

鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物）の改訂概要

渡辺 健* 田所 敏弥* 池田 学** 岡本 大***

Outline of Revised Design Standard and Commentary for Railway Structures (Concrete Structures)

Ken WATANABE Toshiya TADOKORO Manabu IKEDA Masaru OKAMOTO

Design Standard and Commentary for Railway Structures (Concrete Structures) was revised in January of 2023. In this revision, in addition to reorganization of the previous design standards established mainly for each type of structure and material, the introduction of the latest verification techniques results in making the design standards easier to use. The application of the revised design standard to design practice will lead to realizing superior railway structures.

キーワード：コンクリート構造物，基本原則，構造要素，部位・部材

1. はじめに

「鉄道構造物等設計標準（コンクリート構造物）」が、2022（令和4）年12月に通達された。本稿では、2023（令和5）年1月に発刊された「鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物）」¹⁾（以下、本標準）の改訂の概要について紹介する。

2. 改訂の背景

2.1 鉄道構造物の設計に関する技術基準体系

「鉄道に関する技術上の基準を定める省令」²⁾（以下、技術基準省令）は、2001（平成13）年12月より性能規定型へ改正された。技術基準省令は、第1条においてその目的を「安全な輸送及び安定的な輸送の確保を図り、もって公共の福祉の増進に資すること」と規定しており、人や物の安全確保や、技術的及び経済的実現性を前提に列車等の運行に対応した施設、車両等が求められている。また、同第24条の構造物では、「土工、橋りょう、トンネルその他の構造物は予想される荷重に耐えるものであって、かつ、列車荷重、衝撃等に起因した構造物の変位によって車両の安全な走行に支障を及ぼすおそれのないものでなければならない。」と規定しており、鉄道の土木構造物が保有すべき機能が示されている。

鉄道構造物等設計標準・同解説（以下、設計標準）は、技術基準省令の解釈を、強制力を持たないかたちで具体化、数値化して明示した解釈基準（通達）に、解釈基準

の設定根拠、考え方等をまとめた解説を示したものとなっている。2022（令和4）年度までに、すべての設計標準が性能照査型設計法に移行された。

2.2 鉄道コンクリート構造物の設計標準改訂の経緯

表1に、鉄道コンクリート構造物の技術基準の変遷を示す。黎明期、コンクリート構造物の設計・施工は、技術者の裁量に委ねられていたが、1914（大正3）年に鉄筋混凝土橋梁設計心得が制定され、統一した考えが示された。これは、1931（昭和6）年に制定される土木学会コンクリート標準示方書の原点にもなっている。1955（昭和30）年では2編構成となっており、第1編には荷重や応力度といった共通事項を集約した総則を、第2編には版、梁、柱といった部材の特有の事項を示した各論で構成されている。1970（昭和45）年では、在来線と新幹線のそれぞれで定められていた基準の統合がされた。その後、2回の改訂を経たのちに、1992（平成4）年では限界状態設計法に移行された。それまで用いられていた許容応力度設計法は、部材の各断面に作用する応力度が、部材を構成する材料の許容応力度以下であることを確認することにより照査する設計法である。一方、限界状態設計法は、限界状態を設定し、それぞれの限界状態に応じて設定された限界値を満足することを、部分安全係数法により照査する手法である。作用や材料、構造解析法等のそれぞれに安全係数を設定するため、最新の技術が反映しやすい。また、設計者は、構造物の状態を、照査結果から明確に意識することが比較的容易である。

そして、技術基準省令の性能規定に対応して、2004（平成16）年に改訂された鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物）³⁾（以下、H16コンクリート標準）では、性能照査型設計法が導入された。これは、

