

## 限界状態設計法について

信州大学工学部 正員 長 尚

1. まえがき 土木学会の「コンクリート標準示方書」<sup>1)</sup>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。ところが「限界状態設計法」の何たるか、どのようなフィロソフィーで、どのようなメリットがあるのか、さっぱり理解できないというのが正直なところではなかろうか。そこで本文では移行のメリット、問題点について若干の考察を加えたい。

2. 移行によるメリット 土木学会誌<sup>2)</sup>とか土木学会論文集<sup>3)</sup>に改訂の要点について概説がある。その中に限界状態設計法の評価に関する次のような部分がある。“従来は許容応力度という1つの項目だけを照査しておけば、終局状態に対する安全度と使用状態に対する使用性の両方とも満たすものと考えてきたが”、“限界状態設計法は、・・・安全性と使用性を明確に区別しながらひとつの設計体系にまとめたもので合理的であると評価されている。”“検討する視点が多様化する(三限界状態を考えるため：筆者注)からミスを発見するチャンスが増えるし、それぞれの構造物がどういう状態のときにどの程度危険になるか、また、その場所はどこかということがはっきりするので、構造物を管理する立場からも有利となることも明らかである。”“限界状態設計法においては、材料強度および荷重の特性値ならびに規定する安全係数を用いて行うこととしている。したがって、設計計算に影響を及ぼす個々の要因の影響度を別個に評価できる体系となっていることは大きな進歩といえる。”このような評価には、筆者は疑問をもつ。まず、これまでの許容応力度設計法は“許容応力度という1つの項目だけを照査しておけば、終局状態に対する安全度と使用状態に対する使用性の両方とも満たすものと考えてきた”わけではない。従来も変位に対する照査とか疲労に対する配慮はしてきている。この点に関連する改善は、設計において照査しなければならない状態を明確に区別して定義し、それぞれの状態で用いる、材料強度、荷重、安全係数を導入したところにある。したがって、“検討する視点が多様化するからミスを発見するチャンスが増える”という評価もオーバーな評価である。次に“限界状態設計法においては、材料強度および荷重の特性値ならびに規定する安全係数を用いて行う”から“設計計算に影響を及ぼす個々の要因の影響度を別個に評価できる体系となっていることは大きな進歩といえる”のだろうか。確かに形式的には“個々の要因の影響度を別個に評価できる体系となっている。”しかし実際には統計データ不足から材料強度及び荷重の特性値を的確に評価できる段階ではないし、種々な安全係数を判断する合理的根拠はまだ希薄である。したがって“別個に評価できる体系”が実質的にメリットを発揮する段階ではない。将来の発展に期待されなければならない。この意味では将来の発展性を秘めた設計法に移行したと言える。したがって、“それぞれの構造物がどういう状態のときにどの程度危険になるか、また、その場所はどこかということがはっきりするので、構造物を管理する立場からも有利となることも明らか”というメリットも当面は少ないと言わざるを得ない。

ここで今回の限界状態設計法への移行によるメリットに関する、筆者の私見を箇条書で挙げる。(1)設計において照査しなければならない状態を明確に区別して統一的に定義し、それぞれの状態で用いるべき材料強度、荷重、安全係数をはっきり区別している。(2)性質の異なる種々な不確定要因について、相対的な数値評価が可能ならば、これらを個別に配慮できるようになっている。(3)材料強度、荷重等の統計的データがあって、特性値が適切に評価できれば、例えば死荷重と活荷重のばらつきの相違といったものを合理的に反映させることができる。(4)終局限界状態の照査において断面の耐力の算定に塑性論が採用(限界状態設計法でなければできないという訳ではないが)され、断面の耐力の算定の合理化が図られている。(5)構造物の個々の設計者及び管理者が種々な不確定要因を意識して設計し、管理することにより、創造的な設計、合理的な管理をする可能性がある。(6)以上挙げたメリットのうち(2)、(3)、(5)には、不確定要因の数値的評価が不十分な現状から、まだその多くを期待できない。しかし今後この点に関する研究成果が特性値、安全係数に逐次取

り入れられることが予想され、将来の発展が期待できる。(7)既に指摘したが、従来より若干安全度のレベルを下げることににより経済性の向上を目指すべきであろう。これが当面のメリットの最大のものとなる。

