

1. まえがき

現在日本における土木構造物の設計基準は許容応力度設計法に基づいている。しかしこの設計法においては、構造物を構成している材料の塑性的性質が考慮されていないし、又材料の強度とか構造物に作用する荷重などの確率論的側面が考慮に入っていないので、同一設計基準で設計されても、部材もしくは構造物の安全度が、色々な要因（例えば使用材料、材料強度の規格、断面寸法、スパン、荷重の種類等）の違いによって、非常に差が出てくることになる。この点を改良しようとして生まれてきたのが、荷重係数設計法（終局強度設計法）、さらには限界状態設計法である。最近日本においてもこのような設計基準への移行をめざして、信頼性理論を適用した研究が活発に行なわれると共に、土木学会の委員会なども新しい基準の検討が行なわれている。一方こうした動きに対して、信頼性理論に基づいた新しい基準に移行するのは時期尚早ではないかという意見も多い。その理由は、設計問題に信頼性理論を適用することは、定性的には納得できるとしても、定量的な議論になると、解決されなければならない様々な問題点があるということであろう。筆者も新しい基準に移る際の、特に設計現場で費やされる莫大な労力を考えれば、移行によって得られるメリットがある程度確認され、そしてそれが多くの関係者によって理解されるまで、新しい基準への移行はなされるべきではないと考える。そのためには今後共々にこの問題について研究と議論がなされなければならない。本文ではこうした問題について若干考察する。

2. 各種設計法における安全性の取扱い

世界各国で採用されている構造物の設計法は大別して、許容応力度設計法、荷重係数設計法（終局強度設計法）、限界状態設計法の3種である。これらの設計法はいずれも、設計に当たって避けることのできない不確定要因である、①構造物が受ける荷重の変動性、②構造物に用いられる材料の強度の変動性、③製作・施工の変動性、④設計・算上の仮定と実際の差、等による安全性の低下を補うために、大き目に評価した荷重およびその影響と、小さ目に評価された強度が設計において用いられている。許容応力度設計法では主として、使用材料の許容応力度を充分小さく定めることにより、荷重係数設計法では、材料の塑性的性質を考慮した上で、荷重係数を用いて荷重を大き目に評価し、強度減少係数を用いて断面の強度を小さ目に評価することにより安全がはかられている。レベルⅠの限界状態設計法では、終局限界状態ばかりでなく、使用限界状態をも明確に扱うこととし、荷重と材料強度の変動性を考慮して特性値を定義し、荷重は大き目に、材料強度は小さ目に評価し、さらに部分安全係数を用いて、荷重の影響を大き目に、強度を小さ目に評価することにより安全がはかられている。

3. 信頼性理論に基づく新しい設計基準への移行に際しての問題点について

(1) 厳密な信頼性理論の適用ではないか： 信頼性理論に基づく設計基準といっても、とりあえず採用されると考えられる、限界状態設計法の水準Ⅰの設計フォーマットにおいては、信頼性理論に基づくのは、荷重と強度の変動性に対処するために特性値を用いる部分だけで、その他の不確定要因に対処するには直接的には信頼性理論の裏付けのない部分安全係数が用いられているので、厳密な信頼性理論の適用ではない。しかも統計的データが不十分のため、特性値を必ずしも合理的に決定できるとは限らない。したがって安全性の取扱いが著しく改善されることにはならないという指摘は、新しい基準への移行に当たっての最大の問題点であろう。しかしこれまでの信頼性理論の発展状況と、統計的データの不足、さらに設計基準の実用性などを総合的に考慮すれば、新しい設計基準を採用するにしても、当面はこの水準Ⅰのレベルにとどまらざるを得ないであろう。そこでこのレベルにおいて積極的に評価できる点を挙げると次のようになる。前述の不確定要因のうち荷重と強度の変動性は主要な要因で、それを特性値で対処するという考え方は、従来の確定論的な対処に比べて、本質的な改良で

