

(10) 遊楽部川橋 (Twin-PBL 接合を用いた波形鋼板ウェブ橋) の設計・施工

Design and Construction of YOURAPGAWA Bridge (Corrugated Steel Web Bridge Using Twin- Perfobond Strip)

東田 典雅*, 一条 英明*, 金子 人之**, 吉田 政宏**, 立神 久雄***

Norimasa HIGASHIDA, Hideaki ICHIJYOU, Hitoshi KANEKO, Masahiro YOSHIDA, Hisao TATEGAMI

*日本道路公団 北海道支社 構造技術課 (〒004-8512 札幌市厚別区大谷地西5丁目12-30)

**ドーピー建設工業(株) 北海道本店 (〒060-0001 札幌市中央区北1条西6丁目2)

***ドーピー建設工業(株) 技術センター (〒170-0004 豊島区北大塚1-16-6)

In late years PC Bridge with corrugated steel webs attracts attention as structure to be able to plan cost reduction of the whole bridge. YOURAPGAWA-bridge of Hokkaido traversing Expressway adopts PC Bridge with corrugated steel webs which moved Web of a conventional prestressed concrete box girder in corrugated steel plate. A joining method of upper slab in this bridge and corrugated steel plate adopts Twin-Perfobond strip which is superior in economy, efficient construction. This report shoes the outline of the design and construction of this bridge.

Key words : corrugated steel web, twin-perfobond strip, static test, fatigue test

1. はじめに

遊楽部川橋は北海道縦貫自動車道に架設される PC3 径間連続箱桁橋である。遊楽部川は、太櫓岳を源に北海道南部噴火湾に流れ込む河川であり、ユーラップ(遊楽部)とは、アイヌ語で『温泉水が流れ込む川』という意味である。本橋は現地立地条件により最大斜角 68 度を有し、主桁断面は波形鋼板ウェブ箱桁断面としている。床板と波形鋼板の接合は、現在標準的に使用されているアングルジベル接合に変え、パーフォボンドリブジベル接合(以下 PBL ジベルとする)としている。施工については、側径間部(約 76m)を冬季の河川渇水期に固定支保工にて行った後に、中央径間部を張り出し架設により施工を行う。本論文は、これらの特長についての設計・施工を報告するものである。

2. 橋梁概要

遊楽部川橋は、橋長 236.366m、支間 65.659m+102.512m+65.895m の 3 径間連続波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋である。表-1 に遊楽部川橋の橋梁概要を示す。また図-1, 2 に側面図および断面図を示す。

表-1 橋梁概要

工 事 名	北海道縦貫自動車道 遊楽部川橋(PC 上部工) 工事
道 路 区 分	第1種第2級
構 造 形 式	3 径間連続 波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋
橋 長	236.366 m
支 間	65.659m+102.512m+65.895m
総 幅 員	11.440m
横 断 勾 配	2.5%
縦 断 勾 配	0.45%
平 面 曲 線	R=2600m~A=900m
斜 角	A1=78° 58' 19" , P1=74° 46' 09" P2=73° 18' 23" , A2=67° 59' 13"

