

## 鋼・合成構造標準示方書小委員会設計部会報告

## STANDARD SPECIFICATIONS FOR STEEL AND COMPOSITE STRUCTURES

## — Outline of Performance-based Design of JSCE —

依田照彦\*, 野上邦榮\*\*

Teruhiko YODA and Kuniei NOGAMI

**ABSTRACT** This paper is concerned with the current draft of the provisional standard specifications for steel and composite structures. The specifications are still under developing stage comparing with western countries. The committee on steel structures has been promoting the revision of design codes under a performance-based-design concept. Although the design concept is based on the performances to be required, some of the definitions on the performances need further discussion in order to reach a consensus. In this paper, the principal parts of the performance-based design methodology and design formats are described in recognition of a need for consistency between the harmonized technical standard specifications.

**KEYWORDS:** 性能照査型設計, 鋼・合成構造

performance-based design, steel and composite structures

## 1. まえがき

設計規準作成の目的は、技術に関する説明性を確保することと技術の内容を伝達することにあるとされている。設計規準の作成が急ピッチで進んでいる欧州では、EU 加盟国の拡大に伴い、設計や施工、材料に関する規格の策定を積極的に進めている。将来的には国際競争力を向上させる目的で、欧州規格を国際規格として提案して行く可能性がある。国際規格 (ISO 規格) は各国の代表者による多数決で決まるため、欧州規格が国際規格に提案された場合、国際規格となる可能性が高い(ウィーン協定)。欧州の設計規準が国際規格に変わると、日本もその規格の使用を要求される (TBT 協定)。国内で計画されている構造物の設計において既存技術規準が適用されなくなるため、大きな混乱が生じる可能性もある。一方、わが国の設計規準については、国際化とは直接関係なく、「性能規定化」および規準の「階層化」が検討されている。これらの検討は、基本的には設計段階における自由度を拡大することにより、新しい技術の適用性を向上させ、コストの縮減を図り、説明性を向上させることを目的としていると思われる。

このような状況のもと、土木学会鋼構造委員会では、鋼構造物および合成桁構造物を対象として、国土交通省発行の「土木・建築にかかる設計の基本」<sup>1)</sup> (設計の基本と略す) や ISO2394<sup>2)</sup> (設計の一般原則) に十分配慮しつつ、最新の研究成果を取り入れ、国際的に通用する規準となる「鋼・合成構造標準示方書」の整備を進めている。この標準示方書は「総則編」「構造計画編」「設計編」「耐震設計編」「製作・施工編」「維持管理編」から構成されているが、本文では「設計編」における基本事項について、その概要を紹介する。

\* 工博 早稲田大学教授 理工学部社会環境工学科 (〒169 - 8555 新宿区大久保 3 - 4 - 1)

\*\*工博 首都大学東京准教授 都市環境学部都市基盤環境コース (〒192 - 0397 八王子市南大沢 1 - 1)

## 2. 各規準類で設定されている構造物の要求性能の調査

性能照査型設計では、構造物に求められる性能（要求性能）を明示し、適切な照査指標を用いて、要求性能を満足しているか否かを照査することを原則としている。したがって、どのような要求性能を構造物に設定するかが大切であり、設計規準の特徴に繋がる。

表-1 に既存の各規準類の要求性能や設計の基本理念などを整理した。表-1 より、安全性と使用性はほぼ全ての規準類に共通して用いられており、これら以外の要求性能は、統一されていないものの、耐久性、修復性（あるいは復旧性）、環境との調和、施工性や維持管理性、さらには経済性などに概ね分類することができる。

表-1 各規準類の構造物の要求性能の比較

設計の基本 (2003) <sup>1)</sup>	ISO2394 (1998) <sup>2)</sup>	code PLATFORM (2003) <sup>3)</sup>	JSSC ガイドライン (2001) <sup>4)</sup>
安全性 使用性 修復性	(基本的要求事項) 使用限界状態に関する要求 終局限界状態に関する要求 構造ロバスト性の要求	安全性 使用性 環境性 施工性 経済性 など	安全性 使用性 環境適合性 施工性 維持管理性 解体再利用性

## 3. 鋼・合成構造標準示方書【設計編】における要求性能の分類案

設計部会では、表-1 の設計の基本<sup>1)</sup>と土木学会の「鋼構造物の性能照査型設計指針（試案）」<sup>5)</sup>をもとに、標準示方書【設計編】における要求性能として、表-2 を出発点とした。

