

土木分野における性能設計の取り組み

Performance based design in Civil Engineering

本城 勇介¹⁾
Yusuke HONJO¹⁾

1. はじめに

1995年のWTO/TBT協定の締結により、この協定の要求する国際規格の尊重(2.4項)および、性能による製品仕様の規定の要求(2.8項)に基づき、日本の主要な土木構造物の設計コードは、大幅な改定を行っている。構造物の設計の基本を定めたISO2394は、限界状態設計法の採用を規定しており、すべてのコードがこの設計法の採用に動いている。さらに、WTO/TBT協定の影響、また公的な決定の透明性や説明責任を問う一般的な風潮のなかで、性能設計も重要な概念となっている。

一方1970年代から開始された欧州地域の統一構造物設計コードStructural Eurocodesも、2010年までにはすべて欧州規格化される様相で、現在精力的に作業が進行している。この動向も、重要である。

ここでは、性能設計の発達の経緯や特徴について触れた後、最近開発された「code PLATFORM ver. 1」(土木が会)及び「地盤コード21」(地盤工学会)について、その概要を紹介する。

2. 性能設計の概要

2.1 性能設計発展の経緯

福井(2001)¹⁾は、現在議論されている「性能設計」の概念は、次の2つの分けて議論されるべきだとしている。

- ① 性能明示型設計： 構造物の機能を確保するために要求する性能のレベルと、その照査に用いる荷重のレベルの関係を明確にした設計法
- ② 性能照査型設計： 構造物の機能が確保されていることを、要求性能をブレイクダウンした仕様ではなく、要求性能そのものを提示し、これを照査することを規定した設計法

この指摘は適切であって、そもそも現在「性能設計」と称されているものには、上記2つの概念が混在していることは、その発展の経緯からも明らかなのである。

すなわち、①は米国のカリフォルニア構造技術者

協会(SEAOC, 1995)のVision2000の要求性能マトリックスの提案に源を発した考え方である。この提案は、ノースリッジ、ロマプリータの両地震被害の経験の中で、建築物の所有者と構造技術者の構造物の耐震性能に関する理解が、まったく異なっていたという反省を踏まえたものであり、両者の対話の手段として考え出されたものである。従って専門家でない人いかに分かりやすく建築物の構造に関する性能を説明し、設計時に適切なメニューを選択してもらうかという問題意識がその根底にある。

一方②は、設計基準の中でどこまでを強制基準とし、どこに自由度を認めるかという議論の中から発達してきた考え方である。現在の主流の考え方は、構造物の性能についてのみ規定し、その照査の方法については自由度を認めるというものである。これはスカンジナビア諸国の統一的な構造物設計コードとして開発された設計コードに端を発していると言われ、現在Nordic 5 Level Systemとして知られている。その後世界の多くの建築設計コードが、この考え方に従った。

②の考え方は従って「公共の福祉を守るための行政の規制のレベル」と、「経済効率を高めるための、公平で自由な競争原理の導入」という2つの、場合によっては相反するベクトルを持つ概念の調整という側面を持つ。周知のWTO/TBT協定の、「仕様に基づく規定ではなく、性能に基づく規定」とも密接に関係する考え方であり、特に行政の立場で性能設計を考えると重要である。

①と②、2つの概念を融合した性能設計コードも既に存在する。ICC建築物性能コード(ICC, 2001)がこれであって、簡単に言うと②における3段階の階層的な構造物の要求性能の表示を取り入れ、かつ最下層の要求性能の記述に①の性能マトリックスを採用している。①を採用する理由は、この方法が構造物の要求性能を表示するときに説明性が高いと考えるからである。ここで紹介する2つの設計コードも、この考え方を取り入れている。

¹⁾ Gifu University, Depart. of Civil Eng., Professor

最近の我が国の主な基礎構造物設計コードの動向を見ると、道路橋示方書はH13の改定としては②を重視していると述べられている(福井, 2001)¹⁾。一方鉄道構造物等設計標準では②の考え方はほとんど見当たらず、①を重視しているように見える(奥村・棚村, 2001)¹⁾。港湾の施設の技術上の基準では、①と②の融合が試みられていると思われる(山本・菊池, 2001)¹⁾。

2. 2 性能設計の得失

今までの章では、構造物の性能設計についての動向について概観した。この章では視点を換え、このような性能設計の概念を踏まえて、理想的な設計コードは、が具備すべき条件について考える。