* 構造物技術研究部 コンクリート構造研究室
** 鉄道力学研究部 構造力学研究室
*** 構造物技術研究部 鋼・複合構造研究室

表 1 鉄道コンクリート構造物の設計標準等の改訂経緯

制定・改訂年	名称	備考
1914(大正3)年	鉄筋混泥土橋梁設計心得	・鉄道における初めての設計施工基準
1955(昭和30)年 1958(昭和33)年	無筋コンクリートおよび鉄筋コンクリート 土木構造物の設計基準(案)	・1949(昭和24)年土木学会鉄筋コンクリート標準示方書を基本に作成 ・1編総則, 2編各論, の構成
1961(昭和36)年	新幹線構造物設計基準(案)	・新幹線固有の荷重, 構造物の許容変位
1965(昭和40)年	プレストレストコンクリート鉄道橋設計施工基準(案)	・1961(昭和36)年土木学会制定プレストレストコンクリート設計施工指針を基に作成
1970(昭和45)年	建造物設計標準(鉄筋コンクリート構造物および無筋コンクリート構造物, プレストレストコンクリート鉄道橋)	・在来線と新幹線の設計基準規定を1つに統合 ・構造物の設計に関わる基本的な内容を網羅
1972(昭和47)年	全国新幹線網建造物設計標準(上越, 東北, 成田新幹線用)	・新幹線特有の事項を制定
1974(昭和49)年	建造物設計標準(鉄筋コンクリート構造物および無筋コンクリート構造物, プレストレストコンクリート鉄道橋)	・国鉄内外の技術の進展を踏まえ, 土木学会に委託した委員会成果に基づき改訂
1983(昭和58)年	建造物設計標準(鉄筋コンクリート構造物および無筋コンクリート構造物, プレストレストコンクリート鉄道橋)	・許容応力度設計法を基本とし, 限界状態設計法概念が盛り込まれる
1992(平成4)年	鉄道構造物等設計標準(コンクリート構造物)	・限界状態設計法の導入
2004(平成16)年	鉄道構造物等設計標準(コンクリート構造物)	・性能照査型設計法の導入
2023(令和5)年	鉄道構造物等設計標準(コンクリート構造物)	・性能照査型設計法, 3層構造の導入

構造物が保有すべき性能を明示したうえで、設定した性能を確保する設計方法であり、照査法として部分安全係数法が踏襲されている。新材料や新構造の適用に柔軟であり、国際的調和性が高く、維持管理においても親和性の高い設計法である。2023(令和5)年に改訂された本標準は、性能照査型設計法を踏襲し、次節以降で示す課題や方針に従い改訂した。

2.3 鉄道コンクリート構造物を取り巻く課題

最近の鉄道コンクリート構造物を取り巻く課題と、求められる対応を以下に示す。

- 現行の設計標準は、コンクリート構造物、鋼・合成構造物等、構造の種別ごとにまとめられているもの、土構造物、トンネル等、構造物の種別ごとにまとめられているもの、あるいは変位制限や耐震設計等、特定の作用や性能項目を対象にまとめられているものがあり、設計実務における適用方法が複雑であったことに対して、構造物の種別に応じて適用する設計標準や、鉄道システムを構成する構造物と部位・部材との関係性を明確にする構成とすること。
- 現行の各設計標準では、設計等の行為が統一されていないこと⁴⁾に対して、鉄道システムを構成する鉄道構造物として共通の設計の考え方や基本的事項を示すこと。
- 要求性能に対し合理的な構造物を設計するために、照査の前段である構造物の形式や諸元等を設定する構造計画を含めること。
- 安全かつ経済的なコンクリート構造物を設計するために、従来の標準的な照査法の適用範囲を明確にし、従来の照査法が適用できない複雑な構造物や作用に対して最新の解析手法を適用できること。
- 骨材事情の変化やコンクリート構造物の耐久性の問題に対して、建設地点の材料の特性や供用中に受ける気

象の影響等、地域の実情に配慮した設計により、供用期間にわたり構造物の性能を確保できること。

- 様々な建設条件や建設労働者の減少に対応するために、施工に配慮した設計法であること。
- 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震や平成28年(2016年)熊本地震における被害を踏まえ、激甚化する自然災害に対して、早期復旧しやすい構造とすること。

上記を踏まえ、2017(平成29)年度より、「鉄道コンクリート構造物設計標準に関する委員会」を設置し、4年にわたり検討を行った。

3. 改訂の概要

3.1 基本方針

H16コンクリート標準は、刊行後18年以上が経過しており、コンクリート構造物に関する最新技術を踏まえた見直しをするほか、鉄道構造物が鉄道システムとしてより一層有機的に機能するため、設計標準の構成を新たに示すこととした。2.3に示した社会情勢や鉄道事業を取り巻く状況の急激な変化を踏まえ、鉄道総研の研究成果の他、2017年制定土木学会コンクリート標準示方書(設計編)⁵⁾等を参考に、鉄道固有の技術について見直しをはかりつつ、最新技術で補うことなどに努めた。また、解釈基準として、「具体的な数値や仕様を示す」こととし、「数値や仕様で示すことが困難な場合」には、「設計の方法や検証の方法等を示す」ことに努めた¹⁾。

