

(97) 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

日本道路公団札幌建設局	正会員	高橋 昭一
〃		三戸 博
川田建設(株)	技術部	○小西 哲司
〃	工事部	太田 哲

1. まえがき

北海道縦貫自動車道ホロナイ川橋は、高速道路橋としてわが国初の、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径間連続桁橋(2@5.3m)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。しかし鋼橋の少数主桁化を実現するためには、長支間床版の合理的設計法、現場施工方法が橋梁全体としての合理化を考える上で大きな課題となる。

本橋では鋼橋床版の施工の合理化、高耐久性を目指して、わが国初の移動型枠による鋼橋PRC床版の施工を計画したので、ここに紹介する。

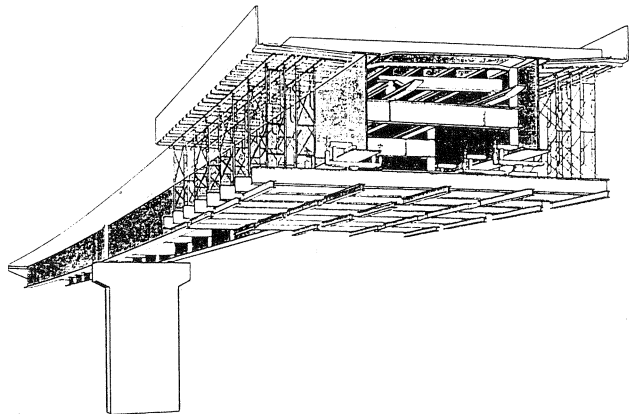


図-1 ホロナイ川橋施工状況

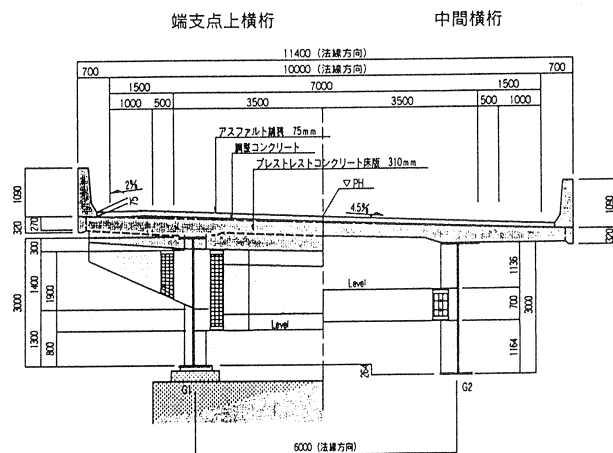


図-2 断面図

2. 計画概要

2.1. 鋼桁

ホロナイ川橋は、塗装メンテナンスフリーを指向した耐候性鋼材の使用、主桁突き合わせ溶接の廃止、厚板使用による補剛材の廃止、ロールH鋼による横桁・横構の廃止、仮組立検査の簡便化、等々鋼桁の省力化についての各種試みがなされている。

一般に鋼橋においては、張り出し床版の張り出し変化量が1.0mを超えるような平面線形の場合、曲線桁とするが、本橋の場合約0.3mと小さいにもかかわらず曲線桁としている。

張出長さが増える床版施工の型枠工、鉄筋等各種作業が被る潜在的な影響は、現行の材料ミニマムの積算システム上では推し量れないほど大きいと思われる。このため、曲線鋼桁製作費が直線桁製作費に比して数%程度の差であること、床版の工期が鋼桁の架設に比して2倍以上と長いことを考えれば、曲線桁とする方が適切な選択であると考えられる。表-1に主桁形状が床版施工に与える影響を比較した結果を示す。

表-1 桁形状比較表

主桁形状		曲線桁	直線折桁
概念図			
床版	型枠工	<ul style="list-style-type: none"> 片持ち床版の張出し量および、ハンチ高さが一定であり型枠形状を変化させる必要がなく、組立作業が容易である。 鋼製型枠による繰り返し転用が可能である。 	<ul style="list-style-type: none"> 片持ち床版の張出し量およびハンチ高さが変化するため型枠の横断方向の勾配を変化させる必要がある。このため、組立に手間を要し、工程的に不利となる。 型枠は勾配にあわせて形状変更が必要であり、木製型枠とするのが一般的である。
	鉄筋・P C鋼材工	<ul style="list-style-type: none"> 桁端部、中間支点上を除き、鉄筋加工形状が同一であるため、加工組立が容易である。 鉄筋のプレハブ化が計れるため、省力化と工期短縮が可能である。 P C鋼材組立配置についても上記と同じである。 	<ul style="list-style-type: none"> 施工ブロック毎に鉄筋形状が変化するため、加工および組立が煩雑であり、曲線桁に比して手間を要す。 P C鋼材の形状が変化するため、組立配置に手間を要する。プレハブ化には適さない。

