

# 海外における鋼構造物の設計技術規準の現状

## CURRENT STATUS OF DESIGN CODES FOR STEEL STRUCTURES IN EUROPE AND NORTH AMERICA

野上邦栄\* ・ 依田照彦\*\*

Kuniei NOGAMI and Teruhiko YODA

**ABSTRACT** Subcommittee on the investigation of international standards for steel structures of JSCE has investigated on the state-of-the-art of the ISO standard, the Eurocodes and the North American bridge/construction codes. In this paper, these international standards are compared with those of Japan from the viewpoint of globalization of technical standards. On the basis of the interviews to organizations and code writers in European and North American countries, this paper discusses the current status of the technical design standards including the fabrication/construction codes and the relationships between local codes and international codes.

**Key Words** : 鋼構造, 設計・製作規準, 欧州規格, アメリカ道路橋示方書, カナダ道路設計規準  
steel structure, design and construction code, EN, AASHTO/LRFD, CHBDC

### 1. はじめに

ISO (International Organization for Standardization) における技術規準の策定を代表として、広い範囲の技術分野で技術規準のグローバル化が進んでいる。土木分野の技術規準に限定してもその動きに対する認識は急速に高まっている。しかし、各国の自然環境条件や社会・経済条件の差異に着目すると、単純にグローバル化を歓迎する訳には行かない事情がありそうである<sup>1)</sup>。このような現状に鑑み、国際規格などに関する動向調査、情報収集の必要性が認識され、2000年に土木学会鋼構造委員会に「鋼構造に関する国際規格調査小委員会 (委員長 依田照彦早稲田大学教授)」が設置された。

本委員会では、国際規格であるISO規格を始めとして、欧州および北米などの世界をリードする設計・製作施工規準類の情報収集と分析を行い、各規準の特徴などを明らかにするとともに、わが国の国内規準との対比を実施し、技術規準のグローバル化に関する調査研究を行っている。設計規準については、土木学会鋼構造物設計指針<sup>2)</sup>とユーロコード<sup>3), 4)</sup>およびAASHTO/LRFD示方書<sup>5)</sup> (American Association of State Highway and Transportation Officials / Load and Resistance Factor Design) を、製作・施工規準では道路橋示方書<sup>6)</sup>、鉄道橋製作標準<sup>7)</sup>とISO規格<sup>8)</sup>、AASHTO/LRFD示方書<sup>9)</sup>を中心に比較検討している。さらに、本委員会では活動の一環として欧州および北米の国内規準の改訂および技術標準の国際化に関する動向などについて関係機関やコードライターなどに直接インタビューを行い、より最新の情報を得るため海外調査を実施した。本委員会は、現在2年間の研究成果の取りまとめに入っており、その詳細については成果報告書を参照していただきたい<sup>10)</sup>。

ここでは、2000年11月に土木学会ISO対応特別委員会が実施した「欧州設計規準の国際化に関する調査」(団長 長瀧重義新潟大学教授)<sup>11)</sup>、および2001年8月に本小委員会が実施した「技術標準の国際化に関する北米調査」(団長 依田照彦早稲田大学教授)<sup>12)</sup>の海外調査結果を踏まえて、設計技術規準を中心に(一部製作・施工規準を含む)、その策定の歴史と現状について、さらに各国の国際標準化への対応についてヒヤリング結果の概略を報告する<sup>13)</sup>。

\* 工博 東京都立大学大学院助教授 工学研究科土木工学専攻 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1)

\*\* 工博 早稲田大学教授 理工学部土木工学科 (〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1)

## 2. 設計規準策定の歴史とその体制

### 2.1 欧州

1970年代、当時の欧州の国民総生産は2兆3000億ポンドに達していた。しかし、各国間の一般貿易は約20%に達していたにも関わらず、建設産業に関する貿易はその産業の取引総額の2%と極めて低い状況にあった。そのため、表-1のように産業界が先導役となり、欧州連合(EU)における通商に対する技術的障害の除去と技術使用の整合化および建築と土木構造物の設計に対する共通技術ルールの確立に向けた設計に関する統一技術規準の策定の動きが起こり、これが現在のユーロコード策定の始まりとなっている。このことから理解できるように、このユーロコード策定は技術的な面からではなく政治的な側面から開始されたとも言える。

表-1 ユーロコード策定の歴史<sup>11)</sup>

時代	主導機関	財源	発刊物
1970s	欧州技術関連団体	産業界	設計指針
1982-4	欧州委員会	欧州委員会	ユーロコードのドラフト
1985-6	各国標準化機関	各国機関	キャリブレーションおよび条文チェック結果報告
1987-9	欧州委員会	欧州委員会	ドラフトの改訂
1990	CEN	欧州委員会 (CEN を経由)	ENV
1992	各国標準化機関	各国機関	キャリブレーションおよび条文チェックに基づく NAD
1998	CEN	欧州委員会 (CEN を経由)	prEN
2001 ?	CEN		EN
2005 ?	各国標準化機関		各国規格の廃止