表-2 鋼・合成標準示方書【設計編】における要求性能（案）

要求性能	性能項目	性能項目の例
安全性	構造安全性	部材耐荷力, 構造系全体の耐荷力, 接合部の耐荷力等
	公衆安全性	第三者被害
使用性	走行性	通常時の走行性
	歩行性	通常時の歩行性（歩行時の振動）
耐久性	耐疲労性	変動荷重（交通荷重）による疲労耐久性
	耐腐食性	防錆・防食性能
	材料劣化抵抗性	コンクリートの劣化
	修復性	損傷に対する修復の容易さ
社会・環境適合性	社会的適合性	構造物の社会的な重要度
	経済的合理性	LCC（コスト）, LCU（ユーティリティ）
	環境適合性	騒音・振動, 環境負荷（CO <sub>2</sub> 排出）等

“安全性”は生命・財産を脅かさないための性能と定義し、その性能項目には部材や構造全体系の耐荷力などの安全性、第三者への影響に対する安全性などがある。また、“使用性”は快適に構造物を利用するための性能であり、車両の走行性、歩行者の歩行性あるいは鉄道列車の乗り心地などの性能項目がある。“耐久性”については、安全性等の照査に含めるという考え方もあるが<sup>4)</sup>、設計供用期間を通じて構造物に必要なレベルの性能（安全性、使用性など）を確保することは極めて重要であり、この意味を明確にするためにも要求性能として位置付けることとしたい<sup>5)</sup>。耐久性は他の全ての要求

性能と関連しており、この性能項目には、疲労や鋼材の腐食に対する抵抗性、コンクリート床版の材料劣化に対する抵抗性などがある。“社会・環境適合性”は、現状の技術レベルでは定量的な照査は難しい面もあるが、重要な要求性能であると考えられる。今回の標準示方書では、現時点で適用可能な検討方法を記述するに留めるが、将来の技術の進歩に応じてより定量的な照査方法が適用できるように、要求性能として位置付けることを考えている。

#### 4. 鋼・合成構造標準示方書【設計編】における設計の基本

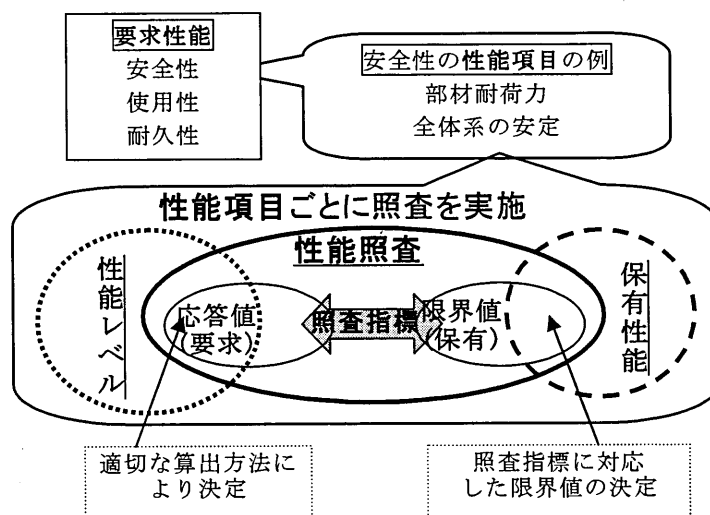


図-1 性能照査型設計の概念図

性能設計の基本な流れは、通常利用される安全性、使用性、耐久性を前提とすれば、図-1のように表現できる。一般に、性能照査型設計法では、基本となる要求性能に対応する複数の性能項目を、それぞれ適切な照査指標を用いて、要求される性能レベルから算出される応答値（要求性能）が、構造物の保有する限界値（保有性能）を超えないことを照査する。しかしながら、すべての性能項目が照査できる訳ではないことに注意する必要がある。

#### 5. 鋼・合成構造標準示方書【設計編】における章構成

設計部会では、前節までの要求性能を前提に、設計編の章構成を次のように決定した。この章構成は、2005年6月時点での案であり、慎重な審議の後、若干の変更がなされる可能性もある。