2. 2. 床版

少数主桁橋においては主桁構造の合理化を目指して、鋼重の軽減および部材数の削減がなされる。このための手段として鋼桁数が減らされるが、鋼桁数を減らせば、当然床版支間が大きくなり、床版厚もそれに合せて厚くなる。床版厚の増加は死荷重の増加をひいては断面の変更による鋼重の増加につながる。

このことは、少数主桁化の実現には床版構造をRCから別の構造に変更しなければならないことを示している。この様な場合に、RC床版に比して1~2割、床版厚を薄くできるPC床版は少数主桁構造には現時点で最も適した構造であるといえる。

しかし一方では床版支間が大きくなると、鋼桁を利用して組立設置される従来の型枠支保工では支保工ピッチが従来の1/3と小さくなり、作業的には省力化にはならないと考えられた。

長支間床版の施工を行う方法としては、プレキャスト床版による方法と、鋼桁を利用した移動可能な型枠システムを導入する方法がある。

プレキャスト床版による方法は新琴似高架橋等で実施例があるが、ホロナイ川橋においては搬入路が狭く、工事用道路を拡幅する必要があること、運搬距離が長く工費的に高いことなどから、最終的には移動型枠による施工を行うことと決定した。

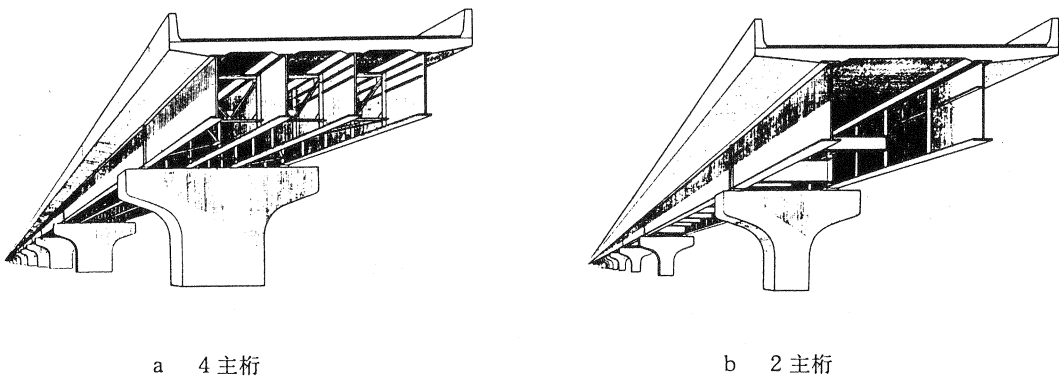


図-3 主桁構造の比較

表-2 床版の施工法比較

床版形式		工場製作 ^{ﾌﾟﾚｽﾄ}	移動型枠場所打ち
構造的性	コンクリート強度(kgf/cm ²)	500	350(P3-2)
	横締め方式	^{ﾌﾟ} レ ^ﾝ ｼﾞｮﾝ方式	^{ﾌﾟ} ｽ ^ﾄ レ ^ﾝ ｼﾞｮﾝ方式
	概算床版厚(cm)	26	30
施工性	床版目地	有り(^ﾙ - ^{ﾌﾟ} 継ぎ手)	無し
	型枠	現場では不要	移動式型枠
	支保工	不要	移動式型枠支保工
	配筋方法	^{ﾌﾟ} ﾘ ^ﾝ ｸ	^{ﾌﾟ} ﾘ ^ﾝ ｸ可能
	コンクリート打設	工場打設	現場 ^{ﾌﾟ} ﾝｸ打設
養生方法	養生方法	蒸気・散水養生	現場普通養生
	架設用クレーン	80tクレーンで可能	不要
省力化の度合い		かなり大きい	かなり大きい
架設工期	架設工期	20日+間詰め5日	55日
	現場全体工期	25日	75日
設計・施工上の問題点		RC ^ﾙ - ^{ﾌﾟ} 継ぎ手の耐久性	移動型枠・支保工の確立等
経済性		×	○
総合評価		橋軸方向幅は2.5m以内に制限される。冬季休止期間の有効利用が可能。施工実績が多い。	^{ﾌﾟ} レ ^ｽ ﾄ ^{レス} による鋼桁への影響を考慮する必要がある。海外においては一般的である。
今後の発展性		事業量のある第2東名神では単価が下がる可能性はある。北海道または暫定2車線では割高となる。	一定の施工延長がないと非効率。損料計算が可能となれば経済的となる。
総合判定		△	◎

