

鉄道構造物等設計標準・同解説（鋼・合成構造物）の改訂概要

小林 裕介*

Overview of Revised Design Standard and Commentary for Railway Structure (Steel and Composite Structures)

Yusuke KOBAYASHI

Design Standard and Commentary for Railway Structures (Steel and Composite Structures) was revised in March of 2024. The revision not only reorganizes the previous design standards established mainly for each type of structure and material, but also introduces the latest verification techniques to make the design standards easier to use. The application of the revised design standard to design work will lead to realizing superior railway structures. This paper shows the overview of the revised Design Standard and Commentary.

キーワード：設計標準，鋼構造物，合成構造物，橋りょう

1. はじめに

「鉄道構造物等設計標準・同解説（鋼・合成構造物）」¹⁾（以下，鋼・合成標準）が，性能照査型設計法への移行を目的として2009年（平成21年）に改訂されて以降，10年以上が経過し，鋼構造や合成構造に関する材料，部材の耐力評価方法，応答値の算定方法など，様々な研究，技術開発がなされてきており，これらを鉄道構造物等設計標準（以下，設計標準）に反映していくニーズが高まっていた。くわえて，「鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造）」²⁾（以下，コンクリート標準）の改訂において，設計標準全体の体系の再編を目指して設計標準の構成を3層構造としており³⁾，鋼・合成標準でもその構成に従った設計標準に改訂する必要があった。

このような状況を踏まえ，国土交通省からの委託で「鋼・合成構造物の設計に関する委員会」を設立し（委員長埼玉大学 奥井教授），2020年度から2年間にわたり審議を重ねた。その後，2024年（令和6年）2月に「鉄道構造物等設計標準（鋼・合成構造物）」が通達され，同年3月に改訂した鋼・合成標準⁴⁾を発刊した。本稿では，改訂した鋼・合成標準（以下，改訂標準）の概要について紹介する。

2. 鋼・合成構造物の設計標準の変遷

日本の鉄道は，1872年（明治5年）に新橋－横浜間の開業で始まり，1912年（明治45年）2月には国有鉄道最初の示方書である「鋼鉄道橋設計示方書（達第111号）」

が制定された。この内容は，米国鉄道技術協会（American Railway Engineering Association，略称A.R.E.A. 1910年）のものを一部改訂補足したものとなっている。その後，何回かの改訂を経て1956年（昭和31年）9月の「鋼鉄道橋設計示方書（達第630号）」に至る。この示方書以降，2009年の鋼・合成標準までの制定・改訂の経緯を図1に示す。

1970年（昭和45年）4月には，①「鋼鉄道橋設計示方書」（昭和31年9月，達第660号），②「高張力鋼鉄道橋設計示方書（案）」（昭和34年7月），③「溶接鋼鉄道橋設計示方書（案）」（昭和35年7月）を統合，再検討のうえ，「建造物設計標準（鋼鉄道橋）」を制定した。1974年（昭和49年）3月に，SM58材に関する項目を追加する形で改訂した後，1983年（昭和58年）4月に，「全国新幹線網建造物設計標準（東北，上越，成田用）」（昭和47年6月）に規定されていた新幹線に関する事項を取り込み，かつ内容を見直して改訂した。この改訂時には，1978年宮城県沖地震に代表される被害を契機に定められた「耐震設計指針（案）」（昭和54年9月）の内容についても取り入れている。

一方，合成桁については，1963年（昭和38年）3月に，「合成桁鉄道橋設計示方書（案）」がまとめられ，1974年（昭和49年）3月に「建造物設計標準（鋼とコンクリートの合成鉄道橋）」が制定された。さらに，1983年（昭和58年）4月に鋼鉄道橋の設計標準と同時に改訂された。

国鉄が分割民営化されて最初に制定されたのが，「鉄道構造物等設計標準・同解説（鋼・合成構造物）」（平成4年10月⁵⁾である。この設計標準は，国鉄の「建造物設計標準（鋼鉄道橋，鋼とコンクリートの合成鉄道橋）」

