

土木学会 鋼・合成構造標準示方書 設計編における床版に関する条文の概要

Outline of the Provisions on Bridge Deck Design in Standard Specifications for Steel and Composite Structures

川畑篤敬*¹, 中村聖三*², 秋元礼子*³, 大田孝二*⁴, 碓山晴久*⁵, 中原智法*⁶,
Atsunori KAWABATA, Shozo NAKAMURA, Reiko AKIMOTO, Koji OHTA, Haruhisa IKARIYAMA, Tomonori NAKAHARA,
鈴木統*⁷, 内田大介*⁸, 田中千尋*⁹, 濱田純夫*¹⁰
Osamu SUZUKI, Daisuke UCHIDA, Chihiro TANAKA, Sumio HAMADA

- *¹ 工修 JFE エンジンリング株式会社 鋼構造事業部 橋梁技術部 (〒230-8611, 神奈川県横浜市鶴見区末広町 2 丁目 1)
- *² 工博 長崎大学 工学部 社会開発工学科 (〒852-8521, 長崎県長崎市文教町 1 丁目 14)
- *³ 工修 早稲田大学 理工学部 社会環境工学科 (〒169-8550 東京都新宿区大久保 3-4-1)
- *⁴ 工博 ヤマト設計株式会社 (〒135-0031, 東京都江東区佐賀 1 丁目 1-3)
- *⁵ 株式会社東京鐵骨橋梁 技術本部 技術開発部 (〒108-0023, 東京都港区芝浦 4 丁目 18-32)
- *⁶ 工修 日本橋梁株式会社 技術本部 技術開発部 (〒675-0164, 兵庫県加古郡播磨町東新島 3 番地)
- *⁷ 石川島播磨重工業株式会社 北海道支社 (〒060-0002, 北海道札幌市中央区北 2 条西 4 丁目 1 番地)
- *⁸ 博(工) 三井造船株式会社 技術本部 (〒104-8439, 東京都中央区築地 5 丁目 6-4)
- *⁹ 株式会社富士ピー・エス 技術本部 メンテナンスグループ (〒105-0004, 東京都港区新橋 4 丁目 24-8)
- *¹⁰ 工博 山口大学 工学部 社会建設工学科 (〒775-8611, 山口県宇部市常盤台 2 丁目 16-1)

A committee to develop the standard specifications for steel and composite structures was established in January 2005 in Japan Society of Civil Engineers. The specification consists of several parts and one of them is planning to be published in December 2006. Vigorous activities have continued for that target. This paper presents the outline of the provisions on bridge decks in the specifications prepared by the subcommittee on performance-based design in the committee of bridge decks.

Key words: Bridge deck, Performance-based design method, Standard Specifications

1. はじめに

土木構造物の設計法を許容応力度設計法から限界状態設計法に移行させようという流れは、構造物に期待される性能を規定し、破壊に対する安全性を確保すると共に費用対効果を可能な限り高めることを目的とした性能照査型設計法の構築へと向かっている。橋梁構造物についても平成 14 年度の道路橋示方書¹⁾⁴⁾より書式が改訂され、道路橋の設計に際して要求される性能が条文化された。また、これに前後して多くの性能照査型の設計指針案や設計ガイドライン、設計例がまとめられ、発刊されている⁵⁾¹⁵⁾。

土木学会鋼構造委員会「鋼橋床版の調査研究小委員会 第 3 分科会」(平成 9 年 10 月～平成 12 年 3 月)(以後、第一期委員会)では、鋼橋床版を対象とした性能照査型設計手法について検討を行い、鋼橋床版の性能照査型設計指針(試案)を提案するとともに、鋼橋で使用されることの多い鉄筋コンクリート床版に対して指針を適用した計算例を示した。しかしながら、照査範囲が多岐にわたることや、照査過程の複雑性を指摘する声も大きく、新形式の床版に対しては、その適用性についての問題点が指摘された。

そして、鋼構造委員会の床版に関する第二期の委員会として招集された「道路橋床版の調査研究小委員会 第 2 分科会」(平成 13 年 11 月～平成 16 年 3 月)(以後、第二期委員会)では、前回の指針(試案)で指摘され