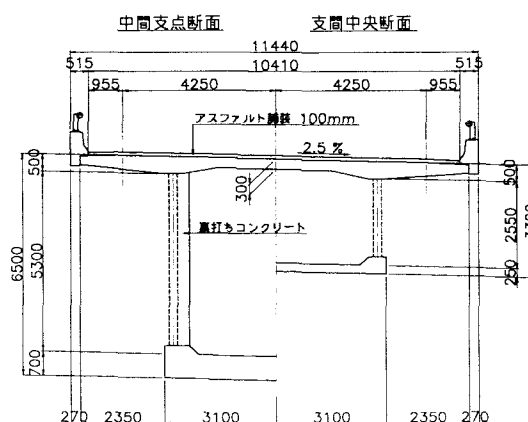


図-1 断面図

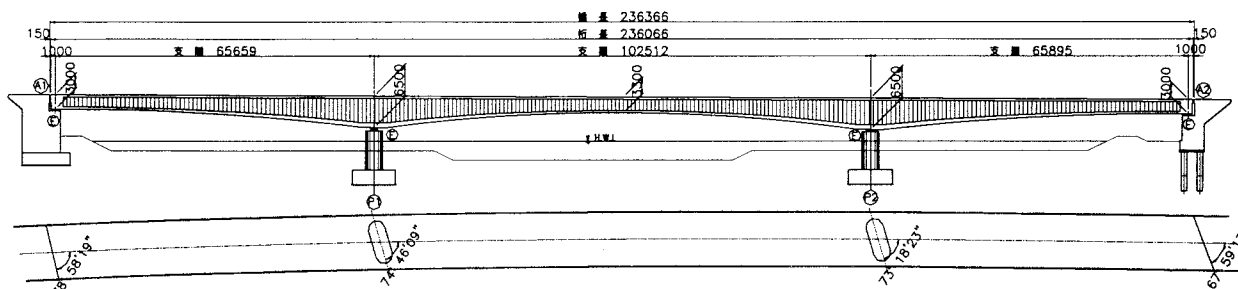


図-2 橋梁側平面図

3. 波形鋼板ウェブと床板接合部の設計

波形鋼板ウェブと上床版の接合は、図-3(a)に示すようなPBL ジベルを2枚併用したツインパーフォボンドリブ接合（以下Twin-PBL とする）とした。これはPBL ジベルを2枚設ける事により、橋軸方向のずれせん断耐力の向上と、橋軸直角方向の床板の首振りモーメントに対して有効に抵抗させるためである。

また下床板との接合は、コンクリート打設により発生するブリージングの影響を考慮し、図-3(b)に示す様な、1枚のPBL ジベルとスタッドジベルを併用した構造とした。

3.1 ずれせん断力に対する設計

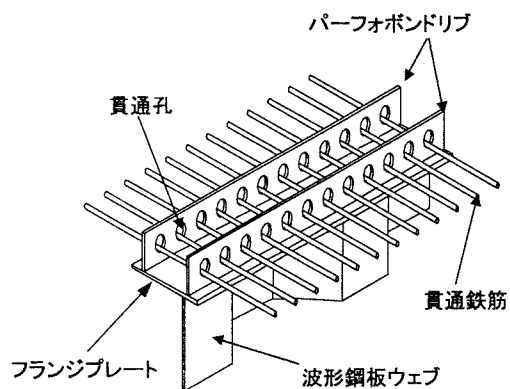
上床版接合部は、Twin-PBL ジベルの孔1箇所当りのせん断耐力を、土木学会式¹⁾により算出した。また先行して行ったTwin-PBL の押し抜き実験から、Twin-PBL の耐力はPBL ジベル1枚の耐力に比べ約15%程度の耐力低下が確認されたため低減係数 α として0.85を乗じるものとした。以上により算出したTwin-PBL のせん断耐力が、ずれせん断力以上となるようにした。

$$Q_{\text{twin}} = N \cdot q_u \cdot \alpha > S_H \quad \dots\dots\dots (1)$$

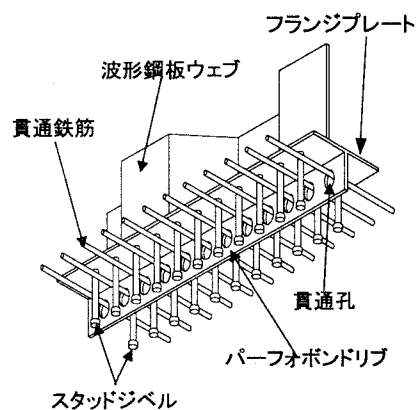
ここに、

- Q_{twin} : Twin-PBL のせん断耐力 (KN/m)
- q_u : PBL 孔1箇所当りのせん断耐力 (KN)
- N : 橋軸方向1m 当りに配置されるPBL 孔数
- α : Twin-PBL の耐力低減係数
- S_H : ずれせん断力 (KN/m)

