

沼津～富士間床版取替工事 -既設橋梁の補強設計について-

REPLACEMENT OF FLOOR SLABS ON EXPRESSWAY FROM NUMAZU TO FUJI IC -RETROFIT DESIGN OF STEEL GIRDER BRIDGES-

山内 隆* 吉岡 夏樹* 佐々木 英夫** 山崎 義実**
Takashi Yamauchi Natsuki Yoshioka Hideo Sasaki Yoshimi Yamazaki

1. まえがき

本工事は中日本高速道路株式会社が進めている高速道路リニューアルプロジェクトの1つであり、東名高速道路における沼津IC～富士IC間の複数橋梁（鋼橋およびPC橋合わせて24橋）に対して、RC床版からプレキャストPC床版（以下、PCaPC床版）への取替、支承取替および塗替え塗装等の施工を行う工事である。

図-1に本工事のうち鋼橋（上下線合わせて全16橋）の分布を示す。いずれも供用から約50年が経過しており、活荷重TL-20で設計された鋼桁橋およびトラス橋である。そこで、現行のB活荷重で照査したところ、一部の部材において、発生応力度が許容値を超過する結果となり、主桁補強が必要となった。

本稿では、対象橋梁のうち、RC床版からPCaPC床版への取替を実施した赤渕川橋下り線A1-P3間の主桁補強設計の概要について報告する。

2. 工事概要

工 事 名：沼津～富士間床版取替工事

発 注 者：中日本高速道路株式会社

富士保全サービスセンター

工事場所：静岡県沼津市～富士市

工 期：2017年6月13日～2021年7月21日

以下は、赤渕川橋下り線について記載する。

橋梁形式：A1-P3：鋼3径間連続非合成鋼桁橋（建設時）

鋼3径間連続合成鋼桁橋（更新後）

P3-P4：単純合成鋼桁橋

P4-A2：鋼3径間連続非合成鋼桁橋

橋 長：180.4m

