

既設RC床版の鋼・コンクリート複合床版化に対応した床版保全工事（向佐野橋床版保全対策工事）

Slab Conservation Work Corresponding to the Steel/Concrete Hybrid Slab Changed from the Existing RC Slab (Mukaisano Bridge Slab Conservation Work)

矢ヶ部 彰*1 向井重徳*2 森 信行*3 松本泰成*4
Akira YAKABE Shigenori MUKAI Nobuyuki MORI Taisei MATUMOTO

Summary

This paper reports the design of “the construction method for combining steel plates and concrete slab” as a new method for repair and strengthening the RC slab on an existing steel bridge. The objectives of this construction method are to increase the durability of the slab and steel girders. And the aims are to install steel plates beneath the RC slab for preventing the flaking of concrete slab, thus requiring the replacement of RC slab and to realize the combining concrete slab and the above-mentioned steel plates, in the future.

キーワード：床版補強、既設RC床版の打ち替え、合成床版

1. まえがき

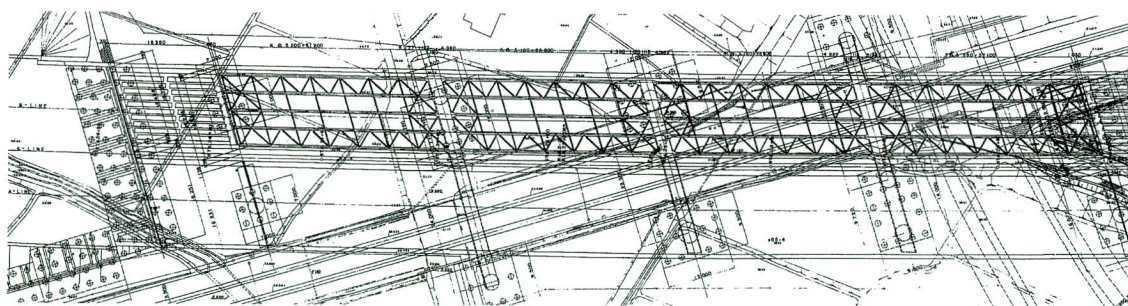
九州自動車道の太宰府IC～筑紫野IC間に位置する向佐野橋は、4径間連続非合成鋼桁の斜橋（73°）で、路下をJR鹿児島本線が斜め（15°）に横断している。本橋の設計は昭和47年の道路橋示方書（TL-20）に準拠して行われ、昭和49年2月に床版コンクリートを打設、昭和50年3

月に供用が開始し、今年で28年を経過する。

当該区間は、九州管内の高速道路ネットワークの延伸に比例して着実に交通量が増加し、平成11年で約8万台／日を越える重交通区間である。

同橋では床版コンクリートの劣化に応じて、ライニングによる剥落防止対策やネット防護工などを実施してきたが、さらにコンクリートの劣化が進行したため、鋼板

平面図



横断面図

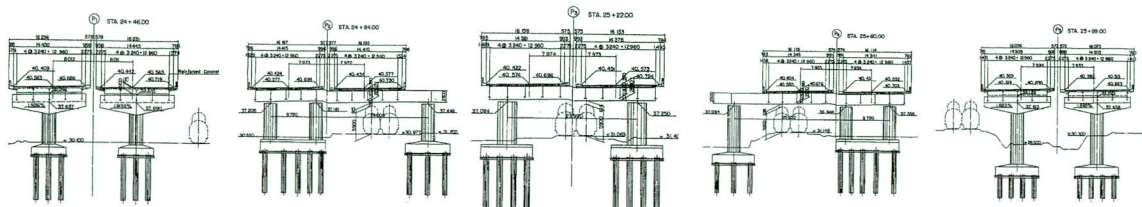


図-1 構造一般図

*1技術本部設計部設計二課

*3宮地建設工業(株)関西支社監理技術者

*2宮地建設工業(株)関西支社現場代理人

*4宮地建設工業(株)関西支社工事部計画グループリーダー

設置による床版保全対策を行うこととなった。

本工法は、現段階ではコンクリートの剥落防止を目的として鋼板を設置するが、将来的には床版の健全度を判断しながら同鋼板を利用して「鋼・コンクリート複合床版」に改良し、床版と鋼桁の耐久性の向上を図ることを目標としている。

ここでは、以上を念頭に置いて行った詳細設計での構造検討について報告する。

2. 鋼・コンクリート複合床版の構造概要

向佐野橋の構造一般図を図-1に、鋼・コンクリート複合床版（以降：複合床版と称する）の構造概要および部材の名称を図-2に、底鋼板の設置状況を写真-1・写真-2に示す。

なお、本橋ではB活荷重対応のため上面増し厚による床版補強が実施されており、現在の路面高は建設当初に比べて25mm高くなっている。

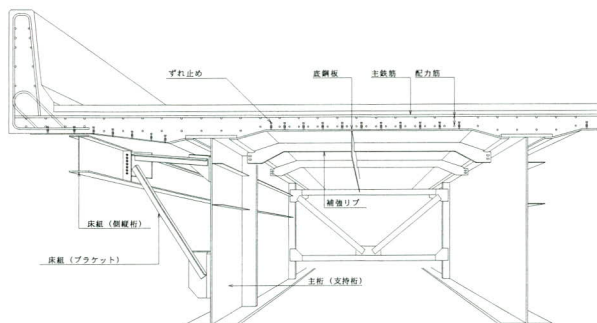


図-2 鋼・コンクリート複合床版の構造概要（将来完成形）

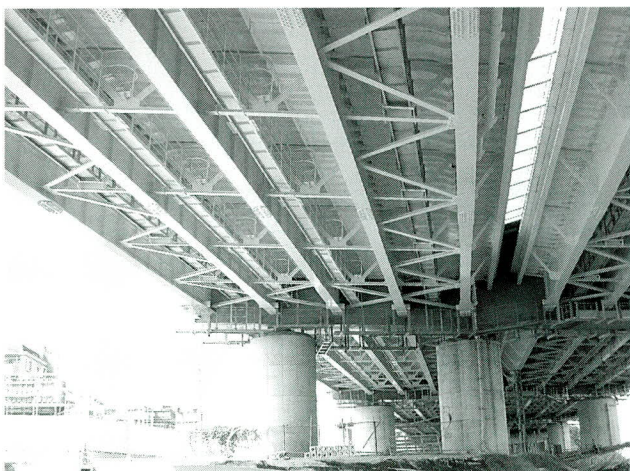


写真-1 底鋼板設置状況（1）



写真-2 底鋼板設置状況（2）

3. 複合床版の設計概要

複合床版の設計は鋼構造物設計指針：PART B：合成構造物（以降：文献1）と称する）に準拠して行った。以下に概要を述べる。

(1) 設計の基本方針

1) 支間部の設計

支間部の設計では、床版を複合床版としてコンクリートと鋼部材の応力度・活荷重たわみに対して使用限界状態の安全性の照査を行った。

疲労限界状態および終局限界状態の安全性の照査については、複合床版が文献1)の各種規定に準拠して設計されれば十分な安全性が確保されるためこれを省略した。

2) 支点部の設計

支点部（支持桁上：主桁上）の設計では、使用限界状態の安全性の照査としてコンクリート標準示方書に基づきひび割れ幅の照査を行った。

また、ひび割れ照査の際に用いた上鉄筋応力度は、以下の理由から同部をRC床版とし、道路橋示方書に準拠して算定した。

- ① 将来の複合床版化の際、支持桁上において底鋼板を連続させない構造の採用も考えられる。
- ② 連続させても底鋼板は圧縮部材になり、ひび割れに対しては有効に作用しないと考えられる。