その後、1982年～1986年において欧州委員会が財源負担を含めてユーロコード策定を進めた。1987年～1989年には、各国の検討結果を基にして再度欧州委員会においてユーロコード草案の改訂作業が行われた。しかし、この間のユーロコード策定の試みはその技術要件を含めた統一に膨大な時間と費用を要するため各国間の調整が困難になっていたようである。この行き詰まりを打開するため、欧州委員会は新たに欧州指令(Directive)として基本的要求事項(Essential Requirement)を定め、同時にこの基本的要求を満たす「調和された仕様(Harmonized Technical Specification)」の策定機関として欧州標準化委員会 CEN (Comité Européen de Normalisation) を設立した。ユーロコードは、この欧州指令の一つである建設製品指令 CPD (Construction Products Directive) で定めた① 耐力と安全性、② 火災時の安全性、③ 衛生、健康および環境、④ 使用時の安全性、⑤ 騒音からの防護、⑥ エネルギーの節約および熱の保持などの基本的要求事項を満たす構造物の設計を行うための設計規準と位置付けられる。

1990年からは、CENにその策定作業が引き継がれ、ドラフトスタンダードと言える ENV が完成した。鋼構造に関して建物の ENV 1993-1.1/A1 は1994年に、橋梁の ENV 1993-2 は1997年に完成し、1998年に3ヶ国語に翻訳されている。その後、各国の標準化機関はこの ENV 内容のチェックとキャリブレーションを行い、国内規準との対比をしながら ENV の補足的規準として国内適用文書 NAD (National Application Document) を作成している。イギリスの橋梁に関する国内適用文書は1999年に、またドイツのユーロコード3およびユーロコード4に関する国内適用文書は各々1999年及び2000年に最新版が完成しているが全体的に遅れているようである。さらに国内適用文書を作成して試行期間2～3年後にドラフトスタンダード prEN の提示を行っている。これらの ENV および国内適用文書は各国において強制ではなく、国内規準と並存して運用されている。最終的な EN 化の完了時期は文献によりまちまちではあるが、例えば表-1のように2005年とすれば、ユーロコードの完成に要する期間は実に30年にもなる。

さて、ユーロコードの策定には、表-2のように政府が関与しており、特にフランスは直接的に策定作業に関わっている。一方、イギリスは学識者および民間技術者がボランティアベースで参加している。

表- 2 規準の策定体制

国名	イギリス	フランス	アメリカ	カナダ
設計規準	Eurocode		AASHTO/LRFD	CHBDC
策定機関	CEN		FHWA	CSA
策定者	政府, 学識者, 民間技術者	政府	政府, 学識者, 民間技術者	政府, 学識者, 民間技術者
策定資金支援	CEN/EC		FHWA/AASHTO	各州政府
学識者, 民間技術者支援	ボランティア ベース	-	FHWA/AASHTO	ボランティア ベース
完成年	2005年?		1994年	2000年
策定期間	30年?		7年	7年

## 2.2 カナダ

カナダの橋梁に関する規準の適用は、これまで各州の自主的判断に任せられていた。1966年に、カナダ連邦政府のCSA (Canadian Standards Association) 規準として道路橋規準CSA S6-66が発行されたが、カナダ特有の諸条件を織込んだとは言え、当時の規準は本質的にAASHTO(American Association of State Highway Officials) そのものの規準と同じ内容であった。しかし、オンタリオ州運輸・通信省はCSA S6規準に満足できず、1973年に新しい独自規準の作成を決定した。そして、1979年に北米初の限界状態設計法に基づく道路橋規準としてオンタリオ州規準OHBDC (Ontario Highway Bridge Design Code) の第1版を発刊した。その後、オンタリオ州規準は1986年に第2版が、1993年に第3版が刊行された。

それまでAASHTOの後追いで改定されてきたCSA S6の道路橋規準は、オンタリオ州規準の限界状態設計法としての諸係数の信頼性や規準の優位性が示されるにつれ、またカナダ国内でのモデルコード作成の機運の高まりの中、カナダ連邦政府は国内統一規準の必要性を認識し、CSA S6をカナダ独自の規準として全面改定することを決定した。こうして、カナダ統一道路橋規準CSA S6-00<sup>14)</sup>(CHBDC、以後カナダ規準と呼ぶ。)はオンタリオ州規準を基本に設計荷重体系などの変更がなされ、7年間の歳月をかけて2000年に全面改定・刊行された。

このカナダ規準の作成には、多くの関連部門からの参画があるが、その作成業務はボランティアベースで行われている。なお、この統一規準に関する資金援助は各州からの助成で賄われている。