支 間 長：3x24.0m+31.0m+3x25.0m

幅 員：12.750m（建設時） 12.215m（更新後）

床版形式：A1-P3：RC床版（建設時）

PCaPC床版（更新後）

P3-P4, P4-A2：RC床版

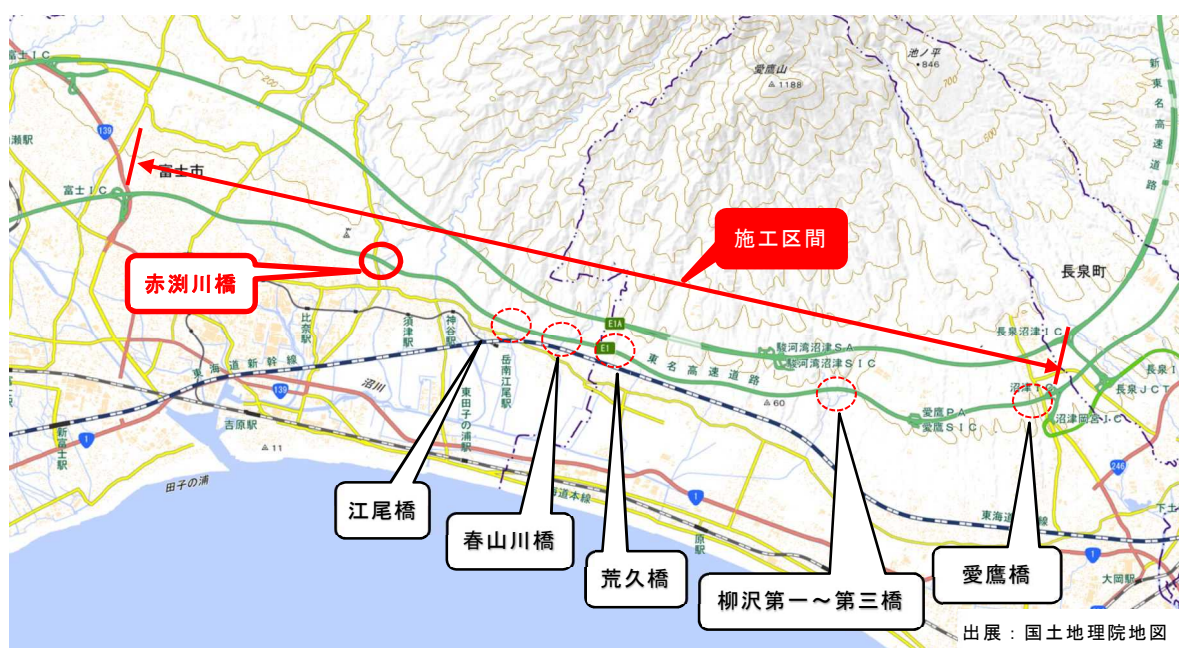


図-1 施工箇所（鋼橋のみを示す）

* 生産技術本部 橋梁設計部 東京設計課 **橋梁工事本部 橋梁保全事業室

3. 更新内容

A1-P3 間の更新前後の主な変更点を表-1 に、更新前後の橋梁断面図および側面図を図-2、3 に示す。RC 床版から PCaPC 床版への取替および床版剛性が増加したことにより増設縦桁の撤去を実施した。床版と主桁上フランジは必要本数をグループ配置した頭付きスタッドにて一体化し、合成桁とした。

防護柵は、現行基準に則り鋼製防護柵からフロリダ型コンクリート防護柵に更新し、それに伴い全幅員を変更した。

表-1 更新前後での主な変更点

項目	更新前	更新後
構造形式	非合成桁	合成桁
活荷重	TL-20	B活荷重
床版	RC床版 ($t=170\text{mm}$)	PCaPC床版 ($t=220\text{mm}$)
防護柵	地覆+鋼製防護柵	フロリダ型 コンクリート防護柵
その他	増設縦桁、 対傾構補強	増設縦桁撤去

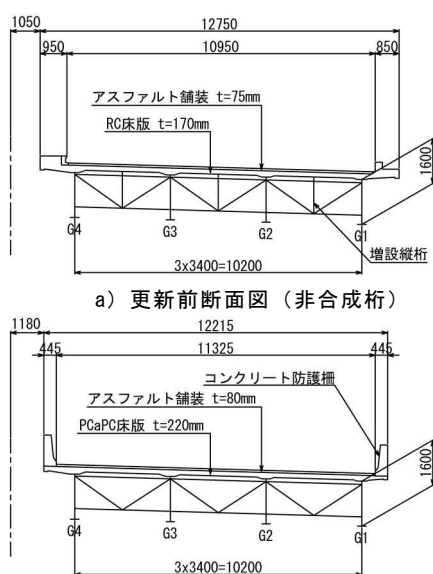


図-2 橋梁断面図

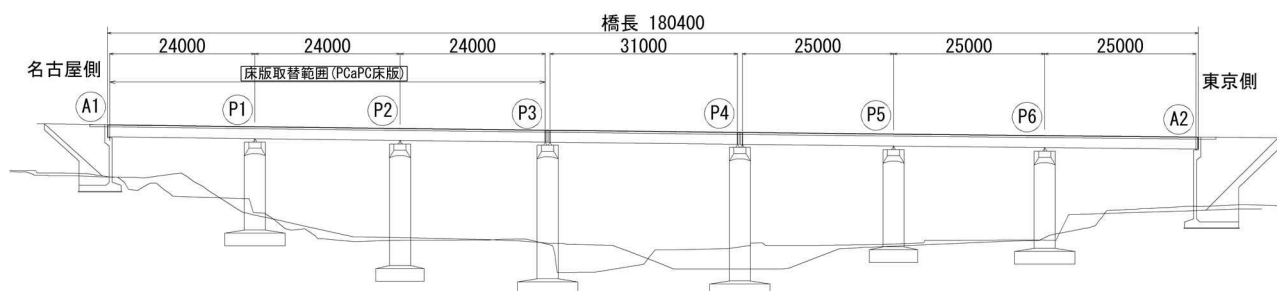


図-3 橋梁側面図

4. 補強設計フロー

本橋の補強設計フローを図-4 に示す。

補強方法によっては格子解析モデルへの反映も必要となる可能性があったため、概略検討にて補強基本方針を決定した後に、格子解析および FEM 解析を実施した。それらの解析結果を踏まえて、許容応力度に対して発生応力度が超過する範囲を補強することとした。

