震時作用荷重によって断面寸法が決まる代表例として、対称複鉄筋長方形柱断面を取り上げて議論した。本文では、単鉄筋長方形はり断面を、常時作用荷重によって断面寸法が決まる代表例としたことの妥当性を見るために、単鉄筋T形はり断面について検討し、これの結果を含めて、改めてコンクリート標準示方書の安全係数について考察を加える。

2. T形はり断面による経済性と安全性の比較

先ず次のような前提を設ける。①〔死荷重＋活荷重（衝撃を含む）〕による曲げモーメント作用の条件により断面寸法は決まる。一般にこのような条件により断面寸法は決まるから、議論の一般性が失われることはない。②許容応力度設計法では最適断面³⁾で設計される。長方形はり断面は通常釣合断面付近の断面に設計されるが、T形断面では、釣合断面付近の断面では、通常不経済となり、有効高さはこれよりかなり大きく設計される。そこでここでは便宜上筆者の一人が提案した最適断面を用いることとした。③限界状態設計法の鉄筋比は、許容応力度設計法のそれと同じ最適鉄筋比とする。限界状態設計法では一般に鉄筋比の選択にかなり幅があるが、以前指摘したように許容応力度設計法での鉄筋比付近を使用するのが合理的であり、また経済性と安全性の比較であるから、このような前提を設けて差し支えない。

単鉄筋長方形はり断面では、許容応力度設計法と限界状態設計法による経済性の相違は、有効高さの比で評価され、しかも設計曲げモーメント、断面の幅、有効高さそのものの大きさに無関係に評価でき、一般性のある議論が可能であった。²⁾しかし単鉄筋T形はり断面では、経済性の相違をそのような形で評価するような定式化は不可能である。したがって、設計曲げモーメント M_n 、フランジの幅 b 、ウェブの幅 b_o 、フランジの厚さ t などを具体的に数値で与えなければならない。本研究では通常の設計例を勘案して、次のような種別を考慮した。 M_n (tm) : 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200.0 b (m) : 1.5, 2.0 b_o (m) : 0.5 t (cm) : 15, 25 これらのすべての組み合わせについて、両設計法で有効高さを具体的に計算して、経済性の相違は次のようにして評価した。文献3)、4)で示したように、設計されたものの経済性の評価を、断面を構成しているコンクリートと主鉄筋の費用（ただし単なる材料費だけでなく所要の経費すべてを含む）の和で次のように表わす。 $COST = \{ (1+f)b_o/b+pq \} d_L + (1-b_o/b)t \} bC_c \cdots (1)$ ここに、 f は有効高さに対する、鉄筋の図心からコンクリート面までの距離の d' の比（ $f = d' / d$ ）、 p は鉄筋比、 q はコンクリートの単位体積当りの費用に対する、鉄筋の単位体積当りの費用の比、 C_c はコンクリートの単位体積当りの費用である。許容応力度設計法で設計されたものの費用に対する、限界状態設計法で設計されたものの費用の比 η は次のようになる。 $\eta = \{ (1+f)b_o/b+pq \} d_L + (1-b_o/b)t \} / \{ (1+f)b_o/b+pq \} d_A + (1-b_o/b)t \} \cdots (2)$ ここに、 d_L 、 d_A はそれぞれ限界状態設計法、許容応力度設計法で設計された有効高さである。なお通常 $f = 0.1 \sim 0.2$ 、 $q = 50 \sim 100$ であるので、ここでは便宜上 $f = 0.15$ 、 $q = 75$ とした。

限界状態設計法と許容応力度設計法の安全性の相違の評価は、安全性指標 β で行なう。この場合 β の計算には、一般に次の二つの方法が考えられる。A : [両設計法に対して同じ公称曲げモーメントを用いて、破壊基準関数を定式化する方法（結果として、両設計法で異なる断面寸法を用いることになる）] B : [両設