## 2.3 アメリカ

アメリカの道路橋示方書は、AASHTO 橋梁構造委員会において1921年に編集が始められ、順次整備、改訂され1931年に標準示方書の初版が出版された。その後、1969年版(第10版)までの許容応力度法に加え、1973年版(第11版)からは荷重係数法LFD (Load Factor Design) が採り入れられた。

しかし、その後現行設計法に対して材料、解析法の発展、歴史的条項との矛盾などが鮮明になり、さらにオンタリオ州規準の限界状態設計法としての諸係数の信頼性が明らかになったことから、1987年にAASHTOは先進的な橋梁設計示方書を開発する必要性を提唱した。その実現のためにNCHRP (National Cooperative of Highway Research Program) プロジェクトが設立され、まず他国の設計規準としてカナダ(オンタリオ州)、イギリス、ドイツおよび日本の各国規準を比較調査した。その結果オンタリオ州規準を参考にした確率論に基づいた限界状態設計法を採用し、先進的で総合的な橋梁設計示方書を解説付きで仕上げることを決定した。最終原稿は1993年に完成し、7年間の歳月を経て1994年に荷重抵抗係数法LRFDによるAASHTO/LRFD示方書の初版を発行した<sup>15), 16)</sup>。そして1998年に第2版が発行されている。

LRFD示方書は、大学教授、企業の技術者、政府研究機関の技術者、政府の職員等によって作成され、NCHRPを通してFHWA (Federal Highway Administration) とAASHTOによって調査研究費用として200万ドル以上の資金が提供されている。また、その見直しと試設計は連邦機関、州交通部、企

業、コンサルタント、学会および特別な機関によってボランティアベースで行われた。

一方、鋼鉄道橋の設計規準<sup>17)</sup>は AREMA (American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association) において 1904 年に制定されたので 97 年の歴史がある。AREMA 規準は、大学、設計会社、研究所、ファブリーケータおよび政府機関の技術者により無償ベースで作成されている。

### 3. 設計・製作規準の形態

#### 3.1 ユーロコード

ユーロコードは、表-3 に示すように ISO2394<sup>18)</sup> に準拠した部分安全係数法による限界状態設計法であり、①基本原理 (Principles)、②適用ルール (Application Rules) および③国内付属文書 (National Annex) の 3 ルールから構成される。特に、国内付属文書は適用ルールで設計ができない場合に対処するための代替ルールであり、現在以下の内容だけを含むことができるものとしている<sup>19)</sup>。しかし、この内容は極めて政治的な問題を含んでおり、現在議論・利害調整を行っている段階である。

- 1) ユーロコードにおいて各国の選択に任されている国内決定パラメータ NDP (Nationally Determined Parameters) に関する情報
  - 部分安全係数の数値およびユーロコードにおいて代替に関する条項に関する事項
  - 代替法に関してユーロコードに規定があるものに関する方法
  - ユーロコードにおいて記号だけが表記されているものの値
  - 地形、気候に関連した各国独自の事象
- 2) ユーロコードを適用する上での補足的情報

表-3 設計規準の形態

設計規準	Eurocode	AASHTO/LRFD	CHBDC
設計法	限界状態設計法	荷重抵抗係数法	限界状態設計法
信頼性指標 $\beta$	3.8	3.5	3.5
設計寿命	50 年	75 年	75 年
限界状態	終局、使用	終局、供用、疲労、極限事象	終局、使用、疲労
書式	$E_d \leq R_k / \gamma_{Rd}$ $E_d = \sum \gamma_{Gi} G_{ki} + \gamma_P P$ $+ \sum \gamma_{Qi} \psi_i Q_{ki}$ $E_d$ : 設計荷重値 $R_k$ : 抵抗特性値 $G_{ki}, P, Q_{ki}$ : 荷重特性値 $\gamma_{Gi}, \gamma_P, \gamma_{Qi}$ : 荷重係数 $\psi_i$ : 補正係数 $\gamma_{Rd}$ : 抵抗係数	$\sum \eta_i \gamma_i Q_i \leq \phi R_n$ $\gamma_i$ : 荷重係数 $\eta_i$ : 荷重補正係数 $Q_i$ : 荷重効果 $\phi$ : 抵抗係数 $R_n$ : 公称抵抗力	$\sum \gamma \alpha_i E_i \leq \phi R_s$ $\gamma$ : 重要度係数 $\alpha_i$ : 荷重係数 $E_i$ : 荷重特性値 $\phi$ : 抵抗係数 $R_s$ : 抵抗特性値
適用範囲	CEN 加盟国	48 州 (2007 年)	全州

ところで、欧州各国の現行国内規準の整備状況には相違がみられ、緻密に規定された国内規準を持つドイツ、イギリスおよびフランスなどは、国内付属文書が非常に厚くなることが予想される。一方、北欧およびスイスなどは国内規準が概念的な規定であるため、EN は基本のみの最小限の厚さになる。スイスの設計規準 (SIA) は現在 ENV に全面的に移行しているため、EN が完成後はそのまま受け入れることになる。