下床版接合部は、押し抜き実験により、PBL ジベルとスタッドジベルの累計効果が確認されたため、それぞれの耐力の合計をせん断耐力とした。なおスタッドジベルのせん断耐力は道路橋示方書より算出した。



(a) Twin-PBL 接合（上床版側）



(b) PBL+スタッドジベル接合（下床版側）

図-3 遊樂部川橋の接合方法

3.2 首振りモーメントに対する設計

首振りモーメントに対する設計は、3.1により算出した片側のPBL ジベルのせん断耐力（低減係数 α を考慮しないもの）が、首振りモーメントにより発生する鉛直せん断力以上となるようにした。また先行して行った、Twin-PBL の首振りモーメントに対する静的載荷実験から、波形鋼板の凸側（引張り側）に配置されるPBL ジベルが有効となる事が確認された。そこで遊樂部川橋の波形鋼板形状にてFEM 解析を行い、有効なPBL

ジベル孔を5個とした(図-4)。

$$Q_v = N_e \cdot q_u > S_v = \frac{M}{b} \dots\dots\dots (2)$$

ここに、

- Q_v : Twin-PBL の鉛直方向せん断耐力 (KN/波長)
- N_e : 波形鋼板1波長当りのPBL有効個数 (個)
- S_v : 首振りモーメントによる鉛直せん断力 (KN/波長)
- M : 首振りモーメント (KN・m/波長)
- b : PBL 間隔 (m)