(2) 設計荷重

1) 合成前（既設RC床版+底鋼板）

合成前に底鋼板が受け持つ荷重は、床版打ち替え時のコンクリート自重とした。

2) 合成後（複合床版化後）

合成後の複合床版が受け持つ荷重は、永久荷重（死荷重）および主たる変動荷重（B活荷重）とした。

合成前の底鋼板に作用する荷重としてコンクリート自重の他に以下が考えられたが、続いて記述する理由により設計にこれを考慮していない。

①剥落したコンクリート

設計荷重として打ち替え時のコンクリートを考慮しており、剥落したコンクリート片を支持するに十分と判断される。

②輪荷重

既設床版の劣化が進行して底鋼板に輪荷重が直接作用する前に、床版の打ち替えが実施されると考えられる。

③床版打ち替え中の走行車輛の飛び込み

打ち替え中に別途設置される仮設の防護柵や覆工板等による防護が期待される。

4. 床版打ち替え方法の想定

床版の打ち替えの際には、何らかの車線規制が必要である。しかしながら、平日の交通量が8万台/日である本橋では車線規制に伴う社会的な影響は大きい。

これを受けて、以下の床版打ち替え方法を想定し、それぞれに対して車線規制による影響を極力小さくする方法を検討すると共に、複合床版の設計に反映した。

(1) レーンごとの床版打ち替え

レーンごとの床版打ち替えの場合、打ち替え範囲が広く工事量が大きいため、終日の車線規制が不可欠となる。

終日の車線規制方法については、基本設計において数種類のシミュレーションを行った結果、車線幅を狭くして現状の6車線を確保する規制方法が最も渋滞の度合いが低いとの結論が得られている。

このため、6車線を確保しつつレーン毎に床版を打ち替える方法として、既設橋の拡幅を実施した後に打ち替えを実施する工事方法（図-3）を想定した。

(2) 部分的な打ち替えの繰り返し

比較的交通量が少なくなる夜間に規制を設置して、部分的に床版の打ち替えを実施し、早朝に交通を解放する。

これを繰り返して床版の打ち替えを完了することを想定した。

5. 複合床版の基本構造

複合床版の基本構造を、底鋼板設置時（図-4）・床版打ち替え時（図-5）・床版打ち替え完了時（図-6）の施工段階に分けて示す。

なお、本工事の施工範囲は底鋼板設置までであり、床版打ち替え時・床版打ち替え完了時、は将来の施工となる。

以下に基本構造に至った経緯を述べる。

(1) 複合床版の形式選定

本橋では応急処置的・局部的な床版打ち替えの発生も予想され、その際には、底鋼板を型枠の受けとして利用することも考えられる。このため、当初施工では突起物であるずれ止めを設置しないで底鋼板を既設床版の下面に極力近づけることを基本とした。

一方、床版打ち替え工事に伴う社会的な影響を最小限とするには急速施工が不可欠であり、床版打ち替え時に発生する膨大な数のずれ止め施工の効率化が課題となった。

この対策として、工場にて底鋼板にスタッドボルトを溶接し、ボルトナットを後施工してずれ止めとする「ロビンソン型合成床版」を採用した。これにより、現場でのずれ止め施工を容易とすると共に、同作業に伴う溶接・矯正・補修塗装、等の現場作業を省略し、床版打ち替えの短縮化を図った。（図-5. (1)）

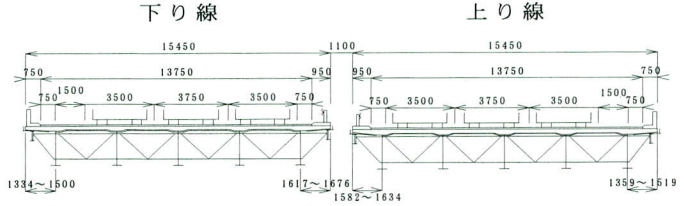
また、当初施工において底鋼板を既設床版の下面に極力近づけて設置するために、スタッドボルト長は施工上の必要最小限の35mmとし、既設床版との間に45mmの隙間を設けて底鋼板を設置した。（図-4. (1)）

向佐野橋 床版打ち替え方法

(床版幅と地覆・壁高欄をフロリダ型に改造した後に、下り線から床版の打ち替えを実施)

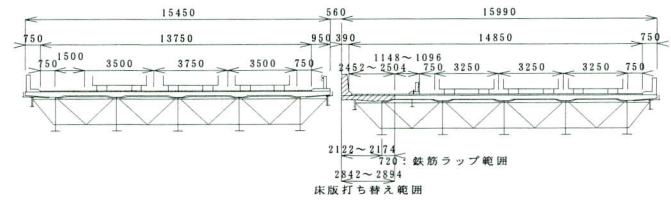
STEP-1: 底鋼板設置完了

- 車線構成
下り線：下り線3車線
上り線：上り線3車線



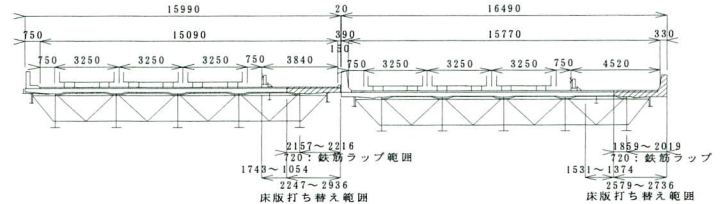
STEP-2: 中央分離帯(下) 拡幅

- 拡幅量
中央分離帯側：540mm (壁高欄：フロリダ型)
- 車線構成
下り線：下り線3車線
上り線：上り線3車線



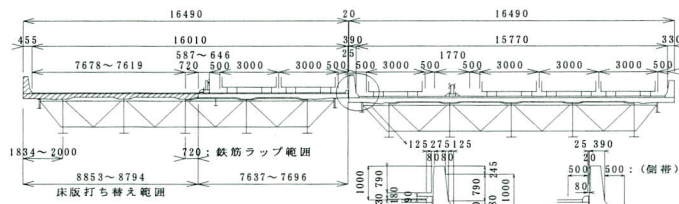
STEP-3: 壁高欄(下)・中央分離帯(上) 拡幅

- 拡幅量
中央分離帯側：540mm
壁高欄側：500mm (壁高欄：フロリダ型)
- 車線構成
下り線：下り線3車線
上り線：上り線3車線



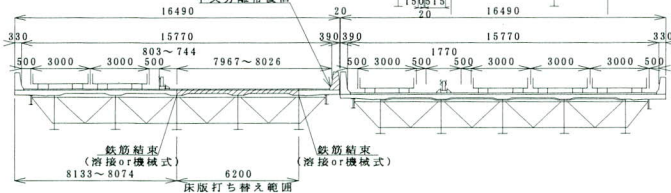
STEP-4: 下り線走行車線側床版打ち替え

- 車線構成
下り線：下り線2車線
上り線：下り線1車線・上り線3車線
- 問題点
6車線確保の為に、車線幅を3000mmとし側帯を500mmとする必要がある。



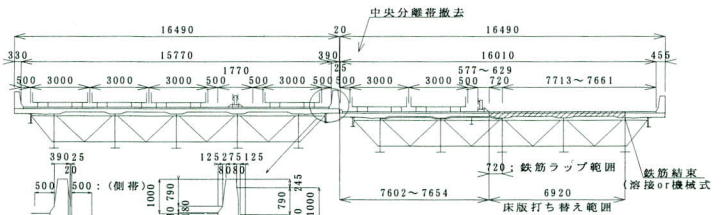
STEP-5: 下り線追い越し車線側床版打ち替え

- 車線構成
下り線：下り線2車線
上り線：下り線1車線・上り線3車線
- 問題点
6車線確保の為に、車線幅を3000mmとし側帯を500mmとする必要がある。



STEP-6: 上り線走行車線側床版打ち替え

- 車線構成
下り線：下り線3車線・上り線1車線
上り線：上り線2車線
- 問題点
・6車線確保の為に、車線幅を3000mmとし側帯を500mmとする必要がある。
上り線の中央分離帯を撤去、改造する必要がある。



