

PC床版2主桁橋の設計・施工 —— HORONAI川橋の床版施工 ——

高橋 昭一*1・小西 哲司*2・志村 勉*3・橋 吉宏*4

1. はじめに

北海道縦貫自動車道ホロナイ川橋は、我が国初の、鋼2主桁にプレストレストコンクリート床版を組み合わせた鋼2径間連続橋である。

鋼橋の合理化の分野では、現場作業の省力化、耐久性向上、経済性を追求した検討がなされており、その一手段として、少数主桁化による鋼重・工数の低減が図られている。鋼橋の少数主桁化を実現させるためには、長支間床版の合理的設計法とその現場施工の確立が、橋梁全体としての合理化を考えるうえで大きな課題となる。

鋼橋床版の施工の合理化、高耐久性を目指した、我が国初の移動型枠工による鋼橋 PRC 床版の施工を行ったのでここに報告する。

2. 鋼橋床版の合理化

鋼橋床版の省力化、耐久性の確保を目的とし、JH 札幌建設局では、札幌自動車道新琴似高架橋において、在来多主桁構造での床版工と壁高欄工のプレキャスト化を行っている(写真-1)¹⁾。

試験施工の結果、現在の鋼橋は RC 床版を基本とし支間を 3 m 以下に抑えているため、床版と主桁の結合箇所が多く、また床版支間が短いためプレテンションで導入される PC 鋼材が有効に活用され得ないため、省力化、経済性の面で限界のあることがわかった。

JH では(財)高速道路調査会に「21 世紀の橋梁技術検討小委員会」を設置し、橋梁の合理化について調査を行っている^{2),3)}。その結果、ヨーロッパで、1960 年代のアウトバーン建設以来用いられている、コンクリート床版を有する鋼2主桁橋がほぼ健全な状態に保たれていることを確認するとともに、床版にプレストレス力を導入することにより、コンクリート床版の損傷の原因とな



写真-1 新琴似高架橋におけるプレキャスト床版の施工

る初期ひび割れが抑えられることと、桁と床版との結合箇所が減少し床版の合理化施工が可能となることがわかった。

床版の施工方法としては、1960 年代から 70 年代に建設されたスイスの 2 主桁橋では、橋軸方向をループ継手で接合するプレキャスト床版や、床版を橋台背面で製作し桁上を押し出して架設する施工法などを用いた例もあったが、現在でも盛んに 2 主桁橋を施工しているフランスも含め、場所打ち床版が一般的であることがわかった⁴⁾。

3. ホロナイ川橋の概要

ホロナイ川橋の諸元は次のとおりである。

路線名：北海道縦貫自動車道(長万部～虻田)

