

鉄道構造物等設計標準（鋼・合成構造物）改訂の要旨

杉本 一朗* 池田 学*

An outline of the revision of the Design Standard for Railway Structures (Steel and Composite Structures)

Ichiro SUGIMOTO Manabu IKEDA

The new Design Standards for Railway Structures, which is a revised edition of the current standard as published in 1992, has been entirely established incorporating the performance based design method. This design standard includes new structural analysis methods, accuracy improvement of verification methods, and other pertinent methods. This paper reports an outline of the new design standard.

キーワード：鉄道構造物等設計標準，鋼・合成構造物，性能照査型設計法

1. はじめに

「鉄道構造物等設計標準・同解説（鋼・合成構造物）」（以下、鋼・合成構造物設計標準という）は鉄道土木構造物の中の鋼・合成構造物の設計に関わる基準として位置づけられている。

現行の設計標準は、平成4年10月に制定され、許容応力度設計法から限界状態設計法への移行が行われた。そして、多くの鋼・合成構造物の設計に利用されてきた。この間、基準を取り巻く状況にも変化が見られると共に、鋼・合成構造物に関する多くの研究開発により、新たなニーズも高まってきた。

基準を取り巻く状況においては、平成13年に、国の技術基準である「鉄道に関する技術上の基準を定める省令」¹⁾（国土交通省令第151号）の中で、従来の仕様規定型から性能規定型への改正が謳われた。これを受けて、平成16年には、「鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物）」（以下、コンクリート標準という）が性能規定型の設計標準に改められた。そして、鋼・合成構造物の設計標準に関しても、関連する法令や基準類との整合を図るため、同様の設計体系への移行が求められていた。なお、耐震設計に関しては、兵庫県南部地震を踏まえて平成11年に、変位制限に関しては平成18年に、それぞれ制定され、従来の設計標準に規定されていた耐震および変位制限に関する条項は廃止されている。また、鋼・合成構造物に関する研究開発においては、高耐候性鋼材の適用や連続合成桁の適用など、新たな材料や構造形式の検討が進められ、従来の設計標準に対する改訂が求められていた。

このような状況から、国土交通省の指導のもと、平成16年4月に、「鉄道鋼・合成構造物設計標準に関する委員会」（委員長：依田照彦 早稲田大学教授，幹事長：館石

和雄 名古屋大学教授）が設けられた。そして、4年間にわたる審議を重ねた後、平成19年度末をもって新たな「鉄道構造物等設計標準（鋼・合成構造物）」の成案を得た。

以下、新設計標準の主な改訂の要旨を紹介する。

2. 鋼・合成構造物編の改訂の要旨

今回の改訂における主な変更点は以下の通りである。

- ①構造計画，設計，施工および維持管理の一連の性能照査体系の構築
- ②多種多様化する構造物への適用性拡大
 - ・鋼材の厚板や高性能鋼材などの適用
 - ・連続合成桁，複線合成桁，水平力分散（免震）構造などの適用
- ③技術レベルの向上に伴う個々の照査法の精度向上
 - ・耐疲労性の照査法の見直し
 - ・合成桁の設計法の充実
 - ・支承部の設計法の充実
- ④耐久性の明確化
 - ・設計時に耐久性を意識し，耐久性のより優れた構造の推奨
- ⑤大規模地震対応の照査法の導入
 - ・橋脚や支承部の照査法の見直し（現行耐震設計標準より）

表1に新設計標準の目次構成と概要を示す。今回の改訂にあたり、鋼構造物と合成桁の照査における共通の事柄に関しては共通編として整理した。そして、第I編「共通編」、第II編「鋼構造物編」、第III編「合成桁編」の3つに分けた。さらに、参考資料として、構造計画編と施工編を作成した。構造計画編は、従来の設計標準の建築限界の規定を含め、鋼構造物および合成桁の構造計画時

