

波形鋼板と下床版の新接合方法の提案とずれせん断力に対する挙動確認実験

(株)ピーエス三菱 正会員 ○志道 昭郎
 (株)ピーエス三菱 正会員 森 拓也
 (株)ピーエス三菱 正会員 大山 博明
 早稲田大学 理工学部 正会員 依田 照彦

1. はじめに

一般に、PC橋における押し出し架設工法は、桁下空間を全く利用しない利点があり、跨線橋や跨道橋などの他、高橋脚を有する橋梁や山岳地における架橋など、支保工の設置が困難な場合に有効な架設工法である。しかしながら、重量の大きいコンクリート桁を押し出すため、比較的規模の大きい押し出し設備が必要となることや、押し出し時に主桁に生じる曲げモーメントの交番に対応する架設用のPC鋼材が必要となることなど短所を有している。このような背景から、波形鋼板を用いたPC箱桁橋において新しい押し出し架設工法を開発し、工法的前提となる主桁の断面形状において、設計上確認が必要となる波形鋼板と下床版の新しい接合構造の性能確認実験を実施した。本稿では、新しい押し出し工法に関する工法概要とその有用性について述べると共に、波形鋼板と下床版の接合構造のずれせん断力に対する確認実験について報告する。

2. 工法概要

本工法では、製作ヤードで組み立てた波形鋼板に下床版型枠用のプレキャストコンクリート板(以下、PC板)を敷設した状態で押し出し架設を行う。押し出し架設完了後に横桁および下床版コンクリートを打設、上床版の打設を移動作業車または支保工を用いて順次行い、連続ケーブルを配置してプレストレスを導入する。架設順序と各段階における主桁の断面形状を図-1に示す。

本工法の利点として以下の項目があげられる。架設においては、押し出し時の重量を大幅に軽減でき、交番する曲げモーメントに対して波形鋼板ウェブの上下フランジに負担させるため、架設設備の小規模化や架設用PC鋼材の省略が図れる他、手延べ桁の省略も可能である。下床版の施工においては、床版を下フランジ上に配置することでコンクリートの逆打ちが無くなり、作業性および品質の向上が望め、PC板を使用することにより型枠設備や足場設備を省略できる。また、完成構造系でプレストレスを導入するため、合理的なPC鋼材配置が可能となる。

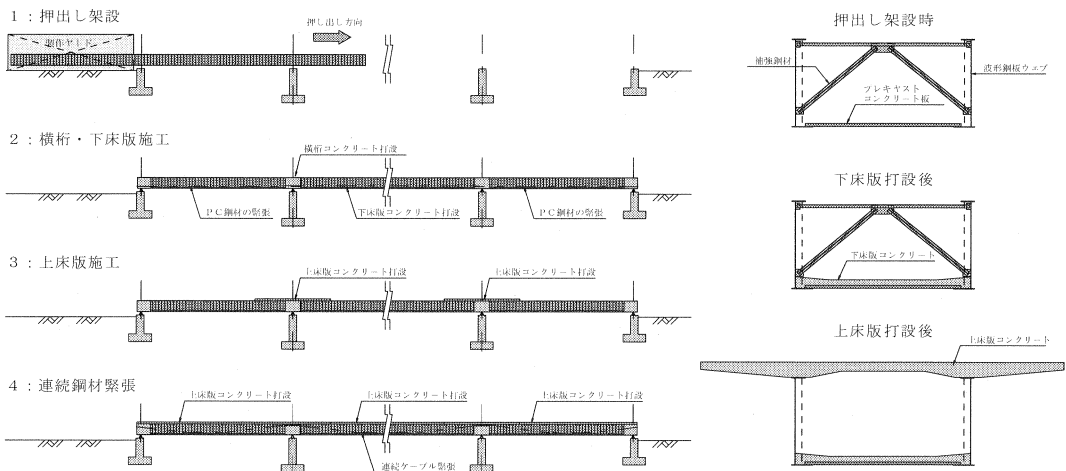


図-1 架設順序および各段階における主桁の断面形状

3. モデル橋梁の試設計

工法を検討するにあたり実用性を検証するため、押し出し架設による5径間連続橋の試設計を行った(図-2)。また、製作ヤードで主桁を場所打ちし、手延べ桁を用いて従来の押し出し工法により架設するコンクリート箱桁橋および波形鋼板ウェブ橋との比較を行った。表-1に主要材料の比較を示す。比較の結果、コンクリート箱桁橋と比較して架設時重量を9分の1、主方向PC鋼材量を2分の1に低減できる結果が得られた。

