

プレキャストPC床版を有する鋼少数主桁橋の合理化・省力化（飛島高架橋西（鋼上部工）工事）

Improvement in the Rationality and Laborsaving Features of a Minimized Steel Girder Bridge with PC Slab Deck (The Tobishima-West Viaduct)

生駒 元* 鈴木松雄* 岩下 宏* 河西龍彦*
 Motoshi IKOMA Matsuo SUZUKI Hiroshi IWASHITA Tatsuhiko KASAI

Summary

The Tobishima Viaduct distinguishes itself by its small number of steel main girders and a precast concrete slab deck that shortened construction period, save labor, and reduced costs. It is located at the starting point, or east end, of Second Meishin Expressway.

With its design and construction guidance for minimized steel girder bridge prepared by Japan Highway Public Corporation, this bridge is more rational and laborsaving in design, manufacture and erection than those in the preceding sections of the highway.

キーワード：鋼少数主桁橋，新しい鋼材，PC床版，移動型枠支保工

1. まえがき

飛島高架橋西は、第二名神高速道路の飛島IC～鍋田IC間に位置し（図-1）、施工の合理化、省力化、工期短縮と、これに伴う経済性の向上、さらに耐久性の向上を図ることを目的に「プレキャストPC床版を有する鋼少数主桁橋」が採用された。図-2、3に標準断面図、平面図

を、表-1に設計条件を示す。

本工事の設計・施工は、「第二東名神 鋼少数主桁橋の設計施工指針」（案）平成9年6月¹⁾に準拠し、先行工区である東海大府高架橋等での検討結果等を踏まえつつ、さらなる合理化・省力化が可能かどうか検討した。

また将来の山間部施工も念頭に置き、部分的に移動型枠支保工を用いた場所打ちPC床版の試験施工も行った。



図-1 全体位置図

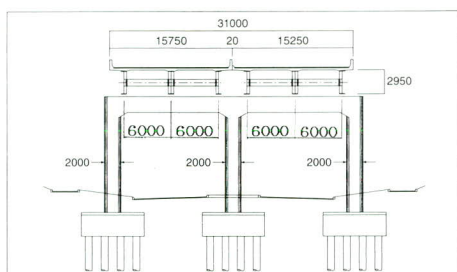


図-2 標準断面図

表-1 設計条件

道路規格	第1種2級（設計速度=100km/h）
車線数	3×2=6車線
総幅員	31.0m（標準部）
有効幅員	14.0m（2.5+3.5+3.75+3.5+0.75）
設計荷重	B活荷重
構造形式	連続非合成钣桁（鋼少数主桁橋）
主桁本数	2、3、4本（標準主桁間隔=6m）
床版	プレキャストPC床版 + 場所打ち床版（t=27cm）
舗装	高性能（排水性）アスファルト舗装（75mm）
壁高欄	鉄筋コンクリート（フロリダ型）

* 千葉工場設計部設計一課

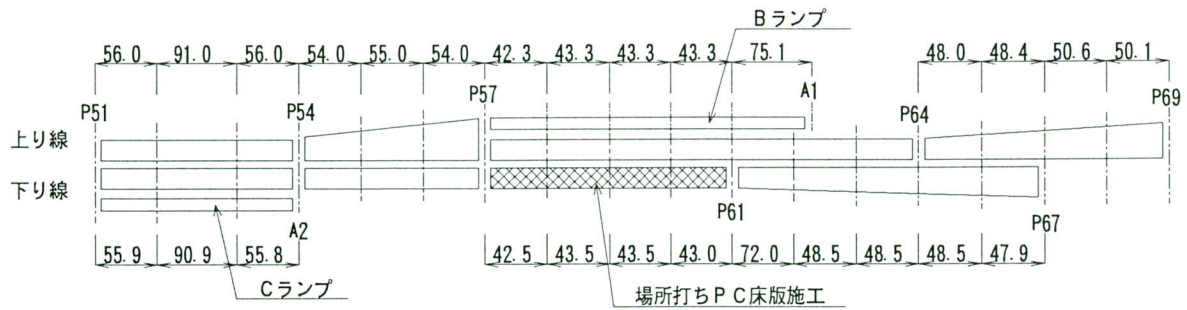


図-3 平面図

ここでは、さらなる合理化・省力化をめざして本工事で行った検討内容と、移動型枠支保工を用いた場所打ちPC床版の試験施工の概要について紹介する。

2. さらなる合理化・省力化について

(1) 新しい鋼材の適用について

鋼少数主桁橋は、主桁本数が少ないことから、従来と比べて主桁断面の板厚が厚くなる傾向がある。平成6年2月の道路橋示方書（以下、道示という）では、最大適用板厚は50mmまでであったが、道示の改訂（平成8年12月）により、適用最大板厚範囲が50mmから100mmに拡大され、また板厚が40mmをこえる鋼材についても、鋼材の降伏点または耐力が変化しない降伏点一定鋼（-H鋼材）の使用が認められた。

