

I - 59

構造設計における国際標準化(ISO2394)の動向について

(株)地崎工業 土木部技術課 正会員 須藤 敦史

1. はじめに

経済低成長の時代を迎え、公共構造物への投資のあり方やリスクを考慮した構造物の設計のあり方が問われてきている¹⁾ なか、構造物における設計規準の国際化として ISO(International Organization for Standardization: 国際標準化機構)が推進している構造設計の信頼性に関する一般原則(ISO2394)への関心が高まってきており、土木学会では「ISO 対応特別委員会」また構造工学委員会は「構造設計国際標準研究小委員会」を発足して、その基本概念の普及等の活動を行っている。一方、規制緩和の流れから「性能規定・照査型設計」に関する議論²⁾ も盛んになっており、構造工学委員会・鋼構造委員会およびコンクリート委員会の連合小委員会として性能設計に関する委員会が発足の方向である。

しかし、これらの言葉は頻繁に聞かれるものの、実情はいろいろな資料や情報が交錯して、その実体についてはあまり明確になっていないことも事実である。そこで、(1) 構造設計法の国際標準化の動き (ISO2394) について、(2) 性能設計の概念と欧米における性能設計への活動の状況を中心として、構造設計の信頼性に関する一般原則(ISO2394)の概略と現在までの状況および性能設計に対する基本概念を簡単に述べる。

2. ISOとは?

ISO (International Organization for Standardization: 国際標準化機構) は、国際的な規格や標準類を制定するための国際機関である。ここで規格や規準類は、関係する団体や組織体により種々制定されており、それらは企業レベルの“社内規格”、業界レベルで利用される“団体・工業会規格”、国レベルで制定される“国家規格”(JIS 等)、ヨーロッパなどでなご一定の地域レベルで規定される“地域規格”(CEN 等)、国際的な利用を期待して制定される“国際規格”などに分類されている。この中で最高レベルに位置付けられている国際規格を制定する代表的な国際機関のひとつが ISO であり、電気分野(電気分野は IEC)を除くあらゆる分野の標準化を推進する非政府間国際機関である。この機関への参加は各国の代表的標準化機関 1 つに限られ、1995 年 1 月現在の会員は 109 国を数えており、日本からは JISC (日本工業標準調査会) が加盟している。

2.1 ISO が注目される背景

工業製品やサービスなどの国際的流通を保証する技術的裏付けとして国際規格の必要性および重要性が高まっており、各国が国内規格を制定する場合には ISO 規格などの国際規格に整合させることが WTO/TBT (World Trade Organization / Technical Barriers to Trade: 貿易の技術的障害に関する協定⇒旧 GATT (General Agreement on Tariff and Trade) スタンダード・コード) によって義務づけられ、日本もこれを批准している。(GATT ウルグアイラウンド) 加えて、日本に対しては貿易・非関税障壁や内外格差等のは正を求める外圧の強まりと共に独自の規格内に留まらず ISO 規格の JIS 等への積極的な取り組み、並びに ISO 規格制定への参加が諸外国から期待されている。ここで WTO 協定の付属 1 A に含まれる TBT 第 2 条第 3 項には「加盟国は強制規格を必要とする場合に関連する国際規格が存在するとき、またはその仕上がりが見目のときには当該規格またはその関連部分を強制規格の基礎として用いる。」と規定され、さらにこれは任意規格についても同様であると記述されており、島崎ら³⁾ はハードだけでなくソフトまで適用範囲を広げた規定であると指摘している。よって、今後 ISO に代表される国際標準が徐々に構造物の設計法などに浸透してくるのは時間の問題である。

2.2 ISO と JIS との整合化

一方、日本は WTO/TBT を批准していることから、国内規格を ISO 規格に整合させることが急務であるが、1) JIS のカバーしていない農業分野があること、2) 製品規格が少ないこと、3) ヨーロッパを中心に発展してきたことなどの理由で、ヨーロッパ各国に比べて JIS 規格は整合化率が低いのが現状である。

しかし、JISC では ISO/IEC の国際規格に JIS を整合させるため、ISO/IEC 規格開発のための審議を行う委員会と JIS を審議する委員会を出来る限り一致させ、国際規格の動向を JIS に反映させるように努力している。