STEP-7: 上り線追い越し車線側床版打ち替え

- 車線構成
下り線：下り線3車線・上り線1車線
上り線：上り線2車線
- 問題点
・6車線確保の為に、車線幅を3000mmとし側帯を500mmとする必要がある。

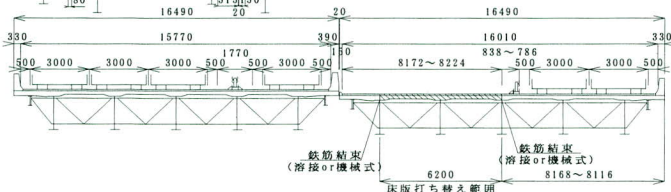


図-3 レーンごとの床版打ち替え方法

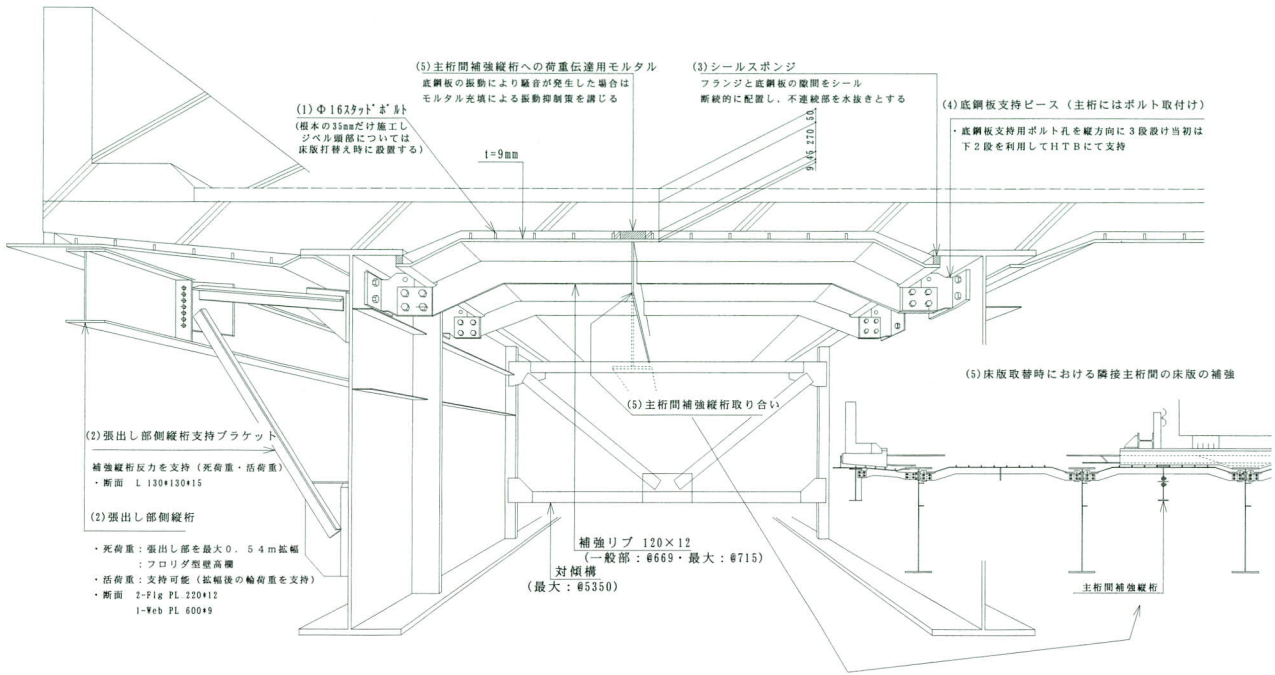


図-4 底鋼板設置時 (今回実施)

(3) 底鋼板厚決定根拠: 以下の4項目と死荷重の増分等を総合的に勘案して板厚9mmに決定

- ① 指示の最低板厚: 10mm (指示9.6: スタッドを使用する場合のフランジの最低板厚)
- ② 鋼構造設計指針 PART Bの最小底鋼板厚: 8mm程度を標準とする。
(疲労損傷、ずれ止め溶接時の変形、製作時の取り扱い、現場施工時の不測の変形、市場性の配慮から)
- ③ ずれ止めにスタッドを用いた既往の合成床版の底鋼板厚: 9mm

④ 一時的な圧縮応力を受ける補合板の最低板厚 (指示: 式 3.2.1・式 3.2.2)

$$t = b / 80 f n = 670 (715) / 80 = 8.4 (8.9) \rightarrow 9mm$$

底鋼板
補強リブ
670 (715)
120
b: 補強リブ間隔
f: 応力勾配による係数 (1.00)
n: 補母材によって区切られるパネル数 (1)
注) () 内の値は最大リブ間隔、外は一般間隔

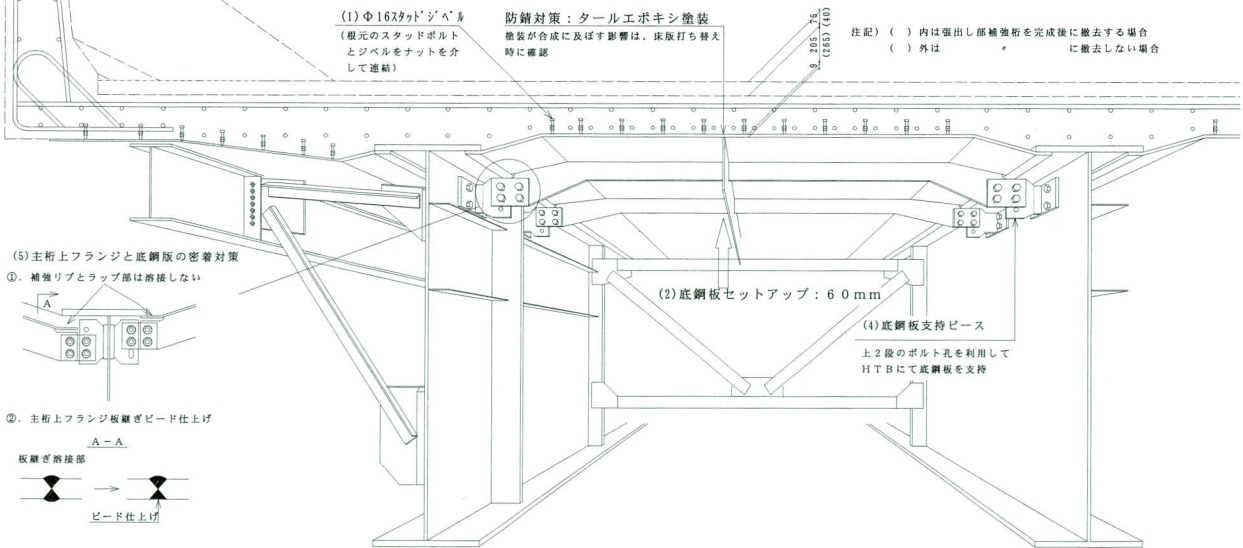


図-5 床版打ち替え時 (将来形)