道路規格：第一種第 3 級 B 規格

架橋位置：北海道虻田郡虻田町清水

形式：鋼 2 径間連続 PC 床版 2 主桁橋

橋長：107.0 m 2@53.0 m

荷重：B 活荷重

*1 Shoichi TAKAHASHI：JH 日本道路公団 札幌建設局構造技術課 課長代理

*2 Tetsuji KONISHI：川田建設(株) 工事本部技術部 技術課長

*3 Tsutomu SHIMURA：川田工業(株) 橋梁事業部開発営業部 係長

*4 Yoshihiro TACHIBANA：川田工業(株) 技術本部研究室 係長、工博

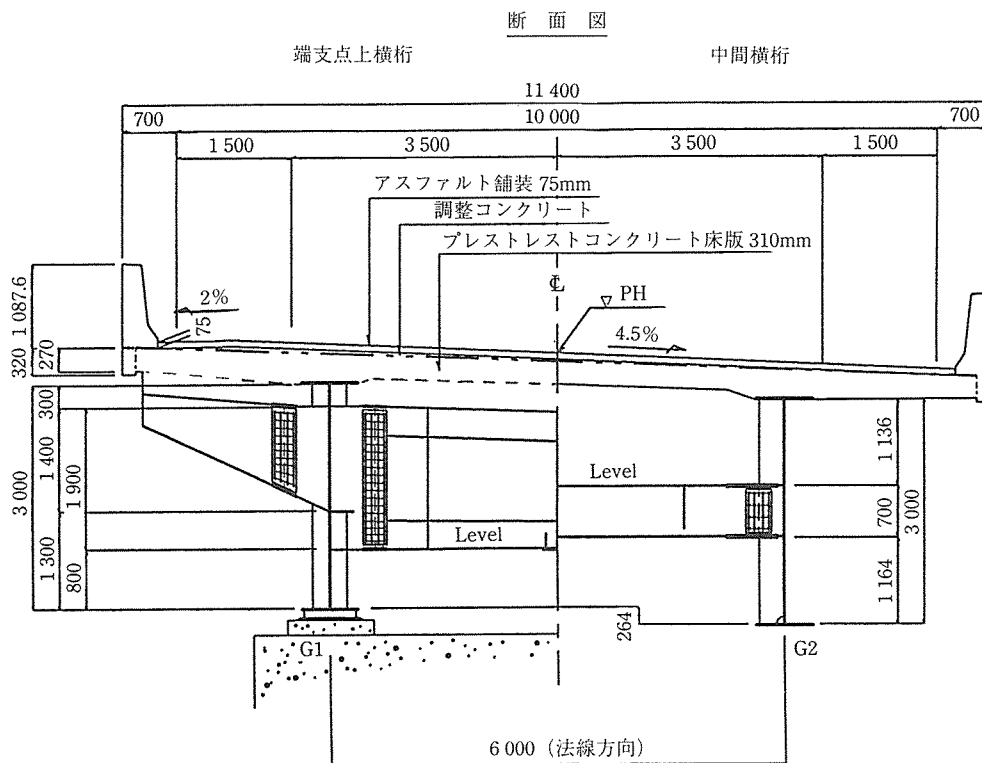


図-1 ホロナイ川橋断面図

線形 : $R=1\,000\text{ m}$
 本橋の断面図を図-1に示す。

4. 床版の設計

4.1 床版の基本

床版をフルプレストレスで設計すると、PC鋼材が多くなるのみならず、設計荷重以上の過大な荷重が載荷されてひび割れが発生した場合、剛性低下によりひび割れが大きく開口することとなる。

このため、JH札幌建設局では床版に対する合理的構造として、ひび割れ発生時に著しい剛性低下を生じないRC構造を基本とし、設計荷重に対しひび割れが発生しないようなプレストレス量を制御して与える床版構造、PRC（プレストレスを与えた鉄筋コンクリート）構造を提案しており、本橋の長支間床版もこの設計思想に基づいて設計している⁵⁾。

4.2 床版の設計

床版厚さは、DINにおける最低床版厚さ（28 cm）を確保しつつ、道路橋示方書に示すプレストレストコンクリート床版厚さの単純版の項により算出した値、30 cmを最低全厚とし、発生応力から31 cmに床版厚を決定している。

床版は桁より頻繁に設計荷重が載荷されること、交通実態上、設計荷重を超える荷重載荷の可能性が大きいこと、さらに、薄い部材であるため施工誤差等により受ける発生応力と設計応力との差が比較的大きいことなどに

より、床版は強度 40 N/mm^2 のコンクリートを用いるものとし、コンクリートの許容引張応力度は、ひび割れを許さない構造（曲げひび割れ発生限界状態）とし設計した。

なお、コンクリートの許容引張応力度は、土木学会コンクリート標準示方書 3.2.2 式により求め、さらに対象が床版であり部材が薄いことにより、解 7.3.1 式により値を補正して求めている。

4.3 配筋

床版の配筋は設計荷重以上の荷重が作用したとき、ひび割れ幅を制御できるものとした。レオンハルトの文献⁶⁾には、「基本的にはひび割れ間隔とひび割れ幅は、鉄筋間隔と鉄筋径が小さいほど小さくなる。荷重作用に対して十分な鉄筋量が配置されている場合、D 5~10 mmの鉄筋を5~10 cm間隔で配置するのが可視ひび割れを防止するうえでもっとも良い方法である」とされており、D 10 mm-c/c 100 mmを最大配筋とし、結果的にこれを標準配筋とした。