また、表-4 に示すユーロコードの各規準はその内容にレベル差が存在する。ユーロコード 2 (コンクリート構造)、ユーロコード 3 (鋼構造) およびユーロコード 4 (合成構造) は詳細な内容になっているのに対して、ユーロコード 7 (地盤) などは概念的で合意されたもののみを規定している。このことは逆に、詳細な内容をもつユーロコードはこれまでの国内規準に比べて複雑で、しかも難解な内容になることが予想され、設計技術者に混乱を招く恐れが懸念されている。現にイギリス国内では、配布

されている ENV について産業界から難解さを指摘する声が多いとのことである。イギリスの道路庁 HA (Highway Agency) の管理技術者は国家規格の BS5400<sup>20)</sup> が実践的な内容であるのに対して、ユーロコードは解析的な内容であると評価している。ここに、鋼構造に関するユーロコード 3 および合成構造に関するユーロコード 4 の目次構成を各々表-5、表-6 に示す。

表-4 欧州構造規格の目次

規格	題目
EN 1990	Basis of Design for Structural Eurocode
EN 1991	Actions on Structures
EN 1992	Design of Concrete Structures
EN 1993	Design of Steel Structures
EN 1994	Design of Composite Steel and Concrete Structures
EN 1995	Design of Timber Structures
EN 1995	Design of Masonry Structures
EN 1997	Geotechnical Design
EN 1998	Design Provisions for Earthquake Resistance of Structures
EN 1999	Design of Aluminium Structures

表-5 ユーロコード 3 (鋼構造) の目次

規格	題目
EN 1993-1.1	General Rules
EN 1993-1.2	Fire
EN 1993-1.3	Thin Gauge
EN 1993-1.4	Strainless Steel
EN 1993-1.5	In-plane Buckl.
EN 1993-1.6	Shells Buckling
EN 1993-1.7	Out-of-plane Buckl.
EN 1993-1.8	Joints
EN 1993-1.9	Fatigue
EN 1993-1.10	Fractures
EN 1993-1.11	Cables
EN 1993-2	Bridges
EN 1993-3	Buildings
EN 1993-4.1	Silos
EN 1993-4.2	Tanks
EN 1993-4.3	Pipelines
EN 1993-5	Piling
EN 1993-6	Crane
EN 1993-7.1	Towers; Masts
EN 1993-7.2	Chimneys

なお、ユーロコードは基本的に新設橋梁のみが対象であり、既設橋の耐荷力評価、補修・補強については適用の義務付けはないと言われている。その場合、維持管理は各国の執行機関に委ねられることになることから、今後製作・架設規準および品質保証/品質管理規準などとともこれらの整備が必要になると予想される。

### 3.2 カナダ

1960年代~1970年代の北米規準は、実荷重より小さい設計荷重が用いられていたが、これは、合理的な設計というよりは、過去の経験に基いた極めて高い安全率を用いた許容応力度法に基づき設計されていたことになる。

1979年に完成したオンタリオ州規準は、北米で初の限界状態設計法であり、信頼性指標  $\beta$  による確率論的方法が用いられている。橋梁の動的応答を制御するため、たわみ制限を明確に示していることでも知られており、これらにより、アメリカと異なる活荷重特性が考慮され、経済性の優れたカナダ独自の規準となった。本規準の主な特徴は以下のとおりである。

- (a) メートル単位系が導入されている。
- (b) 最新の研究成果を反映している。
- (c) 技術革新の促進が可能となっている。
- (d) 複雑な設計要求に応えられる規準となっている。
- (e) 設計諸係数は十分にキャリブレーションがなされた値となっており、信頼性指標は 3.5 である。
- (f) 床版の設計にアーチ作用が考慮され、より経済的な床版の設計が可能である。

これに対して、2000年に改訂された新しいカナダ規準は、オンタリオ州規準の特徴を基本にして表-7のような目次構成からなっている。特に、第13章可動橋、第15章耐久性さらに第16章繊維補強構造

表-6 ユーロコード 4 (合成構造) の目次

規格	題目
EN 1994-1.1	General - Common Rules
EN 1994-1.2	Structural Fire Design
EN 1994-2	Bridges
EN 1994-3	Buildings

物を新たに設けている。さらに、耐震設計を全面改定している。また、適用支間範囲の条項を撤廃し、長支間橋梁にも適用可能となっている。鋼構造に関する Section 10 の目次構成を表-8 に示す。

表-7 CHBDC の目次

章	題 目
Section 1	General
Section 2	Durability
Section 3	Loads
Section 4	Seismic Design
Section 5	Method of Analysis
Section 6	Foundations
Section 7	Buried Structures
Section 8	Concrete Structures
Section 9	Wood Structures
Section 10	Steel Structures
Section 11	Joints and Bearings
Section 12	Barriers and Highway Accessory Supports
Section 13	Movable Bridges
Section 14	Evaluations
Section 15	Rehabilitation
Section 16	Fibre Reinforced Structures

