

縦置き I 形鋼格子床版を有する合成 2 主鈹桁橋の床版の打換え Reconstruction of the grating slab arraying I-beams longitudinally on composite girder bridge

○村上 陽子* 川平 英史** 赤松 伸祐*** 小菅 匠**** 高 龍*****
Youko MURAKAMI Eiji KAWAHIRA Shinsuke AKAMATU Takumi KOSUGE Ryu KOH

ABSTRACT Reinforced concrete slabs on composite girder bridges constructed in the postwar recovery had frequently damaged badly with the increase of heavy traffic vehicles. The slab reconstruction method using stress adjustment by out-cable has been developed. However, these methods are complicated and not easy to operate. We propose a new idea to introduce grating slabs arraying I-beams longitudinally to the bridge girders.

Keywords : 合成桁橋, I 形鋼格子床版, 床版打換え方法

Composite girder-bridge, grating slab arraying I-beams longitudinally, reconstruction method of slab

1. はじめに

戦後復興期の競争設計において過度に薄い RC 床版を適用したため、車両の大型化と交通量の増大により床版の損傷が多発した。この結果、プレストレスしない連続合成桁橋は合理的かつ経済的であるにも拘らず、床版の部分補修や片側交通開放下での床版打換えが困難という理由で昭和 40 年代に建設が抑制された。近年、外ケーブル工法や軸力導入工法などの応力調整による床版打換え工法¹⁾ (以下、応力調整工法)が開発されたが、橋体への細工や微妙な応力調整を要し、その適用は簡単ではない。このため、我国においては、合成桁ははまだ完全な復権に至っていない。

これに対し図-1 の縦置き I 形鋼格子床版(以下、IB 床版)を用いた合成 2 主鈹桁橋では、応力調整工法を用いずに片側交通開放下で床版の補修・打換えが単純に行え^{2), 3)}、将来の床版損傷での対応法を危惧することなく適用可能である。他にも同様の報告⁴⁾があるように、これが縦置き床版を用いた 2 主鈹桁橋の特性であり、社会資本整備費が切り詰められる中で非常に有効と考える。そこで、

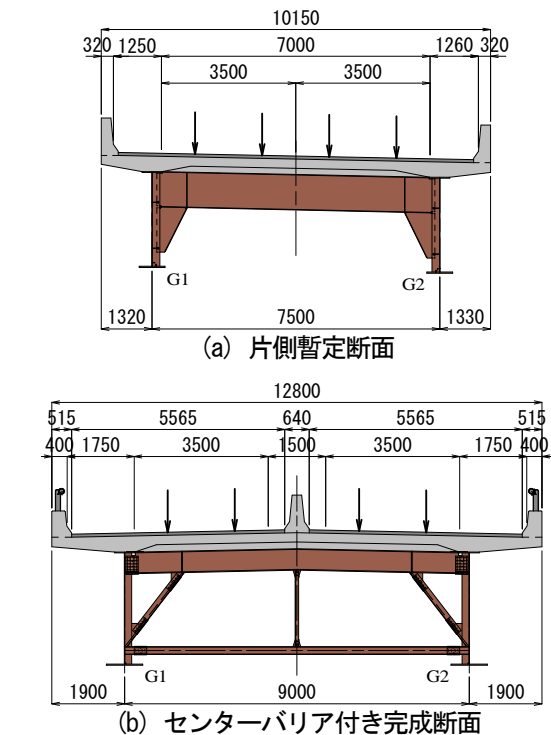


図-1 縦置き IB 床版の 2 主鈹桁橋の例

その打換え手順と幾つかの試算結果を報告する。

* 新日本技研(株) 西部支社・設計部 (〒733-0013 広島市西区横川新町 13-1)
 ** 新日本技研(株) 西部支社・設計部 (〒733-0013 広島市西区横川新町 13-1)
 *** 新日本技研(株) 本社・設計支援室 (〒105-0014 東京都港区芝 2-1-23)
 **** 修士(工学) 新日本技研(株) 東京支社・設計部 (〒105-0014 東京都港区芝 2-1-23)
 ***** 新日本技研(株) 西部支社・設計部 設計主幹(〒733-0013 広島市西区横川新町 13-1)