表-1 構造物の信頼性に関する一般原則の目次

第0章	範囲
第1章	定義
第2章	記号
第3章	要求条件および概念
第4章	限界状態設計法の原則
第5章	基本変数
第6章	解析モデル
第7章	確率に基づく設計の原則
第8章	部分係数による設計法
第9章	既存構造物の評価
付録A	品質管理と品質保証
付録B	永久作用, 変動作用, 偶発作用の例
付録C	疲労のモデル
付録D	経験モデルに基づく方法
付録E	信頼性に基づく設計の原則
付録F	作用の組み合わせと作用値の評価
付録G	荷重組み合わせの例
付録H	定義の索引

また, ISO9000 シリーズ (品質保証) のように規定をそのまま翻訳して JIS の Z9900 シリーズとして取り込んでいる例もあり, 構造設計規準についても例外ではなく ISO2394 (構造物の信頼性に関する一般原則: General Principles on Reliability for Structures) が制定されつつある。

ここで一般原則の目次を表-1 に示す。その序文には「This International Standard constitutes a common basis for defining design rules relevant to the construction and use of the wide majority of buildings and civil engineering works, whatever the nature or combination of materials used.」と記述している。

したがって, この原則が土木・建築の建設物における設計法に適用され, 表-1 から分かるように構造物における設計において「限界状態設計法」や「部分係数法」などの信頼性設計を基本とした設計法が標準となっている。一方, ヨーロッパでは ISO2394 に基づいて Eurocode が着実に整備されており, このような状況下, 日本国内における構造設計規準を国際的な標準と同等に保つためには早急に設計法を整備する必要性が生じる。

3. 構造物における設計の基本: Bases for design of Structures (TC98) の概要

ISO の組織の中で, 実際の規格を検討するのが技術管理評議会 (TMB) であり, その傘下に各専門委員会 (Technical Committee: TC) がある。ISO の専門業務はこの TC によって行われ, 各 TC はその業務の種々を扱う分科委員会 (Sub Committee: SC) および作業グループ部会 (Working Group: WG) が設置されている。

表-2 TC98 の現状組織の概要

TC98 構造物における設計の基本 (下部に直轄 WG 1 ~ WG2 を持つ)

- ISO8266 構造物の設計を扱う国際規準の表示に関する指針
- ISO2394 構造物の信頼性に関する一般原則
- ISO3010 構造物への地震作用
- SC1 用語と記号: Terminology and Symbols (下部に WG 1 ~ WG2 を持つ)
- SC2 構造物の信頼性の原則: Reliability of Structures (下部に WG 1 ~ WG6 を持つ)
- SC3 荷重・力・作用: Loads, Forces and others Actions (下部に WG 1 ~ WG6 を持つ)
- SC4 建物の変形: Deformations of Buildings (現在は存在していない)

ここで TC98 は, 表-2 に示すように材料などに関係なく構造物に関わる設計の基本の規格化を行う専門委員会であり, 特に, 用語と記号, 荷重, 力, 作用および変形の限界など構造に係わる基本的な信頼性要求の研究・調整を行い, 関連する他 TC と連携して信頼性設計に対する取り組みのための一般的な材料 (鋼材・石・コンクリート・木材など) の検討を行う組織である。

4. 構造物の信頼性設計とは?

信頼性設計⁴⁾とは「構造物が耐用期間において, 安全性に関する終局 (強度) 限界状態と機能性に関する使用限界状態の 2 つの限界状態において, 種々の不確定要因のもとで各破壊モードを確率的にどの程度の発生頻度におさめたらよいかを求める設計法」である。したがって, 構造物の安全性を定量的に評価した設計を行うためには種々の不確定要因のもとで許容破壊確率をどのような値とするかが重要な課題となり, 一般的に 1) 事故統計に基づく方法, 2) 現行設計示方書もしくは既存構造物との安全性との整合, 3) 他の災害危険性との比較による方法 (リスク分析), 4) 人的損失に対する危険回避に要する投資効果による方法 (費用対