* 構造物技術研究部（鋼・複合構造）

特集：鋼・合成構造物の設計技術

表1 新設計標準の目次構成と概要

	目次	概要
第I編 共通	1章 総則	適用の範囲、用語の定義、記号に関する基本事項
	2章 設計の基本	設計の基本、設計耐用期間などの設計に関する基本事項
	3章 構造物の要求性能と性能照査	鋼・合成構造物の要求性能、性能項目の例、性能照査の原則、安全係数など性能照査に関する基本事項
	4章 作用	作用の種類、作用の特性値、設計作用の組み合わせなど作用に関する基本事項
	5章 材料	材料の選定、材料の品質、材料の設計値、接合用鋼材の特性値などに関する基本事項
	6章 付帯設備および付属物	付帯設備に関する基本事項
第II編 鋼構造物	1章 応答値の算定	鋼構造物のモデル化、設計応答値の算定方法などに関する事項
	2章 安全性の照査	耐荷性、安定性、耐疲労性、走行安全性、公衆安全性の照査に関する事項
	3章 使用性の照査	乗り心地、外観、騒音・振動の照査に関する事項
	4章 復旧性の照査	部材の損傷に関する復旧性、軌道の損傷に関する復旧性、構造物の安定に関する復旧性の照査に関する事項
	5章 耐久性の検討	耐腐食性に関する事項
	6章 部材	部材に特有な事項
	7章 連結部	連結部に特有な事項
	8章 構造物（鋼構造物）	各鋼構造物種別に応じた特有な事項
	9章 支承部	支承部の設計、照査に関する事項
第III編 合成桁	1章 応答値の算定	合成桁モデル化、設計応答値の算定方法などに関する事項
	2章 安全性の照査	耐荷性、安定性、耐疲労性、走行安全性、公衆安全性の照査に関する事項
	3章 使用性の照査	乗り心地、外観、騒音・振動の照査に関する事項
	4章 復旧性の照査	部材の損傷に関する復旧性、軌道の損傷に関する復旧性、構造物の安定に関する復旧性の照査に関する事項
	5章 耐久性の検討	耐腐食性に関する事項
	6章 部材および構造物	合成桁の部材および構造物に特有な事項（支承部は第II編9章による）

に検討あるいは留意すべき事項の要点をまとめたものである。施工編は、従来の製作標準の内容をもとに、現在の工場製作の方法や技術レベルなどを考慮して見直し、さらに支承や現場施工に関する内容を新たに追加したものである。これにより、個々の記載レベルに差はあるものの、構造計画、設計および施工が鋼・合成構造物設計標準に、維持管理が「鉄道構造物等維持管理標準・同解説（鋼・合成構造物）」に盛り込まれ、一連の性能照査体系の基礎が構築された。

3. 第I編 共通編について

3.1 構造物の要求性能と性能照査

新設計標準では、鋼・合成構造物の要求性能として、安全性、使用性、復旧性、耐久性を定めることとした。これは、先に刊行されたコンクリート標準や土木学会鋼・合成構造標準示方書²⁾を参考に定めたものである。

これら以外にも、設計の段階においても、施工や維持管理が確実にかつ可能な範囲で容易に行える構造を目指すことが重要であるため、施工性や維持管理性などの要求性能も必要に応じて定めることとした。

なお、耐久性に関しては、コンクリート標準では独立した要求性能として扱っていないが、鋼・合成構造物で

は、設計耐用期間にわたり必要な性能を維持すること、すなわち健全な状態で長持ちさせることが極めて重要であることから要求性能として明確に位置付けた。この考え方は、土木学会鋼・合成構造標準示方書も同様である。

新設計標準の要求性能と性能項目・照査指標の例を表2に示す。

鋼・合成構造物の性能照査は、施工中および設計耐用期間内の性能の経時変化を考慮して、設定された要求性能を満足することを確かめることにより行う。照査式は、一般に、式(1)に示す通りである。

$$\gamma_i \cdot I_{Rd} / I_{Ld} \leq 1.0 \quad (1)$$

ここに、 I_{Rd} ：設計応答値
 I_{Ld} ：設計限界値
 γ_i ：構造物係数

安全係数に関しては、従来の限界状態設計法と同様に5つの部分安全係数（作用係数、構造解析係数、材料係数、部材係数および構造物係数）を採用することとした。図1に照査の基本的な流れを示す。