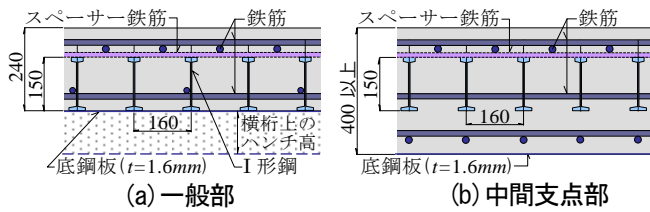


図-2 IB床版の断面

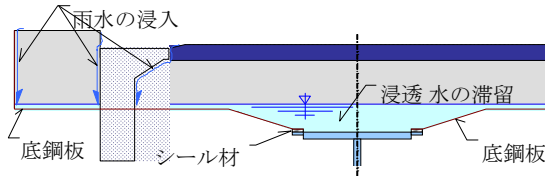


図-3 横置き合成床版における底鋼板上への雨水の浸入

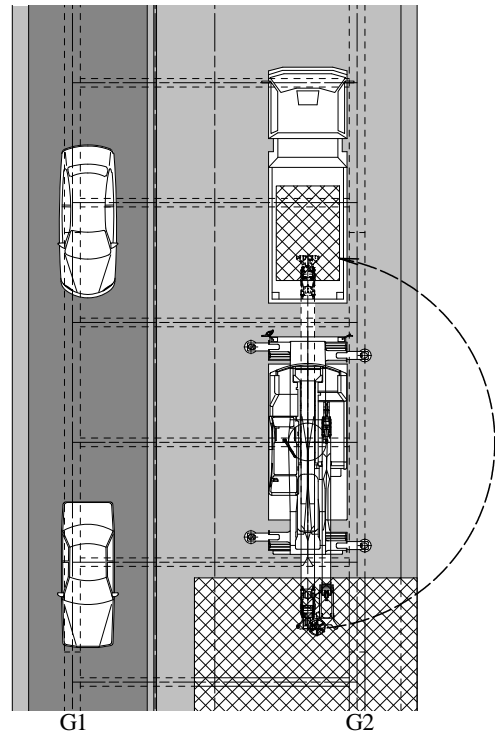
2. 縦置き IB 床版の概要

多主桁橋の床版,あるいは欧州タイプ(公団タイプ⁵⁾)の少数桁橋の床版は主桁で支持され,床版支間は主桁間隔となり,床版主鋼材は主桁に直交する。これに対し,縦置きIB床版を用いた少数桁橋では,主桁間に渡した横桁で床版を支持し,床版支間は横桁間隔である^{2),5)}。つまり床版の主鋼材が橋軸方向を向くので“縦置き”と呼んでいる。縦置きRC床版も可能ではあるが,主桁に挟まれた各横桁間で型枠・支保工の設置と撤去を必要とし,床版厚も増して死荷重が増大する。このため,型枠・支保工が省略でき,現場作業の省力化と重量軽減が図れるIB床版を適用している。

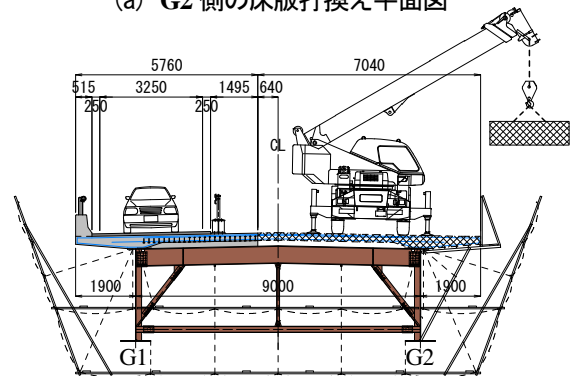
ただし,片持ち部は通常のRC床版で,その施工には型枠・支保工を必要とするが,床版下面は全長1つの平面であり,桁の外側にあるので,現場作業はそれほど輻輳しない。一方,横置き合成床版では片持ち部でも型枠・支保工を必要としないが,図-3のように地覆や排水柵の周辺から雨水が浸入して底鋼板上に滞留し,床版鋼材の腐食を促進する危険性がある。片持ち部がRC床版であれば変状は直ぐ判るし,滞留水の心配もない。

IB床版の利点は,敷設した鋼材パネル上をトラックやクレーン車が走行して作業可能なことである³⁾。これが床版打換えでも役立ち,河川橋であっても橋上のクレーン作業で工事を完遂できる。