そこで本工事で、新種の鋼材として-H鋼材を使用することとした。その結果、従来に比べて鋼桁の使用板厚を薄くすることができた。板厚を薄くしたことで、鋼重の低減はもとより、切断・溶接といった工場における製作施工性および現場溶接の施工性の向上を図ることが

できた。材料費としては-H鋼材のエキストラが必要になるが、本工事で全体工事費を比較した結果、それほど大きな差は生じなかった。

また、溶接による低温割れを予防する予熱の施工性を向上させる目的で、溶接割れ感受性組成（ P_{CM} ）を指定した予熱低減鋼（-EX鋼材）も使用した。表-2に、本工事で指定した P_{CM} を示す。

(2) 垂直補剛材間隔の検討

東海大府高架橋等は、垂直補剛材間隔を横桁間隔（10m）の6分割として計画されていたが、さらなる合理化・省力化を図る目的で、補剛材の部材数を減らすことが可能かどうか検討した。

本橋は桁高が約3mと高いことから、水平補剛材は一段設けることとし、道示の規定する範囲内で腹板の補剛設計をやり直して、新積算基準による経済比較を行ったところ、垂直補剛材間隔は、支間中央部においては横桁間隔（約10m）の4分割、中間支点上付近では同6分割としたケースが最も経済的となった。本工事で採用した垂直補剛材間隔の例を図-4に示す。

(3) 鈹桁の適用範囲の拡大

1) 箱桁から鈹桁への構造変更

L=91mの長い支間を有するP51~P54の3区間連続桁（56m+91m+56m）の区間は、当初ウェブ間隔1mの縦リブを省略した形式の合理化箱桁が計画されていた。

これは平成6年2月の道示を適用したため、最大板厚

表-2 本工事で指定した P_{CM} (%)

	$t \leq 25^{mm}$	$25 < t \leq 40$	$40 < t \leq 50$	$50 < t \leq 75$	$75 < t \leq 100$
SM400	≤ 0.24	≤ 0.24	≤ 0.24	—	—
SM490YA SM490YB	≤ 0.26	≤ 0.26	≤ 0.24	—	—
SM520C SM570	≤ 0.26	≤ 0.25	≤ 0.23	≤ 0.23	≤ 0.22

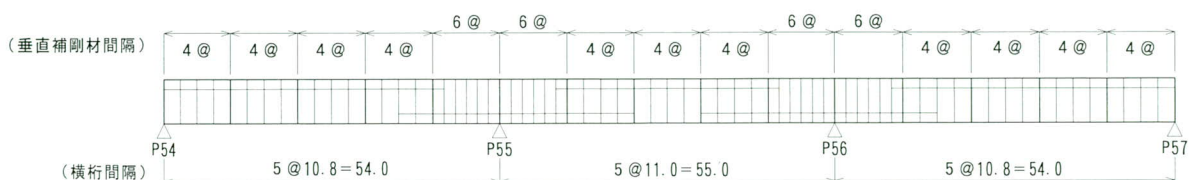


図-4 本工事で採用した垂直補剛材間隔例

が50mmまでしかなく、鋳桁では設計不可能であったためと考えられる。

しかし、(1)で述べたように、平成8年12月の道示を適用することにより、最大板厚は100mmまで、しかもH鋼材を採用できるようになった。また当初計画されていた箱桁形式は、桁高が約3mと高いこともあって必ずしも製作性に優れている構造とは言い難いこと、および横桁を箱桁に連結する部分の構造に問題を抱えていることもあり、箱桁を鋳桁に構造変更した方が良いのではないかと、また実際に変更することも可能ではないかと考えた。

2) 構造変更の可能性判断

構造変更の可能性を検討した結果、以下のようなことが判明した。

- ①新道示を適用し、H鋼材を使用することで、鋳桁でも断面構成が可能（フランジの最大断面は幅970×板厚100mmで、材質はSM570）。
- ②活荷重たわみは、道示規定（L/500）を満足する。（当初計画の箱桁と同等）
- ③下部工反力も当初の反力を下回る。
- ④鋼桁の製作は鋳桁の方が好ましい。
- ⑤部材数・塗装面積・現場溶接延長が減り、工費削減が可能。