##### 設計全般に関する事項

- 第1章 総則
- 第2章 作用
- 第3章 材料
- 第4章 応答値の算定
- 第5章 部材の強度

##### 要求性能の照査に関する事項

- 第6章 安全性に対する要求性能および照査
- 第7章 使用性に対する要求性能および照査

第8章 耐久性に対する要求性能および照査

第9章 社会・環境適合性に対する要求性能および検討

構造物する一般事項

第10章 部材に関する一般事項

第11章 連結部に関する一般事項

第12章 骨組構造物に関する一般事項

第13章 板構造に関する一般事項

第14章 合成桁構造に関する一般事項

6. 鋼・合成構造標準示方書【設計編】の基本事項

まず、第1章の総則では、図-2のような用語の定義が準備されている。これらの多くは標準示方書の総則編に移行することになるが、従来部分安全係数と呼ばれていたものを、世界の流れにあわせて、部分係数と呼ぶことにした。

第1章 総則
1.2 用語の定義 (抜粋)
(2) 性能に関する用語
1) 要求性能：構造物がその目的を達成するために保有する必要がある性能を一般的な言葉で表現したもの。
3) 性能項目：要求性能を細分化したもので、性能項目ごとに照査指標が設定される。照査指標には、一般に、限界状態が規定される。
4) 性能レベル：構造物に要求される性能のレベル。要求性能それぞれに対して設定される。
6) 保有性能：構造物が実際に保有する性能。
(4) 照査に関する用語
1) 性能照査：構造物が性能規定を満足しているかの判定を行う行為。限界状態設計法の場合には、応答値と対応する限界値の間での判定を行う行為
2) 照査指標：性能項目を定量評価が可能な物理量に置き換えたもの。性能の照査に用いる。
3) 応答値 $S$ ：外力によって構造物に発生する物理量。
4) 限界値 $R$ ：応答値に対して許容される限界の値で、「限界状態」の種類によって定められる物理量。これを応答値が超過すると、要求性能を満足しないとされる。
5) 部分係数：設計の不確実性を考慮して、各設計変数に割り当てられた係数であり、荷重係数、材料係数、構造解析係数、部材係数、および構造物係数の5つの係数。

図-2 用語の定義 (抜粋)

性能照査式の一般形

照査方法としては、構造物の重要度や限界状態に達した際の社会的・経済的影響によって定める部分係数(構造物係数  $\gamma_i$ )を用いた基本照査式(1)によって行うことを基本としている。この式を用いる限り、設計用値としての  $S_d$  や  $R_d$  は、性能照査項目に応じて、荷重、断面力、応力、変位などが選ばれ、構造解析手法として線形解析と非線形解析が利用できる。しかしながら、設計計算では線形解析を用いることが一般的であり、部材の設計により性能照査が行われているとの現状認識にたてば、設計限界値  $R_d$  と設計応答値  $S_d$  の算出を含めて、部分係数法を用いた照査式(2)が便利である。

$$\gamma_i \frac{S_d}{R_d} \leq 1.0 \quad \dots \dots (1)$$

$$\gamma_i \cdot \frac{\sum \gamma_a \cdot S(\gamma_f \cdot F_k)}{R(f_k / \gamma_m) / \gamma_b} \leq 1.0 \quad \dots \dots (2)$$

ここに、 $\gamma_f$ 、 $\gamma_m$ 、 $\gamma_a$ 、 $\gamma_b$  はそれぞれ荷重係数、材料係数、構造解析係数、部材係数であり、これらは信頼性理論に基づき、特性値からの望ましくない方向への変動、計算における値の算出方法の不確

実性、荷重や実構造物・実材料などのばらつき等を考慮して定めるものである。

鋼・合成構造物あるいは構造部材の設計においては、これらの限界値が応答値を超える確率を要求された値以下にとどめることができるように鋼・合成構造物の形式・形状・寸法を決定するのが最も望ましいが、実務上はこれらの確率の算出が可能な場合は極めて少なく、現時点では無理とみなすのが一般的である。そこで、鋼構造物あるいは構造部材に要求される性能が満足されているか否かを照査する方法として、ここでは、部分係数を用いた照査式(2)を標準とした。

図-3に性能照査設計の流れ(図-1)に沿った各々の部分係数の役割に関する概念図を示す。

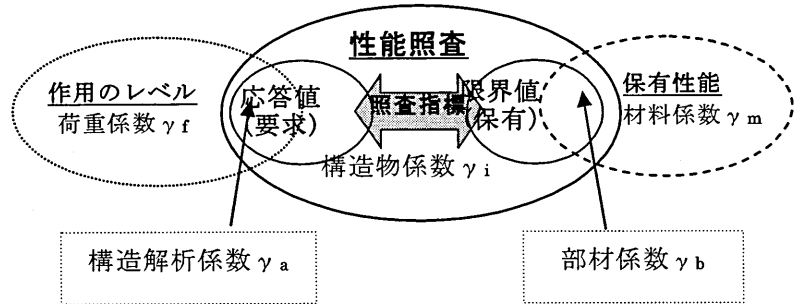


図-3 部分係数の役割 (概念)