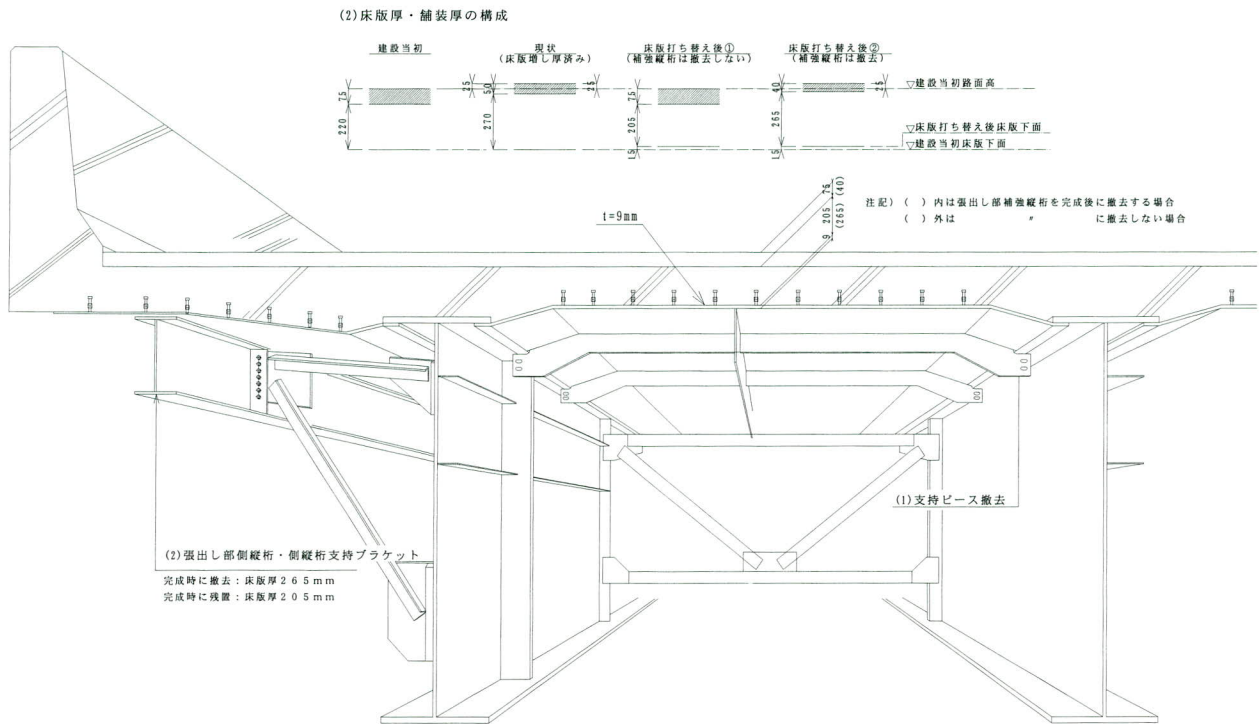


図-6 床版打ち替え完了時（将来形）

(2) 既設構造物に与える負荷の軽減

1) 鋼板のセットアップ

本橋の両隣は橋梁（コンクリート橋）のため、床版の打ち替えにあたっては現状または建設時の路面高の再現が求められる。

一方、底鋼板の設置位置を当初施工の位置として床版の打ち替えを行うと、床版厚は建設当初に比べて45mm（既設床版と底鋼板の隙間分）増すため、複合床版の必要床版厚を大きく上回ると共に橋梁全体の死荷重増につながる。

よって、既設床版撤去後に底鋼板をセットアップし、複合床版の適正床版厚の確保と全体死荷重の軽減を図る計画とした。（図-5. (2)）

2) 底鋼板補強リブの設置方向

床版の打ち替え完了までの間、底鋼板は既設主桁ウェブに新設したピースにより支持されるため、これに起因する主桁の首振りの発生が懸念された。

これに対して、底鋼板の補強リブを対傾構の設置方向と同じ斜角方向に設置し、左右の支持ピース間に発生する鉛直変位差を少なくすることにより主桁の首振りの抑制を図った。

更に、将来の複合床版化の際には以下の策を講じる計

画とした。

① 複合床版化後に支持ピースを撤去して、主桁の首振り原因の解消と維持管理対象部材の削減を図る。（図-6. (1)）

(1)

② 複合床版の上側主鉄筋を補強リブと同様に斜角方向に配置し、主桁のたわみ差による付加曲げモーメントの軽減を図る。

(3) 複合床版の床版厚

張出し床版下面に設置する底鋼板は、新設の床組（側縦筋・ブラケット）により支持する。（図-4. (2)）

レーンごとの床版打ち替えを実施する場合、拡幅に伴って張出し床版のスパンが大きくなる。このため、新設の床組を永久構造とするか否かによって複合床版の必要厚が異なり、打ち替え完了後の死荷重に大きな影響を及ぼす。

しかしながら、当初施工の時点では同構造を永久構造物とするか否かの結論に至らなかったため、床組の設計は同構造を永久構造物とすると共に、床版厚は以下の2案を想定して実施した。（図-6. ②）

① 複合床版厚：205mm（床組は永久構造）

② 複合床版厚：265mm（床組は撤去）

6. 複合床版の構造詳細

(1) 底鋼板の板厚

以下の4項目と死荷重の増分等を総合的に勘案して、底鋼板厚を9mmとした。(図-5 (3))

- ① ずれ止めにスタッドを使用する場合のフランジの最低厚：10mm (道路橋示方書・同解説：Ⅱ.9.6)
- ② 「道路橋の鋼板・コンクリート合成床版」の最小底鋼板厚：8mm程度を標準とする (文献1))
- ③ ずれ止めにスタッドを用いた既往の合成床版の底鋼板厚：9mm
- ④ 一時的な圧縮応力を受ける補剛板の最低板厚：9mm (道路橋示方書・同解説：Ⅱ.3.2)

(2) 底鋼板部材の分割方法

部材は主鉄筋方向には分割せず、配力筋方向のみ分割する構造とした。なお、部材長の決定にあたっては下記の事項を考慮して1.8m程度とした。

- ・現場への搬入方法
- ・主桁間でのハンドリング性
- ・部材重量：350kgf程度

(3) 底鋼板の連結方法

複合床版の設計曲げモーメントは等方性版として求められており、厳密には底鋼板の継ぎ手(配力筋方向)には作用力の伝達機能が要求される。

しかしながら、作用力の伝達を期待できない継ぎ手を有する(配力筋を配置)既往の合成床版も、等方性の挙動を示すことが輪荷重走行試験にて確認されている。(文献2)

これを受けて本工事では、上記の合成床版と同様の継ぎ手構造(図-7：スタッドボルト連結)を採用し、同床版の設計法に倣って配力筋を配置する計画とした。

また、複合床版化の際に作用力の伝達が可能な継ぎ手に改造する可能性もある。これを受けて、底鋼板と添接板の接合は、作用力の伝達が可能な溶接継ぎ手とすると共に、同部の疲労照査を以下の要領で行い安全性を確認した。

- ① 適用図書：鋼構造物の疲労設計指針・同解説
- ② 疲労照査荷重：B活荷重(輪荷重)1組
- ③ 応力範囲の算定方法：

配力筋方向の曲げモーメントをFEM解析により求め、断面計算により底鋼板の応力度を算出。

④ 繰り返し回数

- ・橋梁の耐用年数：100年
- ・繰り返し回数： 3.7×10^7 (交通量の実績より推定)