4.4 鋼桁の曲線桁化

本橋は床版施工を重視した鋼桁の設計を行っている。一般に鋼橋は、高速道路のようなゆるやかな線形を持つ場合、各支点で桁を折る折れ線桁構造として設計を行う。これは曲線桁とすることにより鋼桁の設計が複雑になることや鋼桁の加工工数が増加することを回避するためである。本橋は $R=1\,000\text{ m}$ の緩やかな一定曲線区間にあるが、鋼桁を平面曲線なりの曲線桁として設計して

いる。これにより、片持ち床版の張出し量およびハンチ高さが一定となり、形枠形状を変化させる必要もなく、また桁端部を除いて軸直角方向に鉄筋・PC鋼材の加工配置形状が同一となり、次章で述べる鉄筋のプレファブ化が図れるようになった。さらに、最大張出し量が抑えられるため、PC鋼材も減少させることができ、省力化と経済性の追求が可能となった。

4.5 床版施工から決定した横組み構造

図-1に示すように、本橋では中間横桁を主桁ウェブの中心近くに取り付けている。この第一の目的は、主桁間の床版を移動型枠工で施工するために施工空間を確保することである。

本橋は場所打ち床版であるため、横締めを行うと鋼構造がプレストレス力により変形すること、その反力により横締めプレストレス力にロスが生じる。立体FEM解析の結果では、中間横桁を主桁上フランジ近傍に取り付けた場合、約5%のロスが生じることがわかり(図-2)、これを回避するためにも、中段取付けとしている。

また、鋼橋の横桁(対傾構)は通常最大6mピッチに設置するものとしているが、本橋では床版の移動型枠工施工を前提に、移動型枠工の受け材として中間横桁を必要とすることから、床版打設スパン10.6mを1/2とした5.3mピッチとしている。

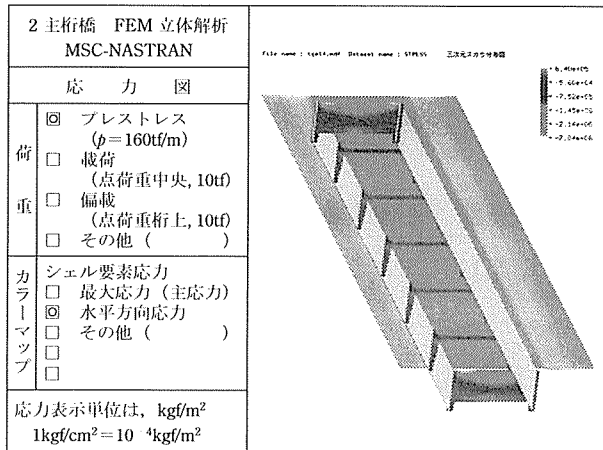


図-2 橋軸直角方向のプレストレスロス

5. 床版の施工

5.1 概要

床版施工の目標として次の3点を掲げた。

- ① 在来施工とほぼ同程度の工費
 - ② 施工のサイクル化による省力化
 - ③ 不確かな現場グラウト作業を無くす
- 上記目標を達成すべく、

- ① 移動型枠工施工による安全確保
- ② プレファブ鉄筋による工期短縮

表-1 移動型枠工の施工サイクル

工種	日程	1	2	3	4	5	6
型枠移動セット		■					
型枠調整			■				
鉄筋吊込み				■			
鉄筋組立				■			
上屋セット				■			
小口・側枠セット				■			
コンクリート打設					■		
養生						■	■
側枠脱枠・緊張		■					
底枠脱枠・移動準備		■					

③ アフターボンド鋼材による高品質化

を基軸とした床版現場施工を計画した。床版の施工サイクルは表-1のようになり、床版トータルコストでの経済性追求を図った⁷⁾。

5.2 移動型枠工

移動型枠工は型枠支保工部と全天候上屋により構成されている。型枠支保工部は張出し床版部と中間床版部からなっており、それぞれ別々に動かすことができる。また、全天候上屋についても型枠支保工とは独立した構造となっている(図-3, 写真-2, 3)。