性能設計の利点には、次のようなことがある。

- 1) 構造物の目的(目的一要求性能一性能規定)から記述されるので、規定の意図の理解が容易である。
- 2) 同様の理由で、設計された代替的な構造物相互の評価に当たり、透明性と説明性が高い。
- 3) 異なる背景を持つ仕様型設計コードや、建設に対する異なった社会制度を持っていても、設計コードの調和や統一を計りやすい。
- 4) 新技術の導入、コストダウンのためのいろいろな設計・施工上の工夫を奨励する。
- 5) WTO/TBT 協定は、性能規定型設計コードを要求している。
- 6) 説明生が高く、全体の体系が理解しやすいため、後続の若い技術者への教育、技術の継承を行いやすい。
- 7) 情報技術(IT)による設計コードの表示や配布、検索の作成が容易である。
- 8) コードの利用者に対して、記述の一貫性を保ちやすい。

一方欠点もある。

- 1) 構造物の目的に始まり、要求性能をへて性能規定に到るトップダウン構造の記述と、従来からの仕様規定型の記述になりやすい照査方法との間の関係が、必ずしも整合しない。^{*)}
- 2) 設計された構造物が、要求性能や性能規定を満たしているか否かを照査する社会的制度が確立していない。
- 3) 上記のため、建設された構造物に問題が生じた

^{*)} コードの作成者は、多くの場合技術者である。このとき、技術者はコードの照査の部分、いわば設計の手段を中心にコードを考えていることが多い。そして、そのときの照査法は、従来からの仕様型の照査法であることが多い。この「目的」から性能設計体系を見るか、「手段」である照査方法からこれを見るかという、観点の違いが、なかなか克服できない。

ときの瑕疵の判断に、従来から使用されていた仕様型の規定が用いられることが多い。

以上のように見てくると、性能設計の現状における問題点を一言で言うと、「目的」から始まる構造物の性能に関する上からのアプローチと、従来からの「手段」である照査方法を中心とした下からのアプローチが、十分にマッチせず、行き違いが生じている点にあるといえる。

この問題は、設計者がその技術力を生かして性能を満たす構造物の設計代替案を提案してきた場合の、審査の制度の問題を含むことは言うまでもない。しかしそれ以上に、性能設計では、構造物の性能をどこまで性格に評価できるかという、現在の技術水準それ自体が問われることが理解される。要は、構造力学、地盤工学等の現在の予測能力が問われている。

3. code PLATFORM ver. 1

3. 1 策定の経緯

この節では、平成13-14年度に、国土交通省総合政策研究所の委託を受け、(社)土木学会に設定された研究委員会で作成された、「性能設計概念に基づいた構造物設計コード作成のための原則・指針と用語(通称:「code PLATFORM ver. 1」)」について報告する。なお英語名は、「Principles, guidelines and terminologies for structural design code drafting grounded on the performance based design concept」である。

包括設計コード(comprehensive design code)とは、次のように定義される:

一つの国や地域で、土木・建築構造物一般、さらに個々の構造物種別について、その構造的な設計の原則を記述した設計コード。個々の構造物の設計を行うためのコードというよりは、構造物の性能規定の方法、用語の統一、安全性余裕の導入方法と形式、情報伝達法の標準化などの他、設計で留意すべき共通事項を記述した設計コード体系の階層のもっとも上位に立つべきコード。「設計コード作成者のためのコード」と考えることもできるが、設計者にとって基本的な情報を含んでいる。固有基本設計コードの上位に立つ設計コード。

海外ではすでに ISO2394 や Eurocode0 が包括設計コードとして発行されており、日本国内においても事業者・設計者・コードライターの議論に基づいた包括設計コード策定の重要性が認識されてきている。

我が国では、道路、河川、港湾・空港、鉄道そして建築等の個別施設の技術基準は、それぞれの施設が持つ歴史、文化そして目的を担って策定されてきた。そのため、技術基準を相互に見比べると大きな違いが見られる。

ここ数年、「性能設計」という新しいコンセプトの登場により、多くの機関で設計コードの改訂がこのコンセプトのもとに盛んであるが、それも前述のような伝統的な枠組みの中で、見方によってはそれ