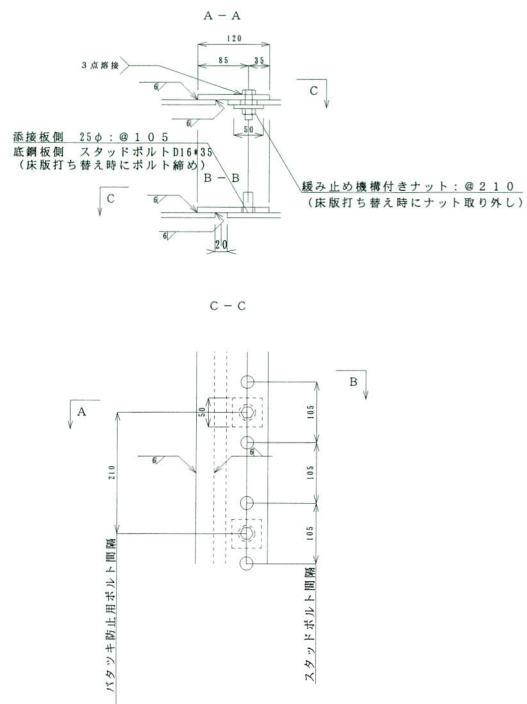


図-7 底鋼板の連結構造

(4) 底鋼板の防錆

床版の打ち替えは底鋼板設置から10年程度で実施されることを想定しており、それまでの底鋼板の防錆方法が課題となった。

これを受けて、底鋼板の防錆方法について比較検討を行い(表-1)、タールエポキシ樹脂塗装2層塗り(JH箱桁内面仕様)を採用した。(写真-3)

なお、塗装が鋼板とコンクリートの合成化に及ぼす影響は未解明であり、床版打ち替えに際しては塗装の影響を確認することが課題となる。

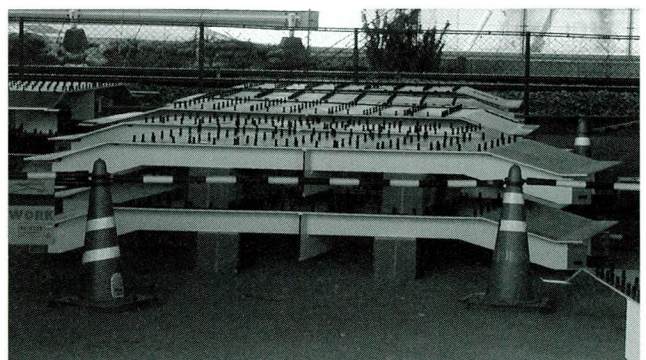


写真-3 塗装完了後の底鋼板

表一 底鋼板の防錆方法の比較表

	1案 タールエポキシ樹脂塗料2層 (JH:箱桁の内面および上フランジ上面の塗装系)	2案 有機ジンクリッチペイント1層 (JH:上フランジコンクリート接触面塗装系)	3案 無塗装
塗装仕様	・下地処理(2次素地調整):G-c ・タールエポキシ樹脂塗料:120μm 2回 ※塗装面における錆発生の原因である塗装時のピンホール対策として2回塗りとする。(1層目に発生したピンホールを2層目で埋める)	・下地処理(2次素地調整):スライブラスト ・有機ジンクリッチペイント:75μm 1回 ※有機ジンクリッチペイントを塗布した場合、5年程度は錆汁が流れ出るような重大な損傷は発生しないと考えられるが、有機ジンクリッチペイントは単膜で使用することを想定しておらず、本塗装系の耐用年数は不明である。	・無塗装 ・一般環境(飛来塩分の影響を受けずかつ、自動車排気ガスや工場煤煙の影響を強く受けない環境)の場合、10年で約0.5mm(片面当たり)の板厚減少がある。 ただし、結露の影響は未確認
耐用年数	20年	未確認	未確認
付着性の参考値	・土木研究所資料第3070号「コンクリート埋設鉄構造物に関する調査報告書」より タールエポキシ樹脂塗料(60μm)を塗布した鋼板の引き抜き付着試験結果:付着応力度:128N/cm ² 注記)試験片の塗装仕様と今回提案の塗装仕様は異なるため数値は参考値	・土木研究所資料第3070号「コンクリート埋設鉄構造物に関する調査報告書」より 有機ジンクリッチペイント(35μm)を塗布した鋼板の引き抜き付着試験:付着応力度:316N/cm ² 注記)試験片の塗装仕様と今回提案の塗装仕様は異なるため数値は参考値	・土木研究所資料第3070号「コンクリート埋設鉄構造物に関する調査報告書」より 無塗装鋼板の引き抜き付着試験 付着応力度:152N/cm
耐アルカリ性 (コンクリートに対して)	○ ・エポキシ樹脂は、耐アルカリ性の良好な樹脂である。	○ ・有機ジンクリッチペイントに配合されている亜鉛顔料の防蝕性については、中性から弱アルカリ性(pH6~12)の範囲では良好な防蝕性を示す。	△ ・問題なし
防食性	○ ・エポキシ樹脂塗料は、防食、耐水性に優れている。	○ ・単膜での防食性は不明である	○ ・腐食代を確保する必要がある。 ・スタッドボルトのねじ山が腐食し、使用不可能となる。
経済性	△	○	○
その他	・塗装面が合成化に及ぼす影響を実験で確認する必要がある。 ・実験結果によっては、床版打ち替え時に塗装を除去する必要がある。	・JR線上に錆汁が落ちる恐れがある。	・JR線上に錆汁が落ちる恐れがある。
総合評価	○	△	×

(5) 既設床版と底鋼板の間の隙間処理

当初施工において底鋼板に求められる性能は、剥落したコンクリート片の落下防止である。しかしながら、当初施工では既設床版と底鋼板の間に隙間が空くため、ここからのコンクリート片の落下防止が必要となった。

これに対して底鋼板の端部に、プレキャスト床版の場所打ちハンチ部に型枠として採用されているシールスポンジを設置して、コンクリート片の落下防止を図った。(図-4.(3))

(6) 既設床版のモニタリング対策

床版の打ち替えは既設床版の健全度を判断しながら行われる予定であるが、当初施工において床版下面の全体に底鋼板が設置されるため、床版のモニタリングに対して底鋼板に工夫が必要であった。

これに対して、以下の対策を講じた。

- ・主桁支間のL/2・L/4付近の底鋼板に観測孔を設けた。
- ・第三者被害の発生確率が低い公団所有地の上に位置し床版の損傷度が比較的高い部分については、当初施工での底鋼板設置を取りやめて、同部の床版下面全体のモニタリングを容易とした。

(7) 床版打ち替え時の配慮

1) 底鋼板のセットアップに対して

底鋼板支持ピースに取付ボルト孔を縦方向に3段設け、

当初施工では下の2段を・床版打ち替え時には上段の2段を、利用して底鋼板のセットアップを実施する計画とした。(図-4.(4)・図-5.(4))

2) レーンごとの床版打ち替えに対して

床版の打ち替えをレーンごとに実施する場合、既設床版が片持ち状態になる施工ステップが生じる。(図-3)