3.2 作用

新設計標準では荷重を「作用（Action）」と改めた。これは、平成14年10月に国土交通省より示された技術の国際的な標準化を目的とした「土木建築にかかる設計の

表2 要求性能と性能項目・照査指標の例（鋼構造物の場合）

要求性能	性能項目	照査指標または検討項目の例	考慮する作用
安全性	耐荷性	断面力, 応力度, 板要素の幅厚比	<ul style="list-style-type: none"> 設計耐用期間中に生じるすべての作用およびその繰り返し 発生頻度は少ないが影響の大きい偶発作用
	安定性	桁の転倒モーメント, 上揚力, 変位・変形	
	耐疲労性	応力度	
	走行安全性	変位・変形, 振動数	
	公衆安全性	ボルト強度 (遅れ破壊)	
使用性	乗り心地	変位・変形, 振動数	<ul style="list-style-type: none"> 設計耐用期間中に比較的しばしば生じる大きさの作用
	外観	塗装系の選定 (塗装) 初期錆汁対策 (無塗装)	
	振動・騒音	振動レベル, 振動対策 騒音レベル, 騒音対策	
復旧性	部材の損傷に関する復旧性	変位・変形, 断面力, 応力度	<ul style="list-style-type: none"> 設計耐用期間中に生じる発生頻度は少ないが影響の大きい偶発作用
	軌道の損傷に関する復旧性	変位・変形, 応力度	
	構造物の安定に関する復旧性	変位・変形, 断面力, 応力度	
耐久性	耐腐食性	腐食環境と塗装仕様	<ul style="list-style-type: none"> 設計耐用期間中に生じる環境の影響

基本³⁾」をはじめ、最近の国内外の各種基準類との整合を図ったものである。なお、荷重は作用の一つとして位置づけられる。

新幹線荷重については、新幹線構造規則の廃止に伴い、N標準活荷重およびP標準活荷重を本文から解説へ移した。そして、新たに新幹線用標準列車荷重としてH荷重を追加した。このH荷重は、JR社において標準的に使用されている25m長車両の軸配置を基本モデルとしたものである。なお、新幹線が在来線と直通運転を行う場合等には、M荷重等、適切な列車荷重を別途定める必要がある。

衝撃荷重については、桁剛性を制限することを前提に、従来の設計標準通りの算定式を用いる。この算定式の適用は列車速度300km/hまでで、これを超える高速域ではコンクリート標準を参考にするか、または別途シミュレーション解析により算定することとした。

レーション解析により算定することとした。

作用の組み合わせに関しては、施工中および設計耐用期間中に想定される作用（永久作用、変動作用、偶発作用）を、要求性能に応じて適切に考慮することとした。

3.3 材料

従来、材料に関しては仕様規定的な表現であったが、新設計標準では、JISに定められた材料であれば従来通り使用できるものとした。そして、Ni系高耐候性鋼材、電炉鋼などの材料も、使用部位・部材における種々の特性を満足することを試験等により確認すれば、適用が可能となるようにした。

鋼材の適用板厚に関しては、従来の設計標準では50mmまでとしていたが、厚板使用に関するニーズや道

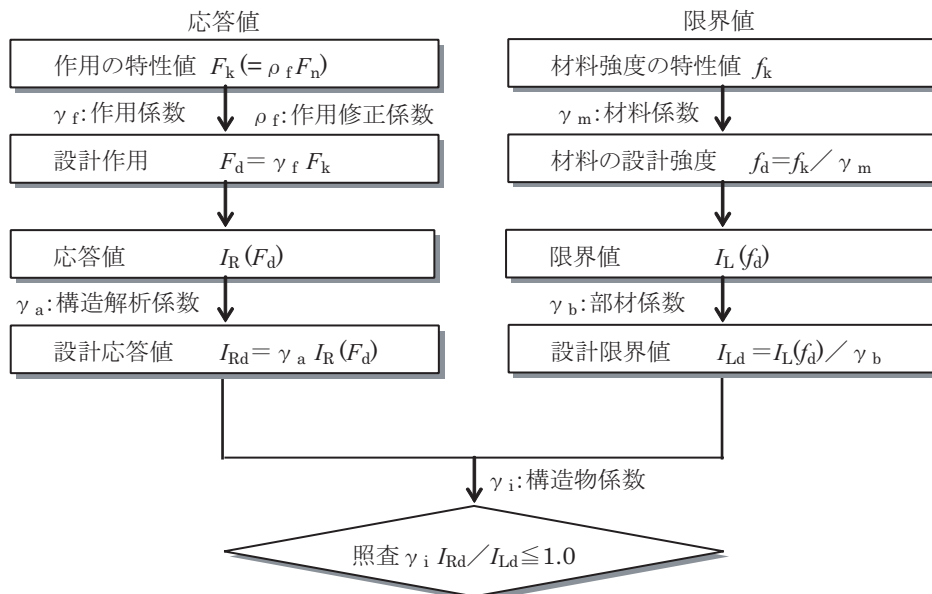


図1 照査の基本的な流れ（応答値と限界値の関係）

特集：鋼・合成構造物の設計技術

路橋での実績、製作時の品質管理精度等を考慮して、75mmまで適用範囲を拡大した。これに伴い、疲労強度や製作時の規定を一部見直した。

4. 第Ⅱ編 鋼構造物について

4.1 応答値の算定方法

構造解析による応答値の算定方法に関して、構造物のモデル化、解析方法、および安全性、使用性、復旧性の照査および耐久性の検討に用いる応答値の算定方法を新たに記述した。