表-8 Section 10 (鋼構造) の目次

節	題 目
10.1	Scope
10.2	Definitions
10.3	Notation and Units
10.4	Materials
10.5	Design Theory and Assumptions
10.6	Durability
10.7	Design Detail Requirements
10.8	Tension Members
10.9	Compression Members
10.10	Beams and Girders
10.11	Composite Beams and Girders
10.12	Composite Box Girders
10.13	Horizontally Curved Girders
10.14	Trusses
10.15	Arches
10.16	Othotropic Decks
10.17	Structural Fatigue
10.18	Splices and Connections
10.19	Anchors
10.20	Pins, Rollers, and Rockers
10.21	Torsion
10.22	Piles
10.23	Fracture Control
10.24	Construction Requirements for Structural Steel
10.25	Fracture Control

### 3.3 アメリカ

#### (1) AASHTO/LRFD

アメリカの設計法は、許容応力度法から荷重係数法を経て荷重抵抗係数法に進展してきたが、主な相違点は安全性の考え方にある。荷重抵抗係数法は、荷重係数と抵抗係数の両方について統計的手法を基本にして選ぶことにより、信頼性について一定のレベルを得ることを可能にしている。つまり、限界状態において、安全性に対する均一なレベルを得るために試設計を行いキャリブレーションすることで、荷重係数と抵抗係数の組み合わせを設定しており、異なる形式の橋梁に対して、信頼性指標  $\beta$  として約 3.5 を確保している。これに対して、既往の荷重係数法では安全性に対して均一なレベルを確保するようにはなっていない。図-1 に示すように荷重係数法の信頼性指標  $\beta$  は橋梁によって、2 から 4.5 程度と広い範囲で変化している。同様に、許容応力度法も安全性に対する均一なレベルを確保するようにはできていない。

AASHTO/LRFD 示方書は、施工性・安全性・使用性・維持管理性・経済性・景観性を十分に確保するために必要な最小限の要求事項から構成されている。また、設計するための限界状態は、表-3 にまとめたように① 供用限界状態、② 疲労破壊限界状態③ 強度限界状態、および④ 極限事象限界状態の 4 つの限界状態を設定している。さらに、安全性の限界に影響がある重要事項として延性 (Ductility)、冗長性 (Redundancy)、重要性 (Operational Importance) が考慮され、安全性照査式に各々補正係数  $\eta_i = \eta_D \eta_R \eta_I$  として与えられる。

また、この示方書には設計手法を標準化する意図はない。設計や施工において新しい技術を適用したい施主や技術者は、その最小限の要求性能より高い性能を出すことにより新しい技術の適用を可能にしている。適用できる設計手法は、設計規準の中に提示されているが、設計者は設計上規定している最小限の要求事項に適合する他の荷重や他の適切で合理的な設計手法を使用することが許されている。また、特定のプロジェクトに適合した荷重係数や抵抗係数を定めることができるという柔軟性もある。

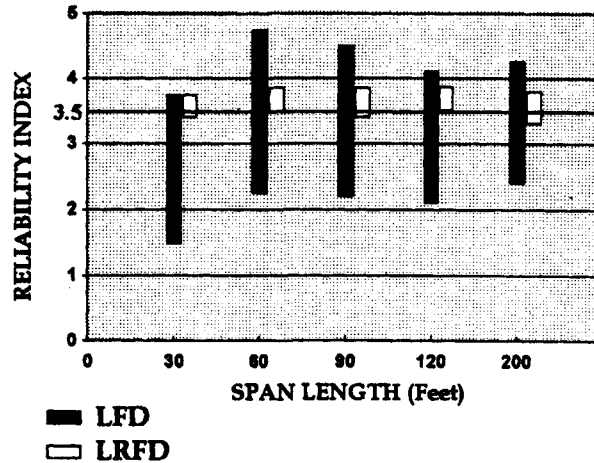


図- 1 LRFD と LFD の信頼性指標の分布

さらに、設計技術および建設技術の将来的な改変の提案に対して、それらの改変により生じる現行の安全性や信頼性への影響を簡単に対比することで、それを承認できるようにしている。設計評価式を発注者や技術者によって発展させ、AASHTO/LRFD 示方書に追加することができる柔軟性を持たせたという意味では、性能を基本にした設計規準であるということが出来る。ここに、AASHTO/LRFD 示方書の目次構成を表-9 に、最新の鋼構造に関する Section 6 の目次構成を表-10 に示す。

表- 9 AASHTO/LRFD の目次

章	題 目
Section 1	Introduction
Section 2	General design and Location Features
Section 3	Loads and Load Factors
Section 4	Structural Analysis and Evaluation
Section 5	Concrete Structures
Section 6	Steel Structures
Section 7	Aluminum Structures
Section 8	Wood Structures
Section 9	Decks and Deck Systems
Section 10	Foundations
Section 11	Abutments, Piers and Walls
Section 12	Buried Structures and Tunnel liners
Section 13	Railings
Section 14	Joints and Bearings