計法で同じ断面寸法に設計された状態について、破壊基準関数を定式化する方法(結果として、両設計法で異なる公称曲げモーメントを用いることになる)] 単鉄筋長方形はり断面の場合には、Bの方法によって、両設計法で全く共通の確率変数を用い、断面寸法などの平均値や公称曲げモーメントの具体的な数値を必要としない定式化が可能となり、一般性のある議論ができた。²⁾ しかし、単鉄筋T形はり断面の場合には、経済性の比較におけると同様に、断面寸法などの平均値及び公称曲げモーメントの具体的な数値を用いない定式化は不可能で、Aの方法によらざるをえない。なお、この場合の確率変数は、 f_c' (コンクリートの円柱供試体の強度)、 f_y (鉄筋の降伏点強度)、 b 、 d 、 b_o 、 t 、 E_R (強度算定修正係数)、 M_D (死荷重曲げモーメント)、 M_L (活荷重曲げモーメント)、 E_s (断面力算定修正係数) の、計11個で、先と同様に、これらはすべて対数正規分布するものとした。このようにしても、安全性の相対的な評価という目的には十分耐えるものと判断される。

3. 計算結果と考察

表-1

表-1に、先の長方形はり断面の結果と共に、T形はり断面の、安全性指標 β と、経済性の比 η を示す。なお表中のケース1は、示方書に示されている安全係数の最小値を用いた場合、ケース5はその最大値を用いた場合、ケース2~4はその中間値を用いた場合で、ケース2はある文献⁵⁾で採用している安全係数の値を用いた場合である。また割増率とは、各ケースの限界状態設計法と同じ結果になるように、許容応力度の割増をして、許容応力度設計法で設計するとした場合の、割増率である。まず安全性指標 β は、長方形はり断面に比べて、T形はり断面の方がややその値が小さいが、ほぼ同じといってよい。これに対して、経済性の比 η の値は、傾向は同じであるが、T形はり断面の方が幾分1に近くなっている。その原因は、有効高さの変化による、コンクリート断面積の変化の率が、長方形はり断面よりT形はり断面の方が小さいところにあると考えられる。割増率は、両断面ともほぼ同じで、ややT形断面の方が大きい。このことは、許容応力度の割増で評価した場合、断面の相違による影響はほとんどないことを示している。いずれにしても、T形はり断面の場合も、先の長方形はり断面を用いて指摘した次のようなことが言える。したがって、前文で長方形はり断面を、常時作用荷重によって断面寸法が決まる代

			長方形断面	T形断面
許容応力度設計法 β			2.89~4.93	2.82~4.95
限界状態設計法	β	ケース1	1.64~2.16	1.59~2.05
		ケース2	2.01~2.44	1.96~2.34
		ケース3	2.42~3.26	2.36~3.16
		ケース4	2.90~4.25	2.85~4.15
		ケース5	3.53~5.33	3.47~5.23
	η	ケース1	0.79~0.82	0.81~0.88
		ケース2	0.81~0.86	0.83~0.92
		ケース3	0.87~0.92	0.88~0.95
		ケース4	0.94~1.00	0.95~1.01
		ケース5	1.03~1.12	1.02~1.11
	割増率	ケース1	1.53~1.61	1.53~1.65
		ケース2	1.35~1.53	1.35~1.57
		ケース3	1.18~1.33	1.17~1.36
		ケース4	1.00~1.13	0.99~1.15
		ケース5	0.80~0.94	0.79~0.96

表例として議論したことの妥当性が確認された。1) 文献5)で採用されている安全係数の水準(ケース2)は妥当でないように思う。2) これまでの安全性の水準がやや高過ぎることと、限界状態設計法の採用により安全性のばらつきが減少することを考慮して、常時作用荷重時の設計においては、経済性が約10%向上する、ケース3と4の中間の水準(許容応力度の割増率で評価して約10%~20%にあたる)が妥当と言える。

参考文献 1) 土木学会: コンクリート標準示方書、1986。 2) 長尚: 許容応力度設計法と限界状態設計法における経済性と安全性、土木学会第44回年次学術講演会概要集、1989。 3) 長尚: 鉄筋コンクリートT形はり断面の最適許容応力度設計、土木学会論文報告集、1977。 4) T.Chou: Optimum Reinforced concrete T-Beam Sections, ASCE, 1977。 5) 国分他: 橋梁下部・基礎構造物の設計、技報堂、1987。