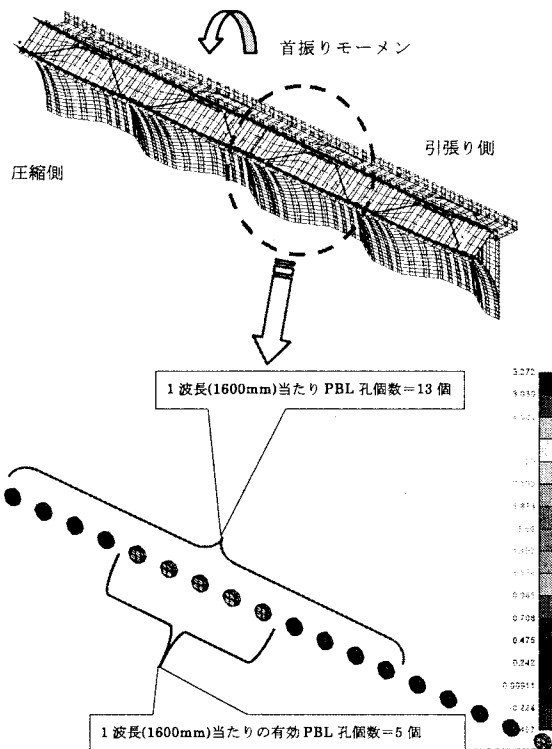


図-4 遊楽部川橋のPBL有効個数

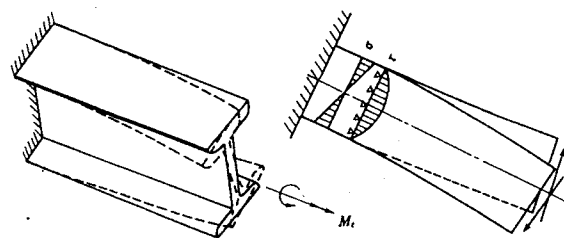
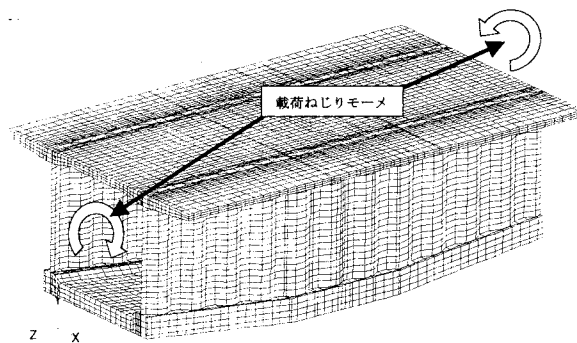
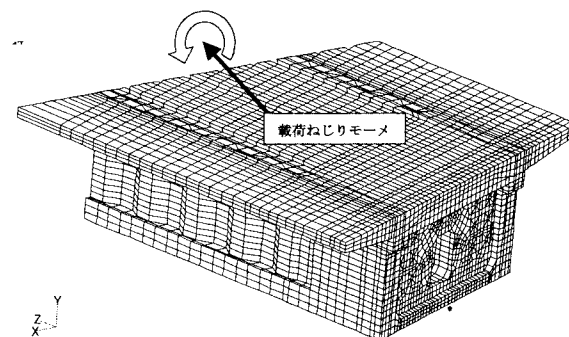


図-5 そり応力



(a) 中間支点モデル



(b) 端支点モデル

図-6 そり応力算出FEM解析モデル

4. そり応力に対する検討

4.1 検討概要

片持ちばりの自由端にねじりモーメントを作用させた場合、部材の固定端側では、図-5に示すようにそりを拘束する事により、軸方向に曲げ応力が発生する。波形鋼板ウェブ橋の場合、コンクリート床版と比べ剛性が小さく箱断面が変形しやすいため、波形鋼板はそりに対して抵抗せず、その分をコンクリート床版が受け持つ事になる。本橋においては、端支点、中間支点部に、波形鋼板のせん断座防止を目的として裏打ちコンクリートを置けている事、また本橋は連続桁形式であり、ゴム支承により支持されているため、ラーメン橋のような完全拘束状態ではないため、そり応力は減少

すると考えられるが、そり応力を定量的に把握し安全性の確認を行った。モデル区間は図-6に示すように、ねじりモーメントの卓越する、中間支点横桁付近と端支点横桁付近とする。作用荷重として、格子解析により算出したねじりモーメントを、モデル端面に載荷し、支承部は弾性支持(支承バネ支持)とした。

4.2 検討結果

本解析におけるそり応力は、0.1~0.3N/mm²程度であり、そり応力を考慮した合成応力度においても安全であることを確認した。

本橋のような連続桁形式の波形鋼板ウェブ橋においては、そりねじりの影響は小さく、支承部の拘束により、上床版に比べ下床版側のほうがそりの影響を受けている。しかし、ラーメン橋においては注意が必要であると考えられる。

5. せん断座屈に対する検討

5.1 検討概要

本橋は現地立地条件により最大斜角 68 度を有しており、斜角の影響によるねじりモーメントが大きく発生すると考えられた。また波形鋼板の面外変形は座屈耐力に影響をおよぼし、波高の小さいものについては座屈荷重より低い部分で非線形性が現れ、変形量が大きくなるという報告²⁾がある。そこでねじりモーメントが卓越する A2 端支点部付近に着目し、座屈に対する検討を行う事とした。座屈解析は、弾塑性有限変位解析による 3 次元 FEM 解析とした。解析モデルは図-7 に示すような片持ち梁モデルとし、荷重として式(3)に示す各荷重と、支承反力とを載荷した。解析は、前述した荷重を式(3)に示すような荷重増分係数 α の初期値を 1.0 とし、これを漸増させ、鋼板に作用するせん断応力度と変位の確認を行った。座屈に対する安全性の確認は、鋼板がせん断降伏を開始する時点の α が、道路橋示方書で示す終局荷重時の荷重係数 1.7 以上を確保できているかを確認した。

