

## ツインパーフォボンドリブ接合および高力ボルト接合を採用した橋梁の実橋載荷実験

日本道路公団 北海道支社 東田 典雅  
 日本道路公団 北海道支社 金田 和男  
 (株)ピーエス三菱 正会員 ○清水 俊一  
 (株)ピーエス三菱 正会員 中井 聖棋

### 1. はじめに

近年、PC 橋の軽量化、施工の合理化およびコスト削減を図るため、コンクリートウェブを波形鋼板で置き換えた複合 PC 箱桁橋(以降、波形鋼板ウェブ橋)の実績が増えている。本橋(ペンケオタソイ川橋、発注名: 広内第二橋)の特徴は、床版と波形ウェブとの接合方法に 2 列の孔あき鋼板ジベル(ツインパーフォボンドリブ, 以降, Twin-PBL) (図-1)が採用されており、さらに、架設外ケーブルを定着するため、図-2 のようにコンクリート床版を打ち下ろす形状(コンクリートエッジ方式)を併用していることである。これらを組合せた例はなく、通常の床版に比べて

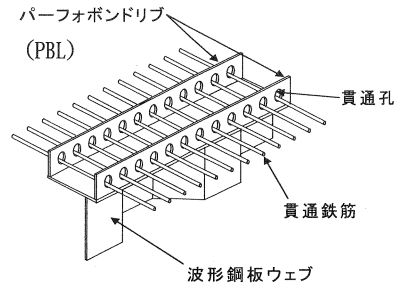


図-1 ツインパーフォボンドリブ接合  
 コンクリートエッジ方式

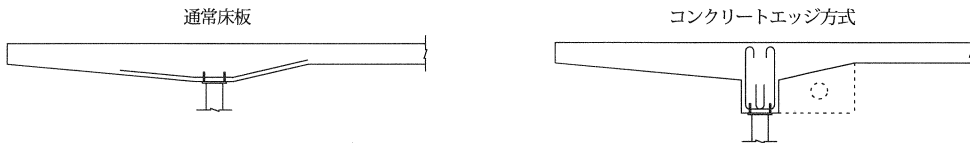


図-2 波形鋼板ウェブ橋の床板形状

PBL の縁端距離が小さくなるため、接合部の水平せん断耐力の低下が懸念された。そこで、コンクリートブロックの幅を小さくした供試体により、押抜きせん断実験を実施し、コンクリートエッジ方式における Twin-PBL 接合のせん断耐力を検討して設計に反映させた<sup>1),2)</sup>。

また、経済性の観点から、本橋では波形鋼板同士の接合に高力ボルトによる一面摩擦接合を採用した。一面摩擦接合とした場合は、波形鋼板の接合部において軸線のずれが生じるため(図-3 参照)、ボルトの張力