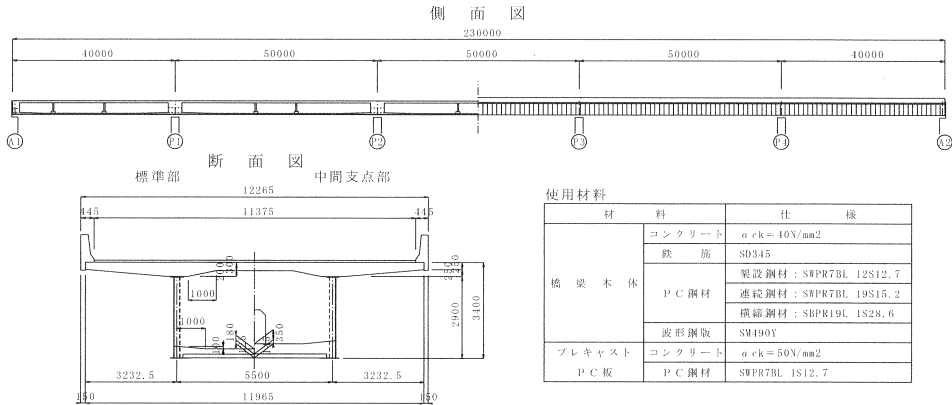


図-2 試設計橋梁 構造図

表-1 主要材料の比較

	従来押し出し架設工法		新押し出し架設工法
	コンクリート箱桁構造	波形鋼板ウェブ箱桁構造	波形鋼板ウェブ箱桁構造
主桁コンクリート m ³	2396.5	1960.4	1692.7
PC板重量 tf	—	—	378.0
主方向PC鋼材重量 tf (比率)	77.9(1.00)	60.7(0.78)	39.2(0.50)
鉛直PC鋼材重量 tf	5.5	—	—
波形鋼板重量 tf (比率)	—	147.2(1.00)	267.9(1.82)
架設時重量 kN (比率)	60514(1.00)	51274(0.85)	6858(0.11)

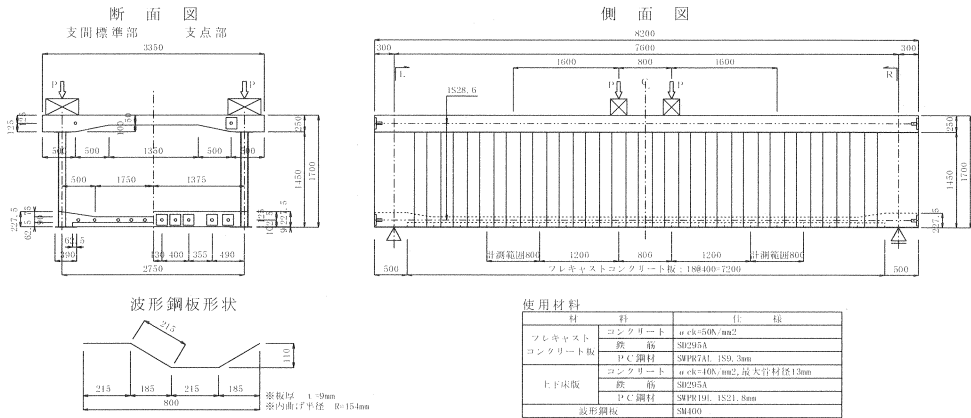
4. ずれせん断抵抗性能の確認実験

本工法においては、波形鋼板の鋼下フランジ上に敷設したPC板を用いて下床版の施工を行うため、波形鋼板ウェブと下床版の接合部は従来の仕様と異なる接合形式となる。そのため、梁供試体による載荷実験を実施し、設定した接合構造の安全性について確認した。なお、海外では、波形鋼板ウェブ側面および下フランジ上面にスタッドジベルを配置した接合構造の実例がある。¹⁾