$$\alpha \cdot (D1 + D2 + L) + PS1 + PS2 \dots\dots\dots (3)$$

ここに、

- D1 : 主桁自重、 D2 : 橋面荷重、
- L : 活荷重
- PS1 : 有効プレストレス 1 次力、PS2 : 有効プレストレス 2 次力、

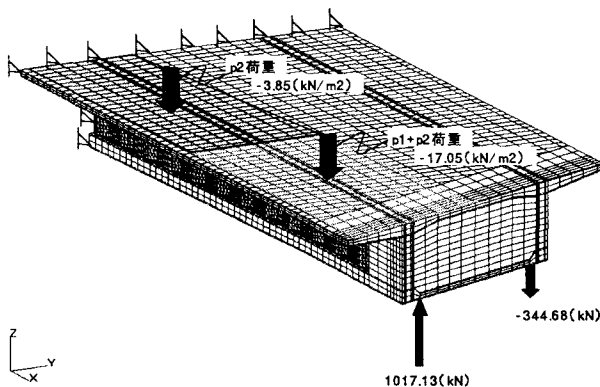
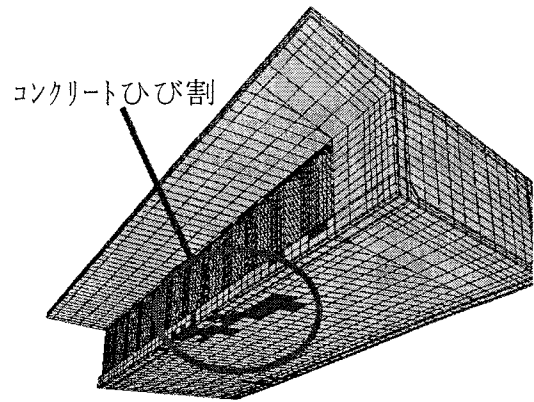


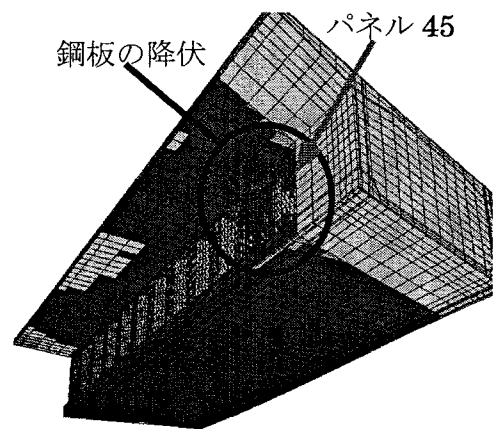
図-7 解析モデルおよび荷重載荷状態

5.2 検討結果

図-8(a)は $\alpha=1.4$ 時点での塑性域図であり、円で囲われている要素のコンクリートにひび割れが発生している。図8(b)は $\alpha=4.4$ 時点であり、円で囲われている鋼板の要素が降伏している。図-9 は α とパネル 45 位置でのせん断応力度の解析結果を示しており、 $\alpha=4.2$ 付近からせん断降伏が始まる挙動となっており、終局時の波形鋼板の座屈に対して安全である。