それが勝手に用語や書式を決めてコードの改定を行っているのが現状である。このような現状は以下のような観点から見ても極めて憂うべき状況であるといえる。

① 我が国の優れた土木設計技術を海外に分かりやすく発信する

② 日本に参入しようとする国外技術者には、非関税障壁と写る

③ 後続の若い技術者に日本の構造物設計の基本的な考え方を体系的かつ分かりやすく伝えていく。

今後は、技術基準を策定する際にコードライターが寄るべき策定の原則や用語は統一されるべきであり、そのようなことにより、上記のような状況は大幅に改善されると考えられる。

また「性能設計」という新しいコンセプトが台頭してきている現在の状況は、見方によっては上記のような設計コード間の調和を計る絶好の機会であるといえる。

以上のような背景を考慮して、国土交通省総合政策研究所は、本調査を土木学会に委託した。

なお研究委員会の特にドラフトに関わった委員たちの意見として、この包括コード作成を終了した時点で、この作成された文書は「包括設計コード」という名称を避けて（特に「コード」とすると、これも一つの設計基準と見なされてしまうため）、「性能設計概念に基づいた構造物設計コード作成のための原則・指針と用語（ニックネーム「code PLATFORM ver. 1）」とすることを提案したい。これは包括コードという、すべての上に立つコードという意味よりも、日本においてコードライターが合意した決め事、というこの文書本来の意図を誤解少なく伝えるためには、この名称の方がふさわしいと考えられるためである。

3. 2 code PLATFORMの概要

(1) 研究の遂行体制と経緯

本調査では、委託先の土木学会内に「包括設計コード検討/策定基礎調査委員会」を設置し、委員会形式で検討を進めた。特に地盤コード21の第0章が、研究委託の契機になったことから、委員長：日下部治（東工大教授）、幹事長：本城 勇介（岐阜大教授）が選ばれた。

包括設計コードの確立には、その法的位置付けの明確化や関係諸機関との調整、施行まで含めると10年以上を要する長期的な取組みが必要であるため、現状に配慮するよりも設計コードのあるべき姿を目指すことを策定上の基本方針とした。委員会のメンバーも若手のコードライターが中心となるよう心掛け構成された。委員の専門分野は、コンクリート構造、鋼構造、耐震・耐風・耐波設計、信頼性設計など多岐にわたった。

(2) 基本方針

コードを実際に書き始める前に、次のような諸点を基本方針として、確認した。

- 1) 理想を追求する。現状に縛られず、本来あるべき姿を追求する。
- 2) アジアコードを見据え活動を行う。
- 3) 作成する包括設計コードの規定は、それぞれの分野の設計の考え方の本質を示し、かつ矛盾せず、将来の枠組みを阻害しないばかりか、新しい技術の進歩を奨励（encourage）する。
- 4) ISO2394, 13822等の規準、「土木・建築にかかわる設計の基本」の報告書の尊重
- 5) 新しい用語の使用は極力避け、既存の権威ある文書用語を尊重する。
- 6) 構造物の要求性能が満たす信頼性のレベルそれ自身は触れない。
- 7) 新設構造物を対象とした設計コード。（既設構造物の補修・補強コードではない）
- 8) 一般の汎用的な構造物の設計を主に対象とする。
- 9) 現存のコード「道示」「港湾」「鉄道設計標準」等の和集合ではない。積集合であるわけでもない。あるべき姿、簡素化されたコンセプトを前面に出す。（普段大切にしている自分の設計コードを、批判的に反省する）。
- 10) 要求性能を、構造物の状態（あるいは限界状態）、時間、作用とそれらの組み合わせ、重要度の組み合わせで記述する。このとき、構造物の状態を時間の関数として記述することにより、耐久性、劣化の記述を行う。さらには維持管理の思想を当然のものとして設計の中に取り込む。
- 11) できる限り簡素で、分かりやすい構造にする。利用できるものは、既存の概念をできる限り踏襲する。
- 12) 国際的に説明することを常に頭に置く。複雑すぎる概念はこのような場合、ほとんど相手に理解されない。
- 13) 構造物の構造的な設計に関する包括設計コード、他の要素が設計で考慮されるべきである事を強調するか。
- 14) 限界状態設計法は、現時点でperformance based designを実現するもっともふさわしい設計法である。
- 15) 照査方法は、地盤コード21で提案した2種類とする。
- 16) 社会の制度と設計： 情報伝達のフロー、技術者の資格、倫理をコードに書く。