た課題を解決することにより、実務者がより理解しやすい道路橋床版の性能照査型設計指針の作成をめざして活動を行った。その中では、各種性能照査型設計指針と比較することで、床版に関する要求性能の再整理を行い¹⁶⁾、図 1 に示す性能を定義した。基本性能としては、安全性、使用性、社会・環境適合性の 3 つの性能を定めた。そして、安全性を具体的に確保するための性能として、耐荷力性能、疲労耐久性、材料耐久性を位置づけた。同様に、使用性を確保するための性能として供用性と維持管理性を、社会・環境適合性を確保するための性能として経済的合理性、環境適合性を位置づけた。また、性能照査型設計が従来の許容応力度設計と同様に安全性の確保のみに偏りがちであるとの観点から、使用性と社会・環境適合性に対する骨子の構築に力を注ぎ、道路橋床版の性能照査型設計指針(案)をまとめたが、具体的な設計手法を示すまでには至らなかった。

このような背景の中、平成 17 年 4 月より、新たに第三期の床版委員会として召集された「道路橋床版の合理化検討小委員会 性能設計分科会」(以後、性能設計分科会)では、床版の性能照査型設計を実用レベルへ導入するための技術的課題の抽出し、これまでの成果品のブラッシュアップを図るべく、活動を開始した。

一方、土木学会鋼構造委員会には平成 17 年 1 月に「鋼・合成構造標準示方書小委員会」が立ち上がり、

道路橋示方書等の国内設計規準はもとより、アジアコードなどの国際的な設計規準でも参照され得る示方書の作成を目的とした活動が始められた。この示方書は総則編、構造計画編、設計編、製作・施工編、維持管理編、耐震設計編から構成される予定であるが、設計編が先行して執筆されることとなり、土木学会 鋼構造物設計指針 PART A¹⁷⁾と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」の成果品¹⁰⁾を参考とした構成が組み立てられた。決定した構成の中には床版設計を独立して取り上げる章があり、この章については小委員会間の調整の結果、第三期の床版委員会が執筆を担当することとなった。そして、性能設計分科会メンバーを中心として、第一期、第二期の委員会で床版の性能照査型設計の検討に携わったメンバーにも協力を仰ぎ、執筆を開始した。

鋼・合成構造標準示方書 設計編は平成 18 年 12 月の発行へ向けて現在一次原稿が完成し、その内容について協議中である。ここでは、鋼・合成構造標準示方書にこれまでに検討を進めてきた床版の性能照査型設計の内容を反映させるにあたっての基本的な考え方を紹介するとともに、今後の性能設計分科会の活動方針を示す。

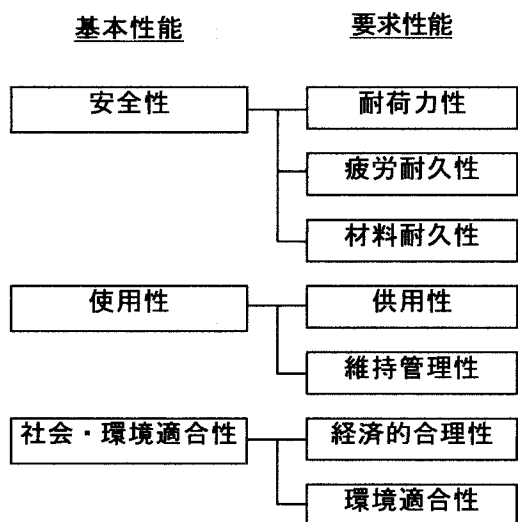


図1. 道路橋床版の性能照査型設計指針(案)の要求性能

2. 鋼・合成構造標準示方書 設計編における床版の取扱いに関して

鋼・合成構造標準示方書の執筆にあたっては、第二期委員会の成果品である、道路橋床版の性能照査型設計指針(案)の内容を基本としたが、示方書全体の構成を考慮して、幾つかの調整を行っている。ここでは調整の際の基本的な考え方を述べると共に、新たに追加した内容を紹介します。