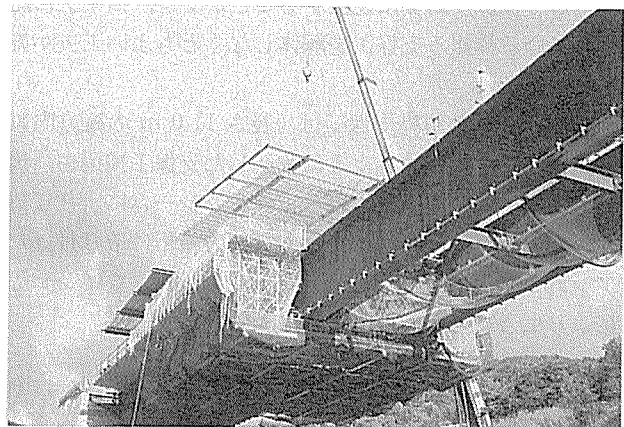


写真-2 移動型枠工

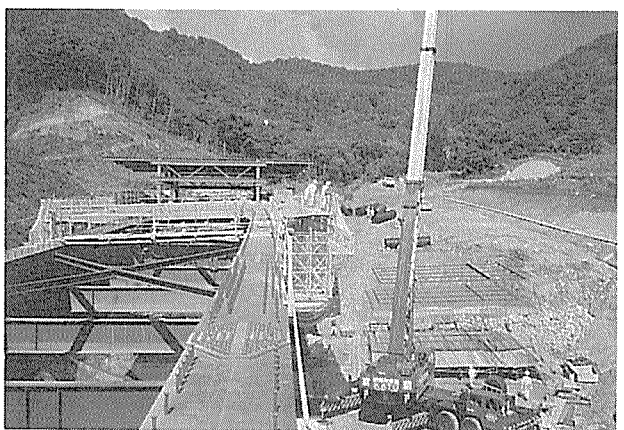


写真-3 全天候上屋

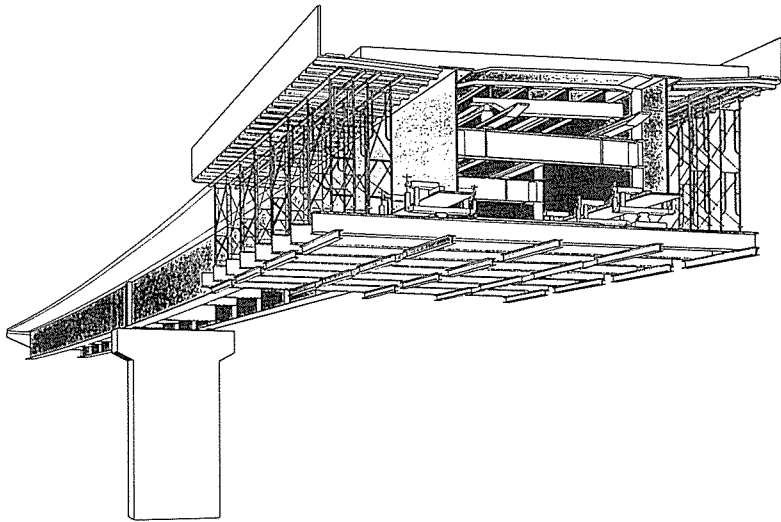


図-3 移動型枠工パース

張出し床版部の型枠支保工は、鋼主桁に懸垂し橋軸直角方向に配置された横梁上に、枠組み支保工を組み立てて構成される。支保工横梁は中心間隔 1.8 m に配置された 2 本を 1 セットとして構成され、3.0 m の短い H 形鋼により連結固定している。各セットは 3.65 m 間隔で 4 セットを連結して 1 基を構成し、打設長約 10.6 m に対応させている。中間橋脚近傍では、この各セットを小分割して橋脚反対側に運搬することができ、横梁上に組まれている枠組み支保工を解体しなくともよい工夫が施されている。

中間床版部の型枠支保工は、長さ 11.0 m の縦方向梁と横断勾配に対処するように改造した支保工横梁を、橋軸方向につないで構成される支保工フレームにより支持されている。両型枠支保工とも、前方横桁に取り付けたアンカー金具を固定点として、チルホール、ウインチ等により引き寄せることで移動させる。