3. 床版の設計

基本設計はフルプレストレスであったが、床版の経済性を図る方法として、粘り強いRC構造を基本として、コンクリートの引っ張り応力度をコントロールするためにプレストレスを導入するPRC構造による設計を採用した。

これによりプレストレス量は基本設計の7割程度に減少することが出来、床版厚は道路橋示方書に示されるPC床版と同程度の厚さとなり、一応の成果が得られたと考えられる。

一般に繰り返し荷重を受けるコンクリート部材にひび割れを許すと、疲労の問題を避けて通ることが出来ない。床版は桁と異なり、設計荷重が頻ぱんに載荷される。

(桁の場合は設計荷重が載荷され

ような状況は確率的にも少ない。)このため、発生応力レベルをひびわれ発生限界状態(コンクリートの引っ張り応力の特性値を超える応力を発生させない)に抑えるようなプレストレスを与えた。

鉄筋は基本配筋量として文献1)に基づき、「ひびわれ分散性に優れる小径の鉄筋」(D10)をピッチ100mmで配置し、引張鉄筋量、曲げ破壊安全度の照査を行った。

PC鋼材は、北海道内においては11月中旬から4月中旬までが、冬季のグラウト作業禁止期間であり、工期および施工完了物件の品質保証(シーす内凍結損傷)上、グラウト作業そのものを行わないことが望ましいこと、組立および緊張作業が容易で、最終破断特性に優れる等の優位性を考慮してシングルストランドのアフターボンドPC鋼材(SWPR19 1T21.8mm)を使用することとした。

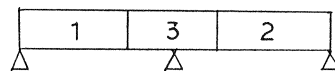
4. 施工

4.1. 床版の施工概要

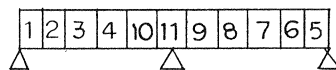
鋼連続桁橋の床版施工手順は一般に図-4. aの手順によるが、これは中間支点上付近の床版に引張応力を残さないようにするためである。

移動型枠によるサイクル施工を行う場合、ブロック分割については、

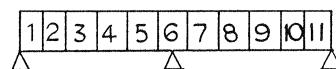
- ①サイクル施工であり、各ブロックの施工条件が出来る限り同一であること。
- ②施工規模と機械の転回回数が適当であること。
- ③工期短縮のためには大ブロックの方が望ましいこと。



a) 従来法



b) 従来法(移動型枠)



c) 片押し法(移動型枠)

図-4 床版コンクリート施工手順

等を考慮し、2横桁分約10.6m(横桁ピッチ5.3mの倍数)を標準ブロックとした。

標準ブロック長10mとしたブロック割りの、移動型枠によるコンクリート打設順序としては、上記コンクリート打設手順に従って図-4. bのように施工する方法が理想的であるが、移動型枠を長い距離往復移動させねばならず、また、橋脚を繰り返しかわして移設する必要があるため、機械そのものを相当度にシステマチックにする必要がある。

そこで図-4. cに示すような片押し施工の可能性について検討した。

本橋は非合成桁であり解析仮定上は施工時のコンクリート打設順序が床版の応力に影響を与えない。しかし一般には非合成桁であってもスラブアンカー等による鋼桁とコンクリート床版の合成効果は無視できない。従って検討は、片押し施工により順次合成されて、剛性が変化する主桁構造をそのままモデル化して解析し、コンクリート床版に生ずる応力度を累積算出した。

その結果、架設途中においては先行コンクリート部分に一時的に約 3.1 N/mm^2 の引張応力度が生ずるものの、床版施工後に実施するゴム支拵取り替え端支点ジャッキアップ作業等による変動応力度を累加した結果、最終的には 0.8 N/mm^2 程度にまで減少することが確認されたため、施工可能と判断し、片押し施工を採用した。

施工時にコンクリート床版断面に発生する引張応力に対しては発生するひびわれ幅が有害とまらないような鉄筋量を文献2)により算出し、配置することとした。

4. 2. 移動型枠

移動型枠のタイプについては打設コンクリート重量を上から吊るハンガータイプと、下から支えるサポートタイプが考えられるが、ハンガータイプの場合は施工荷重を吊り構造(吊り鋼棒等を利用した)により受けるため、橋面上での作業性が悪く、また、支持点に制約を受けることから、機械重量が大きくなり、機械の汎用性等を考慮すると、経済的には不利になる。