表- 10 Section 6 (鋼構造) の目次

節	題 目
6.1	Scope
6.2	Definitions
6.3	Notation
6.4	Materials
6.5	Limit State
6.6	Fatigue and Fracture Considerations
6.7	General Dimension and Detail Requirements
6.8	Tension Members
6.9	Compression Members
6.10	I-sections in Flexure
6.11	Box-sections in Flexure
6.12	Miscellaneous Flexural Members
6.13	Connections and Splices
6.14	Provisions for Structure Types
6.15	Piles

製作・施工における品質保証/管理については、① アメリカ工業規格協会 ANSI (American National Standards Institute)/AASHTO/アメリカ溶接協会 AWS (American Welding Society) の規準、② ASTM (American Society of Testing Materials) 規準および③ AASHTO ガイドラインなどが確立している。AWS D1.5 の橋梁溶接規準はアメリカ溶接協会により管理更新されている。

また、FHWA は連邦資金による橋梁プロジェクトにおいて、製作工場の点検および品質保証・管理計画の見直しを行うという国家品質保証プログラムを持っている。さらに、National Steel Bridge Alliance (連盟)、AASHTO、製鉄会社、ファブリケータ、アメリカ鉄鋼協会 AISI (American Iron and Steel Institute) およびアメリカ鋼構造協会 AISC (American Institute of Steel Construction) のグループと連携し合いながら、橋梁製作工場としての工場認定標準を発展させており、これらのグループとの密接な関係により、施工・製作上生じる問題が国家的な問題となる前に検証解決することを可能にしている。

現在、合衆国の 30 州が何らかの形で AASHTO/LRFD 示方書を採用している。11 の州では完全に

AASHTO/LRFD 示方書をとり入れており、2007年までには48の州が完全にとり入れることを公約している。アメリカ国内には現在 AASHTO/LRFD 示方書で設計された橋梁が800橋ほどある。

## (2) AREMA

鉄道橋設計規準の現行版は、4編から構成されており構造物に関する事項は第2編に規定され、毎年改訂されている。この規準は、疲労を考慮した許容応力度法である。

施工については、AREMA マニュアルの第15章 - Steel Design Part 3 と Part 4 に規定されている。Part 3 の最初に鋼橋ファブリーケータの品質資格として、主要な鋼橋のファブリーケータは AISC 品質認証プログラムのカテゴリ III またはそれに相当する他のプログラム (the Engineer の承認が必要) の認証を得ていることと規定している。Part 3 においては、寸法許容誤差を詳細に規定しているがその他の事項は ANSI、ASTM および AWS 規準を適用する部分が多い。特に品質に大きな影響がある溶接については、殆ど AWS D1.5 橋梁溶接規準に従うことを定めている。

## 4. 国際標準化への対応

### 4.1 欧州

今回の調査において、イギリスおよびフランスは、ISO 規格に関心を示していなかった。これまで ISO 規格は、ISO と CEN との間のウィーン協定において CEN のリーダーシップの基で作成されていると聞いていただけに以外である。ただし、イギリスの学識者は、いま作業を進めているユーロコード 0 およびユーロコード 1 が完成すればこれが ISO 規格に反映されることになると認識していると述べており、また、BRE (Building Research Establishment) の技術者は構造設計に関して ISO 規格は参考規準として利用すると述べている。結論的には、両国とも EN の適用の影響が直接的であり、人的不足もあり、現在は EN の完成およびその適用に関する産業界の意識改革に全力投球をしているようである。また、性能照査型設計法については認識していない。

### 4.2 カナダ

ISO シリーズへの対応は、製作・架設に関して ISO9000s、ISO14000s 等の品質規準は価値ありとするものの、ISO 規格そのもののカナダ規準への適用は考えていない。また、ユーロコードによる設計規準の統一に対しては価値を見出していない。荷重体系等各国で独自性があり、かれらの限界状態設計法の設計思想、精度等大きな自信に裏付けられた結論であると推察される。

国際化への対応に関して特筆すべき点は、カナダ規準 CHBDC (CSA S6-00) は経済性に優れているという点で、カナダ以外の国への適用も念頭に置いており、その意味ではアメリカの AASHTO への影響がこれにあてはまると考えられる。現在、欧州規格を制定するため、イギリス、フランスおよびドイツは競ってどのようにして自国の規準を欧州規格に導入できるか競い合っている中で、北米における CSA S6-00 と AASHTO/LRFD 示方書は類似性が高く、両規準は一つに統一されることもあり得ると考えられる。

ところで、カナダ政府および建設業界の新しい動きとして、設計規準に関する国際化への基本姿勢において性能設計への移行を考えており、Objective-based design codes を発展させることにより対応できると考えている<sup>21)</sup>。