以上のようなことから、箱桁を鋳桁に構造変更することとした。図-5に箱桁と鋳桁の構造比較を示す。

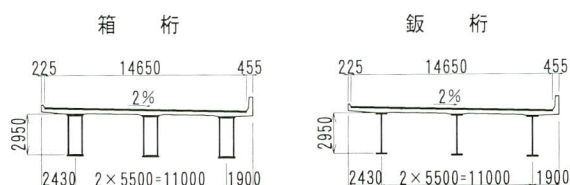


図-5 箱桁と鋳桁の構造比較

3) 活荷重タワミの考え方

非合成桁は床版の剛性を無視して解析しているが、実際には合成桁に近い挙動を示すことはよく知られている。非合成桁の活荷重タワミの照査は、鋼桁のみの非合成桁として格子解析して得られた活荷重タワミの値に対して行われており、上記のような床版の剛性が付加される分は、結果的に余裕代になっている。

一方、鋼少数主桁橋の床版にはPC床版を採用しており、床版支間が長いと従来RC床版に比べ床版厚が厚くなっている。したがって活荷重タワミの余裕代は従来のものより大きいと考えられる。

ここで、2)の②で述べた活荷重タワミは道示ギリギリの値で、鋼桁の断面は活荷重タワミで決定されるイメージである。これまでの鋼少数主桁橋においては支間長が90mというような長いものがなく、鋼桁の断面が活荷重タワミで決定されるようなことはあり得ず、活荷重タワミには十分な余裕が確保されていた。

鋼少数主桁橋の大きな特徴として、高い耐久性が確保された構造という点があるが、活荷重タワミが道示規定ギリギリということは、それだけ鋼桁の剛度が弱いということにもなり、好ましくない。

そこで本工事の支間長=91mの長い支間を有するP51~P54と、既往の橋梁で支間長80m以上の実績について調査し、両者の活荷重タワミの比較を行った。

その結果、本工事のP51~P54の場合、合成桁/非合成桁の剛度比は約2倍となり、活荷重タワミはL/500→L/1060となった。既往の橋梁の場合は合成桁/非合成の剛度比は1.6~1.8倍となり、活荷重タワミはL/600~L/700→L/1000~L/1100程度で、合成桁として計算した活荷重タワミは、ほぼ同じ値となった。すなわち本工事のP51~P54の場合は、非合成として計算した値が道示の許容値(L/500)ぎりぎりであっても、実際の挙動に近い合成桁として計算した場合の活荷重タワミは既往の実績を十分に確保できていることが判った。

4) 注意事項

今回は箱桁から鋳桁への構造変更が可能となったがこれは、56+91+56mという支間割バランスに助けられた面が強い。例えば90+90+90mといった等径間の支間割の場合に鋳桁を適用すると、H鋼材を用いてもフランジ厚が100mmを越える可能性が高いので注意が必要である。

(4) 現場溶接継手について

鋼少数主桁橋の現場継手形式には、全断面現場溶接が採用されてきているが、今回は現場溶接継手部のさらなる合理化・省力化を目指して下記の内容について検討した。

1) 現場溶接継手部のスカーラップレス構造

東海大府高架橋等で実施されている現場溶接部のスカーラップ構造は、ウェブのスカーラップを上・下フランジ側の両方に設けていたが、本工事では下フランジ側にはスカーラップを設けない上向き溶接施工方法を開発し継手部の疲労強度の向上を図った。