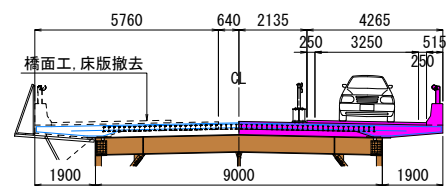
さて,縦置きIB床版は古くは関門橋で適用され,横桁上にハンチを設けずにh130のI形鋼で版厚15cm・横桁間隔2.1mの床を構成している⁶⁾。すなわち,I形鋼の上側のコンクリートかぶり厚が2cmしかないが,完成後40年近く経過し,今も床版は



(a) G2側の床版打換え平面図



(b) G2側の床版打換え横断面図



(c) G1側の床版打換え横断面図

図-4 床版の打換え計画例

ほぼ健全と聞く。

ただし,とくに床版が主桁作用を担う合成桁では有害なひび割れを防ぐために,図-2のようにI形鋼の上側に縦と横に鉄筋を配置し,一般にh150を用い,版厚24cmで支間4m以下としている。

3. 床版打換え検討

合成桁橋が万が一損傷した場合の対処方法を,

橋梁計画時点で予め考えておくことが大切である。重要な路線や迂回路がない場合には、床版の打換えに際して全面的な交通止めは許容されず、図-4のように少なくとも片側交互交通下での作業が要求される。

図-1 は自動車専用道の代表的な幅員構成 2 ケースに縦置き IB 床版の 2 主鋸桁を適用したものである。(a) は片側暫定で供用するケース(以下、“暫定断面”と略称)であり、(b) はセンターバリア付きで片側 1 車線の完成断面で供用するもの(以下、“完成断面”と略称)である。これら大小二つの幅員の縦置き IB 床版を有する 2 主鋸桁橋を対象とし、単純桁と連続桁、および直線桁と曲線桁のモデルを設定し、片側交互交通のもとで応力調整工法を用いない単純な床版の打換え計算を実施し、幅員や曲線の影響などを調べる。

3.1 計算前提と打換え手順

まず初期設計の計算手順を図-5 に示す。床版打設時のコンクリートの引張応力照査を実行するため、打設済みの床版コンクリート剛性は後死荷重の載荷まで全長有効とする。その後のクリープ・乾燥収縮と活荷重および床版と鋼桁間の温度差により、プレストレスしない連続合成桁では中間支点付近の床版のひび割れは避けられないが、道示 II⁷⁾ ではコンクリート剛性を有効として計算を行うとしている。ただし、我国でも最近の実設計では引張域剛性を考慮する方向に改められてきており、本計算でも Eurocode⁸⁾ に倣って中間支点両側 0.15L (L は着目している中間支点両側の各支間長) の範囲のコンクリート剛性を無効とする。このため後死荷重載荷後に中間支点部のコンクリートがひび割れるとして、この部分の応力解放計算を挟み込む。これ以降は中間支点両側の 0.15L 区間のコンクリート剛性を無視する。

床版の撤去と新規鋼材パネルの敷設は、

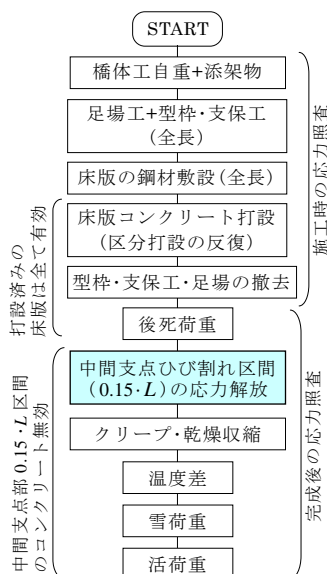


図-5 初期設計計算手順

片側交互通行を前提として、片側ずつ行う。図-4 に示すように撤去側の未撤去部に載せたクレーンと搬出・搬入用トラックによって、まず片側の床版撤去と新規鋼材敷設を繰り返し、桁全長に亘り新規に床版鋼材を敷設する。

この際、片側の床版撤去を一旦全長に亘り完了した後に新規に鋼材パネルを敷設することも可能である。新規パネルを敷設し、クレーンをその上に載せ、背面のトラックから鋼材パネルを吊り取り、前方に振り回して敷設する。これを繰り返し新設の床版鋼材の敷設作業を進める。