* 構造物技術研究部 鋼・複合構造研究室

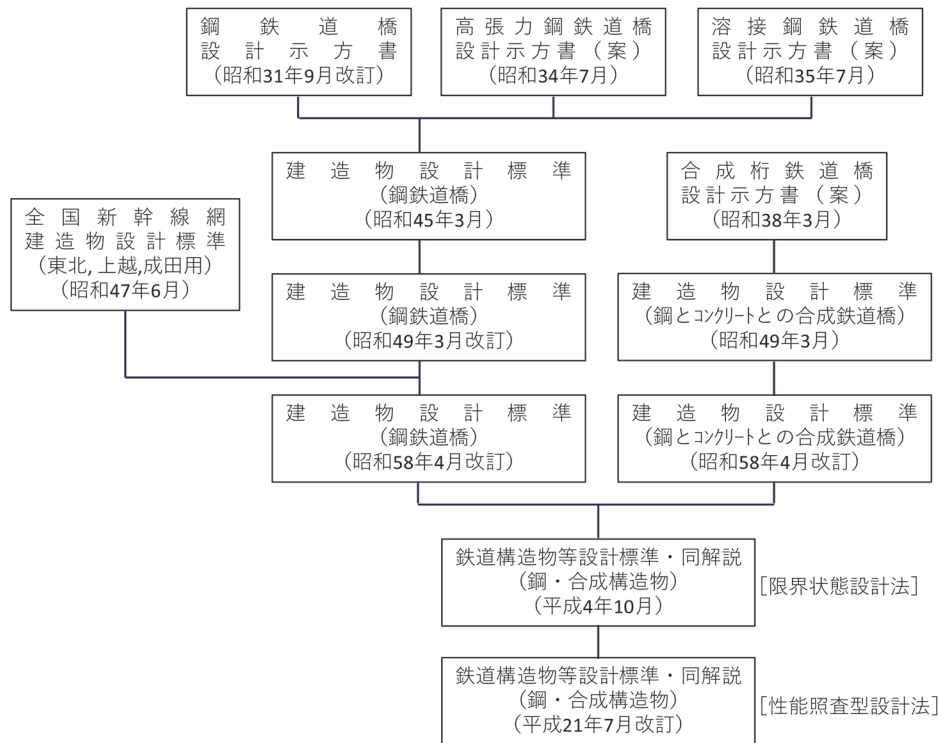


図1 鋼・合成構造物に関する設計標準制定改訂の経緯

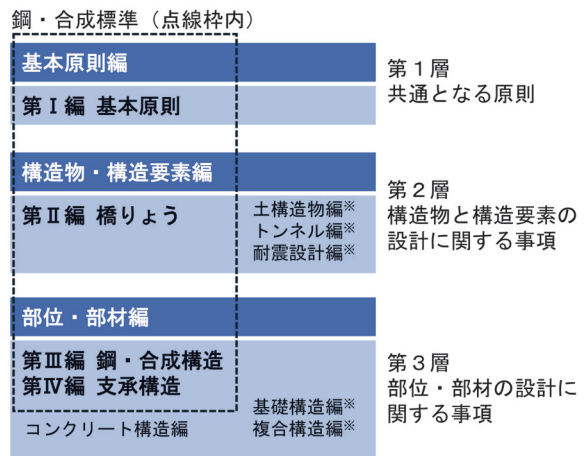
(昭和58年4月)をベースとし、日本の全鉄道事業者への適用の拡大を図った。設計体系としても大きな転換を図っており、それまでの許容応力度を基本としていた設計法の代わりに、鉄道以外の分野に先駆けて限界状態設計法を取り入れた。また、鋼構造物の工場製作に関する規定も設けた。従来、日本国有鉄道規格(JRS)の体系の中に定められていた事項を、設計と表裏一体をなすものとして、設計標準の中で示したというものである。

この設計標準は、冒頭にも記載したとおり、性能照査型設計法に移行する形で2009年(平成21年)に改訂し、さらに今回の改訂に至っている。

3. 改訂標準の全体構成と要求性能

3.1 全体構成

橋りょう、土構造物、トンネル等の鉄道構造物は鉄道システムを構成しており、これらの設計の考え方や要求性能の設定、照査等の基本的事項は共通であることが望ましい。そこで、コンクリート標準改訂において、設計標準が対象とするすべての鉄道構造物の設計における基本的事項をまとめた基本原則編(第1層)が制定されている。また、基本原則を各構造物の設計に関して具現化した事項として、構造物と構造要素の設計に関する事項を示すための構造物・構造要素編(第2層)が、さらに設計に必要な材料・構造特有の事項として、構造要素を構成する部位・部材の設計に関する事項を示す部位・部