本工事で採用したスカーラップレス形状を図-6に示

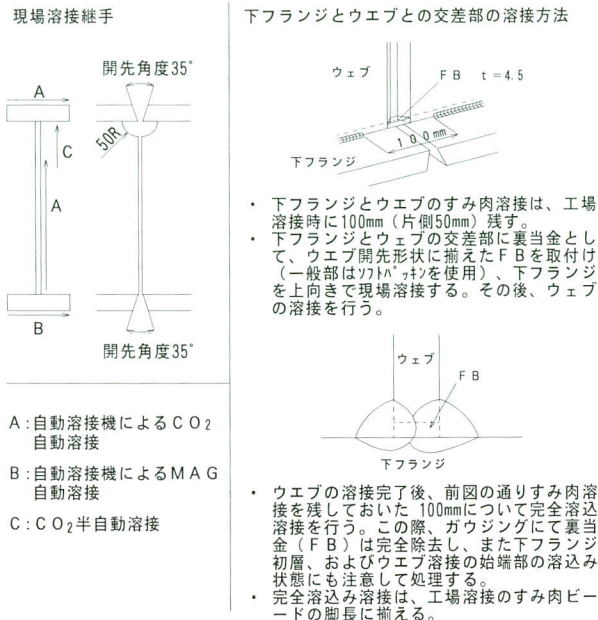


図-6 スカーラップレス形状

す。

2) 溶接施工試験

本工事ではフランジ厚が最大100mmであり、現場溶接継手部の最大板厚も80mmと厚い。そこで板厚100mmで開先角度35°の小型試験体を用いて現場溶接施工試験を行い、現場溶接の施工性および健全性とも問題ないことを確認した。また下フランジ側のスカーラップレス形状の施工方法についても問題ないことを確認した。

3) 現場溶接部の非破壊検査方法の検討

JH名古屋の鋼少数主桁橋においては、現場溶接継手部の非破壊検査方法として、超音波自動探傷試験(AUT)が採用されており、客先の立会検査が必要である。本工

事では、このAUTによる非破壊検査方法の省力化を図る目的で、X線による放射線透過試験(RT)の検討を行った。表-3にAUTとRTの非破壊検査方法の比較表を示す。

比較検討の結果、40~50mm程度までの板厚に対して、RTはAUTに充分対抗し得る非破壊検査方法であることが判った。そこで現場溶接部の最大板厚が50mm程度である本工事のBランプ橋を用いて、実施工で両者の比較を行うこととした。

なお上記Bランプ橋は現時点でまだ現場施工中であるため、実施工を通じた両者の比較検討結果はまだ不明である。

(5) 塗装系について

東海大府高架橋等で採用された薄膜形重防食塗装(C-5)は、内陸部に適用する塗装系としては非常に省力化された塗装系である。そこで本工事のような海岸部付近の塗装系においても、鋼橋のライフサイクルコストの見地より、十分な防錆強さを確保し、かつ省力化された塗装系を新たに開発しようと考えた(表-4)。

当初、本工事の塗装系は、C-2で計画されていた。そこでC-2をベースに考えつつ、東海大府高架橋等で採用されたC-5の思想を取り入れながら、本工事用の塗装仕様を以下のように考えた。

- ・新無機ジンクリッチプライマーの採用

新無機ジンクリッチプライマーは、工場溶接部のプライマー剥離作業を省力化できる塗装系であるため、これを採用した。

- ・無機ジンクリッチペイントについて

C-5では下塗り1層目に有機ジンクリッチペイン

表-3 AUTとRTの非破壊検査方法の比較

	AUT	RT
施工性	<ul style="list-style-type: none"> ・機器の最大持ち運び重量が15kg程度で、磁石または簡易レールに取り付ける構造となっているため、据付けや盛替えが簡単である。 ・機器がコンパクトであるため、作業床の突出幅が小さく作業性がよい。 	<ul style="list-style-type: none"> ・機器の最大持ち運び重量は40kg程度でウェブ面据付けには、固定治具が必要。また、この縦移動には電動チルホール等のホイスト設備で動かすようになる。 ・このため、据付け・盛替えはAUTに比べ劣る。 ・AUTに比べ若干突出幅が大きいためAUTより作業性は劣る。
安全性	<ul style="list-style-type: none"> ・立入り禁止等の制限はない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・半径5m以内は立入り禁止区域として、保安柵等の仕切りで囲う必要がある。
工程	<ul style="list-style-type: none"> ・1日当たり2~3JOINT検査可能。 ・結果は当日判別可。 ・ただし、客先の立会検査が必要なため、検査日の調整により他工種の工程に狂いが生じる事がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・1日当たり2~3JOINT検査可能。 ・結果は当日判別可。 ・公団立会検査が不要。
管理および手直し後の管理	<ul style="list-style-type: none"> ・自動記録紙により判別。 ・欠陥がある場合は、手直しを行いMUTで確認。 	<ul style="list-style-type: none"> ・X線フィルムで判別。ただし、欠陥の深さは翌日MUTで判別。 ・欠陥手直し後は、再度RT検査で判別。
検査可能最大板厚	<ul style="list-style-type: none"> ・100mm(100mmを超える分については、未確認)。 	<ul style="list-style-type: none"> ・40~50mm程度。
工費	<ul style="list-style-type: none"> ・RTに比べ割高。 	<ul style="list-style-type: none"> ・AUTに比べ割安。