2.1 基本性能について

道路橋床版の性能照査型設計指針(案)では、各種性能照査型設計指針と比較・検討の結果、床版の基本性能として安全性、使用性、社会・環境適合性の3つを掲げたが、鋼・合成構造標準示方書では図2に示す4つの性能を基本性能として定めている。そこで、床版の章では安全性、使用性、耐久性(疲労耐久性、材料耐久性)をとり上げることとした。

本件に関し、第二期委員会では疲労耐久性と材料耐久性は設計供用期間中に受ける繰返し荷重や環境作用に対し、耐荷力性や使用性を確保する性能であるとの解釈から安全性に含めることとしたが、鋼・合成構造標準示方書では耐久性は重要な性能であるとの認識から敢えて基本性能として定められることとなった。性能設計分科会では鋼構造委員会の中で種々の性能の定義が乱立することは望ましくないこと、耐久性は本来は安全性に含まれる旨が別途記述されていることを考慮し、耐久性を基本性能として取り扱うこととした。

なお、社会環境適合性については他の章に別途章立てされ、構造物全体を対象として総括されているため、床版の章からは割愛した。

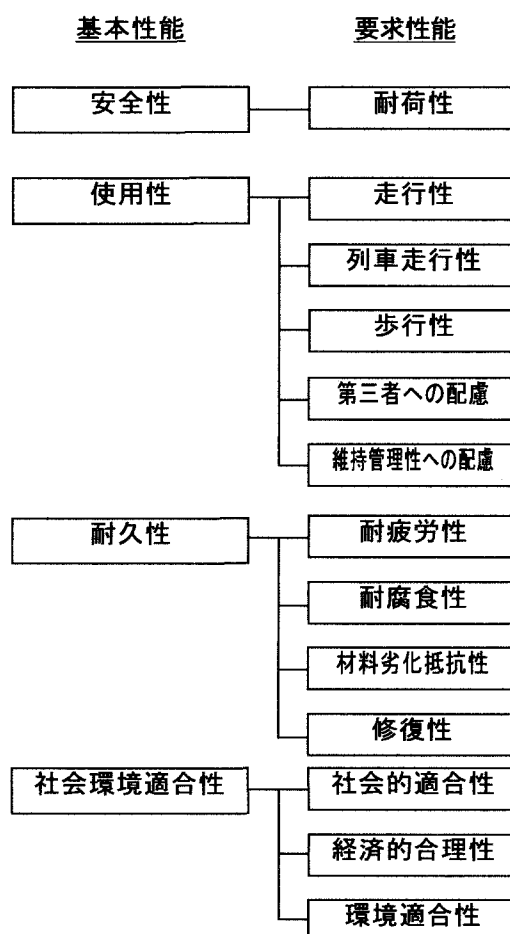


図2. 鋼・合成構造標準示方書 設計編の要求性能

2. 2 安全性について

構造物が安全に使用できることを保証することは、構造物設計にとって最も基本となる性能である。安全性を阻害する要因としては、構造物の耐荷性能を超える荷重の作用や、経年による構造物の劣化にともなう耐荷性能の低下、荷重が繰り返し作用することによるひび割れやき裂の発生による耐荷性能の低下などがあげられる。今回の標準示方書では、後者の2つの性能については、時間軸が関与するものとして、耐久性として別枠で扱い、過大な荷重作用に対する耐荷性能のみが安全性と規定されている。このため、床版として過大な荷重が作用する要因に対して安全性の確認が求められる。具体的には、床版が直接支持することとなる活荷重、風や地震荷重など床版を介して伝達される主として水平方向の荷重、主桁の変形にともない床版に作用する断面力に対して耐荷力を保証することを規定した。

2. 3 使用性について

床版の使用性に関しては、基本性能である「床版の安全性」および「床版の耐久性」を満足していることを前提に、「変形」および「振動」、「排水」の3項目の要求性能に分類し、規定することとした。変形については、「車両や列車の走行性および歩行者の安全かつ快適な通行を確保」できる性能であること、振動については「低周波騒音等を発生させない」剛性を有していること、また、排水は「雨水等によって橋面上に水が滞水することのない」性能であることを設定した。

2. 4 疲労耐久性について

床版の疲労耐久性としては、繰り返し荷重に対して安全性や使用性の低下を招くような損傷が生じないことが必要とされる。一般に、走行車両以外の荷重が問題となることは少ないが、風荷重等が問題となる場合もあるため、活荷重のほか、繰り返しが想定される荷重に対して、疲労耐久性を確保するようにした。