※今後、改訂予定の設計標準

図2 設計標準の3層構造

材編(第3層)が制定されている(図2)。このような3層構造とする利点としては、鉄道システムを構成する様々な鉄道構造物の設計の考え方を統一できること、設計標準の対象が明確になり、設計実務の利便性が向上すること等があげられる。

鋼・合成標準においても、この3層構造のもとに以下の通り構成されている。

「第1編 基本原則」：要求性能や設計耐用期間など、鉄道構造物の設計に対し共通となる事項を規定³⁾。

表 1 鋼・合成標準の構成

基本原則編	構造物・構造要素編	部位・部材編	
第Ⅰ編 基本原則	第Ⅱ編 橋りょう	第Ⅲ編 鋼・合成構造	第Ⅳ編 支承構造
1章 総則 2章 設計の基本 3章 要求性能 4章 構造計画および調査 5章 照査 6章 作用 7章 材料および地盤 8章 構造解析 9章 安全性の照査 10章 使用性の照査 11章 復旧性の照査	1章 総則 2章 設計の基本 3章 構造計画 4章 調査 5章 作用 6章 材料および地盤 7章 構造解析 8章 安全性の照査 9章 使用性の照査 10章 復旧性の照査 11章 コンクリート橋 12章 鋼橋・合成桁	1章 総則 2章 適用の要件 3章 耐久性に関する検討 4章 材料 5章 構造解析 6章 照査に関する一般事項 7章 構造計算に関する一般事項 8章 部位・部材の一般事項 9章 連結部の一般事項	1章 総則 2章 適用の要件 3章 耐久性に関する検討 4章 材料 5章 構造解析 6章 照査に関する基礎的事項 7章 構造計算に関する一般事項 8章 ゴム支承とストッパーを用いた支承部の照査 9章 鋼製支承を用いた支承部の照査 10章 水平力分散構造および免震構造の支承部の照査
		鋼・合成構造に特有の事項	