その後にコンクリート区分打設に移るが、合成桁では、これを当初の設計通りに行う必要がある。違えると主桁の応力状態を復元できないので、当初の設計図書と施工記録の保存が重要である。

以上の床版打換え作業に対する設計計算手順を図-6 に示す。橋面工など非耐力部材の撤去では単純に除荷計算を行えばよいが、主桁作用を担う床版の撤去では、床版の剛性をゼロとして床版応力を周辺部材に分担させる“床版応力除去”の計算を挟み込む必要がある。その上で床版重量の除荷計算を行う。このため、図-6 で“床版応力除去”と“床版重量除荷”を並列しており、床版の撤去計算は常にこの組合せで行う。

なお、床版鋼材パネルの継目とコンクリートの打ち継目は同一にはせず、図-7 に示すように打換えを先行する側ではコンクリートの打ち継目から 640 mm ほど鋼材パネルを張出しておき、ここに配力筋(主桁に直交する方向)のラップ継手を設ける。ラップ継手は橋軸方向に一直線に並び、いわゆる“イモツギ”状態となるが、配力筋方向の床版曲げモーメントは非常に小さいので問題になることはないと考えられる。

なお、幅員が狭い暫定断面では鋼材パネルの継目を幅員の中央に設けたが、幅員が広い完成断面では自由度があるので、重量のあるコンクリートの打ち継目を幅員の中央とした。

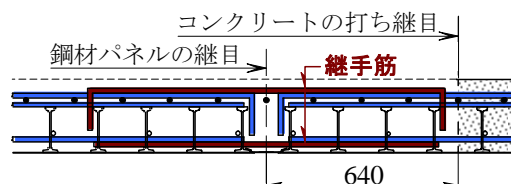


図-7 IB 床版の継目

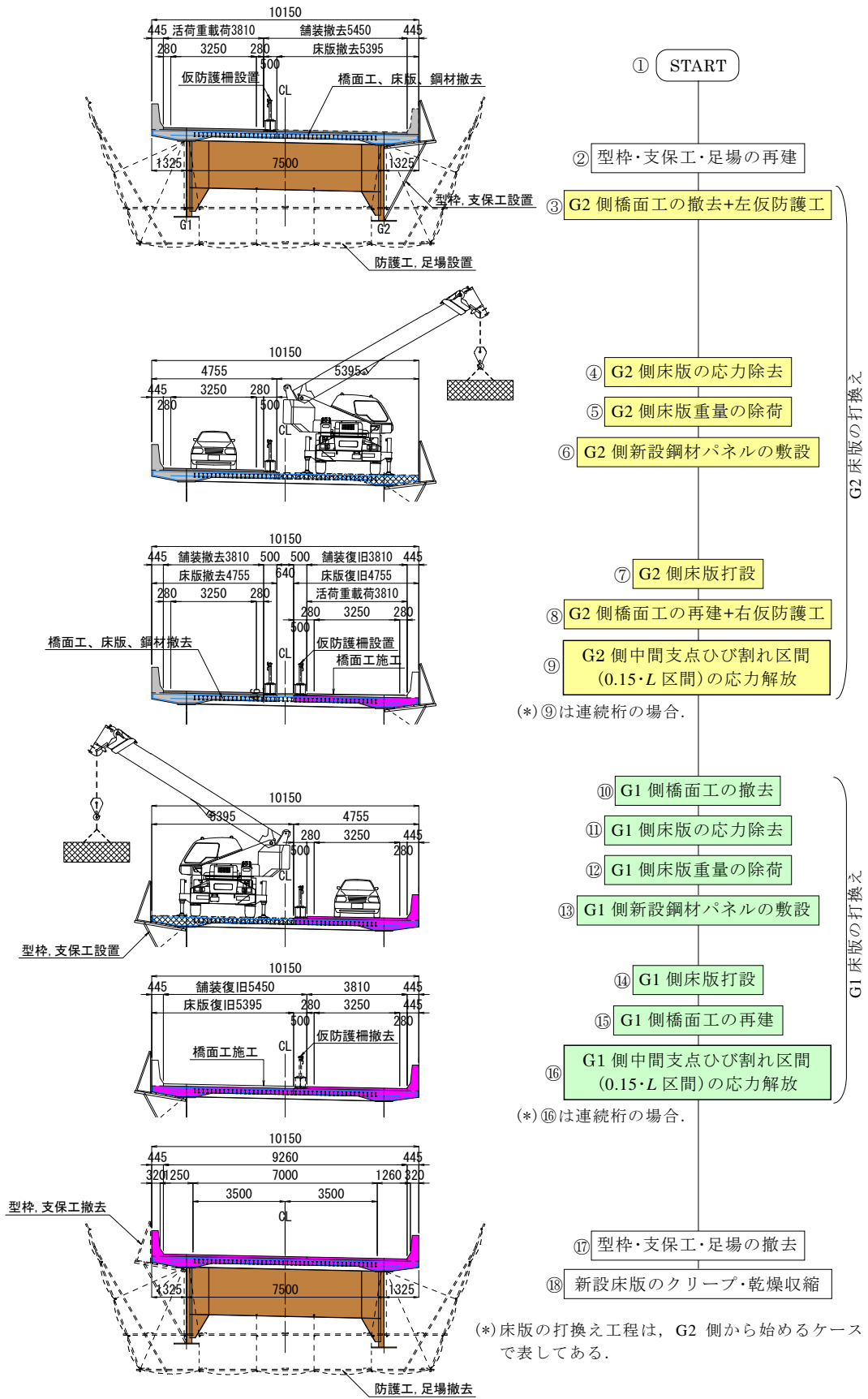


図-6 片側交互交通下での打換え作業と設計計算手順

3.2 計算結果と考察