### 作用と荷重の位置付け

性能照査型設計においては、算出される応答値が限界値を超えないことを照査するが、その応答値算出において構造物に影響を及ぼす働き全てを「作用」と称する。従来の設計法では、こうした働きを「荷重」と表現していたが、図-4の(3)に示すように荷重という言葉の定義としては力学的な力のみを示すことが適当であると考えられるため、この荷重を包括する用語として作用という言葉を用いる。図-4に作用の一般事項を、図-5に作用と荷重の位置付けを示す。

第2章 作用

2.1 一般

(1) 鋼構造物の設計では、施工中および設計供用期間中に発生する可能性のある作用を、照査すべき性能に応じてそれぞれ定めるものとする。

(2) 作用とは構造物または部材に応力、変形の増加、材料特性に経時変化をもたらす全ての働きであり、以下のものをいう。

- ・直接作用；構造物に集中あるいは分布して作用する力学的な力の総称
- ・間接作用；構造物に課せられる変形や構造物内の拘束の原因となるもの
- ・環境作用；構造物の材料を劣化させる原因となるもの

(3) 荷重とは、構造物に働く作用を、作用モデルを介して、断面力、応力または変位等の算定という設計を意図した計算の入力に用いるために、直接構造物に載荷する力学的な力の集合体に変換したものをいう。

図-4 第2章 作用 (抜粋)

作用の分類としては、対象に対する影響の及ぼし方によって「直接作用」「間接作用」「環境作用」に分けられる。このうち、直接作用は力学的な力の総称であり、荷重となる。間接作用については、それが応答値の算定プロセスにおいて力学的な力にモデル化される場合には荷重となるが、外部の変形や変位などを直接モデルに反映させる場合には荷重という表現ではなく、作用になる。

【作用】	
<p style="text-align: center;">【荷重】</p> <p>死（固定）荷重 活荷重 衝撃 風荷重 雪荷重 制動荷重、始動荷重 遠心荷重 etc.</p>	<p>温度変化の影響 支点移動、不等沈下の影響 地震の影響 塩分飛来 排気ガス コンクリートのクリープ・乾燥収縮 etc.</p>

図-5 作用と荷重の位置付け

## 作用の種類

作用は、頻度・持続性および変動の過程によって以下に分類される。

- ・ 永続作用；設計供用期間を通して絶えず生じる作用で、時間的変動が少ない作用。
- ・ 変動作用；設計供用期間の変動が平均値に比べて無視出来ない作用で、かつ単調な変化をしない作用。
- ・ 偶発作用；設計供用期間中にはまれにしか生じないが、一度生じると構造物に重大な損傷を及ぼすと考えられる作用。

また、作用はそれに対する構造物の応答の仕方によって以下のように区分することが出来る。

- ・ 静的作用；構造物もしくはその各部に無視出来ない振動を生じさせない作用
- ・ 動的作用；構造物もしくはその各部に衝撃もしくは無視出来ない振動を引き起こす可能性のある作用

構造物に影響を及ぼす作用について、これまでに示した観点から作用の種類を分類すると次のようなマトリクスにまとめることができる。

表-3 作用の種類

	直接作用	間接作用	環境作用
永続作用	(1) 死荷重 (2) 土圧 (3) 静水圧 (4) プレストレス力	(18) コンクリートの乾燥収縮 (19) コンクリートのクリープ	(23) 飛来塩分の影響 (24) 排気ガスの影響 (25) 大気中の有害成分の影響(CO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> 硫黄酸化物 etc.) (26) 乾湿条件 (27) 日射条件
変動作用	(5) 活荷重 (静的・動的・繰返し) a) 自動車荷重 b) 列車荷重 c) 群集荷重 (6) 衝撃 (静的・動的) (7) 流水圧 (静的・動的) (8) 浮力・揚圧力 (静的) (9) 風荷重 (静的・動的) (10) 雪荷重 (静的) (11) 制動荷重・始動荷重 (静的・動的) (12) 遠心荷重 (静的) (13) ロングレール縦荷重 (静的) (14) 車両横荷重および車輪横圧荷重 (静的) (15) 波圧 (静的・動的)	(20) 温度変化の影響 (静的) (21) 支点移動・不等沈下の影響 (静的)	(28) 凍結回数
偶発作用	(16) 施工時荷重 (17) 衝突荷重	(22) 地震の影響 (静的・動的)	(29) 火災の影響