5. 概略検討（補強基本方針）（STEP0）

概略検討として、適用可能な補強方法を検討した。

表-2 に発生応力と補強方法の基本方針を示す。死荷重増による下部工への影響が大きいため主桁は増設せず、下フランジに対しては当て板によるフランジ増厚および対傾構・横桁追加、上フランジに対しては上フランジ側への中フランジ増設を基本方針とした。なお、中間支点部下フランジは、当て板補強の連続性確保が出来ないため、中フランジ増設を併用することとした。

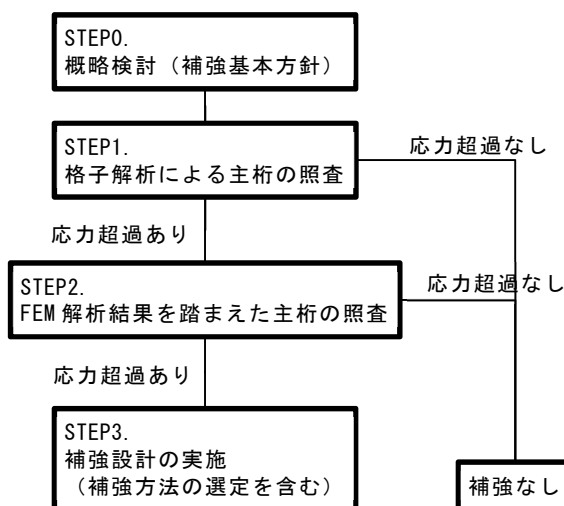


図-4 補強設計フロー

表-2 発生応力と補強方法

発生応力	対象部材	補強方法
圧縮応力	上フランジ	中フランジ追加（増設）
	下フランジ	当て板補強、対傾構・横桁追加 中フランジ追加（増設）※中間支点上
引張応力	上フランジ	中フランジ追加（増設）
	下フランジ	当て板補強

6. 格子解析による既設主桁照査結果 (STEP1)

6.1 照査概要

既設主桁を合成桁として、更新後の死荷重およびB活荷重の載荷条件にて格子解析を実施し、発生応力度が許容応力度に収まるか照査を実施した。

6.2 照査結果

格子解析におけるG4、G3の支間中央（正曲げ最大）、中間支点上（負曲げ最大）の照査結果を表-3に示す。活荷重をTL-20からB活荷重に変更したことによる影響が大きく、支間中央部および中間支点上の下フランジに10～20%程度の応力超過が生じた。

7. FEM解析 (STEP2)

7.1 解析概要

正負の曲げモーメントが卓越する外桁(G4)、内桁(G3)の主桁上下フランジに着目し、詳細な応力状態を確認するためFEM解析を実施した。

主たる解析条件を表-4に、解析モデルを図-5に示す。モデルは橋梁全長を作成し、防護柵はフロリダ型コンクリート防護柵の形状をソリッド要素で再現した。床版と主桁上フランジは、合成桁であることから完全結合とした。活荷重は、着目断面で最大となるB活荷重の載荷状態を再現し、静的に載荷した。

FEM解析では死活荷重応力度を算出し、格子解析による鋼桁とコンクリートの温度差、クリープ・乾燥収縮の応力度を組み合わせることで応力度を算出することとした。

7.2 解析結果と補強設計用応力度算出

解析結果を表-5に示す。FEM解析における発生応力度は格子解析におけるそれと比べ、10～30%低下した。これは床版をモデル化したことによる荷重分配と、着目桁で負担する断面力が変化したこと、フロリダ型コンクリート防護柵が剛性に寄与したためである。防護柵の影響は特に外桁であるG4で顕著となった。

補強設計に使用する応力度は、格子解析とFEM解析で算出した応力度を比較し、FEM解析結果に基づく係数（以下、FEM係数）を0.05単位で丸め上げて設定し、格子解析結果に乗じて算出した。その結果、応力超過する箇所を補強必要範囲とした。

許容応力度を超過する範囲（主桁補強範囲）を図-6に示す。既設主桁は板継ぎ溶接による最小断面で構成されていることから、応力交番部の断面剛性が低いこと、外桁(G1,G4)は壁高欄剛性の付与効果によりこのような結果になったと考えられる。