全天候上屋は H 形鋼により構成され、前方は鋼桁上に、後方は施工済み床版上に脚を設置している。上屋の移動はトラッククレーンにより行う。

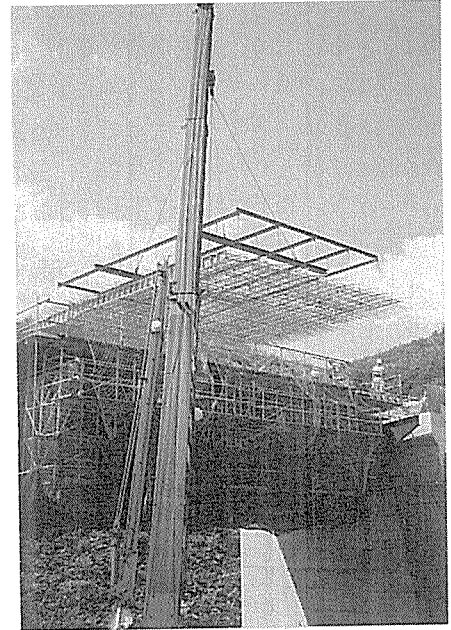


写真-4 吊り上げられたプレファブ鉄筋

5.3 プレファブ鉄筋化

鋼桁を道路平面線形なりの曲線桁として製作したことにより、床版厚、ハンチ高さ、張出し長などが橋軸方向に統一できた。これにより床版が等断面となり、移動型枠工の施工サイクルを短縮するため、一施工分の床版部鉄筋をプレファブ化することが可能となった。また、壁高欄鉄筋のプレファブ化も同時に実施している（写真-4）。

床版部のプレファブ鉄筋概要を図-4 に示す。プレファブ鉄筋は橋梁下に設置した製作台上で組み立てられ

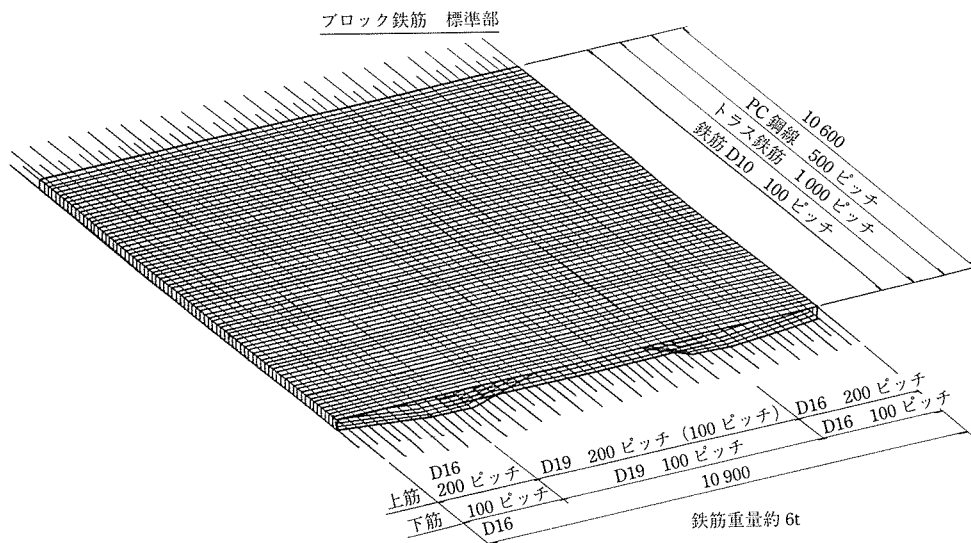


図-4 プレファブ鉄筋の概要

る。橋軸直角方向主筋は D 10 mm-100 mm ピッチで統一されているため、製作台上には配筋用の定規を設置し、規格化されたブロック状の鉄筋が組み立てられるようになっている。

なお、事前に行った吊上げ試験により、ブロック鉄筋の剛性が若干不足していることが判明したため、橋軸方向に 1 m ピッチにトラス状補剛鉄筋を設置し、吊上げ時の鉄筋のたわみ歪みを抑えることとした。