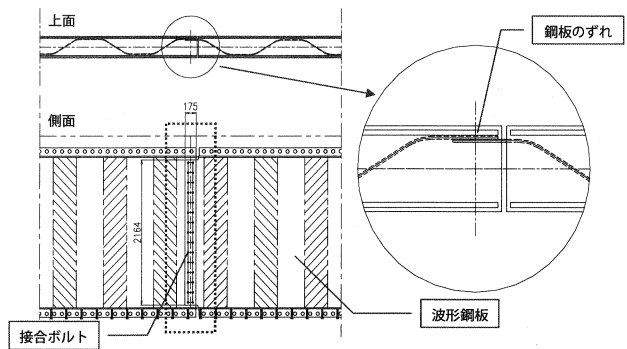


図-3 波形ウェブ接合部

変動が予想されたことから、FEM 解析によりボルトの張力変動量を算出し、その安全性を確認して採用した。

ここでは、これらの挙動を確認するために行った実橋載荷試験について報告するものである。

### 2. Twin-PBL の計測

#### (1) 計測方法および解析

計測位置は、図-4 に示すように定着突起やデイベータ等の影響を受け

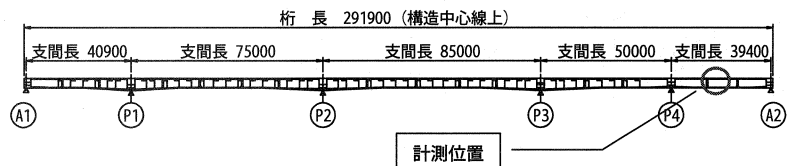


図-4 計測位置

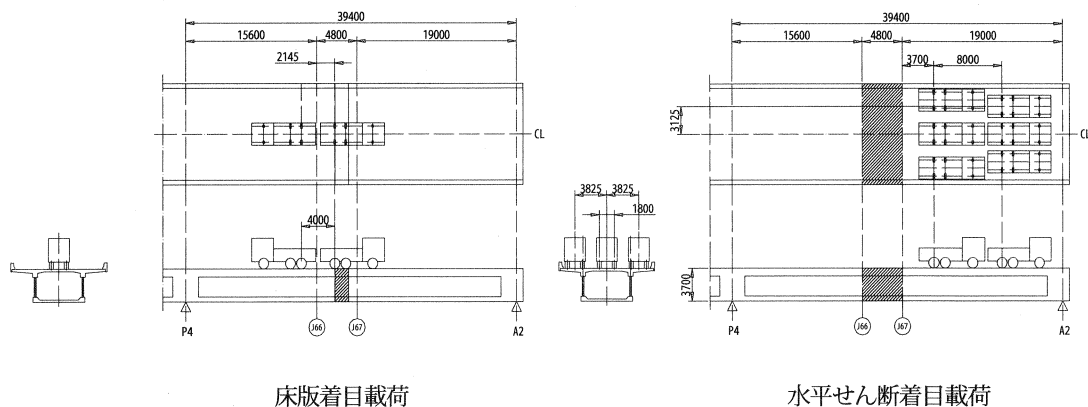


図-5 荷重載荷位置

ない位置とし、固定支保工によって施工したP4～A2間とした。荷重の載荷方法は、片持床版付け根部または中間床版中央部の曲げモーメントが卓越するように20tfトラックを2台橋面に配置して床版の橋軸直角方向曲げ作用に着目した場合と、着目位置のせん断力が最大となるように載荷可能な最大台数6台を配置して橋軸方向の水平せん断力に着目した場合とした。代表的な載荷方法を図-5に、載荷状況を写真-1に示す。また、計測に当たっては、図-6に示すように鋼板部は3軸ひずみゲージ、上フランジと床版コンクリートの相対変位を計測するため高性能変位計を設置した。設置位置はあらかじめ行ったFEM解析において、応力が大きくなる部分を選定した。解析は、計測位置が含まれる径間については、コンクリートをソリッド要素、鋼板をシェル要素とし、隣接する径間については梁要素と

