

鋼道路橋RC床版更新の設計・施工技術



鋼道路橋RC床版更新の設計・施工技術



土木学会

鋼道路橋RC床版更新の設計・施工技術

Steel Structures Series33

Design and Construction Technology
for Renovation of Reinforced Concrete Slab
over Steel Girder Road Bridges

Edited by

Kenji Namikawa

Subcommittee for Construction Technology
for Renovation of Reinforced Concrete Slab over Steel Girder Road Bridges

Published by
Committee of Steel Structures
Japan Society of Civil Engineers
Yotsuya 1-chome, Shinjuku-ku
Tokyo, 160-0004 Japan

April, 2020

まえがき

日本の経済を支える社会インフラの中において重要な道路橋は、1970年代の高度経済成長期に整備されたものが多く、それから半世紀が過ぎようとしている。この時代に造られた鋼道路橋の床版は、現在造られている床版に比べ部材厚や構造細目において長期耐久性という観点から総じて劣ることや、近年の交通量の増加、重量車両の規格変更などの影響により疲労損傷を受けやすい。鋼道路橋 RC 床版（以下、RC 床版）は、このような過酷な使用状況などによるほか、ひび割れから浸入した水により悪影響を受けること、凍結防止剤などにより塩害や鋼材の腐食が生じやすい環境にあることから劣化や損傷の進行が早まっている。そのため、RC 床版の増厚、炭素繊維などによる補修・補強が行われる一方、劣化や損傷により機能を失った RC 床版の更新が検討されるとともに、車道幅員や車線の不足などにより道路の有効性が失われた鋼道路橋の架け替えが全国各地で行われている。

土木学会鋼構造委員会は、道路橋床版の複合劣化に関する調査研究小委員会（2013年5月～2016年3月、委員長：大田孝二）活動などを通じ、床版・防水システムの維持管理に関わる損傷度評価や補修・補強技術に加え輪荷重疲労のみでなく材料劣化を含めて複合的な損傷・劣化を評価対象にした、より実用的なマニュアル・ガイドラインを発行している。現在も毎年秋に開催される床版シンポジウムを通じて活動は続けられている。また、鋼橋の大規模修繕・大規模改築に関する調査研究小委員会（2013年6月～2016年5月、委員長：水口和之）は、これから予想される鋼橋の大規模修繕・大規模更新は過去の経験から学ぶ事が多いということから、これらの計画・設計に携わる技術者に向けて参考となる事例の提供を目的に活動が行われた。この報告書は、高速道路会社などの各インフラ管理者が行う大規模修繕・大規模更新への取り組み状況や鋼橋の大規模修繕・大規模更新に関する国内外の特徴的な事例を収集しており、RC 床版更新の事例としては8件が取りまとめられた。

補強や部分的な更新で機能を取り戻すことのできない RC 床版は、全面的に取り替えることとなるが、その際、最新の知見を盛り込むことで更新される床版は、版厚の増加や荷重の増加に伴う上部工の耐力不足などの新たな問題を抱えることとなる。また、現場では交通規制による制約の中、安全な撤去・架設方法が求められ、設計・施工計画の立案に相当な時間を費やすこととなる。今後、更に施工環境が厳しくなるとともに、設計・施工条件が難しい合成桁を対象とした RC 床版の更新が増加すると予測され、道路管理者をはじめ設計・施工に関わる実務担当者にとって喫緊の課題となっている。

このような背景から、本小委員会は、RC 床版に関する維持管理・補修の現状とこれから範囲の拡大が予測される RC 床版の更新施工技術について、最新の施工事例と施工技術を収集するとともに、与えられた施工環境に応じて安全かつ効果的に RC 床版の更新が行えるように、差し迫った課題に対して解決方法を検討してきた。本報告書は、本小委員会で討議した項目の中から RC 床版の更新に関して設計実務に役立つような有益な情報を集めて整理した。第1章は現在の RC 床版の現状をまとめ、第2章は RC 床版を更新するにあたり抱えている問題や課題への対応方法を示すとともに設計・施工の進めるにあたり配慮すべき事項を整理した。第3章は課題別に解決のヒントとなる施工事例を集め、第4章はより RC 床版に関する理解を深めるために合成桁の種類と考え方などの最新の知見と技術を紹介している。本報告書が今後、多く行われることとなる RC 床版の更新に少しでも役立てば幸いである。