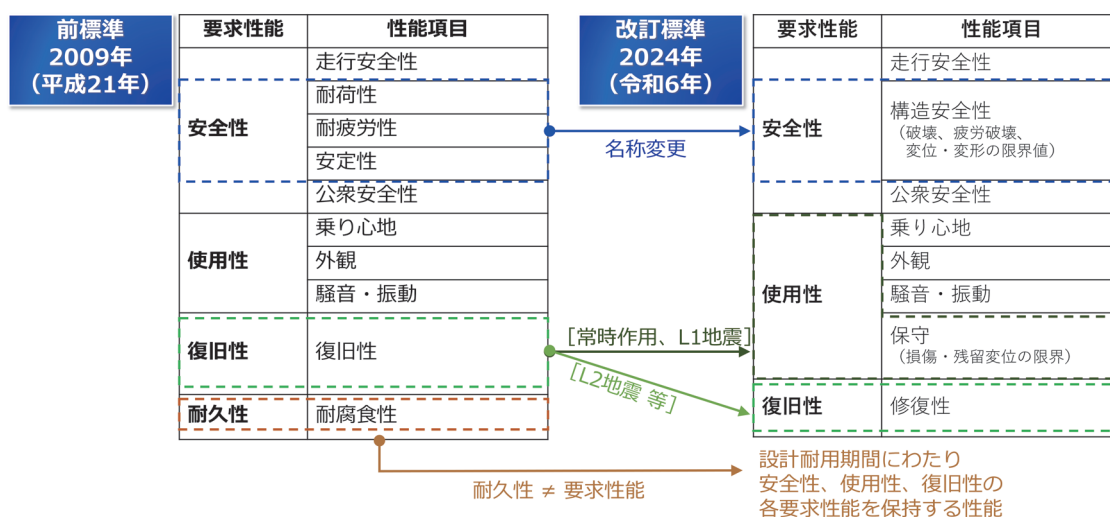


図 3 要求性能と性能項目の変更

「第Ⅱ編 橋りょう」：第Ⅰ編に基づき、橋りょうの構造計画や作用、構造解析、照査の方法等を規定⁶⁾。

「第Ⅲ編 鋼・合成構造」：第Ⅰ編および第Ⅱ編に基づき、鋼・合成構造の部位・部材ごとに適用の要件、具体の照査式、応答値、限界値等を規定。

「第Ⅳ編 支承構造」：第Ⅰ編および第Ⅱ編に基づき、橋りょうの支承部の適用の要件、応答値、限界値等を規定⁷⁾。

3.2 鋼・合成標準の構成

鋼・合成標準の構成と各編の目次を表1に示す。「第Ⅰ編 基本原則」, 「第Ⅱ編 橋りょう」の1章~11章, 「第Ⅳ編 支承構造」は、2023年(令和5年)のコンクリート標準と同様の内容となっており、今回、「第Ⅱ編 橋りょう」の12章と「第Ⅲ編 鋼・合成構造」を、鋼・合成構造に特有の事項として新規に取りまとめた。

なお、2009年の鋼・合成標準の支承部の内容は、「第Ⅳ編 支承構造」に取り入れられており、鋼製支承に密閉ゴム支承板支承が追加されている⁷⁾。

「第Ⅲ編 鋼・合成構造」は、前述のとおり主に部位・部材の設計に関する事項となっているが、例えば「桁の転倒・浮上りに対する構造安全性の照査」のような構造全体に関する照査でも、鋼・合成構造に特有の事項であれば「第Ⅲ編 鋼・合成構造」で扱っている。

3.3 要求性能、性能項目

性能照査型設計法では、最新の技術の導入や個別事情に応じた対応がしやすく、くわえて構造物の性能が数値的に明示されるといった利点がある。改訂標準においても、この性能照査型設計法は踏襲している。ただし、要求性能、性能項目について、一部その扱いなどを変更した。

大きな変更点3つを図3に示す。1つ目の変更点は、安全性の性能項目で、耐荷性、耐疲労性、安定性と区分

していたものを、改訂標準では構造安全性に統一し、部位・部材の限界状態（破壊等）で細分化した。2つ目は復旧性について、常時の作用やしばしば生じる地震の影響などに対しては、通常の保守作業範囲で橋りょうを正常に使用するという解釈に基づき、要求性能を使用性、性能項目を保守という区分に変更した。3つ目は耐久性で、2009年（平成21年）の鋼・合成標準では要求性能として扱っていたが、耐久性を「設計耐用期間にわたり安全性、使用性、復旧性の各要求性能を保持する性能」という位置づけとし、要求性能という扱いからは外した。

4. 「第Ⅲ編 鋼・合成構造」の各章の概要と主な改訂内容

ここでは「第Ⅲ編 鋼・合成構造」の各章の概要と主な改訂内容について示す。章構成については表1を参照されたい。

4.1 総則（1章）

設計標準の新たな体系における「第Ⅲ編 鋼・合成構造」の位置付けや適用範囲、各章の記載事項と役割、用語の定義等について示している。

4.2 適用の要件（2章）

2章では、「第Ⅲ編 鋼・合成構造」に示した標準的な照査方法を用いる場合に従う必要のある部材の要件を示している。具体には、材料の選定や品質、部材の構造細目、設計で前提とする施工や維持管理の条件を示している。なお、構造細目については、部位・部材全般に共通する事項は本章に示し、各部材特有の事項は「8章 部材の一般事項」、溶接継手やボルト継手に関する事項は「9章 連結部の一般事項」に示した。2章における主な改訂内容を以下に示す。

4.2.1 橋梁用高降伏点鋼板（SBHS）の適用方法

橋梁用高降伏点鋼板（SBHS）は、高強度でかつ溶接性などに優れた鋼材であり、特に長大橋に適用することで鋼重低減効果が得られる。改訂標準では、SBHS400とSBHS500を本編に適合する鋼材として追加した。また、関連する章の解説に、安全係数、最大幅厚比、疲労強度などの記載を充実させ適用しやすくした。