3.2 設計標準の全体構成

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、本標準は、すべての構造物を対象とした基本原則⁴⁾について検討し、設計標準の体系を再編した。具体的には、コンクリート構造物に限らず、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）を新たに制定した。そして、この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まとめた構造物・構造要素編（第2層）を、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まとめた部位・部材編（第3層）を定めた（図1）。本標準は、以下の通りに構成される。

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

「第II編 橋りょう」（以下、橋りょう編）：第I編に基づき、橋りょう（高架橋も含む）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 コンクリート構造」（以下、コンクリート構造編）：第I編および第II編に基づき、コンクリート構造となる部位・部材ごとに適用要件、応答値、限界値等を規定⁷⁾。

「第IV編 支承構造」（以下、支承構造編）：第I編および第II編に基づき、コンクリート橋りょうの支承部の適用要件、応答値、限界値等を規定。鋼・合成橋りょうの支承部にも今後適用されることを想定⁸⁾。

橋りょうの照査は、橋りょう編に従い橋りょう、ある

いは桁、橋脚等、橋りょうを構成する構造要素に対して行うことを原則とした。構造要素に対して行う場合には、すべての構造要素が照査を満足することを確かめることにより、橋りょうが照査を満足することとなる。ただし、一般的な設計条件では、従来と同様に、梁、支承部、橋脚く体、フーチング、杭等、構造要素を構成する部位・部材に対して行ってもよいものとした。この場合、コンクリート構造編、支承構造編に従い、すべての部位・部材が照査を満足することを確かめることで、構造要素が照査を満足することになる。

図2に、H16コンクリート標準および関連標準から本標準の各編に移設した状況を示す。H16コンクリート標準の内容を更新して本標準に反映した。その他、関連する標準^{9)~14)}から橋りょう編、コンクリート構造編、