効果)などの事項を参考にして許容破壊確率の選定がなされる。

上記の要因より構造物に対する技術的・社会的要因より許容破壊確率が決定されると、この値を満足するように信頼性設計を行って構造物が決定される。ここで信頼性設計には、表-3 に示すように種々の限界状態に対して信頼性理論に基づいて部分安全係数を定めて設計を行う限界状態設計法・荷重強度係数設計法(レベルⅠ)、構造物の信頼性指標が目標安全性指標以上となるように設計を行う手法(レベルⅡ)、構造物の破壊確率が許容破壊確率以下となるように設計を行う手法(レベルⅢ)の3つの設計水準がある。

表-3 信頼性設計における各水準

レベルⅠ	限界状態設計法・信頼性理論に基づいて決定された部分安全係数によって安全性を照査 荷重強度係数設計法・種々の限界状態に対して構造物によらず目標信頼性を確保
レベルⅡ	・安全性指標によって安全性を照査 $(\beta > \beta_T \quad \beta : \text{安全性指標}, \beta_T : \text{目標安全性指標})$
レベルⅢ	・破壊確率(信頼度)によって安全性を照査 $(P_f < P_{fa} \quad P_f : \text{破壊確率}, P_{fa} : \text{許容破壊確率})$

許容応力度法では構造材料の降伏点を規準として設計しているため、たとえ材料の安全率が同一であっても終局状態に対する安全率(構造安全率)は構造物ごとに異なる可能性がある。このような許容応力度設計法に内在する矛盾点をカバーする設計法として信頼性設計におけるレベルⅠの設計法(荷重係数設計法)があり、終局状態で定められた荷重係数(安全率)を用いて設計された構造物は終局状態に対して同じ構造安全率を有する。しかし、この設計法では材料強度や荷重の大きさや構造解析の不完全性に起因する不確定要因を材料安全率あるいは荷重係数だけでカバーしており、構造物によっては材料強度の不確定要因が大きいもの・荷重の不確定性が大きいもの・構造設計の不完全さが支配的な場合などがある。したがって、これらの不確定さの程度によっては安全性に対する余裕が異なるため、別々の安全係数の考慮が必要となり、さらに荷重については死荷重・活荷重・地震荷重など異なる種類の荷重に対しても別々の安全係数を用いることが合理的である。

そこで、限界状態設計法では材料強度・荷重係数と呼ばれる部分安全係数を用いるとともに設計手法やその他の不確定要因に対しても部分安全係数を用いることで構造物の設計から施工までのシステム全体の安全性を照査するものである。

これらの部分安全係数はあらかじめ規定された許容破壊確率以下あるいは目標信頼度(目標安全性指標)以上となるように決定されるため、この設計法によって設計された構造物は、規模や部材の種類、各荷重の特性およびそれらの組み合わせに関わらず規定された一定の目標信頼度を有することになる。

表-4 Target β values(lifetime-examples)

ISO2394 付録E

Relative cost of safety measures	Consequences of failure			
	Small	Some	Moderate	Great
High	0	1.5	2.3	3.1
Moderate	1.3	2.3	3.1	3.8
Low	2.3	3.1	3.8	4.3

ここで ISO2394 付録Eには表-4 に示すように参考値としながらも「目標信頼性指標」が示されている。これらの許容破壊確率(P_{fa})は $\beta_T=0$ ($P_{fa}=50\%$), 1.3 (10%), 2.3(1%), 3.1 (0.1%), 3.8(0.01%弱), 4.3 (0.001%弱)となっており、破壊による影響が小さく、安全性を向上するための対策費がかかる構造物は供用期間中の破壊確率を50%としている。このISO2394に強い影響を与えているものにCEN(ヨーロッパ規格委員会)が制定しているEurocodesがある。

Eurocodes0「設計の基本原則」⁵⁾においても信頼性評価に基づく限界状態設計法をベースに構成されており、その移行段階の暫定手法として部分安全係数法を用いている。これはISO-2394と全く同じであり、目標信頼性指標の参考値についても①構造物の安全性レベルを信頼性指標 β によって評価、②構造物の破壊による影響度を安全性レベルを向上させるためのコストの対比によって差別化しようとする概念が一致しており、土木・建築構造の広範囲にわたるEurocodesとして2000年後半～2003年を目途に策定中である。