(1) 供試体形状

供試体は、試設計を行ったモデル橋梁における支間標準断面の1/2縮尺形状とした。橋軸方向の長さは、波形鋼板ウェブに発生するせん断応力が一様かつ測定可能な区間が波形鋼板1波長以上確保できる長さとするため、弾性FEM解析の結果からせん断スパンを桁高の2倍確保可能な8.200mとした。波形鋼板と下床版の接合構造は、実績のあるスタッドジベル接合を含む橋軸方向2種類、両ウェブで2種類の計4種類を配置した。供試体は、実橋の施工手順にしたがって製作し、橋軸方向の移動を拘束しない可動支承2点を含む端部4点で支持した。また、上下床版コンクリートの配合においては、供試体の縮尺を考慮して最大骨材寸法を13mmとし、初期の乾燥収縮を抑制するため膨張材を添加した。なお、PC板の上面は洗出しによる粗面仕上げとし、接合構造以外の波形鋼板と下床版の接合面には剥離材をあらかじめ塗布した。荷重は、等曲げ区間を800mmとした両ウェブの4点に1500kNジャッキを設置し、50kN/ジャッキの荷重ピッチで均等に載荷した。図-3に供試体および接合構造の形状を示す。

供試体形状図



接合構造形状図

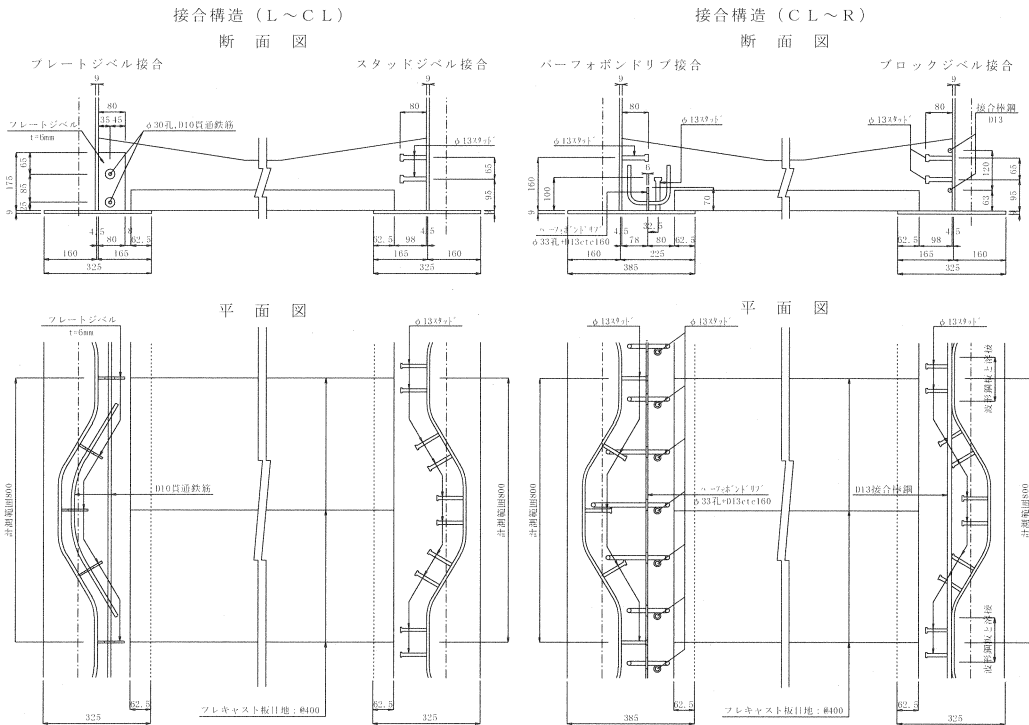


図-3 供試体および接合構造の形状

(2) 接合構造のせん断耐力

各接合構造において設定したずれ耐力算出方法を以下に示す。なお、ブロックジベル接合以外の接合棒鋼を配置していない接合構造については、下床版が波形鋼板の片側のみの配置となるため、波形鋼板の斜方向パネル部における下床版のずれ止めブロックとしてのせん断抵抗は考慮しないものとした。また、各接合構造の斜方向の波形鋼板パネルに設置される部分については、斜比を考慮して耐力を低減することとした。