この項では主にコンクリート系の床版を対象としているが、疲労耐久性の検証は床版の破壊メカニズムを再現できる適切な手法により行うことを規定した。これは、従来の鉄筋コンクリート床版ではコンクリートの押抜きせん断疲労が最も一般的な疲労破壊形態であったが、プレストレストコンクリート床版等では鋼材の曲げ疲労破壊が支配的と推測される¹⁸⁾など、床版の構造によって破壊の形態が異なると考えられるためであり、床版が疲労により破壊に至るまでのメカニズムを把握した上で、床版の「面外曲げ疲労」、「面外せん断疲労」、「押抜きせん断疲労」について適切な疲労強度評価を行うこととした。

床版の疲労耐久性の検証方法としては、輪荷重走行試験結果より求めたS-N曲線を利用することが多いが、鉄筋コンクリート床版の梁状化後の押抜きせん断にお

けるS-N曲線¹⁹⁾を例にとると、勾配が極めて緩やかな片対数関数であることから、耐用年数という概念を用いて疲労耐久性を判断することは難しい。この事象を回避するため、等価荷重と疲労安全率による疲労強度評価²⁰⁾等を紹介した。また、いくつかの検証方法の留意点を記載し、適用に際しての注意を喚起した。

近年の研究²¹⁾によると路面からの浸水が床版の疲労耐久性に悪影響を及ぼすことが明らかになっている。このため、床版上面には防水層等の防水工を設置することを原則とし、防水工を設置しない場合は床版上の滞水の影響を考慮することとした。

2. 5 材料耐久性について

床版に着目した場合の材料耐久性は、鋼・合成構造標準示方書設計編「耐久性に対する要求性能および照査」の章中の「材料劣化抵抗性」の項と同様、土木学会コンクリート標準示方書を基準とした。その上で、床版構造の特性を考慮し、床版に特有の材料劣化事例である積雪寒冷地における凍結防止剤に起因する塩害や、セメントの水和熱に起因する温度応力によって発生するひび割れ等については、別途、照査の拠所となる基準類²²⁾を紹介した。

2. 6 各種床版について

床版には種々の形式があるが、代表的な形式である鉄筋コンクリート床版、プレストレストコンクリート床版、鋼・コンクリート合成床版、鋼床版を取り上げ、各形式固有の構造詳細等についてまとめた。具体的には床版厚、支持げたとの接合方法、端部補強などについて各床版構造に関連する細目について紹介している。

特にプレストレストコンクリート床版では、支持げたとの接合方法、床版相互の接続法などが特徴的であり、これらを紹介している。

また、鋼床版については昨今、重交通路線で疲労亀裂が報告され、構造細目の見直しに向けて種々の研究が行われているが²³⁾、ここでは従来の構造細目のまとめと、海外の基準を紹介するにとどめた。

2. 7 有限要素解析を用いた床版の設計について

これまでの道路橋床版の設計は設計曲げモーメント式から得られる断面力や最小床版厚の規定から断面形状を決定することが一般的であり、これまでの施工実績からはこのように設計された床版の安全性が確認されている。しかし、昨今のコスト縮減に向けた流れから、提案されている種々の合理化橋梁では、床版支間の長支間化が必要とされ、従来の設計曲げモーメント式の適用範囲外となる長支間床版の設計では有限要素解析を用いた検討が行われている²⁴⁾。また、諸外国の床版の設計手法も有限要素解析による断面力の算出が主流であることから²⁵⁾、鋼・合成構造標準示方書にも「解析手法」と項目立てを行い、有限要素解析を実施

する場合の留意点等を記載することとした。

2. 8 道路橋以外の床版について

道路橋床版の性能照査型設計指針(案)はその名の通り、道路橋を対象として作成されたものであるが、鋼・合成構造標準示方書は道路橋以外の構造物も対象としている。床版の章では、条文については全ての構造物を想定した内容とし、解説は道路橋床版を中心とした内容を記載している。

