

I-177

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

信州大学工学部 正 員 長 尚

1. ま え が き 土木学会「コンクリート標準示方書」¹⁾が昭和61年に大幅に改訂され、新しい設計法として、水準Ⅰの限界状態設計法が採用された。しかしこの「限界状態設計法」が従来の「許容応力度設計法」に比較して、経済性および安全性に関してどのような利点があるかについて、数値的には示されていない。そして限界状態設計法によった場合に、経済性と安全性に直接関係する安全係数（ γ ）および修正係数（ ρ ）をどのようにして決定するかについて明示されていない。当然これらの係数の選び方によって、経済性と安全性は大きく変動する。したがって、限界状態設計法への移行によるメリットを発揮させるためには、安全係数と修正係数の適切な選択が不可欠である。本文では、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、経済性と安全性の問題について、具体的に数値で検討する。

2. 前 提 2.1 単鉄筋長方形はり断面 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。②許容応力度設計法では釣合断面で設計される。③便宜上、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とする。 2.2 対称複鉄筋長方形柱断面 ①地震時における曲げモーメントと軸力の作用の条件により断面寸法は決まる。②許容応力度設計法では、コンクリートの最大圧縮応力度と引張鉄筋の応力度がそれぞれ許容応力度一杯に設計される。③便宜上、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とする。④断面の破壊は引張破壊である。

3. 経済性の比較方法 3.1 単鉄筋長方形はり断面 許容応力度設計法で用いられる設計用曲げモーメント（公称曲げモーメント）を M_n 、断面の幅を b とすると、許容応力度設計法で設計される釣合断面の有効高さ d_A は次のように表わされる。 $d_A = C_A \sqrt{M_n / b} \cdots (1)$ ここに C_A はコンクリートと鉄筋の許容応力度により決まる常数である。誘導内容は省略するが、限界状態設計法で設計されるものの有効高さ d_L は次のように表わされる。 $d_L = C_L \sqrt{M_n / b} \cdots (2)$ ここに C_L は安全係数、修正係数、コンクリートと鉄筋の強度の公称値などで決まる常数である。したがって許容応力度設計法による有効高さ d_A に対する、限界状態設計法による有効高さ d_L の比 η は、次のようになる。 $\eta = C_L / C_A \cdots (3)$ ここで文献2)などで用いたように、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鉄筋の費用（ただし単なる材料費だけでなく所要の経費をすべて含む）の和で表現すると、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は、両者の有効高さの比 η と一致する。したがって両設計法の経済性の比較は、式(3)により可能となり、設計用曲げモーメント M_n 、断面の幅 b 、有効高さ d などの大きさそのものに無関係な、かなり一般性のある議論ができる。 3.2 対称複鉄筋長方形柱断面 許容応力度設計法で用いられる地震時の設計軸力（公称軸力）を N_n 、断面の中心からの偏心距離を e_n とし、これらを次のように表わす。 $N_n = v_n b^2 \cdots (4)$ $e_n = w_n b \cdots (5)$ 以下誘導内容は省略するが、許容応力度設計法と限界状態設計法で設計されるものの有効高さ d_A 、 d_L は、それぞれ次のように表現できる。 $d_A = \tau_A b \cdots (6)$ $d_L = \tau_L b \cdots (7)$ ここに、 τ_A 、 τ_L は常数で、前者はコンクリートと鉄筋の許容応力度および v_n 、 w_n などにより、後者は安全係数、修正係数、コンクリートと鉄筋の強度の公称値および v_n 、 w_n などにより決まる。この場合の有効高さの比 η は次のようになり、これがやはり両設計法の経済性の比較を表わすことになる。 $\eta = \tau_L / \tau_A \cdots (8)$ 通常考えられる範囲で、 v_n 、 w_n の値を設定することにより、はり断面の場合と同様、かなり一般性のある議論が可能である。

4. 安全性の比較方法 両設計法の安全性の評価は、安全性指標 β で行なうものと

する。具体的な破壊基準関数は省略するが、経済性の比較の際用いた、 C_A 、 C_L 、 τ_A 、 τ_L が関係し、しかも鉄筋断面積、断面の幅、有効高さ、荷重、偏心距離などの平均値を必要としないように定式化し、これらの値に無関係な一般性のある議論が可能になるようにした。

