

各 論

性能規定型設計・限界状態設計法の 動向と杭基礎への適用

本城 勇介*

1. はじめに

編集部から鋼管杭基礎の性能規定型設計 (Performance Based Design)*について書いてほしいというご要望を受けて、多少戸惑った。現在、杭基礎の性能規定型設計を標榜した設計コードは、筆者の知る限り世界のどこにも存在しないからである。そこで話の内容を多少変更して、性能規定型設計とこれに関連した限界状態設計法の全般的なお話をし、この後に杭基礎の性能規定型設計について、若干の私見に基づく将来展望を述べることにした。

2. WTO/TBT協定と性能規定

2.1 WTO/TBT協定

今日、設計コードの性能規定型設計化が叫ばれているが、その直接的な発端の一つが1995年に締結された「貿易の技術的障害に関する協定」(以下、WTO/TBT協定という)であることは疑いのない事実である。そこで、この協定の内容をまず簡単に見ることにする。

その前文は次のとおりである。

「加盟国は、ウルグアイ・ラウンドの多角的貿易交渉に考慮を払い、1994年のガットの目的を達成することを希望し、国際規格及び国際適合性評価制度が生産の効率を改善し及び国際貿易を容易なものにすることによりその目的の達成に重要な貢献をすることができると認め、よって、国際規格及び国際適合性評価制度の発展を奨励することを希望し、あわせて、強制規格及び任意規格並びに、強制規格又は任意規格の適合性評価手続が国際貿易に不必要な障害をもたらすことのないようにすることを確保することを希望し、(中略)ここに、次のとおり協定する」。

この前文に、15条より成る本文と三つの付属文書が続く。

本文では、「工業品及び農産物を含め、すべての産品は、この協定の規定の適用を受ける」こと、国際規格と

※本報告では、Performance Based Designは一貫して「性能規定型設計」と訳す。

国内規格の関連、途上国の不利益への配慮などに触れている。特に性能規定との関わりでは、2. 8項の次の規定が重要と思われる。

「加盟国は、適当な場合は、デザイン又は記述的に示された特性よりも性能に着目した要件に基づき強制規格を定める」。

WTO/TBT協定は、従来の仕様規定に基づいた設計規格の欠点を克服し、新技術の導入期間の短縮、地域間規格の共通化などを通して、市場の開放性を高め、自由競争原理が機能し、高いコストパフォーマンスが市場において得られることを、最終的なねらいとしていると理解される。この協定は、最近の建設界の国内の多くの動きに大きな影響を与えている。

2.2 1998年建築基準法改訂

周知のように日本国内では、1996年2月の橋本・クリントン会談を契機として、その前後から「性能(規定型)設計」という言葉を頻繁に耳にするようになった。建設省では平成7年度(1995年度)から3ヵ年で、総合技術開発プロジェクト「新建築構造体系の開発」(通称「新構造総プロ」)を進めた。

この総プロでは、「従来型の構造材料、構造方法を前提に、具体的な材料・寸法等を指定する仕様書的な規定」から、「必要とされる性能のみを規定し、その実現方策は原則的に自由にして、新材料・新技術の利用を促進するような『性能を基盤とした設計体系』」に移行させることを目的としていた(藤谷:1998)。

このような建築構造物設計規準の、性能規定型設計への移行は世界的な傾向であり、例えばCIB(1998)にはこのへんの事情がよく整理されている。図-1に示すのは、各国の性能規定型設計の体系を示したもので、建築構造物の構造性能のみ強制規格として定め、その適合性評価(=照査)方法については、強制力をもたせないというのが共通の考え方である。

日本では1998年6月に建築基準法が改正され、1999年6月より1年前に改正された建築基準法に基づく政令(施行令・告示など)が施行された。しかし、その結果は性能規定型設計とはほど遠い内容であるという声が多い。参議院の国土環境委員会での附帯決議「中小建設業