表－4 塗装系の比較（一般外面）

発注時の塗装仕様			薄膜形重防食塗装（東海大府高架橋等）			本工事で採用した塗装仕様		
C-2（一般外面塗装，全工場塗装）			C-5（一般外面塗装，全工場塗装）			一般外面塗装（全工場塗装）		
	塗料・素地調整程度	塗膜厚(μm)		塗料・素地調整程度	塗膜厚(μm)		塗料・素地調整程度	塗膜厚(μm)
1	前処理 素地調整（G-a）	—	1	前処理 素地調整（G-a）	—	1	前処理 素地調整（G-a）	—
2	無機ジンクリッチプライマー	（15）	2	新無機ジンクリッチプライマー	（17）	2	新無機ジンクリッチプライマー	（17）
3	工場 2次素地調整（G-a）	—	3	工場 2次素地調整（G-c）	—	3	工場 2次素地調整（G-a）	—
4	無機ジンクリッチペイント	7.5	4	有機ジンクリッチペイント	7.5	4	無機ジンクリッチペイント	7.5
5	ミストコート	—	5	変性エポキシ樹脂塗料（下塗）	6.0	5	ミストコート	—
6	エポキシ樹脂塗料（下塗）	6.0	6	ポリウレタン樹脂塗料（上塗）	2.5	6	変性エポキシ樹脂塗料（下塗）	12.0
7	エポキシ樹脂塗料（下塗）	6.0				7	ポリウレタン樹脂塗料（上塗）	2.5
8	ポリウレタン樹脂塗料（中塗）	3.0						
9	ポリウレタン樹脂塗料（上塗）	2.5						
総塗膜厚合計(μm)		250	総塗膜厚合計(μm)		160	総塗膜厚合計(μm)		220

トを採用している。しかし海岸部付近ということも考慮し、十分な防錆性能を確保するため、この点についてはC-2のままとした。

- ・変性エポキシ樹脂（120μmの1回塗り）

C-2では60μm×2回塗りとしていたものを、120μm×1回塗りに変更して塗装作業の省力化を図った。

- ・中塗り塗装の省略

C-5に習い、ポリウレタン樹脂塗料（中塗）を省略することとした。

なお、現場溶接継手部の塗装仕様についても上記を活かす形で考え、厚膜型エポキシ樹脂塗装を採用した（表－5）。

3. 移動型枠支保工を用いた場所打ちPC床版の試験施工について

本工区のP57～P61（下り線）4径間連続桁の約180mの区間において、場所打ちPC床版の施工に移動型枠支保工

を試験的に採用した。

(1) 移動型枠支保工の形式選定

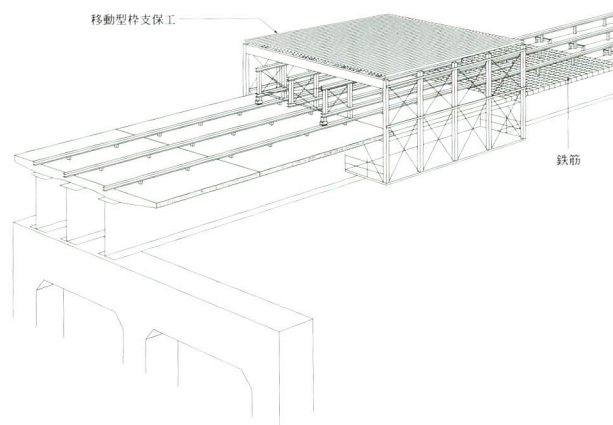
移動型枠支保工の構造は、床版を橋面上から懸垂支持するハンガータイプと、下面から支持するサポートタイプの2種類に分類できる。本工事では形式選定にあたり以下を基本に検討を行った。

- ①床版施工の合理化・省力化を図る。
- ②軽量化・小型化を図る。
- ③可能な限り鋼桁に補強や溶接付きのピースがいない構造とする。
- ④中間支点上を通過できる構造とする。

まず最初に、鉄筋組立および床版打設作業が容易で、プレファブ鉄筋の使用の可能性もあるサポートタイプを検討した。しかし、横桁間隔が約10mと広いこと移動型枠受梁がかなり大きなものになってしまうこと、また中間支点上横桁と床版との作業スペースの制限があり、サポートタイプではこの制限以下の小型化が困難であっ