表-3 格子解析による照査結果

		G4		G3	
断面番号		4	8 (P1)	4	8 (P1)
着目位置		側径間 支間中央	中間支点上	側径間 支間中央	中間支点上
上フランジ	σ	-123	209	-121	214
	σ_a	241	213	241	213
	σ/σ_a	0.51	0.98	0.50	1.00
	判定	OK	OK	OK	OUT
下フランジ	σ	208	-254	193	-249
	σ_a	185	205	185	202
	σ/σ_a	1.12	1.24	1.04	1.23
	判定	OUT	OUT	OUT	OUT

ここで、 σ ：発生応力度、 σ_a ：許容応力度を示す。

表-4 FEM解析条件

項目	内容
解析方法	線形静的構造解析
モデル化範囲と要素	主桁・補剛材：シェル要素、 対傾構・横構：ビーム要素、 床版・防護柵：ソリッド要素
要素サイズ	50～150mm
主桁と床版の結合条件	完全結合
載荷荷重	死荷重+活荷重
主たる死荷重	合成前：鋼重、床版 合成後：舗装、検査路等付属物

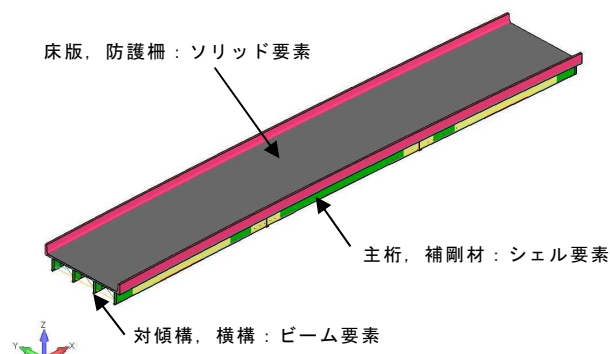


図-5 FEM解析モデル

表-5 FEM解析結果

		G4		G3	
断面番号		4	8 (P1)	4	8 (P1)
着目位置		側径間 支間中央	中間支点上	側径間 支間中央	中間支点上
上フランジ	FEM解析 σ FEM	-109	145	-118	177
	FEM/格子 σ FEM/ σ	0.89	0.69	0.98	0.83
	FEM係数	—	—	—	—
	σ' (FEM係数反映)	—	—	—	182
	σ_a	—	—	—	213
	補強要否	—	—	—	不要
下フランジ	FEM解析 σ FEM	145	-200	169	-229
	FEM/格子 σ FEM/ σ	0.70	0.79	0.88	0.92
	FEM係数	0.70	0.80	0.90	0.95
	σ' (FEM係数反映)	146	-202	174	-237
	σ_a	185	205	185	202
	補強要否	不要	不要	不要	必要

ここで、 σ FEM：発生応力度（FEM解析）、 σ ：発生応力度（格子解析）、 σ' ：格子解析結果にFEM係数に乗じた発生応力度、 σ_a ：許容応力度を示す。

凡例

主桁補強範囲

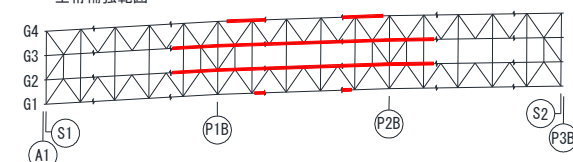


図-6 主桁補強範囲（平面図）

8. 補強設計（STEP3）

8.1 補強方法

補強方法は概略設計にて決定した当て板補強とした。応力交番部の下フランジは対傾構・横桁追加による許容応力度の改善効果を検討した結果、本橋では対傾構および横桁の追加は不要とした。

当て板補強および中フランジ補強のイメージ図を図-7に示す。下フランジ下面への当て板補強を基本とするが、中間支点部で支承補強材との取合いが生じる箇所には、増設による中フランジ増設補強を採用した。これらは補強材の設置により、既設主桁を含めた断面剛性を向上させ、活荷重による母材の発生応力度を低減させることを目的としている。