初めに単純桁を対象として、幅員の大小と曲線の影響を比較し、次に連続合成桁橋で確認する。

3.2.1 単純桁橋での比較計算

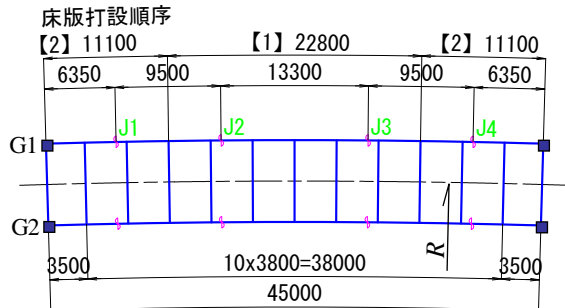


図-8 単純桁橋の骨組図

計算を行う単純桁橋の骨組を図-8に示す。幅員は図-1の2ケースとし、それぞれで直線橋と曲線橋の計算を行う。曲線橋では構造中心線の曲線半径を、少し曲率がきつ目の $R=800m$ とする。

この単純桁橋の床版の打換え計算を行い、主桁の上・下縁の応力度の初期完成時との比率をとり、

表-1に示す。表中の丸付き番号は図-6の計算ステップの番号に対応する。図-6に示したようにG2桁側の床版から打換えを行い、次いでG1桁側を打換えるのを原則としたが、曲線桁に関してはその順番を入れ替えた計算も行った。なお、本稿では、次の連続桁を含めて、曲線の外側をG1桁、曲線の内側をG2桁としている。

全般的に打換えの影響は小さい。その中でも曲線の影響は多少あるように見受けられるものの、幅員の大小の影響の方が幾分大きいように見受けられる。上縁と下縁の応力度を比較すると、暫定断面の上縁側で差が付く(3%以上の違いがあるものをオレンジに着色している)。なお、施工時は下縁の応力変動が大きい。

3.2.2 連続桁橋での比較計算

上記単純桁での結論を連続桁で確認した。連続桁のモデルを図-9(暫定断面, 折れ線桁)と図-10(完成断面, 直線桁)に示す。

計算結果を表-2に示す。総対的には単純桁の場合

表-1 初期完成時に対する床版打換え時の応力度の比率-1(単純桁橋)