表－5 現場溶接部塗装仕様

現場溶接部塗装（工場＋現場塗装）		
	塗料・素地調整程度	塗膜厚(μm)
1	前処理 素地調整（G-a）	—
2	無機ジンクリッチプライマー	（17）
3	工場 2次素地調整（G-a）	—
4	無機ジンクリッチペイント（下塗）	7.5
5	現場 現場素地調整（G-c）	—
6	ミストコート	—
7	厚膜型エポキシ樹脂塗料（下塗）	150
8	変性エポキシ樹脂塗料（下塗）	6.0
9	ポリウレタン樹脂塗料（上塗）	2.5
総塗膜厚合計(μm)		310



図－7 移動型枠支保工

た。これらの問題点に対応するため、ハンガータイプを採用することとした。図-7に今回採用した移動型枠支保工の概要図を示す。

(2) 中間支点付近の床版の施工方法

連続桁の場合、一般的には床版に過大な引張力が作用しないように中間支点付近を後打ちとしているが、移動型枠支保工を用いる今回のケースでどのように対処するか、以下の3案について検討した。

①案、打設順序による対応（不採用）

従来のように中間支点付近を後打ちする方法である。この後施工の範囲は、床版に引張力が発生するおよそ $16+16=32\text{m}$ 程度となる。このため移動型枠支保工が大型化してしまう。また、橋軸直角方向のプレストレスについても、先打ちしたブロックが硬化してしまった後に場所打ちするブロックへのプレストレス導入の問題がある。

②案、中間支点のジャッキアップ・ダウンによる対応（不採用）

床版打設の前後で中間支点をジャッキアップ・ダウンして、床版の橋軸方向にプレストレスを導入する方法である。しかしジャッキアップ・ダウンには大がかりな設備が必要であり、クリープ・乾燥収縮により導入したプレストレスの大部分が打ち消されてしまうといった問題もある。ちなみにジャッキアップ・ダウン量を試算した結果、後死荷重による引張を打ち消すジャッキアップ・ダウン量は約20cmであった。

③案、プレキャストPC床版による対応（採用）

上記のような問題点に対応するため、中間支点部にプレキャストPC床版を採用することとした(図-8)。

ちなみに山間部施工を考えた場合、橋脚付近までは橋脚施工時に使用した工事用道路を利用すればプレキャストPC床版の輸送およびクレーン作業が可能であると

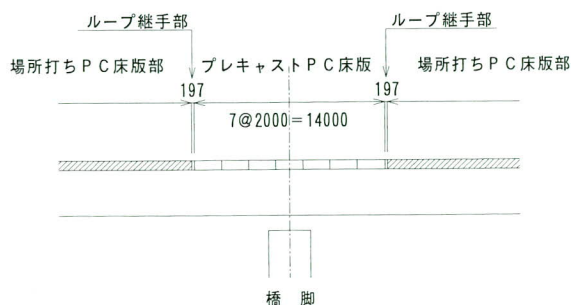


図-8 中間支点部プレキャストPC床版

考えられる。橋脚付近で作業不可能な場合でも、床版の施工が完了した橋面を利用して輸送することが可能であろう。

(3) 鉄筋足場専用支保工の採用

移動型枠支保工を用いた床版施工の効率を上げるためには、鉄筋の組み立て作業の省力化を図ることが大きなポイントである。このため、本工事ではまず、プレファブ鉄筋の採用について検討した。また山間部施工も考慮して、移動型枠支保工のホイスト設備を用いて吊り込む施工方法も検討した。しかし、移動型枠支保工がハンガータイプのため橋面上施工は難しい。それでもこれを実現しようとする、移動型枠支保工がさらに大型化してしまう。

プレファブ鉄筋を分割することも考えたが、かえって鉄筋の継手作業が複雑で鉄筋作業の省力化が図れないことが判った。

そこで、プレファブ鉄筋の採用をあきらめ、移動型枠支保工とは別に鉄筋を先行作業する鉄筋足場専用支保工を採用することとした。

4. あとがき

本工事はまだ現場施工中である。

鋼少数主桁橋は、鋼橋メーカーにとって今後も非常に大切な橋梁形式のひとつであると考えており、これらの問題点については、今後もさらに改良を加えていきたいと思っている。

最後に、本工事の設計・施工にあたりご指導頂いた、日本道路公団名古屋建設局、および名古屋工事事務所弥富工事区の皆様、ならびに当社とJVを構成した松尾橋梁(株)、ドーピー建設工業(株)の関係各位に、紙上をお借りして厚く御礼申し上げます。

<参考文献>

- 1) 第二東名神 鋼少数主桁橋の設計施工指針(案), 平成9年6月, 日本道路技術センター

1998.10.31 受付