5. 計算結果と考察

5.1 単鉄筋長方形はり断面 コンクリート標準示方書では、標準的な安全係数の値が、ある範囲で示されている。これと新示方書にもとづく設計例に関する文献を参照して、幾種類かの計算ケース（A1～A5、B1～B4）を設定した。Aは道路構造物を、Bは鉄道構造物を対象とし、数字の最小、最大は、安全係数の最小、最大値をそれぞれ用いている。なおA2とB3はそれぞれ文献3)、4)で用いてある安全係数と同じである。図-1に η と β の計算結果を示す。当然安全係数の値が小さいと、 η

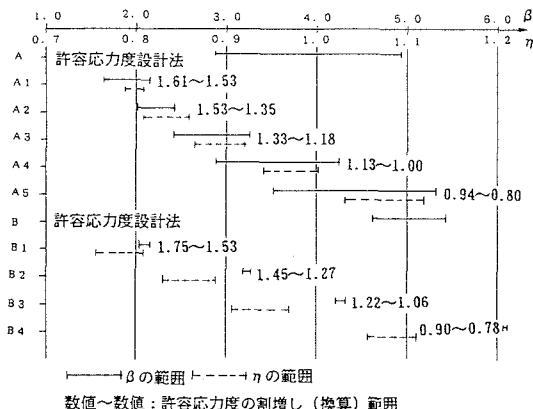


図-1

の値は1より小さくなり、限界状態設計法の方が経済的になるが、 β の値は小さく、安全性は低下する。文献3)で採用している安全係数と同じとしたA2では、 η の値は0.86～0.81で、14%～19%の費用減となっている。一方 β の値は、許容応力度設計法の場合4.93～2.89であるのに対して、限界状態設計法の場合2.44～2.01となっている。安全性指標 β は相対的な安全性の物差しであって、しかも安全性の妥当な水準の設定が極めて困難である。したがってこのA2の水準が妥当かどうか判断しにくい、もし許容応力度を上げて、14%～19%の費用減となるようにするものとするれば、この水準は、許容応力度を35%～53%を割増したことに相当している。以前から指摘^{5)・6)}しているように、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すると、安全性の水準をこれまでの水準より若干下げて、新しい設計法への移行により、経済性の向上にもつながるようにすべきであろう。しかし文献3)の水準は低過ぎるように思う。とりえず許容応力度を10～20%程度上げた水準が妥当であろう。これはA3とA4の中間の水準に当たり、経済性は約10%向上する。B3は文献4)と同じ安全係数を採用したケースである。 η の値は0.97～0.91で、3%～9%の費用減となっている。 β の値は、許容応力度設計法の場合5.43～4.63であるのに対して、限界状態設計法の場合4.31～4.23となっている。またこれは許容応力度を6%～22%を割増したことに相当している。したがってこの水準は妥当といえよう。

5.2 対称複鉄筋長方形柱断面 文献4)に用いられている安全係数（示方書の最小の値）と同じ場合、 η の値は0.97～1.0で、3%～0%の費用減となっている。 β の値は、許容応力度設計法の場合1.16～1.38であるのに対して、限界状態設計法の場合1.02～1.29となっている。これらのことから、安全係数として示方書の最小の値を用いても、限界状態設計法の採用による経済性の向上はごく僅かであり、場合によっては、地震時における安全係数の最小値の設定を再検討する必要があるように思う。

6. 系言論 限界状態設計法において、示方書もしくは文献で例示されている安全係数、修正係数を不用意に用いると、従来に比べて経済性と安全性に著しい相違を生じ、不経済になったり、安全度が極端に低くなったりする。これらの係数は慎重に選択されなければならない。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書、1986.
- 2) T.Chou: Optimum Reinforced concrete T-Beam Sections, ASCE, 1977.
- 3) 国分他：橋梁下部・基礎構造物の設計、技報堂、1987.
- 4) 国分他：コンクリート橋の設計、技報堂、1987.
- 5) 長尚：限界状態設計法の採用による経済性の改善について、構造工学シンポ、1981.
- 6) 長尚：土木構造物の安全性と経済性、土木技術、1985.