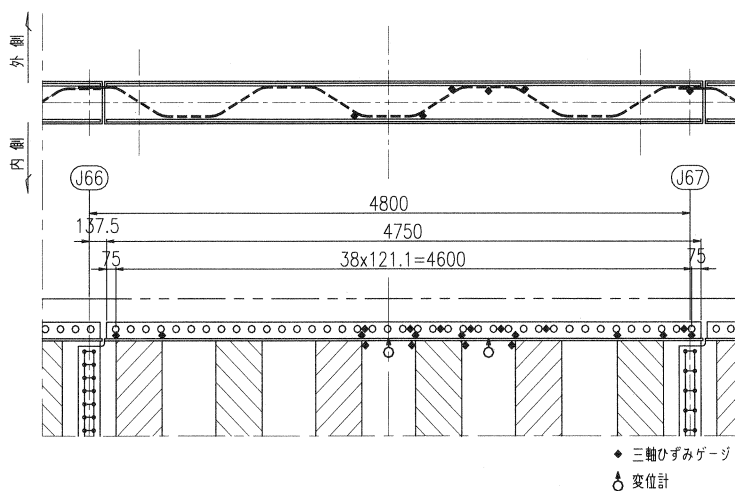


図-6 計測機器設置状況

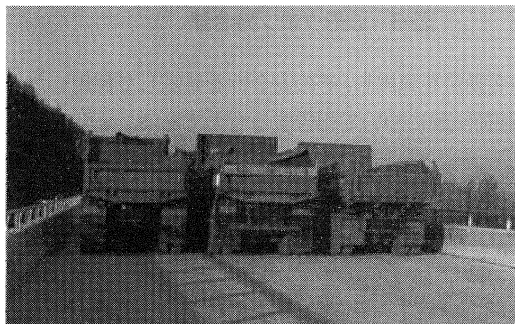


写真-1 載荷状況

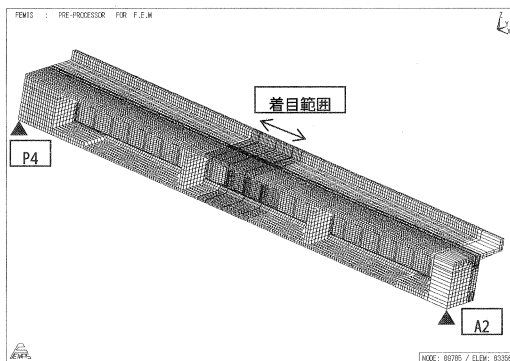


図-7 FEM解析モデル

した FEM モデルに輪荷重を载荷させることにより行った。図-7 に 3 次元 FEM 解析モデルを示す。

(2) 計測結果および考察

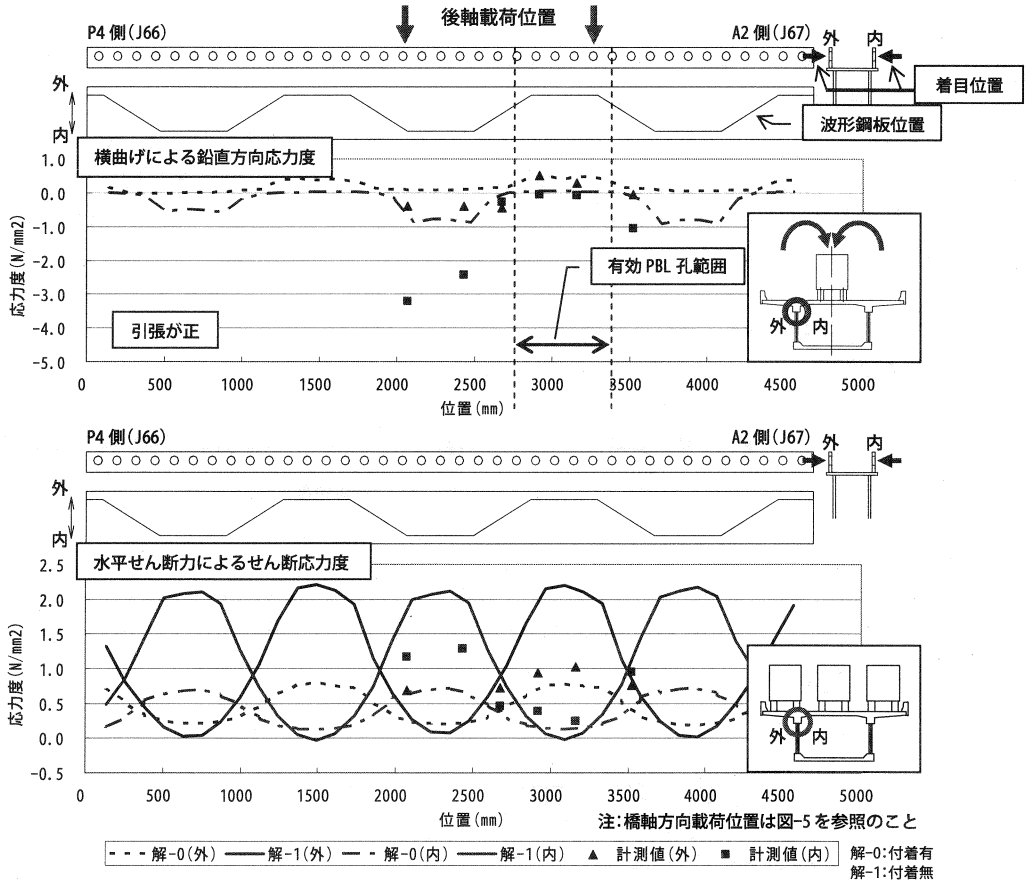


図-8 応力度計測結果

PBL において、橋軸直角方向曲げに着目した場合の鉛直方向応力度と水平せん断力に着目した場合のせん断応力度を図-8 に示す。解-0 は PBL およびフランジとコンクリートに付着有りとして解析した場合、解-1 は付着無しとして解析を行った場合である。

横方向曲げによる発生応力度には、圧縮側において解析値より大きな値を示している箇所が見受けられるが、引張側において解析値と比較的よく一致している。一方、水平せん断力による発生せん断応力度の計測値の分布傾向は、解析値と一致している。このことから、波形鋼板ウェブが配置された直上の PBL が、より大きなせん断力を伝達する傾向にあることが確認された。

また、横方向曲げモーメントに関する設計では、

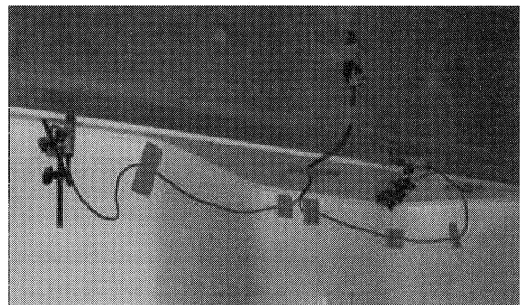


写真-2 変位計測状況

表-1 変位計測結果

荷重ケース	橋軸方向		上下方向	