(a) $\alpha=1.4$ 時



(b) $\alpha=4.4$ 時

図-8 塑性域図

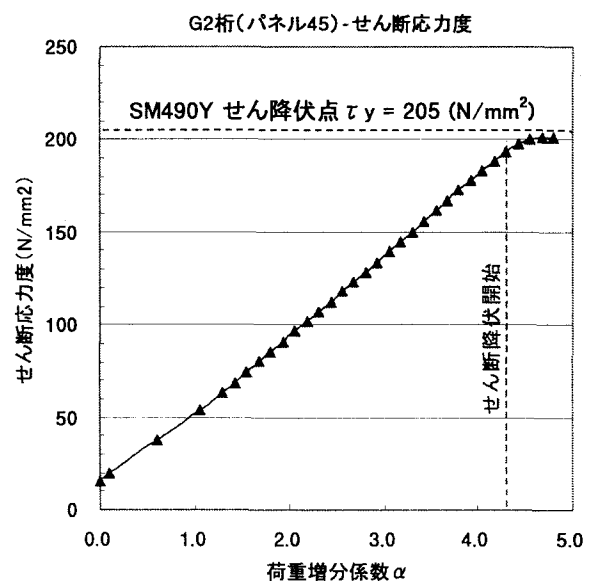


図-9 荷重増分による波形鋼板のせん断応力度

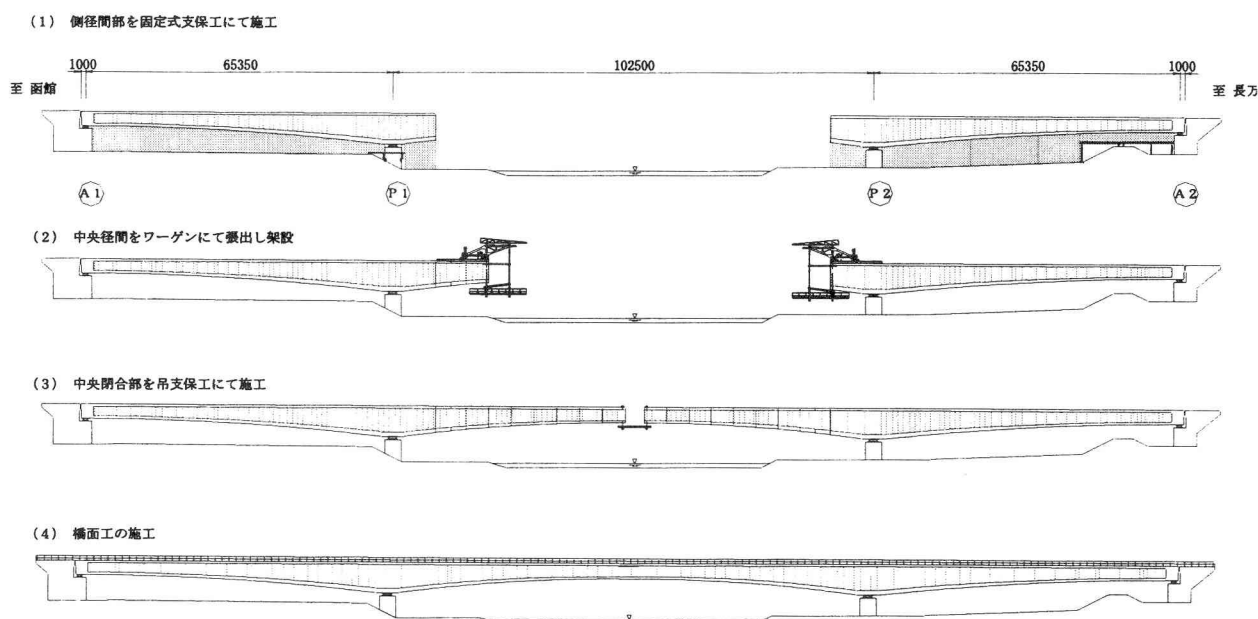


図-10 遊楽部川橋の施工要領

6. 施工について

6.1 施工要領

本橋の施工概要を図-10 に示す。本橋は遊楽部川内での施工となり、側径間部(A1～P1 および P2～A2)は、河川水期に固定式支保工で施工した。この為、側径間部は冬期施工となり、橋体を防寒囲いで覆って施工した。

河川上となる P1～P2 径間は、完成した側径間部を資材搬入路として、ワーゲン（波形用 250t・m）2 基で張出し架設する。張出し架設終了後、中央閉合部を吊支保工で施工する。その後、橋面工を行い完成する。

6.2 側径間部支保工および防寒囲い

側径間部の支保工は、クサビ結合式支保工（堤防部は梁式支保工を併用）で、防寒囲いを兼る側足場は、杵組支保工で施工した（写真-1）。屋根は、波形鋼板の架設で開閉する必要があったので、屋根パネル（幅