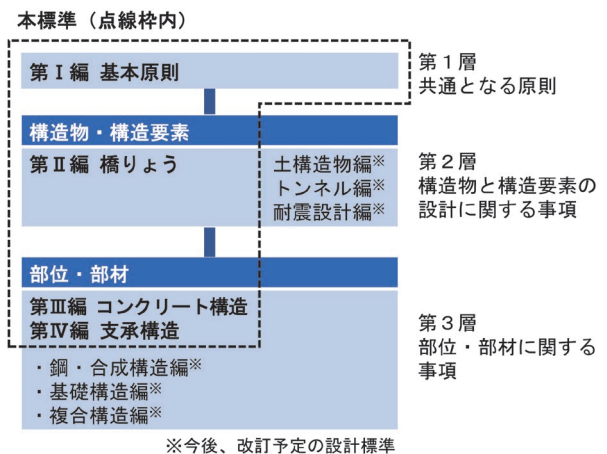


図1 本標準および将来の設計標準の体系

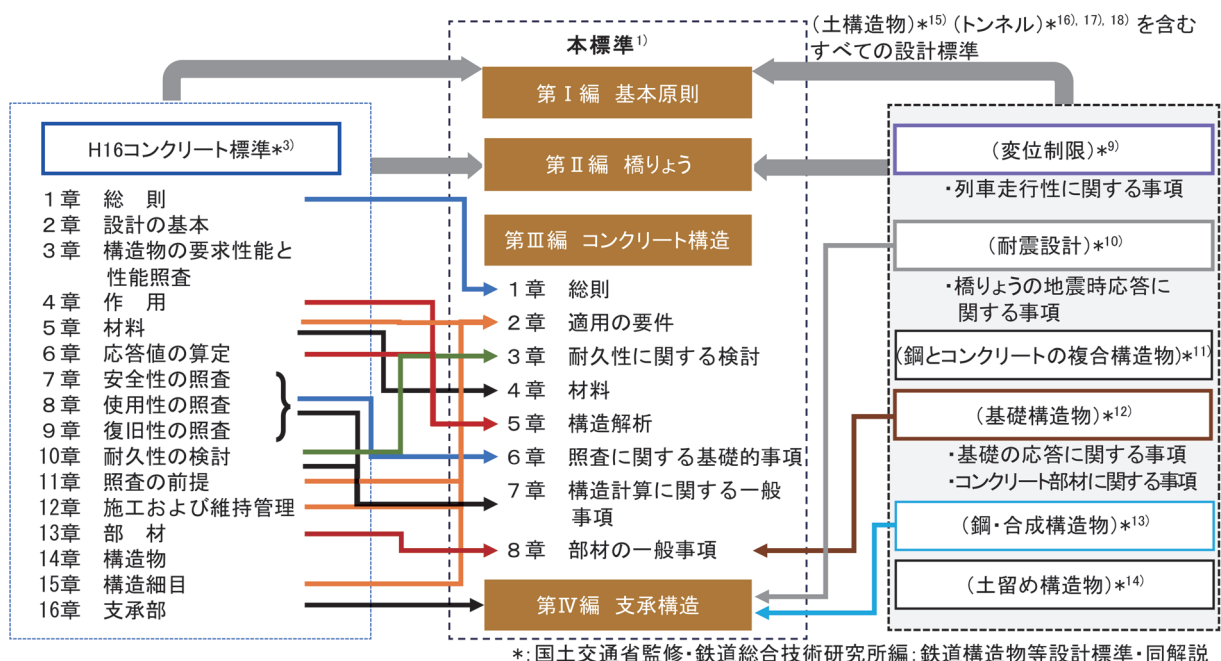


図2 H16コンクリート標準および関連標準から本標準への主な移設状況

支承構造編に関する事項を、それぞれの編に転載した。また、すべての設計標準^{9)~18)}を踏まえ、基本原則編を作成した。

3.3 設計の基本

技術基準省令を参考に、「鉄道システム」を用語として新たに定義した。構造物の設計では、鉄道システムとしての目的および構造物の機能に応じた要求性能とその水準を定め、構造計画、調査および構造詳細の設定を行い、照査を行うものとした。ここで、構造計画は、H16コンクリート標準では記載していないが、より優れた構造物を設計するための重要な設計行為であるという認識のもと、追加した。持続可能な社会を実現する観点から「社会との適合性」⁴⁾、構造物の壊滅的な被害を防ぐ危機耐性の観点から、「冗長性や頑健性」⁴⁾を構造計画や要求性能の水準の設定において求めることとした。

3.4 安全性等に関する設計法

安全かつ経済的なコンクリート橋りょうを設計するために、従来の照査法が適用できない複雑な構造物や作用に対しては、最新の手法が適用しやすい記載とした。

橋りょう編では、橋りょうを、構造要素（桁、橋脚、橋台）、部位・部材（梁、スラブ、基礎構造、支承部等）に区分し、これらの区分に応じた照査法を示した。橋りょうまたは各構造要素に着目した照査により、例えばラーメン高架橋のような不静定構造物では、一つの部材が破壊してもすぐに構造物の限界状態に至るものではないため、より合理的な照査が可能となる。

コンクリート構造編では、コンクリート部材の破壊の照査等に用いるせん断耐力について、ラーメン高架橋の部材を想定した両端固定支持された棒部材の設計せん断耐力の算定法¹⁹⁾を導入した。これにより、せん断スパン比が小さい場合に、同一の断面諸元である単純支持条件下の棒部材と比較して、せん断補強鉄筋の効果を大きく見込めることとした。さらに、非線形有限要素解析による照査法を、2017年制定土木学会コンクリート標準示方書〔設計編〕⁵⁾に基づき導入し、適用できるようにした。照査法を充実かつ高度化したことでより合理的に照査でき、また実績の多い構造物に対してはより省力的な照査が可能であり、設計者の豊かな創造力により、柔軟な設計解を提示することが可能となる。

3.5 地域の特異性や時間軸等を意識した設計法

時間軸を意識した設計法や、耐久性に関する検討を見直した。すなわち、コンクリート構造編では、建設地点の降雨状況や骨材の収縮の影響も考慮できるコンクリートの収縮ひずみの算定式²⁰⁾や、収縮・クリープによるPC桁の長期変形を予測するための新たな構造解析手法

を示した。また、鋼材の腐食に関する検討では、従来の「中性化に関する検討」から「水の浸透に伴う鋼材の腐食に関する検討」²¹⁾に変更し、塩化物イオン濃度の制限値を各種セメントや水結合材比に応じた値に更新した。

3.6 施工に配慮した設計法

コンクリート構造編では、プレキャスト構造や部材接合部の配筋量の適正化²²⁾、高強度材料の活用²³⁾、初期ひび割れの評価や施工工程を踏まえた構造物の長期挙動の評価等、確実な施工に資する技術の導入やそれを促す設計法について示した。