建築分野では、すべての性能に対して真に具体的な要求性能が何なのか応えうる技術レベルには到達していないのが現状であり、カナダ建築規準で進めている Objective-based design codes は、真の性能設計を目指すための一つのステップとして位置付けられるものであると認識している。橋梁以外の構造物を包含するカナダの次期国内建築規準は、Objective-based design code フォーマットにより 2003 年刊行を目標にしている。この規準の特徴は以下の3点にある。

- ① 健康、安全、アクセス性等全体に流れる大きな設計目的を、各条項と有機的に関連づけ、性能保証に寄与させる。これを橋梁での規準に当てはめれば安全性、使用性、耐久性等に関する性能保証が設計目的となると考えられる。
- ② 機能的に満足しなければならない要求事項を質的に詳細に示し、これらを一つもしくは複数の Objectives と関連付ける。要求事項には仕様規定型の条項も含まれる。
- ③ 技術の発展性、代案の採用、規準を適用する側での理解のし易さを念頭に、各条項ごとの理論的



背景、目的、設計意思を簡易な言葉で明確に示す。

これに加え既存の国内規準は、上記3項のルールと別冊で代替ルール (Acceptable Solutions) として発行されるが、これら各条項も常に上記3点と明確にリンクされるように改定される。目的達成のために代替ルールを適用するかどうかは設計者に任されることとなる (図-2)。

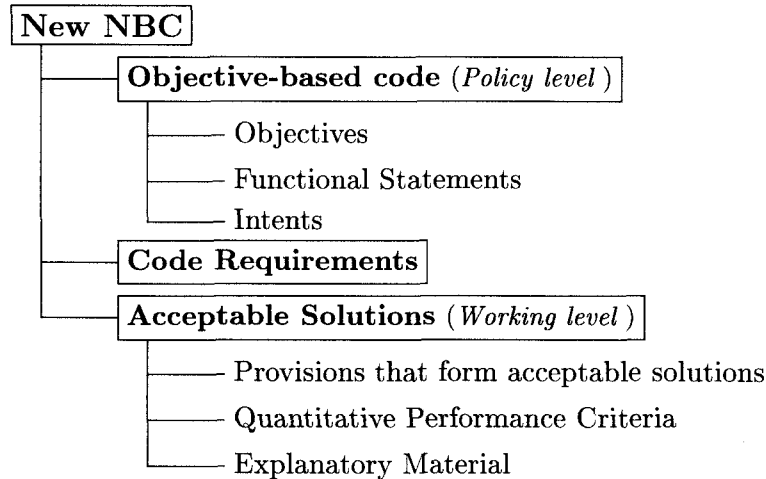


図-2 新NBC (National Building Code) の構成

このように、カナダ国内で Objective-based design code が待望されるのは、カナダの公共事業遂行における経済状況とコンサルタントの地位・役割の問題があり、現行規準の改訂や技術開発が十分なされていないという背景がある。そこで、カナダ政府は官側での業務縮小を図りつつ、技術開発を進めるコントラクター側での契約に関する照査技術者制度を制定した。照査技術者はコントラクターの技術者またはコンサルタントの技術者で構成され、品質に関する照査技術者は、品質についての適合証明書を自己責任のもとに提出する義務を負うこととされた。この制度により、新規規準や新規規格の円滑な導入が進められるとともに設計の最終結果を要求事項に対して保証する End-Results Based Specifications と言い換えることのできる Objective-based design code の実現に向けての体制が作られたのである<sup>21)</sup>。

ところで、Objective-based design code を「構造物に対する最終要求事項は、目指す目的に適合した、十分な強度、使用性および耐久性を備えていることにある」と解釈できるならば、橋梁に関するオンタリオ州規準、カナダ規準および AASHTO/LRFD 示方書の設計規準類は、いずれも Objective-based design codes の範疇に入るものと考えられる。

#### 4.3 アメリカ

ISO 規格に対する現在の米国の基本的なスタンスは、ISO に対して興味を持っていない訳ではないが、各州の産業に ISO 規格をそのまま適合させることは考えていない。AASHTO/LRFD 示方書は、新しい材料、新しい設計法、新しい建設技術に適応するために発展させてきたものであり、事実上性能を基本とした設計規準になっていると判断しており、特に新たに性能を基本とした設計規準の作成についての必要性は考えていない。もちろん、ISO 規格が米国の産業にとって適合可能で最良な手段を与える品質基準であることを確認した場合、橋梁技術界は種々の課題検討会、技術委員会に奨励促進をする。その結果、橋梁施主や設計者に採用されるとき、それらの手段は適切に修正され、AASHTO 示方書の改訂版に含まれることになる。