2.5m、長さ 15m）を採用した。また、防寒囲い側面は防炎シートを使用した。

コンクリート養生は、温風式給熱器（75,000kcal/h）を 13 台使用して、養生囲い内温度 5℃以上を確保した。

6.3 波形鋼板の架設

波形鋼板は、底型杵組立後に桁高の大きな中間支点部より端支点に向かって、クレーンにより順次架設した。架設された波形鋼板は、上床版張出し部の支保工を利用して、橋軸直角方向に架渡した H 鋼より吊下げて支持した。

波形鋼板と波形鋼板の接合には、左右の波形鋼板を形状保持材により連結した。また、外ケーブル定着鋼板も同様に架設した。この形状保持材は上床版支保工組立前に撤去した（写真-2）。

6.4 パーフォボンドリブの施工

下床版パーフォボンドリブ接合部は、波形鋼板の架

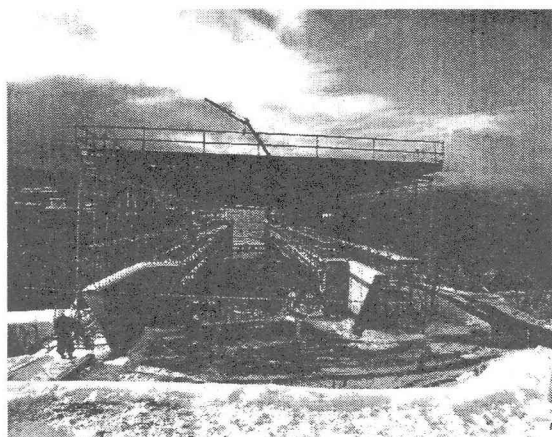


写真-1 支保工および上屋



写真-2 波形鋼板の架設

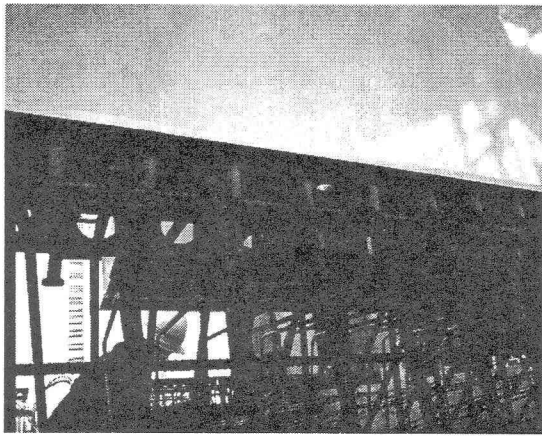


写真-3 下床版接合部 (スタッド+PBL 接合)

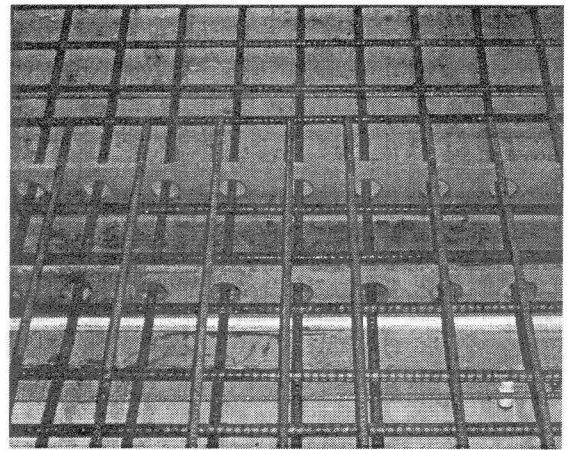


写真-4 上床版接合部 (TwinPBL 接合)