この際、片持ち部には輪荷重が作用するうえ、スパンが3m程度となり、何らかの対策が必要であった。

これに対して、主桁間の底鋼板に仕口を設け、床版打ち替えの際には同部に補強縦桁を設置して(図-4.(5))片持ち状態の解消を図る計画とした。

また、補強縦桁への輪荷重伝達手段として、底鋼板と床版の隙間にモルタルを充填することを想定し、型枠としてシールスポンジを設置した。

3) 部分的な打ち替えに対して

対傾構間を部分打ち替えの最小単位と想定し、同範囲単位で底鋼板のセットアップが可能な構造となるよう、添接板の溶接方向を工夫した。

7. 複合床版の設計結果

複合床版の設計総括を、図-8(床版厚:205mm)・図-9(床版厚:265mm)に示す。

両者ともレーンごとの打ち替え(図-3:拡幅を伴う)を想定して設計を行った。

鋼・コンクリート複合床版の設計結果：床版540mm幅・側縦桁撤去・底鋼板はセットアップ

i. 設計条件

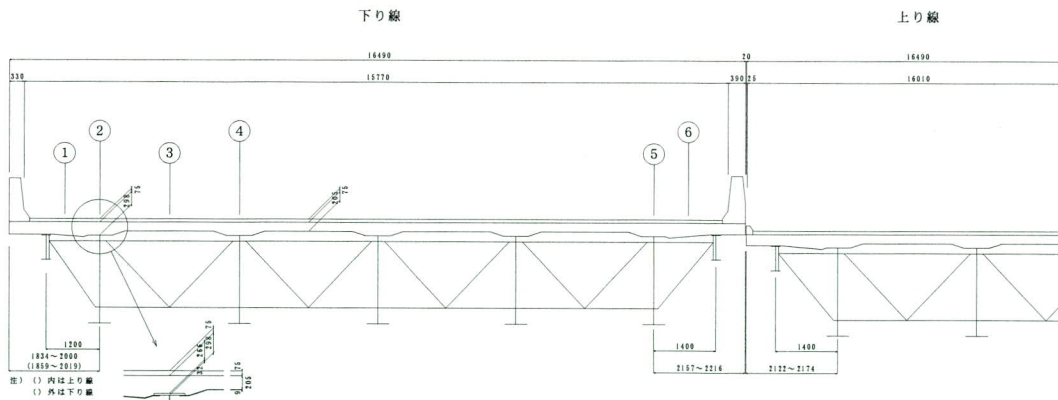
既設床版とのクリア:	4.5 cm	既設床版ハンチ厚:	7.8 cm				
セットアップ:	6 cm	コンクリート設計強度:	30 N/mm ²	→ 許容応力度: $\sigma_{ca} =$	30	/	3 = 10.0
コンクリート設計強度:	30 N/mm ²	床版厚:	20.5 cm				
床版厚:	20.5 cm	舗装厚:	7.5 cm				
鋼部材に対する部材強度係数 ϕ :	1	コンクリートに対する部材強度係数 ϕ :	0.56				
複合床版化後の全死荷重: ① =	57744.2 kN	→ ①/② =	1.17				
建設当初の全死荷重: ② =	49395.9 kN						

ii. 設計結果

照査位置	単位	中間支間		張出し床版(壁高欄部)		張出し床版(中央分離部)	
		主鉄筋	配力筋	主鉄筋	配力筋	主鉄筋	配力筋
		③	④	①	②	⑥	⑤
設計曲げモーメント		7.706	0.000	-	-	1.766	2.354
死荷重	kN-m/m	7.936	-7.936	-	-	-39.626	-43.762
活荷重	kN-m/m	69.817	-38.967	55.189	-	-65.844	26.470
死+活	kN-m/m	85.459	-46.904	55.189	-	-105.470	26.470
複合床版の応力	コンクリート	応力度	-7.1	-	-	-	-
	設計基準強度	N/mm ²	23.1	-	-	-	-
	底鋼板	応力度	56.3	-	-	-	-
	設計基準強度	N/mm ²	216.2	-	-	-	-
RC床版の応力(主桁上)	コンクリート	応力度	-	-6.2	-	-	-12.5
	許容応力度	N/mm ²	-	-10.0	-	-	-10.0
	引張鉄筋	前死荷重	-	107.9	-	-	148.2
	許容応力度	N/mm ²	-	140.0	-	-	140.0
RC床版の応力(配力筋)	コンクリート	応力度	-	-12.9	-	-3.7	-4.9
	設計基準強度	N/mm ²	-	23.1	-	23.1	23.1
	引張鉄筋	前死荷重	-	172.5	-	101.8	133.2
	設計基準強度	N/mm ²	-	216.2	-	216.2	216.2
コンクリートおよび鋼板の使用限界状態照査(複合床版)	鋼部材に対して	低鋼板・引張鉄筋	0.26	-	-	-	-
	低鋼板リブ先端	0.61	-	-	-	-	-
	コンクリートに対して	0.55	-	-	-	-	-
コンクリートおよび鉄筋の使用限界状態照査(RC床版)	鉄筋に対して	0.80	-	-	0.47	-	0.62
	コンクリートに対して	0.99	-	-	0.29	-	0.38
	上限値	1.00	-	-	1.00	-	1.00
たわみの照査	活荷重たわみ	0.5	-	0.1	-	0.1	-
	上限値: $\delta = L/2000$	1.6	-	0.6	-	0.7	-
	床版打設によるたわみ	4.6	-	0.2	-	0.3	-
支持桁上付近に生じるコンクリートのひびわれの照査	RC床版とした場合の鉄筋応力度: σ_s	107.9	-	148.2	-	155.5	-
	安全率: σ_{se}/σ_s	1.07	-	0.86	-	0.82	-
	ひび割れ幅を制限する場合の鉄筋の最大応力度: σ_{se}	115.9	-	127.1	-	127.1	-

iii. 構造概要図

寸法値(mm)	床版寸法			RC桁舗装厚
	t1	t2	t3	
	205	298	266	hS



断面番号	張出し床版部	中間支間部	
	①・②・⑤・⑥	③	④
主鉄筋			
配力筋			

図-8 複合床版の設計総括(床版厚:205mm)

鋼・コンクリート複合床版の設計結果：床版540mm幅・側縦桁撤去・底鋼板はセットアップ

- i. 設計条件
- 既設床版とのクリア：4.5 cm
 セットアップ：6 cm
 コンクリート設計強度：30 N/mm² → 許容応力度： $\sigma_{ca} = 30 / 3 = 10.0$
 床版厚：26.5 cm
 舗装厚：4 cm
 鋼部材に対する部材強度係数 ϕ ：1
 コンクリートに対する部材強度係数 ϕ ：0.56
 複合床版化後の全死荷重：①= 60601.5 kN → ①/②= 1.23
 建設当初の全死荷重：②= 49395.9 kN

ii. 設計結果

照査位置	単位	中間支間			張出し床版(壁高欄部)			張出し床版(中央分離帯部)			
		主鉄筋	配力筋		主鉄筋	配力筋		主鉄筋	配力筋		
		③	④	③	①	②	①	⑥	⑤	⑥	
設計曲げモーメント	型枠に作用	kN・m/m	9.635	0.000	—	—	2.057	—	—	2.750	—
	死荷重		8.653	-8.653	—	—	-40.983	—	—	-45.416	—
	活荷重	kN・m/m	69.817	-38.967	55.189	—	-65.844	20.229	—	-66.941	26.470
	死+活		88.104	-47.620	55.189	—	-106.827	20.229	—	-112.357	26.470
複合床版の応力	コンクリート	応力度	-4.9	—	—	—	—	—	—	—	—
	設計基準強度		23.1	—	—	—	—	—	—	—	—
	底鋼板	応力度	44.1	—	—	—	—	—	—	—	—
	設計基準強度		216.2	—	—	—	—	—	—	—	—
RC床版の応力(主桁上)	コンクリート	応力度	—	-3.9	—	—	-8.0	—	—	-8.4	—
	許容応力度		—	-10.0	—	—	-10.0	—	—	-10.0	—
	引張鉄筋	前死荷重	—	68.5	—	—	115.7	—	—	121.7	—
	許容応力度		—	140.0	—	—	140.0	—	—	140.0	—
RC床版の応力(配力筋)	コンクリート	応力度	—	—	-8.3	—	-2.5	—	—	—	-3.2
	設計基準強度		—	—	23.1	—	23.1	—	—	—	23.1
	引張鉄筋	前死荷重	—	—	173.9	—	79.9	—	—	—	104.5
	設計基準強度		—	—	216.2	—	216.2	—	—	—	216.2
コンクリートおよび鋼板の使用限界状態照査(複合床版)	鋼部材に対して	低鋼板・引張鉄筋	0.20	—	—	—	—	—	—	—	—
	低鋼板・引張鉄筋		0.40	—	—	—	—	—	—	—	—
	コンクリートに対して		0.38	—	—	—	—	—	—	—	—
	上限値		1.00	—	—	—	—	—	—	—	—
コンクリートおよび鉄筋の使用限界状態照査(RC床版)	鉄筋に対して		—	—	0.80	—	0.37	—	—	—	0.48
	コンクリートに対して		—	—	0.64	—	0.19	—	—	—	0.25
	上限値		—	—	1.00	—	1.00	—	—	—	1.00
	上限値		—	—	—	—	—	—	—	—	—
たわみの照査	活荷重たわみ	mm	0.3	—	—	0.1	—	—	—	0.1	—
	上限値： $\delta = L/2000$		1.6	—	—	0.6	—	—	—	0.7	—
	床版打版によるたわみ		5.8	—	—	0.2	—	—	—	0.4	—
支持桁上付近に生じるコンクリートのひびわれの照査	RC床版とした場合の鉄筋応力度： σ_s	N/mm ²	—	68.5	—	—	115.7	—	—	121.7	—
	安全率： σ_{se}/σ_s		—	1.84	—	—	1.10	—	—	1.04	—
	ひびわれ幅を制限する場合の鉄筋の最大応力度： σ_{se}		—	125.8	—	—	127.1	—	—	127.1	—