	右ウェブ	左ウェブ	右ウェブ	左ウェブ
床版着目時	0.00	0.00	0.01	0.01
水平せん断着目時	0.00	0.00	0.00	0.00

PBL孔が抵抗する範囲を図-8に示すように、波形ウエブが配置された直上近傍と考えて有効範囲を設定しているが、本実験の計測結果よりその妥当性が明らかとなった。一方、PBLに発生するせん断応力度の計測値の大きさは、鋼とコンクリートの付着の有無を考慮した解析値の中間から付着有りとした場合に近い値を示した。

写真-2に変位計の設置状況、表-1に変位計の計測結果を示す。各荷重状態での上床版コンクリートと波形鋼板上フランジの相対変位は最大0.01mm程度であり、顕著な変位は計測されなかった。これより、上床版コンクリートとPBLは一体として挙動していることが確認できた。また、FEM解析結果では、鋼とコンクリートの付着を無視するためにモデル上では微小の隙間を設けていることより、水平せん断に関する橋軸方向の変位以外は比較できないが、水平せん断による橋軸方向の相対変位は、0.0003mm程度であり、実測値0.00mmとほぼ同程度であると考えられる。

### 3. 高力ボルトの張力変動計測

#### (1) 計測方法および解析

本橋の場合の高力ボルトの張力変動は、事前のFEM解析結果によると、ねじりモーメントが最大または最小となる荷重状態において最も大きくなることが確認された。また、上段および下段に配置されたボルトに集中して張力変動が生ずることが予想された。そのため、計測位置は図-9に示すように支間が最も長いP2~P3径間のP2柱