これらの作用は確保する性能、検討する照査項目や部材等に応じ、適切に大きさを設定し、また組み合わされねばならない。直接作用や間接作用についてはこれまで各種規準や示方書等に述べられており、その設定方法には多くの知見がある。その一方で、耐久性に影響する環境作用についてはまだ不明確な点も多く、適用範囲や作用の大きさ等に関して実務に適用できる設定方法が確立されていないため、今後の研究成果が待たれるところである。

## 材料

鋼・合成構造物に使用する材料は、構造物および部材に対する要求性能を満足するために必要な特性を有するものでなければならない。求められる基本的な物性は図-6 に示すとおりである。

### 第3章 材料

#### 3.1 一般

##### 3.1.1 材料の物性に関する基本的事項

鋼・合成構造物に使用する材料は、その基本的な物性として以下を満たすものでなければならない。

- (1) 適切な強度と粘りを有すること
- (2) 供用期間中に生じる材質や特性の変化、劣化が予測できること
- (3) 地球環境に与える影響が小さいこと
- (4) 人や動植物に対して与える影響が小さいこと

図-6 第3章 材料 (抜粋)

## 応答値の算定

第4章で応答値 ( $S$ )、第5章で抵抗値 ( $R$ )について記述し、第6章以降で照査を行うことを想定して、第4章のタイトルを通常の「構造解析」から「応答値の算定」に変更した。

### 第4章 応答値の算定

#### 4.1 一般

- (1) 構造物または構造部材に生じる断面力、応力、変位量等の応答値の算出は、架設中および供用中に予想される全ての外的作用に対する構造物または構造部材の挙動を最も適切に評価できる解析理論および解析モデルを用いて行うものとする。
- (2) 適切な構造解析理論および構造解析モデルが存在しない場合は、解析を用いないものとする。この場合、実験により求められる構造物または構造部材の応答値を用いてよい。

図-7 第4章 応答値の算定 (抜粋)

## 部材の強度

部材の強度の項では、断面の分類を欧州の Eurocode<sup>6)</sup>の4分類と米国の AASHTO<sup>7)</sup>の3分類とを比較し、土木分野での使用を前提に、3分類を採用している。

### 第5章 部材の強度

#### 5.2 断面の分類

部材は、圧縮または曲げ、あるいはその両者を受ける断面要素の最大幅厚比、すなわちその部材の局部座屈に対する抵抗能力によって、以下のように分類する。

- (1) コンパクト：全塑性モーメントに到達することができる断面
- (2) ノンコンパクト：圧縮域の最縁端で降伏ひずみに到達するが、局部座屈の発生により全塑性には至らない断面
- (3) スレンダー：局部座屈の発生により圧縮状態で降伏に至らない断面

図-8 第5章 部材の強度 (抜粋)

## 7. あとがき

本文では、要求性能の照査に関する事項と構造物に関する一般事項については、紙面の都合上、具体的な条文の抜粋ができなかったが、これらの箇所では、解説を充実させて、最新情報の提供と説明性の向上を目指している。特に、耐久性の照査と社会・環境適合性の検討が、設計編の鍵になると考えている。

終わりに、本文の作成にあたっては、設計部会の「設計の基本 WG」の杉山俊幸主査をはじめ、池田学幹事、池田大樹幹事、秋元礼子幹事にお世話になりました。記して感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 国土交通省 土木・建築にかかる設計の基本検討委員会：「土木・建築にかかる設計の基本」，2002.10.
- 2) ISO: IS02394 “General Principles on Reliability for Structures” , 1998.3.
- 3) 土木学会設計コード策定基礎調査委員会：包括設計コード 第1版 PLATFORM ver.1, 2003.3.
- 4) 日本鋼構造協会土木鋼構造の性能設計に関する調査研究小委員会:土木鋼構造物の性能設ガイドライン, JSSC テクニカルレポート, 2001.10.
- 5) 土木学会 鋼構造委員会 鋼構造物の性能照査型設計法に関する調査特別小委員会:鋼構造物の性能照査型設計体系の構築に向けて, 2003.4.
- 6) CEN: Eurocode 3 Design of Steel Structures, CEN, 2003.3
- 7) AASHTO: AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, AASHTO, 1998.