あるといえる。又特性値が十分な統計的データの裏付けによって定められないにしても、従来の荷重の決め方のあいまいさを考えれば、かなりの合理化であると云えるし、さらに将来の統計的データの充足に応じて改良が進むというメリットがある。次に部分安全係数には信頼性理論の直接的な適用はないわけであるが、性質の異なる不確定要因を多くの係数で調整できることになる点はかなり評価できるし、もしコード・キャリブレーション（現行の設計法の平均的な安全のレベルに新しい設計法の安全のレベルを合わせて部分安全係数を求めること）の結果を参考にして部分安全係数を定めるとすれば、間接的には信頼性理論が適用されていることになる。なお強度の評価に塑性論的考慮が入る点も大きな改良点である。ところでこのような合理化によって結果としてどのような効果¹⁾が期待できるのかと云うと、新しい基準で設計された部材もしくは構造物においては、1節で述べた要因の違いによる安全度の差がこれまでより少なくなり、安全性についてよりバランスのとれた設計が可能となるのである。その改良の程度についての定量的吟味、例えば別に発表する報告のような検討が今後必要であろう。

(2) 特定の確率分布が用いられているのではないかと：安全度を破壊確率(P_f)で評価する場合、用いる確率分布によって結果がかなり違ってくる。したがって多くの場合確率分布を正規分布もしくは対数正規分布と仮定されるのは適切ではないという議論は確かに1つの問題点ではある。しかし信頼性理論に基づいた設計を行なう場合破壊確率が直接断面寸法などの決定に影響を及ぼすのではない。（強度の平均） $\geq$ （荷重影響の平均） $+\beta$ （全体の標準偏差）もしくは（強度の平均） $\geq$ （荷重影響の平均） $\exp\{\beta \cdot (\text{全体の変動係数})\}$ の式を満たすように断面寸法などを定めることになるので、 β （安全性指標で、 $P_f = \int_0^P \exp(-\frac{u^2}{2}) du$ の関係²⁾があり、通常設計問題が議論される $\beta > 3$ では P_f の変化に対する β の値の変化は非常に小さい）の方が P_f より重要な意味をもつ。又平均値と変動係数もしくは標準偏差を考慮すれば、確率変数の変動性の主要な性質は取り入れられたことになる。したがって確率分布を特定することによるデメリットを余り過大に考えるべきではないように思う。

(3) 安全性指標 β の安全性尺度としての有効性²⁾の問題はないかと：確かに線形近似法による二次モーメント法によった場合は近似度がかなり落ちることはあり得る。しかし先に指摘したように、Hasoferらの提案した、1ルムの定義による β を用いれば充分正確である。又分離定数を使用することによる精度の低下も一部で指摘されているが、分離定数のようなものを必ずしも使用しなくても議論を進めることができる。

(4) 従来より経済的な設計が可能となるのか：折角基準を改めるのであれば、従来より経済的な設計ができなければ意味がないということも一面ではもっともな指摘である。しかし現状では安全のレベルをどの辺に設定すべきかということについての判断基準がないので、前述したようにコード・キャリブレーションによって部分安全係数を評価することになる。この結果をそのまま用いれば、経済性においても平均的には同じレベルで設計されることになり、経済性の改良にはならない。従来より経済的な設計が可能となるためには、安全性の評価が合理化されたことを考慮に入れて、新しい基準での部分安全係数には、コード・キャリブレーションの結果より小さい値を用いなければならない。そのためには、例えば別に発表する報告に示すような検討を加えて、新しい設計基準によった場合の最低の安全レベルを、現行の最低の安全レベルに合わせて、平均的な安全レベルを下げるといったような研究が行なわれなければならない。しかしこの議論は非常に難しいので、新しい設計基準に移行しても、当面は経済性の改良は余り期待できないように思われる。

(5) 設計作業が従来より複雑になるのではないかと：実際の設計作業はできるだけ簡単になるように設計基準は作らるべきであるということとは指摘するまでもない。現行の設計法においても最近では電子計算機の発達によって、不必要な計算もかなり行なわれているように思われる。新しい基準の作成に当たっては、現行よりむしろ簡単な計算内容で設計が行なえるような配慮が是非必要である。

参考文献 1) 長尚他：Hasoferらの定義した安全性指標を用いたコード・キャリブレーション，土木学会第35回年次学術講演要集，2) 長尚他：安全性指標 β に関する若干の考察，土木学会中部支部昭和54年度研究発表会講演要集。