3.7 復旧しやすいコンクリート構造物の設計法

平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震や平成28年（2016年）熊本地震における被害を踏まえ、早期復旧しやすい構造物、地震復旧後も性能を確保できるコンクリート構造物の設計法について示した。

橋りょう編では、復旧性を確保するため、橋りょうの構造計画の段階で考慮すべき事項として、復旧作業のための進入路および作業ヤードの確保、修復困難な箇所の損傷の制御等について例示した。また、支承構造編では、例えば支承部のストッパー埋込み部において、損傷した場合の修復作業が困難となる桁端の遊間側より、桁座前面側を桁端の遊間側より先行して損傷させる等、修復しやすい箇所に損傷を制御することを示した。ストッパー埋込み部の耐力について鉄筋の配置等を考慮したより高精度の算定法を構築²⁴⁾し、ストッパー埋込み部の鉄筋量を増やすことなく、地震時に修復しやすい箇所に損傷を制御することが可能であり、復旧にかかる費用等を削減できる。

4. まとめ

今回の改訂では、鉄道構造物が鉄道システムとしてより一層有機的に機能するために、主に構造物や材料の種別ごとに制定されたこれまでの設計標準の体系を再編するとともに、最新の照査技術を導入した。さらには、設計計算例や設計ツール等を順次整備する予定である。持続可能な社会が求められる中で、本標準が設計実務に適用されることで、従来の形に捉われず、より優れた鉄道構造物が実現できることを期待する。なお、各項目の具体的な内容は、別報でも詳しく報告する。

謝辞

本稿は、「鉄道コンクリート構造物設計標準に関する委員会」において審議した内容である。審議いただいた二羽淳一郎委員長（当時東京工業大学教授）、渡邊忠朋

幹事長（当時北武コンサルタント副社長）をはじめ、委員・幹事等の関係者各位のご尽力に対して、ここに謝意を表する。

文 献

- 1) 国土交通省監修・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
- 2) 国土交通省鉄道局監修・土木関係技術基準調査研究会編：解説 鉄道に関する技術基準（土木編）第四版，2023
- 3) 国土交通省監修・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
- 4) 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
- 5) 土木学会：2017年制定 コンクリート標準示方書〔設計編〕，丸善出版，2018
- 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) 渡辺健，中田裕喜，轟俊太郎：鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物）「第Ⅲ編 コンクリート構造」の要旨，鉄道総研報告，Vol.37，No.11，pp.25-33，2023
- 8) 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
- 9) 国土交通省監修・鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説（変位制限），丸善出版，2006
- 10) 国土交通省監修・鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震設計），丸善出版，2012
- 11) 国土交通省監修・鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説（鋼とコンクリートの複合構造物），丸善出版，2016
- 12) 国土交通省監修・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
- 13) 国土交通省監修・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
- 14) 国土交通省監修・鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説（土留め構造物），丸善出版，2012
- 15) 国土交通省監修・鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説（土構造物），丸善出版，2007
- 16) 国土交通省監修・鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説（トンネル・開削編），丸善出版，2021
- 17) 国土交通省監修・鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説（トンネル・シールド編），丸善出版，2022
- 18) 国土交通省監修・鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説（トンネル・山岳編），丸善出版，2022
- 19) 中田裕喜，渡辺健，田所敏弥：両端固定支持されたRCはりのせん断耐力算定式の提案，令和4年度土木学会全国大会第77回年次学術講演会，V-621，2022
- 20) 渡辺健，中村麻美，石田哲也，渡邊忠朋：混合セメントを考慮したコンクリートの収縮ひずみ予測式，鉄道総研報告，Vol.37，No.1，pp.11-19，2023
- 21) 轟俊太郎，石田哲也，上田洋，田所敏弥：水の浸透と中性化によるコンクリート構造物中の鉄筋の腐食に関する設計法，鉄道総研報告，Vol.37，No.10，pp.1-8，2023
- 22) 中田裕喜，渡辺健，田所敏弥：RCラーメン高架橋の柱はり接合部の構造細目が耐力に及ぼす影響，鉄道総研報告，Vol.37，No.1，pp.29-35，2023
- 23) 佐藤祐子，中田裕喜，田所敏弥，渡辺健：高強度鉄筋を用いたRC柱の損傷性状と変形性能算定式の適用性，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.44，No.2，pp.175-180，2022
- 24) 轟俊太郎，森勇樹，田所敏弥，渡辺健：鋼角ストッパー埋込み部の設計耐力算定式，鉄道総研報告，Vol.37，No.1，pp.1-9，2023