**3. 改訂の主な問題点** 改訂の主な問題点について以下述べる。(1)限界状態設計法に関して解説し、その意義、メリット及び問題点等について示すべきであった。(2)特性値には安全側の値を用いるということと、確率論的なレベルを合わせて各荷重間もしくは材料強度間のばらつきの相違を調整するという二つの役目がある。ところが後者の役目について「示方書」では、はっきり説明されていない。確かに統計データ不足で、確率論的なレベルを合わせて特性値を定義することは現状では困難ではある。しかし今後の発展ためと、現状でもデータがある場合とのために、このことは明確にしておく必要がある。(3)「示方書」の1. 2の「用語の定義」で材料強度の特性値については定義されているが、荷重の特性値については定義がない。(4)地震に関する検討の章では地震の影響について特性値という言葉が使われていない。しかし「示方書」の9. 4(2)とその解説では、設計基本式としては荷重の特性値が入っている終局限界状態に対する式が用いられることが前提になっている。(5)コンクリートの強度の特性値を、レデーミクストコンクリートの「呼び強度」としたのは妥当でない。何故なら設計段階で“呼び強度”は必ずしも分からないからである。(6)安全係数と修正係数の定め方の根拠がはっきりしていない。きちっと合理的に説明するのは現状では非常に困難であるが、そのような問題点を認識して貰う意味からも、この点の解説は是非必要である。いずれにしても限界状態設計法への移行によるメリットを発揮させるには安全係数と修正係数の適切な選択が不可欠である。別文で発表する予定であるが、示方書もしくは一部の設計例の安全係数・修正係数を不用意に用いると、従来に比べて安全性と経済性に著しい相違が生じ、不経済になったり、安全度が極端に低くなったりするので、慎重に選択しなければならない。(7)「示方書」の6. 2. 1の解説図6. 2. 1で曲げモーメントと軸方向力の相互作用図が示してあり、設計ではこの図を作らなければならないように受け取られ易い。しかし通常引張破壊の状態を考えれば十分である。したがって、このような図は不要であり、無用な設計計算を強いる弊害がある。(8)「示方書」の6. 2. 2で、等価応力ブロックの応力度を $0.85 f_{cd}$ としているのは厳密に言うとは間違いである。何故なら $0.85$ という係数は本来円柱供試体の強度と実際の構造物中の強度の差を考慮した補正係数( $k_s$ )であり、一方 $f_{cd}$ の中にはコンクリートの強度の材料係数 $\gamma_{mc}$ が入っており、これの一部に同じ考慮がなされていて、重複するからである。(9)使用限界状態に対する検討式が、許容応力度設計法と相似な形となることが、明確には示されていない。むしろ「示方書」の2章の「設計の基本」からは終局限界状態に対する検討式のような形が想定され、許容値という概念が出てこず、非常に分かりにくい。(10)従来ひびわれの照査が特に示方書で取り上げられていなかったのは、許容応力度設計法では特殊なケースを除き結果的にひびわれが異常に発生するような設計結果とならなかったという背景がある。ところが限界状態設計法では、鉄筋比の上限が非常に高く、かなりスレンダーな寸法も可能なため、使用限界状態の一つとしてひびわれの照査が必要となったと言える。ただしひびわれの照査を省略して良いケースをもっと拡大しても十分のように思う。なお以前指摘したように、鉄筋比の上限よりかなり低い鉄筋比を採用した方が経済的<sup>9)</sup>で、しかもひびわれの照査も少なくて済む利点が考えられる。

**4. あとがき** 当面の移行によるメリットは少ない上に、肝心の係数の選択方法が明示されていない。さらに新しい規定の内容が理解し難い。場合によっては、不適切な設計をする危険性が十分考えられる。したがってこの移行は、設計現場に多大な移行エネルギーを強いるだけに、時期尚早の感が非常に強い。しかしすでに移行したのであるから、経済性の改善と将来の発展に向けて努力すべきであろう。

**参考文献** 1)土木学会：昭和61年度制定コンクリート標準示方書，1986. 2)樋口芳明：コンクリート標準示方書についての所感，土木学会誌，71-6，1986. 3)土木学会：「コンクリート標準示方書」の改訂の要点，土木学会論文集，366 / V-4，1986. 4)長尚：土木構造物の安全性と経済性，土木技術，40-3，1985. 5)T.Chou：Optimum Reinforced Concrete T-Beam Sections，Journal of the Structural Division，ASCE，Vol.103，No.ST8，1977.