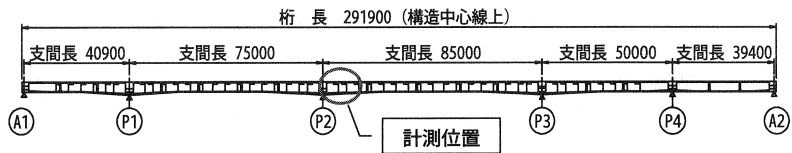
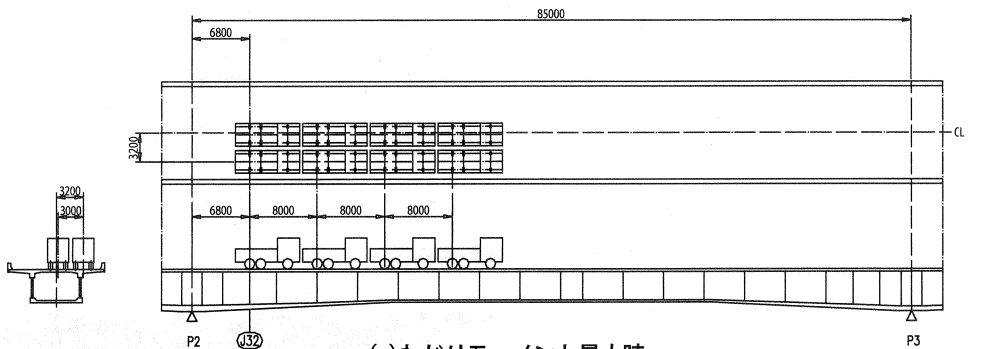
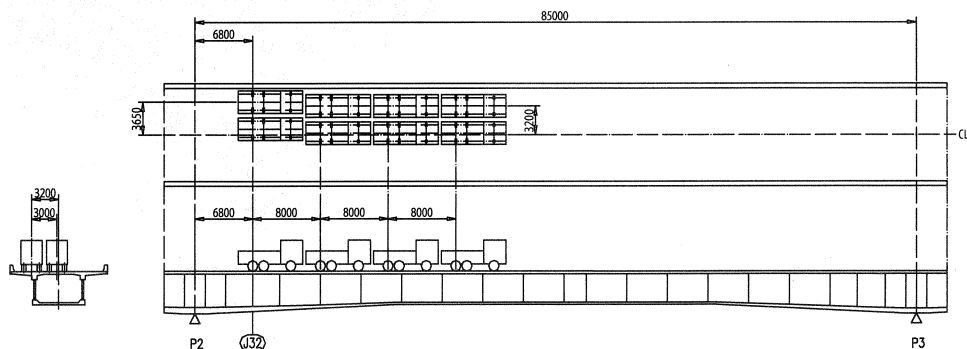


図-9 計測位置

に集中して張力変動が生ずることが予想された。そのため、計測位置は図-9に示すように支間が最も長いP2~P3径間のP2柱



(a)ねじりモーメント最大時



(b)ねじりモーメント最小時

図-10 最大ねじりモーメント発生時の荷重状況

頭部と1ブロックの継目位置とし、図-10 に示すようにトラック (20tf/台) を8台偏載荷し、最大ねじりモーメントおよび最小ねじりモーメントを作用させた。この荷重によって生じるねじりモーメントは、設計荷重作用時の約 90% 程度である。また、計測位置は、図-11 に示すように上下段および中央に配置されたボルトの張力変動を計測することとした。