*HONJO Yutake 岐阜大学 工学部 土木工学科 教授, Ph. D. | 岐阜市柳戸1-1

Nordic 5 Leave		New Zealand		Australia		UK	Canada	
Goal		Objectives		Objectives		Goals	Objectives	Mandatory Requirement.
Functional Requirements		Functional Requirements		Functional Requirement.		Functional Requirements	Functional Requirement.	
Operational Requirements		Performance Requirements		Perform. Requirement. Deem to Satisfy				
Verification Methods		Verification Methods				Performance Technical Sol.	Acceptable Solutions	Supporting Documents (Guidance)
Acceptable Solutions		Acceptable Methods				Alternative Approaches		

AASHTOに先行して作業を行い、その結果が順次AASHTOコードに入られていく場合が多いといわれている。Caltransは、1989年ロムプリータ、1994年のノースリッジという二つの地震被害を踏まえて、ATCに道路橋の耐震設計に関する見直し作業を委託し、その結果はATC-32という報告書で知られている。この報告書にも、性能規定型設計の考え方が色濃く反映している(ATC:1996)。

3.2 SAC Steel Moment Resisting Frame Project

Vision 2000によって表わされた性能規定型設計の一つの究極の性能規定型設計の姿が、SAC Steel Moment Resisting Frame Projectといわれるプロジェクトで、最近完成した(Wen:2000, Yunほか:2000)。このプロジェクトは、ノースリッジ地震等で特に被害の大きかった外力に、曲げ剛性により抵抗する鋼フレーム構造の建築物の設計法の見直しを目的としたもので、特に問題の多いジョイント部分の実験的な評価から、全体の設計法を含む大掛かりなプロジェクトである。

その詳細な内容を紹介した文書を入手することは現在できないが、Wen(2000)による概要によれば、その特徴は次のとおりである。

- ① 性能マトリックスにより規定される構造物の要求性能は、階の相対変位量の超過確率で規定する(例えば図-3)。
- ② 外力の不確実性評価は弾性応答スペクトルによる。
- ③ 構造物の、非線形応答の効果を評価するため、dynamic pushover解析という方法をとる。これは先に決定した弾性応答スペクトルに対応する地震波を、観測波および合成波により10波程度の典型的な地震動を準備し、これで実際に時刻歴を考慮した非線形応答解析を実施し、要求性能の達成度を評価するものである。
- ④ 最適設計レベルの計算には、構造物の建設、維持管理費用、破壊費用を考慮したLCC総費用関数を用いる。これには人命の費用等算定の困難なものも含まれるが、これらに対しては感度解析で十分な検討を行った。
- ⑤ 外力の不確実性(変動係数80%程度)に対して、不確実性の小さい抵抗力(変動係数40%程度)について

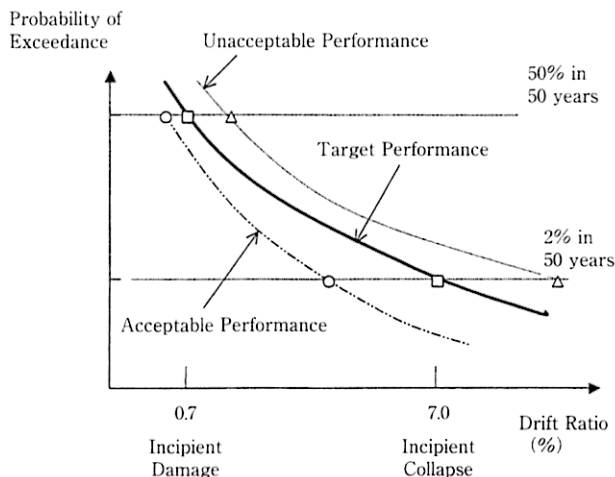


図-3 SACプロジェクトの2段階照査規準

は、簡便法で不確実性を見込んだ。これは約2割破壊確率を増加させる。

- ⑥ 性能マトリックスで示される要求性能を確率的に表現し、かつその不確実性を現在の技術レベルで評価できる部分と、技術者の工学的判断で導入した不確実性に分けて表記することを提唱している。