AREMA は、設計規準を許容応力度法から限界状態設計法に変更する必要性を感じていない。また、製作・施工に対する品質システムについて ISO9000s ではなく、アメリカ独自の AISC 品質認証プログラムが適用されており、さらに、疲労規準および製作規準についても独自の要領基準を持っている。したがって、国内設計・製作施工規準と ISO 規格との整合に関しては特に考えていない。

## 5. 最後に

世界のグローバル化の流れの中、設計・製作規準に関するグローバル化について欧州および北米を中心に調査を行ったが、各国の種々の事情のためその対応には差異が見られる。しかし、ユーロコード、AASHTO/LRFD および CHBDC の各規準については、各国ともいかなるグローバル化が進もうとも対応できる自信を持っているようである。このような状況において、わが国は今後孤立化が進み、世界の中で競争力を失うことが懸念されているが、国際化の最終的な目標が「より良いものを安く、安全に提供でき」、しかも「その製品を作るのにどこの国でも適用できる設計規準にする」ことであるならば、わが国の各種規準は統一化を進める国際標準に整合させようとするのではなく、その目標に沿った内容を備えた国内規準の充実を図ることが先決であり、国際化に勝ち残れる設計・製作規準を確立することが重要である。そのためには、日本の技術動向が世界の構造技術の方向に大きな影響力をもつことが必要である<sup>13)</sup>。

その意味では、1995年1月の阪神・淡路大震災後、鋼構造分野での耐震問題に関する勢力的な研究開発が進み、国際的にも他国に比べて技術レベルの高い耐震設計法が完成し、また本年3月道路橋示方書<sup>6)</sup>に疲労設計が導入されたこの時期に、性能照査型設計法の面からわが国としての戦略的な対応をすることにより、世界をリードしていける可能性がある。

将来的には、ユーロコードがそうであるように、設計の基本原則あるいは荷重については構造物設計と独立に、共通のコードとして存在させる必要があると考えられ、建築分野と土木分野の共通のコンセンサスを得ることが重要である。現在、国土交通省が国際的に通用する土木・建築の統一設計規準としての性能規定、限界状態設計法の体系に向けた「土木建築にかかる設計の基本」<sup>22)</sup>をまとめており、今後の対応を注目したい。また、国内規準の発展・充実とともに、規準類の英文化、設計ツールおよびソフトの充実、設計技術者のトレーニングシステム、メールやインターネットの積極的活用による情報伝達・意思決定のスピード化などのインフラ整備も急務になるであろう。

## 参考文献

- 1) 依田照彦：構造物の設計規準の国際化について，土木構造・材料論文集，第14号，pp.15-20，1998
- 2) 土木学会：鋼構造物設計指針，1997
- 3) ENV 1993-2：Eurocode 3: Design of Steel Structures -Part2: Steel Bridges，1997
- 4) ENV 1994-2: Eurocode 4: Design of Composite Steel and Concrete Structures -Part2: Composite Bridges，1997
- 5) AASHTO LRFD：AASHTO LRFD Bridge Design Specifications，1998
- 6) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，I 共通編，II 鋼橋編，2002
- 7) 鉄道総合技術研究所：鉄道橋製作標準，2000
- 8) ISO10721-2：Steel Structures Part 2-Fabrication and Erection，International Organization for Standardization，1st ed.，1999
- 9) AASHTO LRFD：AASHTO LRFD Bridge Construction Specifications，1998
- 10) 土木学会鋼構造に関する国際規格調査小委員会：鋼構造に関する国際規格調査・分析報告書，2002
- 11) 土木学会 ISO 対応特別委員会：欧州調査報告書，土木学会 ISO 対応特別委員会誌 ISO ジャーナル，Vol.6，2001
- 12) 土木学会鋼構造に関する国際規格調査小委員会：技術標準の国際化に関する北米調査報告書，土木学会 ISO 対応特別委員会誌 ISO ジャーナル，Vol.7，2002
- 13) 野上邦栄：設計国際標準の最新動向－鋼構造分野－，土木学会「ISO への対応」に関する第4回シンポジウムテキスト，Course 116，2001
- 14) CSA S6-00：Canadian Highway Bridge Design Code，2000
- 15) John M. Kulicki：Design Philosophies for Highway Bridges，2001
- 16) John M. Kulicki：Lecture 1 - Background and Philosophy，2001
- 17) AREMA：Manual for Railway Engineering Chapter 15 Steel Structures: Specifications for Steel Railway Bridges，1992
- 18) ISO2394：General Principles on Reliability for Structures，Third Edition，1998
- 19) European commission：Draft Guidance Paper (Version 6 of the Sub-Group on GP) Application and Use of Eurocodes，ENC022，2000
- 20) BS5400：Steel，Concrete and Composite Bridges，1999
- 21) B.Farago：Objective Based Bridge Codes and Specification - The Canadian Experience，2001
- 22) 国土交通省：「土木建築にかかる設計の基本」，土木建築にかかる設計の基本検討委員会，2002