iii. 構造概要図

寸法値(mm)	床版寸法			RC桁舗装厚h3
	t1	t2	t3	
	265	358	326	100

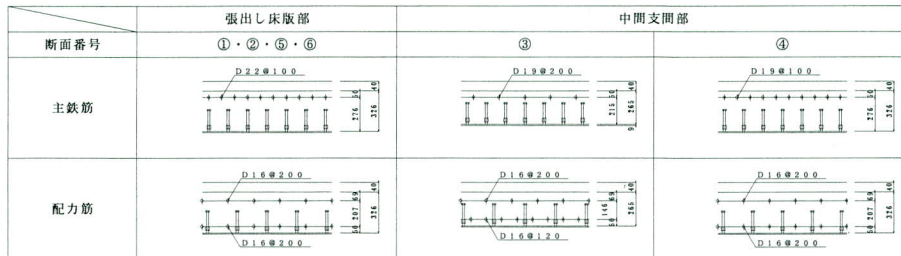
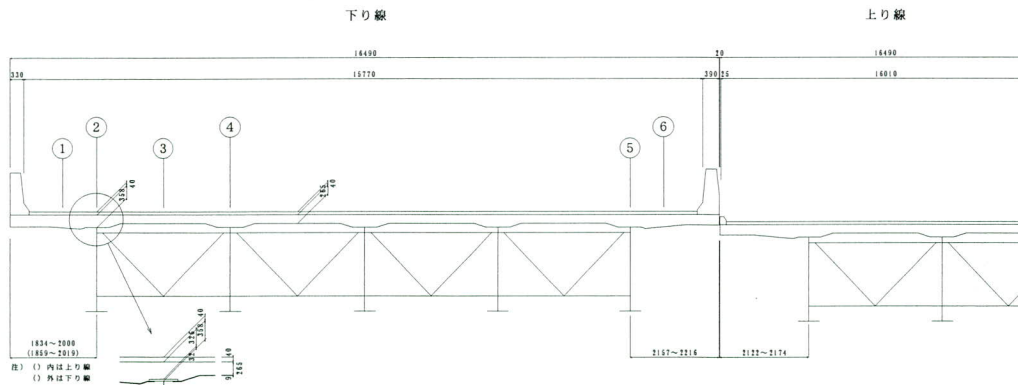


図-9 複合床版の設計総括(床版厚：265mm)

8. 複合床版化後の鋼桁の照査

レーンごとの打ち替えを実施する場合、床版の拡幅に伴って建設当初より死荷重が増える結果となった。更に、B活荷重の導入も加わり、複合床版化後の鋼桁に作用する荷重は建設当初に比べて増えることとなる。

これに対して、活荷重の載荷範囲を以下として複合床版化後の鋼桁の応力照査を行った。

- ・ 施工時：有効幅員全載（**図-3**：車線の切り回しによって活荷重がほぼ全幅に載荷されるため。）
- ・ 完成時：レーン載荷

照査要領を**表-2**に、鋼桁の照査結果を**表-3**に、代表的な応力図を**表-4**に示す。

表-2 鋼桁の照査要領

	TYPE-1 (施工時)	TYPE-2 (完成時)	TYPE-3 (施工時)	TYPE-4 (完成時)
抵抗断面	鋼桁のみ（非合成：建設時）			
活荷重	B活荷重			
床版厚	265mm		205mm	
死荷重増加率	23 %		17 %	
活荷重の載荷範囲	有効幅員	レーン	有効幅員	レーン
許容応力度の割り増し	1.25	1.00	1.25	1.00

表-3 鋼桁の照査結果（応力超過率）

		TYPE-1 (施工時)	TYPE-2 (完成時)	TYPE-3 (施工時)	TYPE-4 (完成時)
支間	外桁	11 %	12 %	5 %	8 %
	内桁	超過無し	13 %	超過無し	9 %
支点	外桁	8 %	14 %	6 %	9 %
	内桁	超過無し	超過無し	超過無し	超過無し
横梁		超過無し	12 %	超過無し	8 %

9. 将来の複合床版化にあたっての今後の課題

(1) 床版の打ち替え時期の判断方法

将来の床版打ち替えは床版の健全度を判断しながら実施時期を決定する必要がある。

このため、底鋼板に設けた観測孔を用いた床版のモニタリング結果から、既設床版の損傷度を判定する方法を確立することが今後の課題となる。

(2) 底鋼板が分担するせん断力の支持桁（主桁）への伝達方法の決定

複合床版の押し抜きせん断耐力を確保するうえで、底鋼板が分担するせん断力を支持桁（主桁）に確実に伝達させることが重要であり、せん断力伝達構造の確立が今後の課題となる。

将来の同構造確立にあたっては、実験によるせん断力伝達性能の確認に加えて、現場の施工性を加味する必要がある。参考として、本工事において想定したせん断力伝達構造を**表-5**に示す。

また、底鋼板と既設主桁上フランジの溶接によるせん断力伝達構造の採用を想定して、当初施工にて以下の対策を講じた。**(図-5. (5))**

- ・ 底鋼板と主桁フランジの密着を容易にするため、両者がラップする範囲では底鋼板と補強リブの溶接は行わない。
- ・ 既設主桁フランジの板継ぎビードの仕上げ実施。