例えば、「50年間に2%の超過確率をもつ入力地震動に対して、建築物の供用期間を通じて階の相対変位量を5%以内に抑えることのできる確率は1/1,000であることに、設計者は95%の確信をもっている」と表現する。これは、設計者間の設計技量の差を明示する方法であると聞いた。

4. 性能規定型設計コード

4.1 ICC Building Performance Code

先にも述べたように、性能規定型設計コードの中には、性能に基盤をおいた設計体系を構築することを目指したものがあ。このようなコードの代表例として、ここではICC Building Performance Code CommitteeのPreliminary committee Report(1998)(ICC:1998)を取上げる。

この報告書は、将来のコードを目指したもので、現時点ではコードのformat(書式)に重点がおかれている。その構造を示したのが図-4である。このコードは、明確な階層性をもっており、その階層とは次のようなものである。

- ・目標(Objectives): 予期される社会的最終目標。目標は題目特定(topic specific)で、建築物の要求される性能の特定の部分を扱う。例えば、「安定性」の章では、「その建設中、建替え中、供用期間中に予測される外力に対し、要求されるレベルの構造的な性能を提供すること」となる。
- ・機能規定(Functional Statement): 機能規定は一般的な用語で、目的が満たされるために建築物が供給する機能を説明する。例えば、「安定性」の章では、「(1)構造物は、構造部材やシステムへの载荷により居住者に傷害を負わせることがないように、設計・施工され

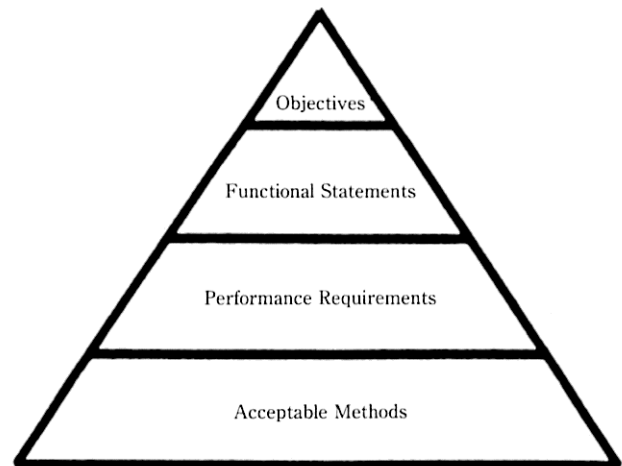


図-4 ICC建築構造物性能コードの階層構造

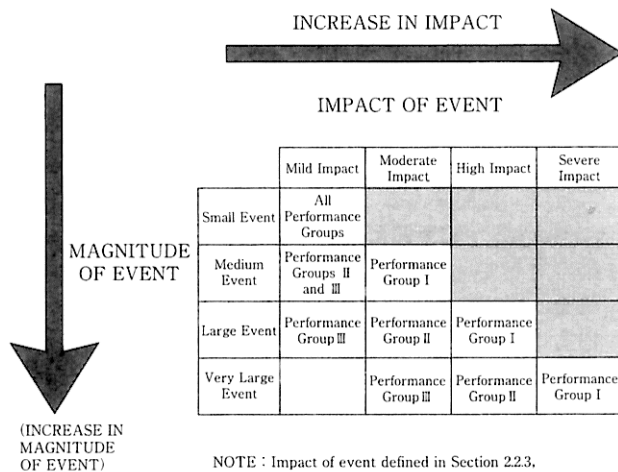


図-5 ICC建築構造物性能コードの性能マトリックス

なければならない。(2)構造物は、もしその所有者が要求するならば、資産（アミニティ）の損失や、予期されている使用機能の停止が、構造性能のため生じることがないように、設計・施工されなければならない」。