令和2年4月

鋼道路橋 RC 床版を更新する施工技術に関する小委員会
委員長 並川 賢治

土木学会 鋼構造委員会
鋼道路橋 RC 床版を更新する施工技術に関する小委員会
委員構成

委員長	並川賢治	首都高速道路(株)
幹事長	齊藤史朗	(株)IHI インフラシステム
委員	青柳竜二	(株)長大
委員	秋山充良	早稲田大学
委員	岩井 学	川田工業(株)
委員	岩崎郁夫	大成建設(株)
委員	大垣賀津雄	ものづくり大学
委員*	加藤順一	東京都
委員*	岸田政彦	(株)フタバ (元 首都高速道路(株))
委員	小島弘幸	(株)福山コンサルタント
委員	後藤俊吾	(株)高速道路総合技術研究所
委員	小林 寛	阪神高速道路(株)
委員*	白水晃生	(株)横河ブリッジ
委員	橘 肇	(株)駒井ハルテック
委員	田中伸尚	宮地エンジニアリング(株)
委員	田中裕明	J F Eエンジニアリング(株)
委員	玉置一清	三井住友建設(株)
委員	玉越隆史	京都大学経営管理大学院 (元 国立研究開発法人土木研究所)
委員	中村定明	(株)IHI インフラ建設
委員	中山良直	川田建設(株)
委員	新倉利之	パシフィックコンサルタンツ(株)
委員	則竹義辰	(株)エイト日本技術開発
委員*	服部雅史	中日本高速道路(株)
委員*	平塚慶達	ショーボンド建設(株)
委員*	平野勝彦	東日本高速道路(株)
委員*	松井隆行	西日本高速道路(株)
委員	光川直宏	(株)建設技術研究所
委員	村越 潤	首都大学東京
委員	横関耕一	日本製鉄(株)
連絡幹事	臼井恒夫	首都高速道路(株)
旧委員	志道昭郎	(株)ピーエス三菱
旧委員	長尾千瑛	(株)高速道路総合技術研究所
旧委員	和田圭仙	西日本高速道路(株)
旧連絡幹事	原田拓也	(株)高速道路総合技術研究所

令和元年8月30日時点, 五十音順, 旧委員は委員交代時の所属,

*委員会幹事 兼 主査

目 次

はじめに

第 1 章 RC 床版の現状	1
1.1 RC 床版の現況	1
1.1.1 道路橋の経過年数と種別	1
1.1.2 道路橋に起因した問題・課題	2
1.1.3 現状の取り組み	3
1.2 RC 床版の設計基準の変遷	5
1.3 RC 床版の損傷状況	8
1.3.1 時代背景から生じた損傷	9
1.3.2 重交通による損傷	10
1.3.3 地理的条件がもたらす損傷	11
1.3.4 補強鋼材の損傷	11
1.4 RC 床版の損傷要因	14
1.4.1 疲労	14
1.4.2 塩化物	14
1.4.3 凍結融解	16
1.4.4 アルカリシリカ反応 (ASR)	17
1.4.5 中性化	17
1.4.6 複合的な要因	18
1.4.7 初期欠陥	18
1.5 RC 床版の健全度評価と更新の考え方	19
1.5.1 高速道路会社の健全度評価事例	21
1.5.2 国土交通省の健全度評価事例	25
1.5.3 コスト比較に基づいた更新の考え方	27
1.6 RC 床版の長寿命化対策	29
1.6.1 床版防水層	29
1.6.2 床版補強	32
第 2 章 課題への対応と設計・施工における配慮事項	36
2.1 RC 床版更新に関する問題・課題	37
2.1.1 RC 床版の劣化因子	37
2.1.2 施工条件と制約	37
2.1.3 主桁の照査	38
2.1.4 既設 RC 床版と鋼主桁との接合構造	40

2.2	床版の構造形式と耐久性向上	44
2.2.1	床版の構造形式	44
2.2.2	RC床版の変状要因に対する対応	46
2.2.3	耐久性の高い床版の考え方	52
2.3	主桁の設計照査と施工方法	72
2.3.1	荷重増加への対応	72
2.3.2	施工方法の選定	76
2.3.3	設計条件と施工との整合	80
2.3.4	振動・騒音など周辺環境への配慮	81
2.3.5	地理・地形・地域的な制約	81
2.3.6	設計図書等の情報不足への対応	81
2.3.7	各種交通規制への対応	85
2.3.8	上部構造の補強	88
2.3.9	施工中の安全	89
2.4	既設鋼主桁と合成されたRC床版への対応	91
2.4.1	合成桁の見分け方	91
2.4.2	照査における留意点	91
2.4.3	鋼桁の応力超過や座屈に対する対策	94
2.4.4	ずれ止め周りのコンクリートの撤去	97
2.4.5	主桁とプレキャストPC床版の接合	98
2.4.6	キャンバーと残留応力	100
2.5	道路付属物の高速施工と耐久性向上	102
2.5.1	壁高欄	102
2.5.2	その他の付属物	105
第3章	施工事例からわかるRC床版更新の要点	109
3.1	設計・施工上の課題に対応した施工事例	109
3.1.1	床版の発生応力に対する影響が大きい斜角への対応	109
3.1.2	迂回路の確保と工程短縮	111
3.1.3	安全確保と効率化	112
3.1.4	跨線橋の剥落対策	116
3.1.5	鋼合成桁の床版撤去と主桁補強	117
3.1.6	鋼合成桁の腹板事前切断・仮添接による床版の急速撤去	119
3.1.7	ウォータージェットによる鋼合成桁RC床版の急速撤去	122
3.2	機能を向上した施工事例	127
3.2.1	主桁の連続化による走行性の改善	127