また、プレファブ化の課題として軸方向の継手長がある。通常的设计では鉄筋径 d の時、 $85d$ の継手長となるが、文献6)を参照して継手長 $45d$ となる $1/2$ ラップ継手を用いるものとした(図-5)。この継手については静的な試験ではあるがひび割れ性状等を確認している⁸⁾。

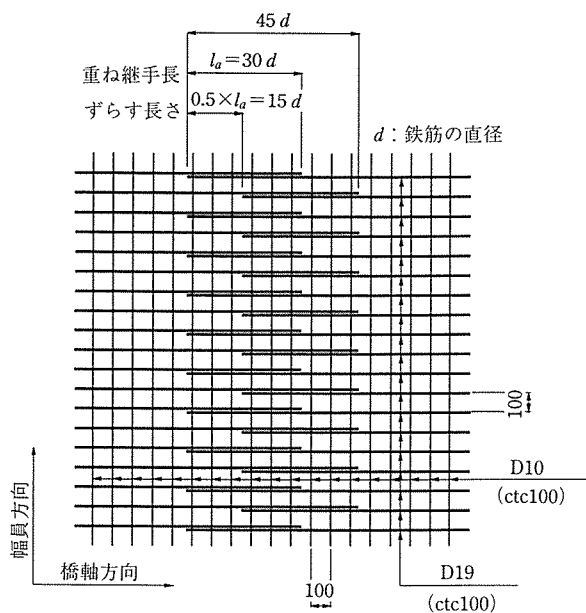


図-5 1/2 ラップ継手

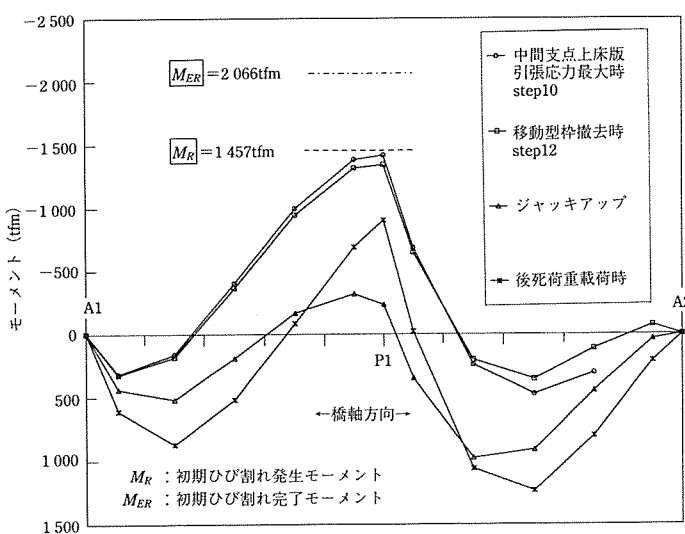


図-6 中間支点上に発生するモーメント

5.4 アフターボンド材による横締め

JH 札幌建設局では、プレストレストコンクリート床版に用いる横締め鋼材を、原則としてすべてシングルストランド、アフターボンド仕様としている。これは鋼材防蝕の高品質化、現場作業の省力化を目的としている。これにより、グラウト作業期間に限られるという寒冷地北海道特有の課題をも克服している。

アフターボンド鋼材の課題として、ボンド材として使用するエポキシ樹脂の温度履歴管理がある。

- ① 鋼材緊張時に十分なちょう度を有すること
- ② 使用時にボンド材として機能すること

上記エポキシ樹脂の満たすべき材料品質は、使用部材、外気温、コンクリートの硬化時温度などにより異なるため、平成7年度に施工する JH 札幌建設局の橋梁については、事前の温度履歴予測、実橋での温度履歴調査を行うものとしており、これらを踏まえアフターボンド鋼材の標準化、施工要領化作業を行っているところである。

5.5 中間支点上の引張応力制御

一般の鋼橋はコンクリート打設時の桁のたわみが大きいため、たわみの大きな支間中央を先打ちし、その後中間支点上を打設することにより、床版施工時に中間支点上の床版に有害な引張応力が発生しないようにしている。

本橋では移動型枠工の構造から、一方向からの片押し施工となったため、床版施工途中で中間支点付近の床版に、 30 kgf/cm^2 を超える引張応力が発生することとなった。