(3) code PLATFORMの内容

図-1に目次構成を示す。内容の紹介は文献に譲る。

1. 用語の定義 (Definitions of terminologies)
1. 1 一般用語 (General terms)
1. 2 設計に関する用語 (Terms on design methodology)
1. 3 作用・環境的影響に関する用語 (Terms on action and environmental influence)
1. 4 構造物の応答, 強度, 材料特性, 幾何学量に関する用語 (Terms on structural response, resistance, material property and geometrical quantity)
1. 5 既存構造物の性能評価に関する用語 (Terms on performance assessment of existing structures)
2. 一般 (General)
2. 1 適用範囲 (Scope)
2. 2 設計コードの枠組み (Framework of design code)
3. 構造物の目的・要求性能・性能規定 (Performance requirements of structures)
3. 1 目的 (Objectives of structures)
3. 2 要求性能 (Performance requirements)
3. 3 性能規定 (Performance criteria)
3. 3. 1 定義 (Definitions)
3. 3. 2 構造物の限界状態 (Limit states of structures)
3. 3. 3 作用・環境的影響の程度とそれらの組み合わせ (Actions, environmental influences: magnitude and their combinations)
3. 3. 4 時間 (Time)
3. 3. 5 構造物の重要度 (Significance of structures)
4. 照査の方法 (Verification procedures)
4. 1 許容される照査方法 (Allowable verification procedures)
4. 1. 1 一般 (General)
4. 1. 2 設計者 (Designers)
4. 2 照査アプローチA (Verification approach A)
4. 3 照査アプローチB (Verification approach B)
5. 構造物設計報告書 (Structural design report)

図-1 code PLATFORM ver. 1 の目次

4. 地盤コード 21

4. 1 策定の経緯

地盤工学会では、1997年度から新しい概念に基づく基礎構造物の設計法について検討してきている。その結果、上記のような状況を踏まえ、我が国の基礎構造物の共通モデル・コードとなりうるような、設計コードのひな型を提案することを提案し、作業を進めてきた。特に、歴史的な経緯により分化してしまっている我が国の道路・港湾・鉄道・建築の各設計基準の調和を計りうるようなコンセプトを提案することで、我が国が世界に誇りうる基礎設計技術、特に耐震設計法の考え方のエッセンスを示し、これを single voice として世界に発信できるような設計コードを作ることが目的である。

この研究の一応の成果として、「地盤コード 21」とニックネームを付けられたコードの素案を公表してきた^{1), 2)}。その後、2000年度から、地盤工学会において「基礎設計基準検討委員会」において「地盤コード 21」を充実化する議論を進めており、2004年度中に付録を含む全ドラフトを完成し、基準部で、公示など基準化のための作業を進めている。

4. 2 「地盤コード 21」の構成

図-2に、「地盤コード 21」の目次を示した。このコードは、0章から7章までの全8章で構成される。

「第0章 構造物設計の基本」は、一般の土木・建築構造物全体の包括設計コードとなることを意図して書かれたものである。このコードでは、第0章から第3章までは、基礎構造物の設計に共通的な事項について触れており、第3章以降で個別の構造物について記述している。第0章は、構造物設計に共通のもとと考えられ、将来、この種の包括設計コードの体系が完成されればより上位のコードが記述すべき内容を含んだものである。

第3章以下には、「浅い基礎」、「杭基礎」、「柱状基礎」、「抗土圧構造物」、「仮設構造物」について記述されている。これらの章は定性的に記述されており、より具体的な内容を付録で提供することにして

0. 構造物設計の基本
1. 基礎構造物設計の基本
2. 地盤に関する情報
3. 浅い基礎の設計
4. 杭基礎の設計
5. 柱状基礎の設計
6. 抗土圧構造物の設計
7. 仮設構造物の設計

図-2 地盤コード 21 の目次

5. むすび

土木工学分野における、性能設計に関する取り組みの一端を紹介した。著者の知識の偏りのため、十分に現状を反映したものとなっていないことを恐れる。最後に、本 OS にお招き頂いた事を感謝する。

参考文献

- 1) 基礎工「特集 基礎構造の性能設計」, Vol. 29, No. 8, 2001, pp. 1-84
- 2) 本城他, 性能設計概念に基づいた構造物設計コード作成のための原則・指針と用語 (通称「code PLATFORM ver. 1」) の開発, 第5回 JCOSSAR, pp. 881-888, 2003
- 3) 本城勇介, 包括基礎構造物設計コード「地盤コード 21 Ver. 1」の提案, 土と基礎, 48 (9) pp. 16-19, 2000