(3) 複合床版に使用するコンクリート

将来の複合床版化では耐久性の向上を目的にファイバーコンクリートの使用を想定しており、急速施工との両立が求められる。

以下にコンクリートに関する今後の課題を記述する。

1) コンクリートの選定

ファイバーの使用と急速施工の両立が可能なコンクリートの選定が課題となる。例えば、試験練りによる以下の検討が必要と思われる。

- ・ 配合
- ・ 強度発揮時期の確認（供用開始可能時期の特定）
- ・ スランプ（ワーカビリティ）

2) コンクリートの搬送方法

早強コンクリートを使用する場合は、現場へのコンクリートの搬送方法が課題となる。例えば以下の検討が必要と思われる。

- ・ 生コンプラントから現場までの交通事情
- ・ 現場練り採用の可否（現場にプラントを設置）
- ・ ファイバー混入後の床版打設位置への搬入方法

表-4 複合床版化後の鋼桁応力図

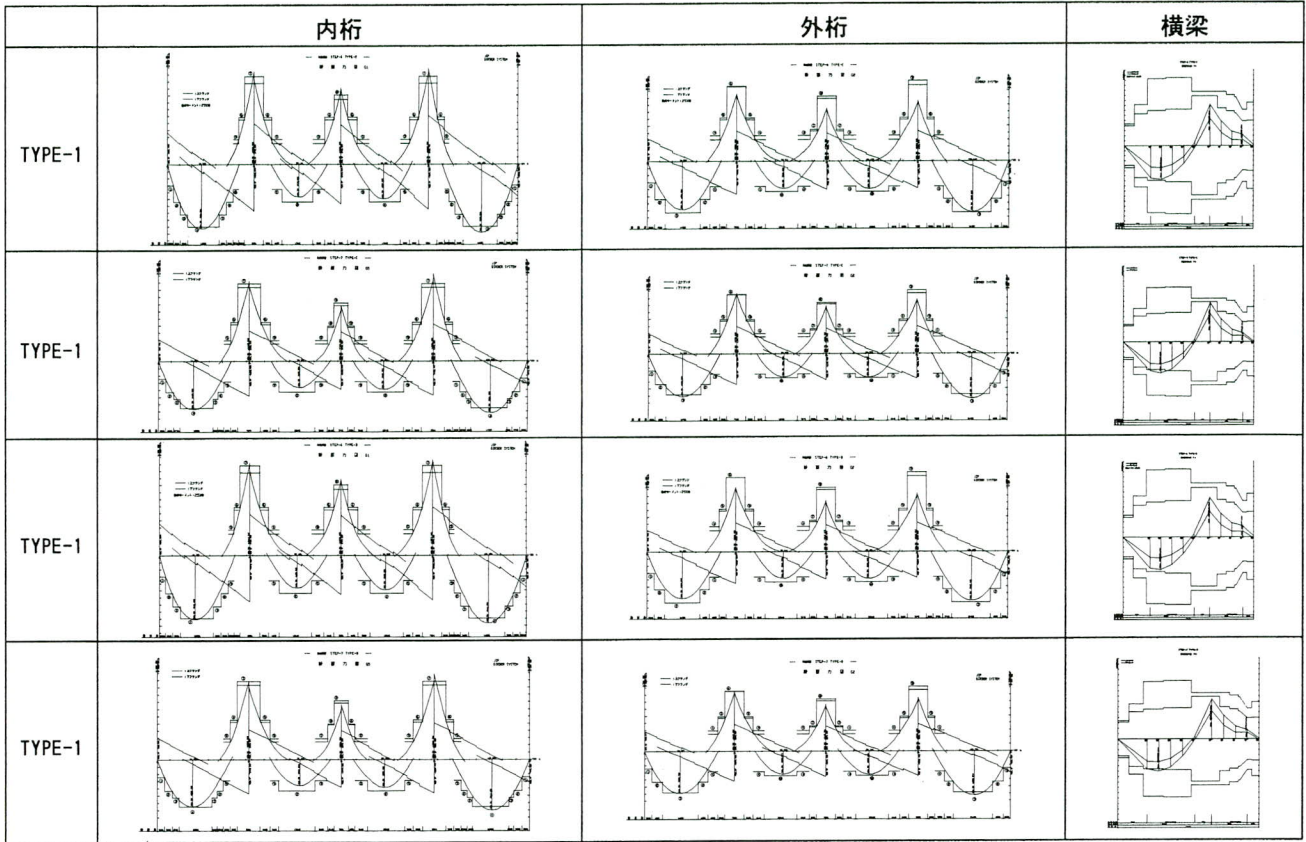


表-5 せん断力伝達構造 (案)

概要図	せん断補強鉄筋追加案	底鋼板分担せん断力を主桁に伝達		
		第1案 (底鋼板・フランジ溶接案)	第2案 (せん断力伝達プレート溶接案)	第3案 (せん断力伝達プレートHTB取付案)
概要図				
構造概要	・RC床版として必要な床版厚を確保しつつ、押し抜きせん断耐力確保のために、せん断補強鉄筋を配置する。	・底鋼板をセットアップし、フランジに密着させて上面のみフランジの全長に渡って溶接し、主桁に底鋼板分担部のせん断力を伝達させる。	・せん断力伝達プレートを断続的に底鋼板に溶接にて取付、主桁に底鋼板分担部のせん断力を伝達させる。	・1m程度のせん断力伝達プレートを断続的に底鋼板にHTBにて取付、主桁に底鋼板分担部のせん断力を伝達させる。
床版下面足場	・必要	・必要	・必要	・必要
耐久性	・床版の一部がRC床版となるため、耐久性は造レベルの床版と同程度と考えられる。 ・100年の耐久性を確保する場合は、床版厚について別途検討が必要と考えられる。	・輪荷重走行試験を実施していないが、既往の合成床版程度の耐久性を確保できると考えられる。	・同左	・同左
施工性	・問題なし	・供用下のフランジへの溶接という特殊条件を考慮した溶接計画の立案が必要となる。	・底鋼板は無応力状態であり、第2案に比べて溶接作業は容易である。	・HTBに脱落の可能性が若干ある。
施工期間	・溶接に比べて施工期間は短い	・広範囲の床版を打ち替える場合、溶接延長が長くなり、施工期間は長い。	・同左	・溶接に比べて施工期間は短い。

3) コンクリートの打ち継ぎ目

床版の打ち替え方法として、レーンごとの打ち替え・部分的な打ち替えの繰り返し、を想定しているが、両者ともコンクリートの打ち継ぎ目が発生する。

従って、乾燥収縮等が原因でコンクリートの打ち継ぎ目に発生するひび割れの抑制が今後の課題となる。

4) 鉄筋の継ぎ手方式の選定

床版の打ち替えでは急速施工が不可欠であり、作業量が大きい鉄筋の継ぎ手作業の省力化が作業時間の短縮のポイントである。

従って、急速施工を念頭に置いた鉄筋の継ぎ手方式の選定が今後の課題となる。

(4) 床版の打ち替え時期の判断方法

複合床版化の実証試験を行い、以下に記述する事項について確認・検討することが今後の課題となる。

- ・想定している床版打ち替え方法の可否
- ・コンクリートの選定
- ・せん断力伝達構造の確立
- ・急速施工法の確立
- ・実証試験の試験体による、複合床版の耐荷力・等方性挙動の確認。
- ・底鋼板の塗装が合成化に及ぼす影響の把握

(5) 完成時における鋼桁の応力超過の解消

複合床版化後に対する鋼桁の応力照査の結果、鋼桁の発生応力が許容値を若干超過することが判明した。

本工事では、複合床版化によって床版と鋼桁の耐久性の向上を図ることを目的としており、鋼桁の応力超過の解消が今後の課題となる。現時点では解消策として以下の方法を想定している。

- ・複合床版化の完了後、建設当初の幅員に復旧し死荷重の軽減を図る。
- ・複合床版化の際に、鋼桁との合成化を図り（合成桁化）発生応力度の低減を図る。

10. あとがき

向佐野橋の床版保全対策工事は、底鋼板の設置を平成13年8月に完了している。今後は、前述の課題に対する検討が必要になる。

本報文は、「九州自動車道 向佐野橋床版保全対策工

事」の詳細設計業務の成果をとりまとめたものである。本工事の設計にあたっては、「既設鋼橋コンクリート床版の補強に関する検討」委員会（委員長：松井繁之大阪大学教授）において審議を受けながら進めた。

ご指導をいただいた同委員会の皆様、また同じくご指導をいただいた日本道路公団九州支社の皆様に深く感謝致します。

<参考文献>

- 1) 土木学会：鋼構造物設計指針 PART B 合成構造物，平成9年版
- 2) 鹿島孝之、山本晃久、橋本靖智、小出宣央：トラス型ジベル合成床版の疲労耐久性に関する実験的研究，第55回土木学会年次学術講演概要集，CS-280，2000. 9
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，平成8年12月
- 4) 日本道路公団：設計要領第二集，平成10年7月
- 5) 土木学会：コンクリート標準示方書・設計編，平成8年版

2002. 11. 5 受付