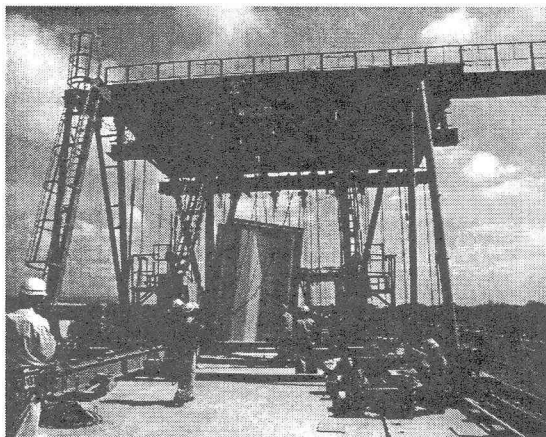


写真-5 波形鋼板の架設

設後に貫通孔に鉄筋を通して組立て後に、下床版側枠を組立てた (写真-3)。下床版コンクリートの打設は、打設口に合わせたシュートを製作し、波形鋼板のフランジプレートに設けた空気孔 (φ30) で充填を確認しながら、入念に締固めてコンクリートを打設した。

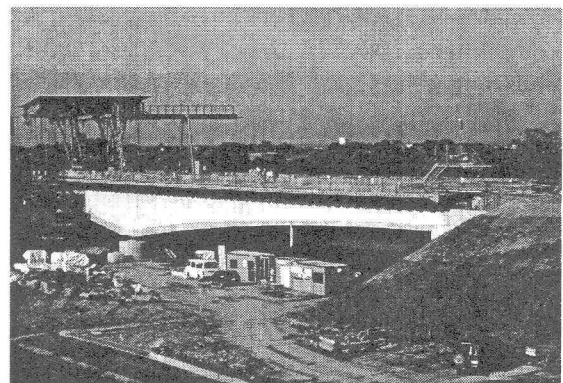
上床版パーフォボンドリブ接合部は、床版型枠組立後に貫通孔に鉄筋を通して組立てた (写真-4)。

6.5 張出し部の施工

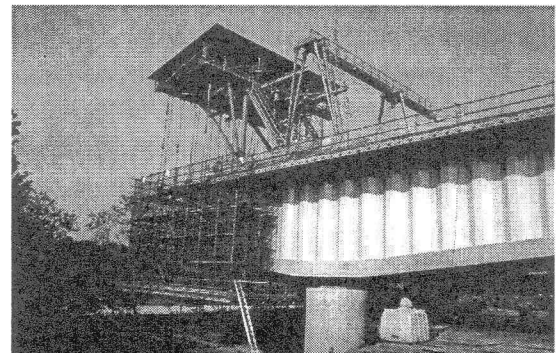
張出し部は河川上となるため、波形鋼板を吊下げるに十分なトラス高で、据付用ホイストを設置したワーゲンを使用する。側径間部からの資材搬入は中間支点上までに制限して、以降は門型クレーンにより波形鋼板を運搬する (写真-5)。

7. おわりに

遊楽部川橋 (PC 上部工) 工事は、平成 14 年 10 月の工事着手以来、順調に進捗し、平成 15 年 5 月には、側径間部の橋体施工を終え、現在は、中央径間の張出施工を行っている (写真-6)。本橋は、コスト縮減、省力化の観点から波形鋼板ウェブとコンクリート床版の接



(a) 側径間施工終了



(b) 中央径間張出し施工

写真-6 進捗状況

合に、ツインパーフォボンドリブ接合構造を採用している。今後も、複合橋梁の施工は増えてくると思われ、本報告が複合橋梁の設計、施工の一助とれば幸いである。

参考文献

- 1) 土木学会：新形式の鋼・コンクリート複合橋梁調査研究小委員会孔開き鋼板ジベル WG：孔あき鋼板ジベル設計マニュアル (案)，2001 年 11 月
- 2) 角谷務、青木圭一、富元信、狩野正人：波形鋼板ウェブのせん断耐力評価、プレストンクリート、Vol. 43、No. 1、2001