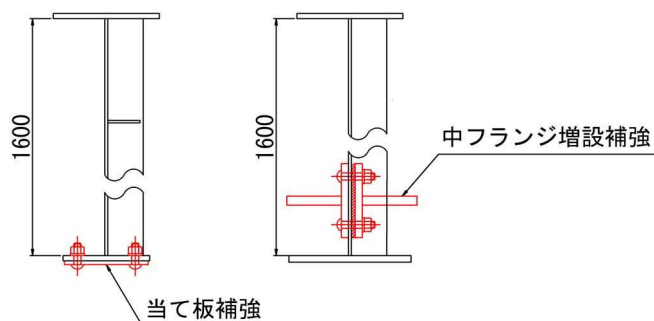


図-7 補強基本構造

8.2 補強設計概要

活荷重は補強部材と既設断面で分担するものとし、既設下フランジの発生応力度が許容応力度以下となるように、当て板の板厚を設定した。この際、当て板の板厚は鋼材の入手性を考慮し、上限を40mmとした。

内桁（G3）の中間支点直上の設計結果を表-6に、支承補強材取合いを踏まえた補強材配置を図-8に示す。中間支点近傍は、当て板補強と中フランジ増設のいずれの補強でも許容値を満足できるように補強断面サイズを決定し、応力の伝達を踏まえ重複区間を設けて設置することとした。

表-6 補強設計結果

単位：N/mm ²		
桁番号	G3	
断面番号	8 (P1)	
着目位置	中間支点上	
当て板補強断面 <中フランジ断面>	370 (mm) x22 (mm) <170 (mm) x32 (mm)>	
上フランジ	σ	171
	σ_a	213
	σ/σ_a	0.80
下フランジ	σ	-201
	σ_a	202
	σ/σ_a	0.99

ここで、 σ ：発生応力度、 σ_a ：許容応力度を示す。

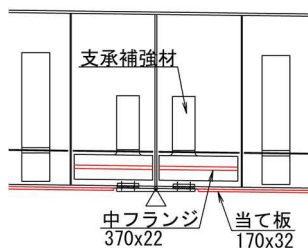


図-8 中間支点上補強図

8.3 施工計画

設計上の母材ボルト孔控除による断面欠損の影響を考慮して、施工は以下の点に注意して実施することとした（図-9）。

- (1)ボルト孔明け⇒本締めめのサイクルを繰り返す。
- (2)ボルト孔明けは同断面で2箇所同時施工を行わない。
- (3)ボルト設置時の取り合いが厳しくなる垂直補剛材位置を起点とし、外側へ順次孔明けを行う。

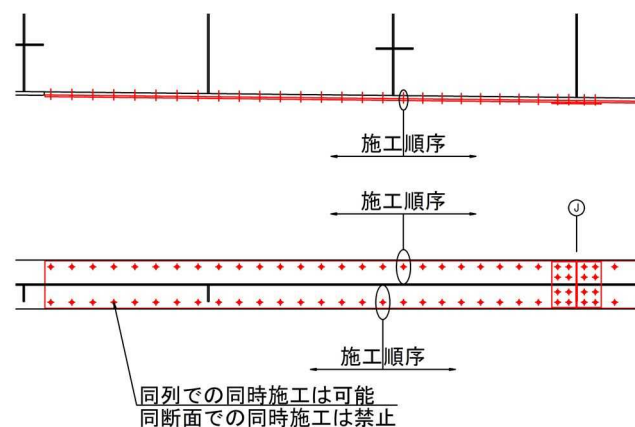


図-9 当て板補強設置方法

9. あとがき

東名高道路は昭和44年の開通から日本の交通網の大動脈として重要な役割を担っており、本工事による長寿命化は社会インフラの維持に貢献するものと期待される。

本工事はまだ施工途中であり、本稿の主桁補強も未施工であるが、設計段階から橋梁保全事業室と施工性等について相談し、建設時の図面等で判別できない事項についても現地確認を依頼したことで、効率的に進めることができた。

最後に、主桁補強設計および本稿の執筆に際し、ご指導いただいた株式会社中日本高速道路関係各位および多大なご協力をいただいたJV（ピーエス三菱、川田建設）関係各位に深く感謝いたします。