従来の設計標準では、弾性微小変位解析を基本として非線形解析は時期尚早であるとしていたが、各種鋼構造にも幅広く適用できるように種々の解析手法（FEM解析、骨組解析）の採用が可能となるようにした。その中で、耐震標準も考慮して要求性能に応じて、適宜、非線形解析を適用できるようにした。

4.2 鋼部材の耐荷性の照査

鋼部材の耐荷性の照査においては、従来の設計標準の終局限界状態における鋼部材の耐力や板要素の照査を、安全性の中の性能項目と位置付けた。

従来の鋼部材の耐力の算定法では、鋼材の設計強度に座屈の影響が考慮されていた。このため、本来の限界状態の照査とは言い難い面があり、種々の鋼材への適用も困難であった。そこで、全体座屈や局部座屈の影響を材料強度ではなく耐力算定時に考慮することとし、材料種別に依存せずに耐荷力の評価が可能となるようにした。

4.3 疲労の照査

構造物の設計耐用期間は、構造物に要求される供用期間、維持管理の方法および環境条件等を考慮して定める。通常の場合、適切な検査等の維持管理がなされるという前提で、100年（従来の設計標準では、在来線60年、新幹線70年を疲労の照査における標準的な設計耐用期間としていた）を設計耐用期間の一つの目安とした。これに基づいて、疲労の照査方法を一部修正した。また、複線が載荷する桁における、疲労に対する同時載荷の影響に関しても新たな評価方法を提案した。

4.4 支承部

近年、支承部に関しては、大規模地震に対する照査によって、構造や各寸法が決定するケースが多い。併せて、地震時水平力分散ゴム支承や免震支承など、従来の設計標準に定められていない支承を用いるケースも増えている。

このようなことから、新設計標準では、支承部の照査を全面的に見直すこととし、耐震標準と同様に、支承本体、移動制限装置、落橋防止装置および桁座・桁端に区分し、

個々に求められる要求性能を定めて照査する構成とした。

さらに、水平力分散ゴム支承や免震支承の照査法や細目なども新たに記載した。このうち、免震設計については、耐震設計標準と同様に、エネルギー吸収による減衰等の免震効果を設計上の余裕代としたが、免震設計を適用できるように配慮して記述した。

5. 第Ⅲ編 合成桁について

最近の合成桁は、複線を支持する箱形断面の合成桁や、連続桁形式の合成桁など、従来とは異なる合成桁の形式が採用されるケースが増えている。これに伴い、ずれ止めも様々なものが用いられている。

従来の設計標準では、主桁がI断面の単純合成桁を主として対象としており、最近の合成桁の設計には直接適用できない点も多く生じていた。そこで、「第Ⅱ編 鋼構造物」と同様に性能照査体系の照査方法を採用し、さらに箱形断面の合成桁や連続合成桁等の最近の多様な構造形式の合成桁に適用できるように見直しを図った。なお、合成桁編では、合成桁に関わる照査のみ記載することとして、鋼桁の照査や支承部の照査は、「第Ⅱ編 鋼構造物」によることとした。

おわりに

以上、新設計標準の要旨について述べた。この他、照査に関する基本的な考え方や、各種検討に用いた資料を付属資料および手引き等にまとめている。また、本検討に基づいた照査例およびプログラムを別途整備している。今後、これらの資料を利用することによって、多くの鉄道事業者に利用されるよう普及に努めていく予定である。

謝辞

新設計標準の作成および審議にあられた「鉄道鋼・合成構造物設計標準に関する委員会」の委員長・幹事長をはじめ、委員・幹事・WG等の関係者各位の長期間にわたるご尽力に対して、ここに深甚なる謝意を表す。なお、本検討は、国土交通省からの委託を受けて実施した「鉄道技術基準整備のための調査研究」の一環として行ったものである。

文献

- 1) 国土交通省：鉄道に関する技術上の基準を定める省令、国土交通省令第151号、2001.12
- 2) 土木学会：鋼・合成構造標準示方書〔総則編、構造計画編、設計編〕、土木学会、2007.3
- 3) 国土交通省：土木・建築にかかる設計の基本、2002.10