

香川大学工学部 正会員 ○堀 孝司
 (株) 穴吹工務店 真鍋忠治
 (株) コンパース 中島 徹

1. はじめに

土木構造物は公共物であるから高い安全性を有していなければならない、というのが土木技術者の一般的な認識であった。これまで、時代と共に安全な構造物を造るための様々な示方書や基準類が作成されてきた。そして、これらに基づいて設計すれば構造物は安全である筈であった。しかし、阪神淡路大震災は、われわれが構築してきた設計規範が必ずしも十分でないことを示した。すなわち、土木構造物の設計の枠組みを根源的に見直さざるを得ない状況に立ち至ったのである。一方、ヨーロッパでは、その統合に伴って必要となるあらゆる規範の整理統合を図る努力が過去約10年に亘って行われてきており、構造物の設計や種々の試験法に関してもCEN(European Committee for Standardization)の規格として制定されるべく調整が行われている。また、これらの規格はそのままISO(International Organization for Standardization)の規格として採用されようとしている。

近年、公共事業に対する一般の目は益々厳しいものになってきている。その理由として、建設業界には談合や天下りなどような不透明なシステムがあると見られていること、建設コストが高すぎると見られていること、および不必要な事業を行っていることと見られていることなどが考えられるが、それぞれについての対策を模索し、それらを試験的に実施する試みもなされつつある。建設コストの問題については、構造物の設計法にも関連する。すなわち、構造物の合理的な設計法の確立は、建設コストに対する説明責任(Accountability)を明確にすることに繋がるのである。

以上のことを背景に、本稿では、構造設計法に関する新しい概念と今後の展開について、コンクリート工学の分野を中心に概説する。

2. Eurocode 2¹⁾

Eurocodeは、1から9まであり、Eurocode 1²⁾は「Basis of design and actions on structures」であり、Eurocode 2が「Design of concrete structures」である。鋼構造と複合構造は、それぞれ3および4である。Eurocode 1による設計の基本は以下の通りである：“A structure shall be designed and executed in such a way that it will, during its intended life with appropriate degrees of reliability and in an economic way: (1) remain fit for the use for which it is required; and (2) sustain all actions and influences likely to occur during execution and use.”

Eurocodeの基本的な設計概念は限界状態設計法であり、様々の不確定要因を適切に考慮して、構造物の安全性と使用性の検討を行うことになる。しかしながら、これらを具体的に行う上での最大の問題は種々の不確定要因をどのように扱うかであり、現状では決定論的な部分係数を用いざるを得ないであろう。また、耐久性は安全性と使用性に関係するが、ここではメンテナンスレベルを考慮して想定した環境で十分な耐久性が得られるように設計することが求められている。

安全性、使用性、および耐久性に関する照査は、一般に次式で表すことができる：

$$R_d \geq S_d$$

ここで、 S_d は荷重および環境作用による設計値あるいは限界値であり、 R_d はそれらに対する抵抗値あるいは評価値である。Eurocode 2では、環境作用の分類とそれぞれに対する最大水セメント比や最小セメント量などが与えられている。いわゆる仕様規定である。しかしながら、塩化物イオンや二酸化炭素などの浸透深さを何らかの方法で評価できれば、かぶりとの関係で上式を用いて耐久性の照査ができる。

Eurocodeで採用された設計コンセプトの本質は、信頼性を考慮した限界状態設計であると言える。EurocodeはCEB/FIP Model Code 1978をベースにしており、設計コンセプトとしては現行の基準の中では最も合理的である。

3. ISO Standard³⁾

Eurocode作成のため1987年以来中断されていたISOのコンクリートに関する専門委員会(ISO/TC71)の活動が1995年に

米国主導の下に再開され、1998年9月にコロンビアにおいて第7回総会が開催された。この会議で初めてコンクリート構造物の設計に関するISO規格として「Performance Requirements for Structural Concrete」のドラフトが提示され、議論された。この規格は、「Umbrella Performance Code」を目指したものであり、その構成は以下の通りである。