				直線		曲線 (R=800)			
						G2側→G1側		G1側→G2側	
				G1	G2	G1	G2	G1	G2
暫定断面	施工時	G2(G1)桁側・打換え完了 (ステップ⑧の直後)	上フランジ	0.706	0.796	0.784	0.810	0.811	0.702
			下フランジ	0.482	0.745	0.508	0.757	0.748	0.474
		G1(G2)桁側・打換え完了 (ステップ⑩の直後)	上フランジ	0.727	0.846	0.818	0.844	0.754	0.761
			下フランジ	0.746	0.566	0.764	0.558	0.517	0.776
	完成時	第2期完成時 (ステップ⑩+活荷重)	上フランジ	1.005	1.037	1.059	1.030	1.050	0.997
			下フランジ	1.001	1.007	1.011	1.009	1.010	1.002
完成断面	施工時	G2(G1)桁側・打換え完了 (ステップ⑧の直後)	上フランジ	0.790	0.750	0.782	0.735	0.712	0.820
			下フランジ	0.710	0.470	0.698	0.463	0.610	0.562
		G1(G2)桁側・打換え完了 (ステップ⑩の直後)	上フランジ	0.763	0.782	0.762	0.767	0.747	0.844
			下フランジ	0.480	0.738	0.485	0.744	0.558	0.697
	完成時	第2期完成時 (ステップ⑩+活荷重)	上フランジ	1.000	0.997	1.020	0.974	0.995	0.998
			下フランジ	0.998	1.000	1.004	0.996	0.999	0.999

*1) 数値は、初期完成時の応力度に対する比率を表わす。

*2) 床版打換え完成時において3%以上の変動があるケースをオレンジ色でマークした。

表-2 初期完成時に対する床版打換え時の応力度の比率-2(連続桁橋)

				端支間・中央部A		中間支点上B		中間支間・中央部C	
				G1	G2	G1	G2	G1	G2
暫定断面	施工時	G2桁側・床版打設-1 (ステップ⑦の区分打設[1]直後)	上フランジ	0.791	0.305	0.787	0.385	0.794	0.727
			下フランジ	0.694	0.124	0.739	0.347	0.692	0.427
		G2桁側・打換え完了 (ステップ⑨の直後)	上フランジ	0.794	0.688	0.803	0.761	0.796	0.638
			下フランジ	0.730	0.545	0.765	0.616	0.686	0.445
	完成時	第2期完成時 (ステップ⑩+活荷重)	上フランジ	0.717	0.704	0.782	0.770	0.669	0.654
			下フランジ	0.552	0.740	0.625	0.727	0.452	0.742
完成断面	施工時	G2桁側・床版打設-1 (ステップ⑦の区分打設[1]直後)	上フランジ	0.788	0.717	0.655	0.331	0.781	0.015
			下フランジ	0.684	0.488	0.673	0.271	0.593	0.008
		G2桁側・打換え完了 (ステップ⑨の直後)	上フランジ	0.788	0.678	0.671	0.627	0.785	0.644
			下フランジ	0.681	0.513	0.698	0.561	0.638	0.460
	完成時	第2期完成時 (ステップ⑩+活荷重)	上フランジ	0.695	0.699	0.658	0.666	0.664	0.669
			下フランジ	0.544	0.719	0.597	0.698	0.493	0.740
完成時	第2期完成時 (ステップ⑩+活荷重)	上フランジ	0.990	0.974	1.001	0.990	1.012	0.993	
		下フランジ	0.998	0.995	1.000	0.997	1.003	1.001	

*1) 数値は、初期完成時の応力度に対する比率を表わす。

*2) 床版打換え完成時において3%以上の変動があるケースをオレンジ色でマークした。

合と同様な傾向である。また、打換え施工時の影響は中間支点上が最も小さく、端支点および中間支間・中央部は、床版の打設順序によって影響の度合いが異なる。

4. まとめ

今後より詳しく検討を行う必要があるが、縦置き IB 床版の合成 2 主桁桁橋では、連続合成桁であっても図-6 に示す単純な工程により片側交互交通下で床版の打換えが行えると考えられる。そうであれば、連続合成桁を避ける理由はなくなる。

ただし、3 主桁になると横桁による分配作用が現れるので、応力調整工法は避けて通れない。なお、主桁が破損した場合に 2 主桁は危険であるが、3 主桁はフェールセーフとなりうる。一部で言われているが、外桁が破断すれば中桁の負担が激増して直ちに破損する可能性が高いので、両者にそれほどの違いがあるとは思えない。

それよりも、国内の下路トラス橋の腹材の破断 2 例と米国ミネアポリスのミシシッピ川に架かる上路トラス橋の落橋を比較するとき、主桁方向に連続性のある丈夫な床版を主構造と固く結合すること、および連続桁化によってリダンダンシーを付与することが大切と考える。