- ・要求性能 (Performance Requirements)：要求性能は、機能規定が満たされるために必要な詳細な規定である。例えば、「安定性」の章の「要求性能」の一部を示すと、「構造物、またはその一部は、それらの性能に影響すると予想される、すべての荷重と、その組み合わせを考慮して、設計・施工されなければならない。荷重は、次のようなものを含むが、これらに限定されるものではない：死荷重、活荷重、衝撃荷重、爆発荷重、土圧及び水圧、洪水荷重、風荷重、雪荷重、降雨荷重、地震荷重、氷荷重、霰荷重、温度荷重」。
- ・許容される方法 (Acceptable Methods)：許容される方法とは要求性能を、したがって構造物の目標を満足するための特定の確認方法や、許容される技術的手段であり、三つの選択の可能性がある。

- ①性能アプローチ（試験、モデリング、計算など）
- ②仕様アプローチ
- ③性能アプローチと仕様アプローチの組み合わせ

この報告書の「安定性」の章には、現在のところ「許容される方法」に関する記述はない。

また、この報告書では、建築物のすべての性能を、性能マトリックスにより規定することが推奨されている。この報告書が推奨している性能マトリックスの一般形は、図-5のとおりである。

この種の性能コードで最も問題になるのが、設計されたものが本当に性能を満たしているかを、どのように照査するかということである。従来のように仕様を規定していないので、この照査は困難で、また万一事故や災害時に、性能が満たされていなかったことが明確になった場合には、法律的問題にも発展する。

この問題に対する解答としては、いくつかの設計法を見なし規定とする、同業者による照査 (peer review) などが考えられる。この種の国際的な研究も進行してい

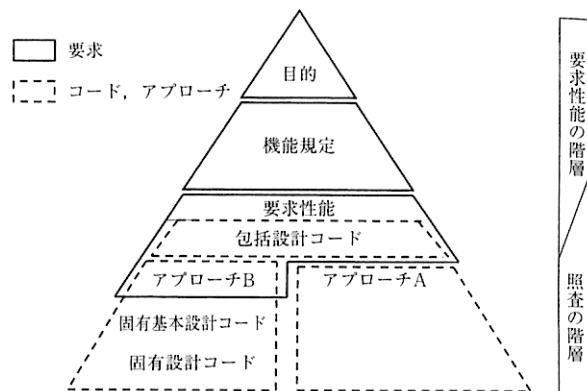


図-6 地盤コード21の階層構造

るようであるが、現在のところ決定的な解決策はない。

4.2 地盤コード21 Ver. 1

1997年度から1999年度、地盤工学会の「我が国の基礎設計の現状と将来のあり方に関する研究委員会」（委員長：日下部治東工大教授）が活動した。この委員会の一つの成果物として、「地盤コード21」という呼称を付された基礎構造物設計指針がドラフトされた。

このコードでは、ユーロコードをはじめとする限界状態設計法に基づいた設計コードの急速な世界的普及、1990年代特に1995年以後の、WTO/TBT協定締結後の性能規定型設計コードの台頭を踏まえ、わが国の基礎構造物の共通モデル・コードとなり得るような設計コードのひな型を提案することを目的とした。

特にこのとき、わが国では歴史的な経緯により分化してしまっている道路・港湾・鉄道・建築の、各設計基準の統一を図り得るようなコンセプトを提案することにより、わが国が世界に誇り得る基礎設計技術を、single voiceで世界に発信できるような設計コードの作成を目標とした。国際的に日本の標準的な基礎構造物設計コードは、どのようなものかと問われたとき、これがそれであるといい得るものを提案することが研究のねらいとなった。

このコードでは、階層性をもった要求性能の提示、完全な性能規定型設計コード、性能規定型設計を実施するのに最もふさわしい設計方法としての、限界状態設計法といったISO 2394など、現在世界の標準的な設計に関するコンセプトを満たす規準の作成を試みている（図-6）。

また同時に、日本の基礎構造物設計コードの調和を図ることを考え、コード作成者のためのコード (a code for code writers) を目指している。

なお、コード概要については本城 (2000)、本文については本城ほか (2000) のほか、インターネット・ホームページ <http://www.cive.gifu-u.ac.jp/lab/ub3/> で参照できる。