1. Scope/2. General Principles/3. Requirements/4. Criteria/5. Assessment/6. Standards Deemed to Satisfy

設計法は限界状態設計法である。限界状態としては終局限界状態、使用限界状態、および耐久限界状態を設定することになっている。著者は、後述する著者らが考えている設計のフレームワークからすれば、この規格がUmbrella Codeになり得ないこと、および耐久設計に関する扱いが適切でないことを指摘し、設計原則として限界状態設計法に加えて「定量的な性能評価」を導入し、安全性と使用性が時間の関数として評価されない場合に耐久性を限界状態として考慮する、とする修正案を提示している。

安全性のレベルについては「The safety level shall be selected considering consequences of failure, ductility of the expected modes of failure, redundancy of the structure, and ability to inspect and maintain the finished structure during service」と規定されている。

「Criteria」については、 $\text{resistance} \geq \text{action}$ を適当な安全率をもって満足することが求められる。「Assessment」は、解析による断面力などの評価に関わるものである。各国あるいは各機関のcodeがこのISO規格を満足している場合に、これらを「Standards Deemed to Satisfy」として承認することとなる。

4. 新しい設計の枠組み^{4), 5)}

筆頭著者は、土木学会およびJCIにおいてコンクリート構造物の設計のあるべき姿の観点から新しい統合設計の枠組みについて検討を重ね、一つのプロトタイプを提案した。提案した枠組みの特徴をまとめると以下の通りである。

- (1) 基本的な設計概念は「性能評価」である。
- (2) 構造物の挙動をあるがままに把握することを最終的なゴールとする。
- (3) 将来開発される技術が無理なく設計に組み込むこと、すなわち技術の発展レベルに応じた合理的な設計が可能となる。
- (4) 安全性および使用性と耐久性が合理的に組み込まれていること。

このような枠組みの構築によって、現在の設計技術がどこに位置し、今後どの方向へ進むべきかが明確になる。

5. おわりに

現行の設計法から性能設計への転換は、時代の大きな流れである。よくよく考えてみれば、構造物を一定の理屈で設計できるようになったのはごく最近のことである。一見体系的に見える現行の各種設計法を詳細に眺めてみると、極論すれば断片的な情報の「寄せ集め」に基づくものとなっていることがわかる。そうではあっても、結果として問題がなければいいのであるが、多くの不確定要素に起因する仕様の規定が、逆に技術の発展の疎外要因になりつつあることが認識されるようになってきた。一方では、阪神淡路大震災や公共事業のコストなどの観点から、現行の設計法を見直さざるを得ない状況がある。技術の著しい発展と社会的な成熟が相まって、ものごとの本質を捉えることの重要性が明確になってきたのである。性能設計の概念は、そのような背景に起因して出現したと言える。性能設計の導入は、設計の枠組みの拡大を意味することから、全体システムが整備されて一般の理解が得られるまで一時的な混乱も予想されるが、最終的には技術の著しい発展が期待できる。このメリットを考慮すれば、できるだけ早い時期にこの設計概念の導入を図るべきである。

(参考文献)

- 1) European Committee for Standardization(CEN)(1991) Eurocode 2: Design of Concrete structures, ENV 1992-1-1.
- 2) European Committee for Standardization(CEN)(1994) Eurocode 1: Basis of Design and Actions on Structures, ENV 1991-1.
- 3) Proposed ISO (International Organization for Standardization) Standard : Performance Requirements for Structural Concrete, TC71/SC4, 1998.
- 4) 土木学会コンクリート委員会ホームページ:コンクリート標準示方書の性能規定化と性能照査(評価)設計法の構築に向けて、1998.
- 5) 日本コンクリート工学協会(JCI) :コンクリート構造物の構造・耐久設計境界課題研究委員会報告書、1998.