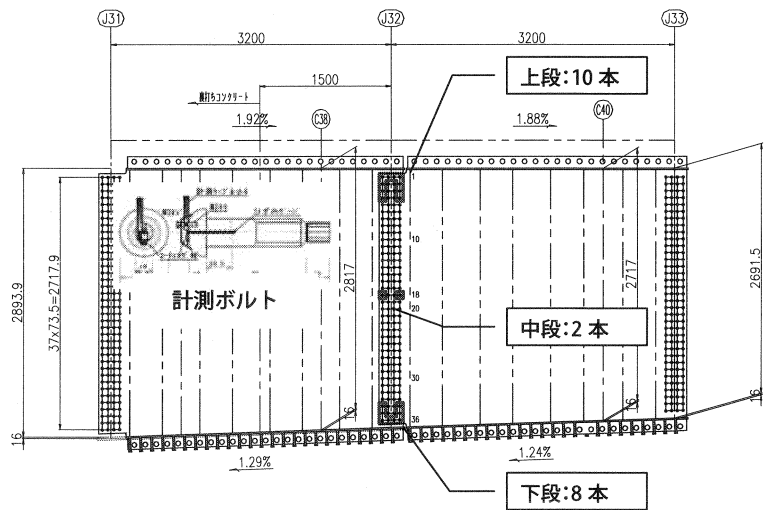


図-11 計測機器設置状況

解析対象は、P1～P3 とし、着目位置を含む P2～P3 径間の P2 から支間中央部までを 3次元モデル、その他の部分は梁要素とした。3次元モデルでは、コンクリートをソリッド要素、鋼板をシェル要素、高力ボルトをバネ要素とした。この FEM モデルに輪荷重を作用させ、解析を行った。図-12 に 3次元 FEM 解析モデルを示す。

(2) 計測結果および考察

図-13 に、実橋荷試験によって計測された高力ボルトの張力変動を示す。

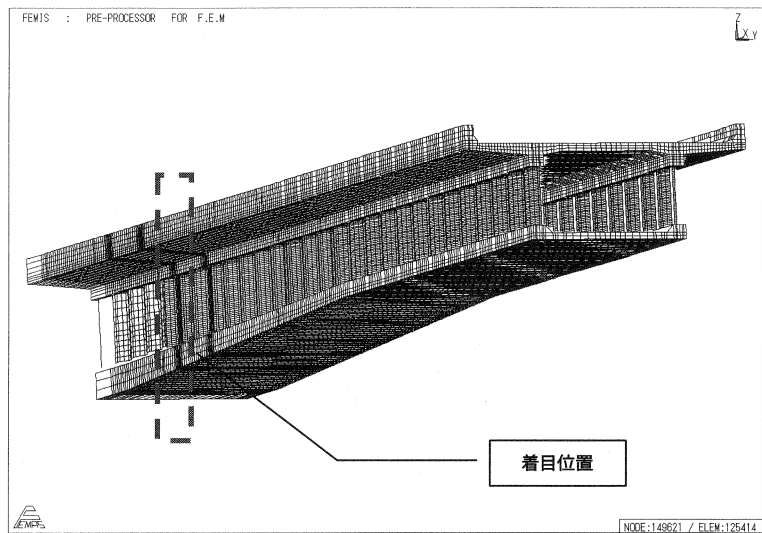


図-12 FEM 解析モデル

この計測値は、温度補正後のデータである。輪荷重を考慮した FEM 解析結果と比較すると、応力の発生傾向に若干の差が認められる。これには、以下の理由を挙げることができる。実際の高力ボルト接合では、ボルトに軸力が導入され、鋼板同士の摩擦によって接合されている。これに対して FEM 解析モデルでは、高力ボルトをバネとして評価しており、高力ボルトの軸力および鋼板同士の摩擦は考慮されていない。これらの違いが解析値と計測値の差を生じさせていると考えられる。これらの影響を考慮するために、高力ボルト軸力および鋼板同士の摩擦を考慮した非線形 FEM 解析を行う方法も考えられるが、解析の煩雑さや変動応力度が非常に小さいこと、計測時のノイズの影響等を考慮すると、今回用いた解析手法によって変動応力を予測しても十分評価できると判断した。