5. むすび：杭基礎の性能規定型設計

本報告に記した性能規定型設計に関する事項は、「地盤コード21」の作成過程で調べた事項の一部である。こ

のコードの作成では、その第4章「杭基礎の設計」執筆に当り、杭基礎の性能規定型設計で考えさせられたいくつかの事項を記し、これをもって結論としたい。

- ① 限界状態設計法は、その限界状態を明確にし、またこれをできる限り再現できる設計計算方法をとることを、その本質としている設計法であるので、性能規定型設計を実施するうえで、最も適した設計法の一つであるといえる。したがって、性能規定型設計においても、ISO2394がその基本的な考え方とする「信頼性に基づいた限界状態設計法」は有効であり、今後推進されるべき設計法である。
- ② 杭基礎を含む基礎構造物の性能を規定するとき、構造物の一義的な性能（目的）は上部構造物により規定されるので、これを基礎の性能として規定するときにむずかしさがある。
- ③ 世界的に普及している構造物の性能の階層的な規定方法、すなわち「目的」「機能規定」および「要求性能」のうち、前2者は一般的な言葉による規定であるが、最終的には設計作業で照査可能なレベルである「要求性能」まで、これを変換する必要がある。「要求性能」が先の上位の二つの性能と、直接かつ明確に結びついていることを、説得力をもって説明することに多少の困難を感じることもある。例えば、杭の「修復性」という限界状態を、「杭頭に水平変位が杭直径の1%を超えない」という照査により規定しようといった場合がこれに当たる。しかしこれは、規定した規準自身の不確実性を、部分係数の決定時に考慮するなどして対処できると思われる。

〔参考文献〕

- 1) 藤谷秀雄：性能を基礎とした新構造設計体系，土木学会誌，Vol. 83, January, pp. 36～39, 1998.
- 2) CIB: Final report of CIB task group 11: performance-based building codes, CIB Report Publication 206, 1998.
- 3) 神田順：建築基準法改正の反省，structure, No. 75, 2000. 7.
- 4) 西川和廣：性能規定で技術振興，橋梁新聞，第712-713号，平成12年8月21日.
- 5) 田中和嗣，村松敏光，持丸修一：土木工事における要求性能の明確化手法：シールと工事をを用いた事例検討，第17回建設マネジメント問題に関する研究発表・討論会講演集，pp. 13～24, 1999.
- 6) 松尾稔：適正な防災水準に対する社会的合意形成と信頼性設計法・性能設計への期待，土木学会安全問題討論会'99資料集，pp. 19～27, 1999.
- 7) SEAOC: Vision 2000 -Performance based seismic engineering of buildings, Vision 2000 Committee, Final Report, 1995.
- 8) Hamburger, R.O.: The development of performance based building structural design in the United States of America, Proceedings of International Workshop on Harmonization in Performance based Building structural design in countries surrounding Pacific, 1997.
- 9) SEAOC: Recommended lateral force requirements and commentary (Blue Book), 1999.
- 10) FEMA (1997a) FEMA-273&274 (ATC-33): NEHRP guidelines for the seismic rehabilitation of buildings, 1997.
- 11) FEMA (1997b) FEMA-302&303: NEHRP Recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures, 1997.
- 12) ATC: Improved seismic design criteria for California bridges: provisional recommendations, 1996.
- 13) Wen, Y.K.: Reliability and performance based design, Proceedings 8th ASCE Special Conference on Probabilistic Mechanics and Structural Reliability (CD-ROM), p. 21, 2000.
- 14) Yun, S.-Y., D.A.Foutch and K.Lee: Reliability and performance based design for seismic loads, Proceedings 8th ASCE Special Conference on probabilistic Mechanics and Structural Reliability (CD-ROM), 2000.
- 15) ICC: ICC Building Performance Committee: Preliminary Committee Report, 1998.
- 16) 本城勇介ほか：限界状態設計法による基礎構造物モデル設計コードの提案，科学研究費補助 最終報告書（基盤研究(B)2，課題番号10555163），2000.
- 17) 本城勇介：包括基礎構造物設計コード「地盤コード21」の提案，土と基礎，Vol. No 9, pp. 17～20, 2000.