一方、サポートタイプは、施工時に型枠上方には障害物がないため、後述するブロック鉄筋が適用できること、荷重支持点と作業スペースの関係に制約がないため、荷重分散が可能であること、このため大規模な支保工梁等が必要なく、重量的にはハンガータイプに比べて軽くできる等の利点がある。表-2に移動型枠比較表を示す。

表-2 移動型枠比較表

タイプ		サポートタイプ	ハンガータイプ
構 造	概念図		
	型枠支保工構造	張り出し部：主桁下フランジに懸垂支持される。中間床版部：横桁上で支持される。	床版あるいは主桁上の支保工フレームにより吊り支持される。
工	曲線桁への適用	張り出し部：支保工フレームをを小ブロックに分割することで曲率に対応。	吊り点位置を調整することで適用可能。
	重量	約40t~80t	約100t~140t
施 工	移動方法(標準部)	張り出し部：主桁下フランジ上をローラーで移動する。中間床版部：横桁上をローラーで移動する。	張り出し部：鋼桁および床版上に敷設したレール上を移動する。中間床版部：横桁上をローラーで移動する。
	径間移動(橋脚部)	吊り降ろして地上を移動。	標準部と同様。
	上屋、荷役設備	上屋、荷役設備とも別途必要。	支保工フレームを利用した、上屋・荷役設備の設置が出来る。
	作業性	型枠上に障害がなく、作業性はよい。	床版を貫通する吊り鋼材の孔の後処理が必要。吊り材があり、適用は困難。
	ブロック鉄筋の適用	型枠上に障害物がなく、ブロック鉄筋に適する。	

移動型枠のタイプ選定は、まだ他物件に対する適用を考えながら汎用性のある構造としていく状況とは考えにくく、受注金額に見合った重量に抑えることも同時に考慮しながら施工規模や施工条件に応じて、適当な構造を選定し、適用する段階である。ホロナイ川橋においては施工規模やブロック鉄筋の施工性等を考慮してサポートタイプを採用した。

移動型枠の構造を図-1に示すが、かわしていく橋脚も1脚だけで、桁下空間も7~8mと比較的低く、使用可能な状態であったため、移動型枠の構造としては小ブロック(4ブロックとした)に分割して地上を運搬する構造とした。

一般には底板を開放構造とするにはハンガータイプの方が適用しやすいが、改造等に費用がかさむため、施工規模が大きくなければこれを回収できないと考えられる。

4. 3. ブロック鉄筋

床版施工の工期短縮を目的として床版鉄筋のブロック化を検討し、採用した。1ブロック約11.0m×11.0mを地上の鉄筋組立台(図-5)にて、コンクリート施工・養生中に組立て、鋼桁上に一気に吊り上げセットする工法である。高所作業を減らすと同時に、養生中に安全性の高い地上にて組立作業ができることから、工期短縮につながる。

ブロック鉄筋採用に当たっては以下の問題点があげられた。

- ①吊り上げ時に鉄筋の結束が切れたり、ゆるんでずれたりしないか。
- ②型枠上にセットしたときに大きな変形が残留しないか。
- ③重ね継ぎ手区間の鉄筋組立作業が残る。

これらの問題を事前に解決するために、実施工に先立ち、実際に使用する器具を用いて、ブロック鉄筋吊り上げ試験を実施した。(写真-1)