5. 性能設計について

ISO2394やEurocodeでは「限界状態設計法(Limit State Design)」の概念によって構成されているものであり、性能設計(Performance Based Design)を基本としているわけではなく、このような性能設計の必要性が高まった背景には(1)ISOに代表される構造設計の国際標準化の動き、(2)経済状況の変化によるコストダウンの必要性などの要因が大きいと考えられる。

性能設計とは本来顧客と業者との間の約束を示すもので、許容応力度設計法や限界状態設計法などの設計法と対比して考えられるものではない(強いて言えば仕様設計)。従来、安全性を許容応力度で評価してきたが、WTOや性能設計は許容応力度法を問題としているのではなく、これに付随して生じる仕様書的な規定が多様化する技術や性能要求に対して障害となると言っているのである。ここで性能設計やISO2394およびそれらを取り巻く諸状況を表すと図-1のようになると考えられる。

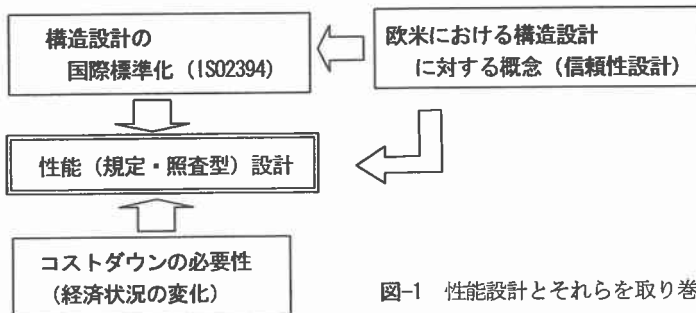


図-1 性能設計とそれらを取り巻く諸状況

ここで、文献2)では構造物の性能は一般に①要求性能:建築物の機能・用途・立地条件等により要求される性能、②目標性能:要求性能を満足するために設計で設定される性能、③保有性能:実際にその建築物が保有する性能と記述されている。加えて性能設計では許容応力度法を含めて限界状態設計法や荷重抵抗係数法など種々の解析・評価法への選択肢を与えて構造物の性能を定量化するものであるが、許容応力度法では荷重・外力の値や許容変形量などを規定したものであり、構造物の性能の定量化が難しいのが現状である。

5.1 米国の動向

性能設計における欧米の動向は、本城らの海外調査報告書⁶⁾にまとめられており、その中で1995年に米国SEAOC(カリフォルニア構造技術者協会)より発行されたVision 2000⁷⁾では建築物の耐震性能を荷重頻度とそれに対応する性能レベルの2つの軸でマトリクス化し、加えて重要度のパラメータで目標性能を表わしている。

これらの文献や米国・国内の動向から性能設計の基本原則を要約すると(1)要求性能が平易な言葉で明示されていること、(2)設計時の要求性能を技術的・具体的に目標性能として明示すること、(3)構造物の重要度から要求・目標性能レベルが選択できること、(4)荷重の発生頻度に応じた荷重値と構造物の応答状態を組み合わせた多段階な限界状態を指定できること、(5)限界状態の照査は解析や技術レベルに応じた広範囲の選択が可能なこと、(6)仕様規定をなるべく用いないこと、(7)目標性能に関して明確な表示であり、種々の不確実性も考慮していることであり、性能設計とは要求性能や目標性能における達成・評価についての手法が平易にかつ技術的・システムティックに構成されていなければならない。

参考文献

- 1) 土木学会構造工学委員会・建設事業における確率統計的意思決定研究小委員会:建設事業における確率統計的意思決定-脱マニュアルの時代を迎えて-,土木学会論文集,No.612/ I -46,pp.1-10,1999.
- 2) 藤谷秀雄:性能を基盤とした新構想設計体系-建築における発想-,土木学会誌,Vol.83,pp.36-39,1998.
- 3) 島崎敏一,畑久仁昭:土木基準の2000年問題は大丈夫か?-国際標準への対応-,土木学会誌,Vol.83,pp.25-28,1998.
- 4) 星谷勝,石井清:構造物の信頼性設計法,鹿島出版会,1986.
- 5) Eurocodes1-Basis for structural design, IABSE.
- 6) 本城勇介: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,海外調査報告書,平成10年度科学技術研究費補助金基礎研究(B)(1),課題番号 10555163,平成11年3月.
- 7) SEAOC Vision 2000 : Performance based Seismic engineering of buildings,1995.4.