高力ボルトの疲労設計における打ち切り限界値は  $21\text{N}/\text{mm}^2$  であるのに対し、実橋荷試験によって得られ

た変動張力の最大値は  $1.8\text{N/mm}^2$  程度であり、十分小さな値であった。作用しているねじりモーメントが設計で想定しているねじりモーメントの約90%であることを考慮すると、活荷重によって変動する高力ボルトの張力は非常に小さな値である。そのため、波形鋼板ウェブ橋の波形鋼板相互の接合に高力ボルトによる一面摩擦接合を採用することに関して、ボルトの疲労の問題は、ほとんど生じないと考えられる。

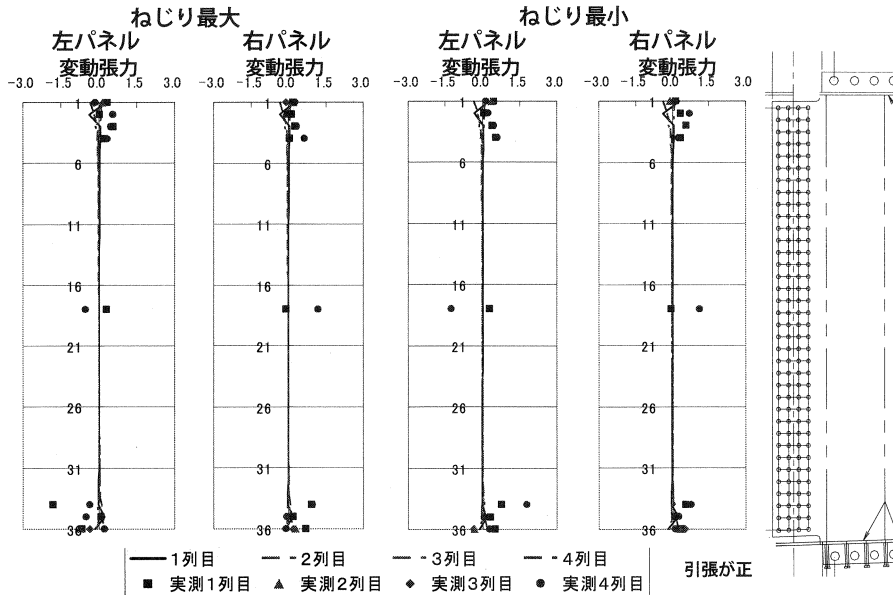


図-13 高力ボルト変動張力(N/mm<sup>2</sup>)計測結果

#### 4. まとめ

上床版と波形鋼板ウェブの接合に Twin-PBL を採用し、波形鋼板同士の接合を高力ボルトによる一面摩擦接合で行ったペンケオタソイ川橋の実橋載荷試験を行った結果、以下の知見が得られた。

- (1) 横方向曲げの計測結果から、設計時に設定した横方向曲げに対する有効 PBL 孔範囲の妥当性が確認された。
- (2) 横方向曲げおよび水平せん断力の伝達は、主に波形鋼板ウェブ直上の PBL によって行われる。
- (3) 水平せん断力による PBL 発生せん断応力度の計測値は、鋼-コンクリート間の付着の有無を考慮した解析値の中間から付着有りとした解析値に近い値を示した。
- (4) 上床版コンクリートと波形鋼板上フランジとの相対変位は非常に小さい。
- (5) 高力ボルトによる一面摩擦接合では、活荷重による高力ボルトの変動張力は非常に小さい。
- (6) 高力ボルトによる一面摩擦接合を採用しても、ボルトの疲労に関する問題は生じないと考えられる。

#### 参考文献

- 1) 竈本, 東田, 桜田, 清水: ツインパーフォボンドリブ接合部の押抜きせん断実験による検討, 土木学会第 59 回年次学術講演会, pp. 1347-1348, 2004. 9
- 2) 東田, 竈本, 桜田, 清水: ツインパーフォボンドリブ接合部の押抜きせん断実験, 第 13 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, pp. 297~302, 2004. 10