3. 今後の分科会活動方針

性能照査分科会では当初より、最新の研究成果を取り込むとともに、関連する各種設計基準との整合性を考慮することにより、これまでの活動成果である「道路橋床版の性能設計指針(案)」のさらなるブラッシュアップを図り、設計の実務において実際に活用しやすいような周辺資料を整備することを目標として、以下のような活動を行っている。

- (1) 性能照査型設計の実用レベルでの導入における技術的課題の抽出およびその検討
課題例

- ・設計荷重の設定
- ・安全率(部分係数)の設定
- ・社会的な性能に対するコンセンサス

- (2) 他の各種性能照査型設計基準、道路橋床版に関する設計基準との整合性の検討
- (3) 「道路橋床版の性能設計指針」を用いた各種床版の設計計算例の作成

これまでは出版スケジュールの制約等から「鋼・合成構造標準示方書設計編」の床版に関連する部分の作成を行うことで上記(2)を中心に活動してきた。今後は鋼・合成構造標準示方書に反映されたこれまでの設計指針の成果を、多くの設計者に活用してもらえよう、(1)各種課題の検討、(3)設計計算例の作成を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 道路橋示方書 I 共通編, (社)日本道路協会, H14.3
- 2) 道路橋示方書 II 鋼橋編, (社)日本道路協会, H14.3
- 3) 道路橋示方書 III コンクリート橋編, (社)日本道路協会, H14.3
- 4) 道路橋示方書 V 耐震設計編, (社)日本道路協会, H14.3

- 5) 鋼橋床版の性能照査型設計指針(試案), (社)土木学会, H12.10
- 6) コンクリート構造物の補強指針(案), (社)土木学会, H11.9
- 7) 土木鋼構造物の性能設計ガイドライン, (社)日本鋼構造協会, H13.10
- 8) コンクリート標準示方書 構造性能照査編, (社)土木学会, H14.3
- 9) コンクリート標準示方書 維持管理編, (社)土木学会, H14.3.
- 10) 複合構造物の性能照査指針(案), (社)土木学会, H14.10
- 11) 鋼構造物の性能照査型設計体系の構築に向けて, (社)土木学会, H15.4.
- 12) 道路橋床版の性能照査型設計指針(案), (社)土木学会, H16.11.
- 13) コンクリート標準示方書に基づく設計計算例[栈橋上部工編], (社)土木学会, H17.3.
- 14) コンクリート標準示方書に基づく設計計算例[道路橋編], (社)土木学会, H17.3.
- 15) 複合構造物の性能照査例, (社)土木学会, H18.1.
- 16) 秋元ら: 性能照査型設計の現状分析と道路橋床版への応用に関する考察, 第三回道路橋床版シンポジウム講演論文集, pp.25-32, H15.6.
- 17) 鋼構造物設計指針 PART A 一般構造物, (社)土木学会, H9.11.
- 18) 例えば, 安松ら: 交通荷重実態を考慮した鋼橋床版の疲労設計に関する検討, 第一回鋼橋床版シンポジウム講演論文集, pp.77-82, H10.11
- 19) (社)土木学会 鋼構造委員会 道路橋床版の調査研究小委員会: 床版の輪荷重走行試験, 道路橋床版の設計の合理化と耐久性の向上, H16.11
- 20) 川畑ら: RC床版の疲労耐久性評価方法の提案, 第四回道路橋床版シンポジウム論文集, pp.179-184, H16.11
- 21) 例えば, 松井: 移動荷重を受ける道路橋 RC 床版の疲労強度と水の影響について, コンクリート工学年次論文報告集, 9-2, pp.627-632, 1987
- 22) 例えば, コンクリートのひび割れ調査, 補修・補強指針-2003-, (社)日本コンクリート工学協会, H15.6.
- 23) 例えば, 三木ら: 鋼床版箱桁橋のデッキプレート近傍に発生した疲労損傷の原因, 土木学会論文集, No.780/I-70, pp.57-69, H17.1.
- 24) 例えば, 本間ら: 長支間場所打ち PC 床版の設計と施工, 橋梁と基礎, 第36巻 第10号, pp.2-10, H14.10.
- 25) 例えば, プレストレストコンクリート橋の海外との技術比較に関する調査研究報告書, (財)高速道路調査会, H17.3.