4.2.2 海外製等の実績のない鋼材の適用時留意点

設計標準における事項は、鋼材がJIS規格で担保されている特性や品質を有していることを必要条件としているが、国内の鋼鉄道橋で使用された実績からも成り立っているのが実情である。したがって、例えば初めて海外から入手した鋼材に対しては、JIS規格を満たしている事を確認することにくわえて、国内で使用実績のある鋼材と同等の特性や品質を有していることを確認する必要

がある。特に高力ボルトについては、JISに遅れ破壊の規定がないため、その点に留意が必要である。改訂標準では、これらの留意点を解説に示した。

4.3 耐久性に関する検討（3章）

設計標準では、応答値および限界値の経時的な変化を考慮して照査することを基本としている。ただし、設計耐用期間中に生じる材料劣化が橋りょうの性能に影響しない軽微な範囲に留まることを確認した場合、経時的な変化を考慮しない照査方法を用いることができる。

「第Ⅲ編 鋼・合成構造」では、経時的な変化を考慮しない照査方法を示している。このため、「3章 耐久性に関する検討」には、材料劣化を軽微な範囲に留めるための検討方法を示した。鋼・合成構造においては、材料劣化として鋼材の腐食、コンクリートの劣化を対象としている。

なお、「3.3 要求性能、性能項目」で示したとおり、改訂標準では耐久性は照査を行う要求性能とせずに、また前述のとおり、耐久性に関する検討の位置付けについて表現などを多少変更した。ただし、実質的な位置付けは同じであり、設計実務における検討内容は変えていない。

4.4 材料（4章）

4章では、設計で用いる材料（構造用鋼材、接合用鋼材、鉄筋、コンクリート、ずれ止め）の材料強度等の特性値および設計値等を示している。4章における主な改訂内容を以下に示す。

4.4.1 高力ボルト摩擦接合のすべり係数

これまで高力ボルト摩擦接合継手の接触面処理は、鋼素地と厚膜型無機ジンクリッチペイントに限っており、そのすべり係数は0.40としていた。今回の改訂では、接触面処理自体は限定せず、その処理に応じたすべり係数を選択することとし、摩擦接合継手の設計に自由度を持たせた。また、厚膜型無機ジンクリッチペイントを塗布した場合のすべり係数を、近年の研究成果^{8) 9)}を反映し0.45に変更し、従来と比べて継手に必要なボルト本数を削減できるようにした。

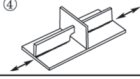
4.4.2 現場溶接部の強度特性値

現場溶接は、工場と同等の溶接品質が確保できない場合、原則として適用しない旨に変更した。これに伴い、従来の現場溶接部の強度特性値を母材の強度特性値の90%とする規定は削除した。これは、近年、現場での施工管理・品質管理が工場と同等に行われているという実情を考慮している。

4.5 構造解析（5章）

5章では、解析手法の選定や部材のモデル化の方法と、鋼構造および合成構造特有の作用のモデル化の取り扱い

(c) 縦方向溶接継手

継手の種類		強度等級	備 考
④スカラップを含む縦方向溶接継手をもつ母材	(1) 止端仕上げ	F	④ 
	(2) 非仕上げ	G	

(e) ガセット溶接継手 (付加板を溶接した継手を含む)

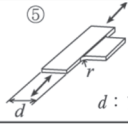
継手の種類		強度等級	備 考
面内ガセット ⑤フィレットを有するガセットを完全溶込み開先溶接した継手	(1) $1/3 \leq r/d$ あるいは $r \geq 200 \text{ mm}$	D	⑤  d : フランジ等の全幅
	(2) $1/5 \leq r/d < 1/3$	E	
	(3) $1/10 \leq r/d < 1/5$	F	

図4 改訂した継手の種類と強度等級 (鋼・合成標準 表6.4.8の抜粋)⁴⁾

等について示している。作用のモデル化については、主に、衝撃荷重、風荷重、温度変化の影響、およびコンクリートの収縮・クリープの影響について示している。5章における主な改訂内容を以下に示す。

4.5.1 FEM解析

鋼構造では、例えば座屈や疲労において、局部応力を考慮することで、より高度な照査を行うことが可能となる。局部応力は、FEM解析においてシェル要素やソリッド要素を用いてモデル化することで再現することができる。改訂標準では、FEM解析を用いた照査に必要なシェル要素やソリッド要素について、要素分割や拘束条件などの留意点を記載した。