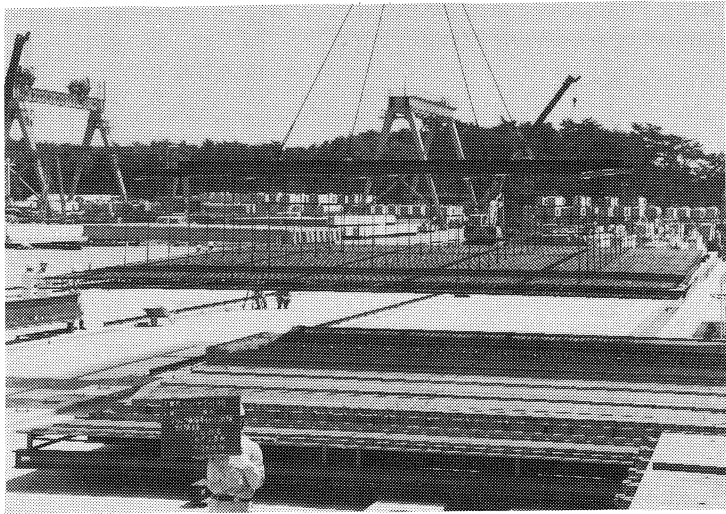


写真-1 ブロック鉄筋吊り上げ状況

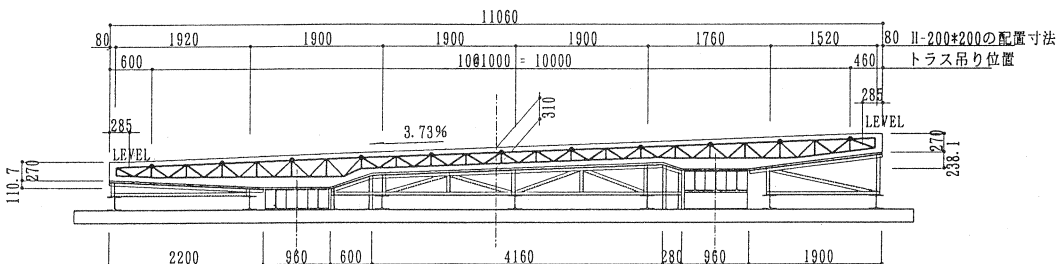


図-5 ブロック鉄筋計画図

①については、スポット溶接鉄筋の採用が考えられたが、疲労強度が著しく低下するとの報告もあるため、通常のなまし鉄線による結束を行った。

②については図-5に示すように上下の鉄筋の間にトラス鉄筋を入れ、変形を抑えるとともにトラス鉄筋の格点を吊り上げることで変形を抑制した。またトラス鉄筋と橋軸方向鉄筋(D19)とは番線により強固に結束した。その結果、特にゆるむこともなく作業性を含めて問題はなかった。

③の鉄筋重ね継ぎ手についてはこの作業を極力減らすことを目的として、重ね継ぎ手の範囲を短くする新しい継ぎ手方法を採用した。採用に当たっては性能確認試験を実施している。「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2」にて報告した。

4. 4. 工程

移動型枠による施工は従来工法のような型枠支保工の組立解体が不要であるところに利点がある。

また、ブロック鉄筋を採用したことにより、型枠上での鉄筋組立作業が極端に減少する。

以上を考慮した移動型枠による1サイクル施工工程を図-6に示す。

工程 \ 工程(日)	1	2	3	4	5	6	7
張	■						
移動準備	■	■					
型枠移動セット	■	■	■				
型枠調整		■	■	■			
鉄筋吊り込み			■	■	■		
鉄筋調整				■	■	■	
小口・側枠セット					■	■	
上屋セット						■	■
コンクリート打設							■
養生							■

図-6 移動型枠による床版のサイクル工程

5. あとがき

ホロナイ川橋の計画においては「大胆かつ綿密に」を基本姿勢として各種工法の検討、評価、採用を行ってきた。既成の工法の確実性にしがみつき、新工法を否定することに腐心していたのでは合理化、省力化は遠い夢物語の域を脱しない。

機械化施工による省人化、工期短縮、材料の低減・作業の単純化による工数減、プレハブ材料の使用による現場作業の廃止、等々視点を変えて省力化・合理化に取り組み、設計から施工まで、一通りの合理化のための手法を組み合わせた。

全てが効果的であるかどうかは、実施工が完了するまでは語るべきではないが、今後の合理化省力化のための一つの方向性を示すことが出来たと考えている。

ホロナイ川橋の施工は鋼桁架設が平成7年7月～8月、床版の移動型枠施工が8月～11月の予定であり、順調に進めば10月中旬には床版施工は終了している。

参考文献

- 1) F・レオンハルト, E・メット共著: レオンハルトのコンクリート講座③「鉄筋コンクリートの配筋」鹿島出版会(昭和60年4月)
- 2) K・Roik, G. Hanswille共著: 「合成桁におけるひび割れ幅制限の問題」橋梁と基礎(1988-5)
- 3) 高橋, 鈴木, 三戸, 白井: 「鋼橋における省力化・耐久性・経済性の追求」ハイウェイ技術No. 1(1995-4)
- 4) 橋, 志村, 越後, 小西: 「移動型枠を用いた床版施工に関する一考察」土木学会第49回年次学術講演会論文集(平成6年9月)