3.2.2	合成桁の非合成化による維持管理の容易化	128
3.2.3	軽量化による耐震性の向上	131
3.2.4	補強による歩道の車道化と軽量化による幅員拡張	133
3.2.5	非合成化用の補強材追加による振動の低減	136
3.2.6	UFC 床版を用いた軽量化による鋼合成桁の補強軽減	137
3.3	工期短縮のための施工事例研究	141
3.3.1	標準工事の概要と全体工程	141
3.3.2	工種ごとの工程と作業内容	145
3.3.3	工期短縮の課題と要点	149
3.4	高速施工を目指す米国の ABC プロジェクト	164
3.4.1	ABC プロジェクト	164
3.4.2	US Highway 6 over Keg Creek Bridge	167
3.4.3	I-93 Fast14 Project	173
3.4.4	Grand Island Bridge	178
第 4 章	RC 床版更新のための知見と情報	183
4.1	合成桁の歴史と代表的な建設事例	183
4.1.1	活荷重合成桁と死活荷重合成桁	185
4.1.2	単純合成桁と連続合成桁	185
4.1.3	箱桁橋やトラス橋への適用	185
4.1.4	海外の事例	185
4.1.5	RC 床版と鋼桁の合成作用の程度による違い	186
4.2	RC 床版と鋼主桁の接合分類	189
4.2.1	架設方法による応力分布の違い	189
4.2.2	架設方法による変形と曲げ耐荷力の違いによる分類	191
4.3	PC 床版の輪荷重走行試験結果	193
4.4	輪荷重走行試験時における RC 床版の乾燥収縮の影響	204
4.4.1	連成解析による輪荷重走行試験のたわみの再現	204
4.4.2	表層と内部の収縮量の違いがたわみの挙動に与える影響	207
4.4.3	収縮条件の違いによる S-N 曲線に関する考察	208
4.4.4	得られた知見	210
4.5	疲労フリーの鋼床版構造	212
4.5.1	疲労フリーの鋼床版構造の実現	212
4.5.2	実物大モデルを用いた疲労耐久性の確認	215
4.5.3	提案構造が有する疲労耐久性	217
4.5.4	鋼床版化により期待できる橋梁全体の性能向上	218

4.6	炭素繊維シートによる主桁補強	220
4.6.1	2軸対称鉄桁のCFRPによる曲げ耐荷力補強の検討	220
4.6.2	1軸対称鉄桁のCFRPによる曲げ耐荷力補強の検討	228
4.6.3	まとめ	233
4.7	上部工の軽量化・急速施工を目標とした技術開発	235
4.7.1	UFC床版による更新床版の軽量化と急速施工	235
4.7.2	ワイヤーソーによる既設床版の急速撤去（その1）	239
4.7.3	ワイヤーソーによる既設床版の急速撤去（その2）	242
4.7.4	コア削孔による既設床版の急速撤去	245
4.7.5	支持桁による上部工の負担軽減	246
4.7.6	路下構築による急速鋼床版更新	250
資料	RC床版更新の施工事例	255

あとがき

【報告書に用いた用語】

- RC 床版： 鋼道路橋に使用される鉄筋コンクリート床版.
- PC 床版： 鋼道路橋に使用されるプレストレストコンクリート床版.
- PCa： プレキャストの略称.
本報告書においてスペースが限られた表中に使用.
- PCaPC 床版： プレキャストプレストレストコンクリート床版の略称.
本報告書においてスペースが限られた表中に使用.
- 床版取替： 損傷劣化した RC 床版を RC 床版, PC 床版, 鋼床版などに取り替える工事.
- RC 床版更新： 床版取替, 主桁の補強, 損傷補修を含めた一連の工事.
本報告書において更新は取替の意味を包含して使用.
- 床版更新： RC 床版更新と同義.
- 更新用床版： RC 床版を取り替えた後の RC 床版, PC 床版, 鋼床版などの床版.
- 劣化： 時間の経過に伴って進行する変状.
- 変状： 何らかの原因で, コンクリートやコンクリート構造物に発生している, 本来あるべき姿でない状態. 初期欠陥, 損傷, 劣化の等の総称.
- 初期欠陥： 施工時に発生するひび割れや豆板, コールドジョイント, 砂筋などの変状.
- 損傷： 地震や衝突等によるひび割れや剥離のように短時間のうちに発生し, その後は時間の経過によっても進行しない変状.
- 健全性： 構造物の状態を表す定性的な表現, 定量的な数値.
- 健全度： 構造物の状態を表す定量的な数値.
- 頭付きスタッド： コンクリート床版と鋼桁を接合する柔なずれ止め.
英語では **headed stud** とか **headed shear stud** と呼ばれる. ドイツ語では **Kopfbolzendübel** と呼ばれている. 1950 年代に **I. M. Viest** 博士が米国で開発された. 日本では, スタッドジベルと呼ばれることもある.
- 馬蹄形ジベル： コンクリート床版と鋼げたを接合する剛なずれ止め.
ドイツ語で **Hufeisen(馬蹄)dübel**. これはおもにドイツで開発されてきたため, 馬蹄形ジベルと呼ばれている. 溶接量が多いため, 頭付きスタッドが普及するにつれてその適用が減少してきた.
- 砂利化： コンクリートのセメント分が溶出し骨材が露出する状態. 土砂化と同義.