4.5.2 衝撃係数の算定法

これまでの鋼・合成標準では、衝撃係数の算定については、簡便な算定式が用いられていたが、今回の改訂では、2004年(平成16年)のコンクリート標準¹⁰⁾で用いられていた衝撃係数の算定式を「第Ⅱ編 橋りょう」に規定し、これを橋りょう共通の衝撃係数の算定式とした。なお、従来の簡便な算定式については、適用条件を明確にし、その範囲内であれば使用できることとしている。

また、整備新幹線等において連続桁の使用実績が増えていることを踏まえ、改訂標準には連続桁の衝撃係数の算定法についても新たに示した。

4.6 照査に関する一般事項 (6章)

6章では、鋼構造および合成構造の部位・部材等の照査とそれに用いる設計限界値の算定等の一般的な方法を示している。具体には、後述する「7章 構造計算に関する一般事項」で算定した設計応答値が、本章で算定した設計限界値を上回らないこと、すなわち部位・部材が設定された限界状態に至らないことを確認する一連の流れを示している。以下、本章での主な改訂内容を示す。

4.6.1 照査式の変更

2009年(平成21年)の鋼・合成標準では、式(1)で示すような照査式を幾つか用いており、照査において構

造物係数 γ_i を2乗で考慮していた。改訂標準では、照査値(左辺の計算結果)に含まれる造物係数 γ_i による安全余裕が、全ての照査式で同一となるよう、式(2)で示すような造物係数 γ_i に2乗がかからない照査式に変更した。ただし、この変更によって、照査結果としてのOK/NGは変わらない。なお、式(1)、(2)は「曲げモーメントとせん断力を受ける部材の照査」における照査式であり、記号の詳細は設計標準を参照されたい。

$$[\text{従来}] \quad \left(\frac{\gamma_i}{1.1}\right)^2 \left(\left(\frac{N_d}{N_{ud}} + \frac{M_d}{M_{ud}}\right)^2 + \left(\frac{V_d}{V_{yd}}\right)^2 \right) \leq 1.0 \quad (1)$$

$$[\text{改訂}] \quad \frac{\gamma_i}{1.1} \sqrt{\left(\frac{N_d}{N_{ud}} + \frac{M_d}{M_{ud}}\right)^2 + \left(\frac{V_d}{V_{yd}}\right)^2} \leq 1.0 \quad (2)$$

4.6.2 鋼板要素の局部座屈に対する照査方法

軸圧縮力を受ける鋼板要素(片縁支持板、両縁支持板)の座屈耐荷力曲線を、最近の知見⁸⁾に基づき見直した。この見直しでは、上フランジの寸法が最大幅厚比で制限されるような場合は、その断面は従前と変わらないが、例えば合成桁の上フランジ等で最大幅厚比を緩和できる場合には、鋼断面の耐力を従前よりも大きく算定できるようになり、鋼断面を縮小することが可能となった。

4.6.3 頭付きスタッドの耐力評価法

合成桁のずれ止めの一つである頭付きスタッドは、従来よく使用されてきた馬蹄形ジベルより、施工性に優れるとともに安価であるといった特徴がある。今回の改訂において、頭付きスタッドの耐力および疲労強度の算定式を見直し、その結果、耐力の算定精度が向上した。これにより、頭付きスタッドをより適用しやすくした。

4.6.4 疲労強度の変更

図4に示す「スカラップを含む縦方向溶接継手を持つ母材」について、従来、作用するせん断応力の影響は疲労強度において考慮していたが、改訂標準では最新の知見¹¹⁾を踏まえて、応答値の算定において考慮するよう変更した。

「フィレットを有するガセットを完全溶込み開先溶接した継手」の疲労強度は、フランジの全幅とフィレット半径に応じたものとなっている。箱桁橋りょうのようにフランジの全幅が大きいと、フィレット半径を極端に大きくする必要がある場合があった。これについても最新の知見¹²⁾に基づき、フィレット半径 r をフランジ幅によらない一定値以上の条件 ($r \geq 200\text{mm}$) を設けた。

4.7 構造計算に関する一般事項 (7章)