【参考文献】

- 1) 建設省土木研究所・橋梁研究室：合成桁の床版打換え工法に関する調査，土木研究所資料第 3582 号，平成 10 年 6 月
- 2) 西川貴志・高橋眞太郎・倉方慶夫：もう一つの少数桁形式について，H18 年度管内技術研究発表会，国土交通省東北地方整備局，平成 18 年 7 月
- 3) 高濱光夫・西川貴志・安食春夫・肥後野孝倫・大中英樹・竹谷佳尚：縦置き I 形鋼格子床版の設計概要と施工時荷重の検討，第 6 回床版シンポジウム，平成 20 年 6 月

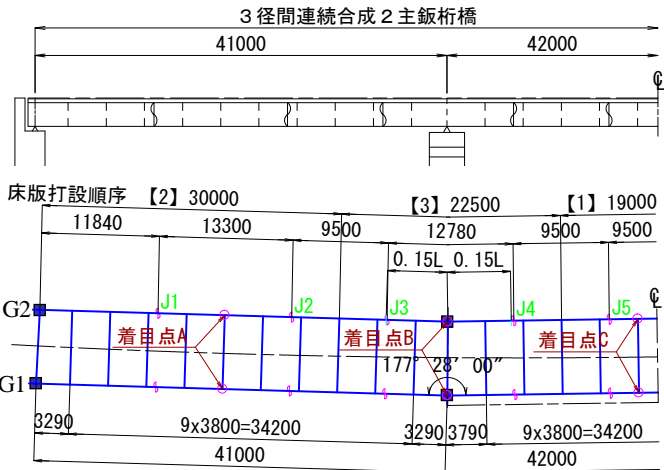


図-9 連続合成鋼桁橋の骨組図-1 (暫定断面)

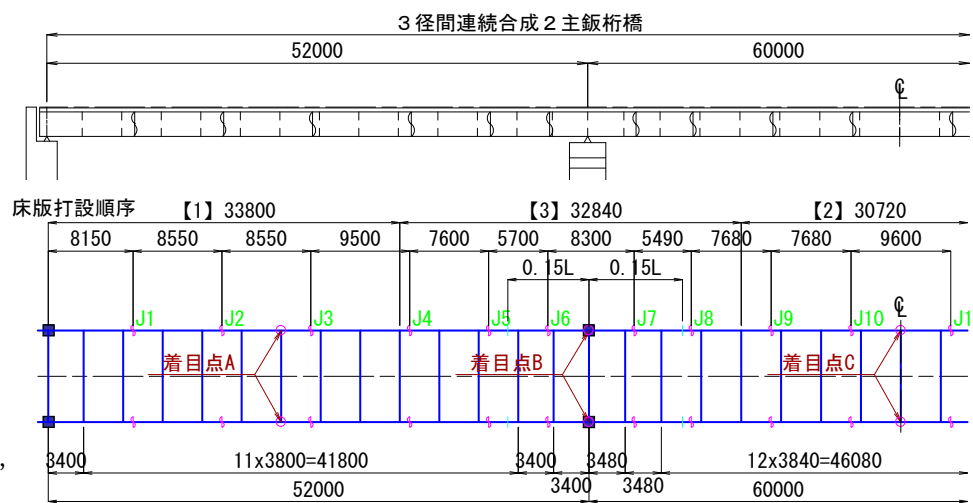


図-10 連続合成鋼桁橋の骨組図-2 (完成断面)

- 4) 亀子学・小島実・辻野竜介・海川陽一・河合照雄・佐々木力・奥井義昭：床版取替えが可能な合成桁の提案と一検討，土木学会第 65 回年次学術講演会，平成 22 年 9 月
- 5) 伏黒邦雄・村江博信・杉山充・西川貴志・榎 裕二：もう一つの 2 主桁桁形式と連続合成桁，鋼構造シンポジウム 2005，第 13 回鋼構造年次講演論文集，2005. 11
- 6) 日本道路公団編集：関門橋工事報告書，土木学会，昭和 52 年 3 月
- 7) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編，平成 14 年 3 月
- 8) Eurocode 4 : Design of composite steel and concrete structures, DD ENV 1994-2 : 2001