設計荷重、後死荷重などを考えると、これはさらに大きなものとなるため、桁の架設、床版の打設を次の手順で行い、中間支点上に圧縮力が付加されるよう計画している。

- ① 橋台上で桁を約 100 mm、低くセットする
- ② 床版を片押し施工する
- ③ ジャッキアップして桁を正規の位置に戻す

5.6 中間支点上でのひび割れ照査

鋼桁のジャッキアップにより設計荷重時には引張応力を低く抑えられても、施工途中に有害なひび割れが発生する可能性もあり、G. Hanswille の詳細式⁹⁾に基づき、ひび割れ照査を行っている。

本橋の床版の条件(骨材径、鉄筋、床版厚など)が考慮できる、詳細な G. Hanswille の式によれば、中間支点上での、 M_R (初期ひび割れ発生モーメント)、 M_{ER} (初期ひび割れ完了モーメント) はそれぞれ、 1457 tfm 、 2066 tfm となった。

11 回に分割して施工される床版の各打設ステップごとに、中間支点上に生じるモーメントは図-6

◇工事報告◇

に示したものとなり、各ステップとも M_R (初期ひび割れ発生モーメント) 以下であることがわかり、本橋において施工中にひび割れが生じないことを確認している。また、万が一、ひび割れが発生したとしても、ひび割れ幅は0.04 mm 程度であり、ひび割れ幅が耐久性に影響を及ぼさないことを確認している。

なお、G. Hanswille の照査式は非常に複雑なため、現在、G. Hanswille の式を数表化して簡便化した EU-ROCODE の手法に従い¹⁰⁾、日本で用いられる床版を前提としたひび割れ照査の数表化作業を行っており、機会を改めて発表したいと考えている。

6. む す び

本報告取りまとめ時点(平成7年9月)で、PRC床版の移動型枠による施工は順調に進んでいる。

JH 札幌建設局においては、10 橋程度の鋼 2 主桁橋が計画されており、本橋の実績を基に今後に向けて、鋼 2 主桁橋 PRC 床版の移動型枠工による施工の標準化に着手している。

また、鋼桁橋は通常、橋軸方向には床版の剛性を考慮しない非合成桁として設計しているが、より合理的な鋼桁橋とするためには、コンクリートの剛性を考慮した設計が必要と思われる、連続合成桁設計に向けた乾燥収縮量の検証を、実橋および現地での供試体にて行っている。

橋面工が完了する平成7年11月には、実車両による

実橋載荷試験を行う予定であり、2 主桁橋の全体挙動、構造詳細にかかる力の流れを検証しつつ、鋼 2 主桁橋を中小規模径間長(スパン:30~80 m)における経済的な橋梁形式として標準橋梁化する予定である。

関連文献・参考文献

- 1) 富樫正彦他:新設橋梁へのプレキャスト床版およびプレキャスト壁高欄の適用,プレストレストコンクリート,1993年1月
- 2) (財)高速道路調査会:21世紀の橋梁技術検討小委員会報告書,1993年10月
- 3) (財)高速道路調査会:欧州橋梁調査団報告書,1994年10月
- 4) Syndicat de la Construction Metallique de France: Bulletin Ponts Metalliques No 15, 1992
- 5) (財)高速道路技術センター:PRC 道路橋設計マニュアル,1994年3月
- 6) F. Leonhardt:コンクリート橋,レオンハルトのコンクリート講座③,鹿島出版会,1985年5月
- 7) 高橋昭一他:ホロナイ川橋(鋼2径間連続2主桁橋)PRC床版の設計・計画(その1),第5回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集,1995年10月
- 8) 高橋昭一他:同(その2),同,1995年10月
- 9) G. Hanswille: Zur Riβ breitenbeshränkung bei Verbundtägern, Institut für Konstruktiven Ingenieurbau Ruhr-Universät Bochum, Nr. 86-1, 1986
- 10) K. Roik, G. Hanswille: 合成桁におけるひび割れ幅の制限, 橋梁と基礎, pp. 33-40, 1993年2月

【1995年9月19日受付】