7章は、主に設計応答値の算定に関する内容であり、一部、照査における断面の設定についても記載している。具体的には、「6章 照査に関する一般事項」の各照査において必要となる、力学に基づく数値モデルや経験則等を用いた構造計算の方法を示している。7章での主な改訂内容として、支承部における鉛直地震動による鋼桁の上揚力の算定法について以下に示す。

これまで、実設計では桁の構造によらず一定の上揚力を考えることが多かったが、改訂標準では、桁の固有振動数に応じて算定するものとした。その結果長大橋において上扬力が生じにくいことを表現できる算定方法となり、特に長大橋において支承部の浮上り防止装置を小型化することができ、コストを抑制することができるようになった。また支承部については、上扬力に対する照査方法も一部変更した（「6章 照査に関する一般事項」の内容）。従来は、上扬力が耐力を上回った場合は、その時点で浮上り防止装置等の形状・寸法を変更する必要があったが、改訂標準では上扬力が耐力を上回った場合でも、上沓が下沓から逸脱しなければよいという照査を可能とした。

4.8 部材の一般事項 (8章)

8章では、部材に応じた構造細目を示している。具体の部材としては、主桁、床組、鋼床版、綾構、合成はりであるが、今回の改訂で橋りょうを構成する鋼部材である基礎部材を追加した。追加した内容は、「鉄道構造物等設計標準・同解説（基礎構造物）」¹³⁾に記載の、鋼管杭、鋼管矢板、鋼矢板に関する事項である。なお、基礎部材については、桁や橋脚で用いる鋼部材と品質管理等の取扱いが異なるため、他の章の記載によらず、基本的に8章にて記載した事項によることとしている。

4.9 連結部の一般事項 (9章)

9章では、連結部の種類に応じた構造細目を示している。具体の連結部としては、溶接継手、ボルト継手、併用継手である。今回の改訂では、ボルト継手においてフィラーに関する条項を追加した。

5. おわりに

本稿では、2024年（令和6年）3月に改訂した鋼・合成標準の概要について紹介した。現在、この改訂に合わせて、設計計算例、性能照査の手引き、設計計算プログラムなどを整備しており、順次発刊・発売していく予定である。改訂した鋼・合成標準が設計実務に適用されることで、より優れた鉄道構造物を実現できることを期待する。

謝 辞

本稿の内容は、国土交通省からの委託を受けて設立された「鋼・合成構造物の設計に関する委員会」（委員長：奥井義昭埼玉大学教授）で審議していただいた。ここに記して委員・幹事の方々に謝意を表します。

文 献

- 1) 国土交通省鉄道局監修，鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説（鋼・合成構造物），丸善出版，2009
- 2) 国土交通省鉄道局監修，鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物），丸善出版，2023
- 3) 田所敏弥，渡辺健，池田学，岡本大：鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物）「第I編 基本原則」の要旨，鉄道総研報告，Vol.37，No.11，pp.7-13，2023
- 4) 国土交通省鉄道局監修，鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説（鋼・合成構造物），丸善出版，2024
- 5) 国土交通省鉄道局監修，鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説（鋼・合成構造物），丸善出版，1992
- 6) 渡辺健，池田学，岡本大：鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物）「第II編 橋りょう」の要旨，鉄道総研報告，Vol.37，No.11，pp.15-23，2023
- 7) 池田学，田所敏弥，轟俊太郎，豊岡亮洋：鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物）「第IV編 支承構造」の要旨，鉄道総研報告，Vol.37，No.11，pp.35-40，2023
- 8) 日本道路協会：道路橋示方書（II鋼橋・鋼部材編）・同解説（平成29年11月），丸善出版
- 9) 土木研究所，大阪市立大学：高力ボルト摩擦接合継手の設計法の合理化に関する共同研究報告書，第428号，2012
- 10) 国土交通省鉄道局監修，鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物），丸善出版，2004
- 11) 森猛，内田大介：公称応力範囲を用いた鋼I桁スカラップ

- 溶接部の疲労強度評価方法, 鋼構造年次論文報告集,
Vol.5, pp.473-480, 1997.11
- 12) 日本鋼構造協会：溶接継手の新たな疲労強度等級分類のた
めの技術資料, 2013.3
- 13) 国土交通省鉄道局監修, 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造
物等設計標準・同解説（基礎構造物）, 丸善出版, 2012