① プレートジベル接合

橋軸方向の水平せん断力に対しては、下フランジおよび波形鋼板に溶接したプレートで負担させる。ずれ耐力は、「複合橋設計施工基準」²⁾ に示されるアングルジベル接合のずれ耐力式を参考に算出した。プレー

ト1枚あたりの耐力算出式を以下に示す。なお、プレートの有効面積は、プレートの変形を考慮して、図-4に示す三角形部分を有効とした。

終局時： $R_d = \inf(R_1, R_2)$

$$R_1 = A \cdot \sigma_{ck} / 1.5, \quad R_2 = \sum a \cdot L \cdot (\sigma_{sy} / \sqrt{3})$$

使用時： $R_a = 0.6 \cdot R_d$

ここに、A：プレート面積 (=1/2・b・h)

σ_{ck} ：コンクリートの設計基準強度， σ_{sy} ：鋼板の降伏点応力

a：溶接の理論のど厚，L：溶接長 (=2・(b+h))

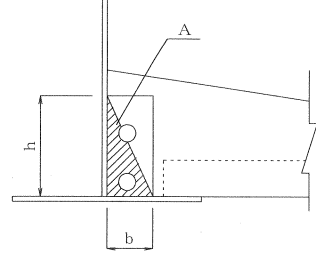


図-4 プレートの有効面積

②パーフォボンドリブ接合

橋軸方向の水平せん断力に対しては、下フランジに設置したパーフォボンドリブと、波形鋼板および下フランジに設置したスタッドジベルで負担させる。ただし、使用時については、接合構造の剛性差からパーフォボンドリブのみを考慮するものとした。パーフォボンドリブのせん断耐力は、「複合構造物の性能照査指針(案)」³⁾に示される耐力算出式を用い、文献⁴⁾に示される縁端距離に関する低減を考慮した。スタッドジベルに関してはスタッドジベル接合に準じた。

終局時： $R_d = V_{ud}$

使用時： $R_a = V_{ad} = 0.6 \cdot V_{ud}$

$$V_{ud} = \alpha \cdot [1.45 \{ (d^2 - \phi_{st}^2) f'_{cd} + \phi_{st}^2 f_{st} \} - 106.1] / \gamma_b$$

ここに、d：孔径， ϕ_{st} ：貫通鉄筋径， f'_{cd} ：コンクリートの圧縮強度， f_{st} ：鉄筋の引張強度

α ：低減係数 (=0.217・X^{0.246})，X：縁端距離

③スタッドジベル接合

橋軸方向の水平せん断力に対しては、波形鋼板に設置したスタッドジベルで負担させる。スタッドジベル1本当たりのずれ耐力は、「複合構造物の性能照査指針(案)」³⁾に示される耐力算出式を用いた。

終局時： $R_d = V_{sud}$

$$V_{sud} = \inf(V_{sud1}, V_{sud2})$$

$$V_{sud1} = [31 A_{ss} \{ (h_{ss} / d_{ss}) f'_{cd} \}^{1/2} - 22000] / \gamma_b, \quad V_{sud2} = 0.7 A_{ss} \cdot f_{sy}$$

使用時： $R_a = 0.5 \cdot V_{sud}$

ここに、 A_{ss} ：スタッドの断面積， d_{ss} ：スタッドの軸径， h_{ss} ：スタッドの高さ

f'_{cd} ：コンクリート圧縮強度， f_{sy} ：スタッドの引張強度

④ブロックジベル接合

橋軸方向の水平せん断力に対しては、波形鋼板に設置したスタッドジベルおよび波板の斜方向パネルと下床版の抵触部に負担させる。抵触部1ヶ所当たりのずれ耐力は、「複合橋設計施工基準」²⁾に示される埋込みウェブジベルの耐力算出式を参考に、以下に示す式により算出した。スタッドジベルに関してはスタッドジベル接合に準じた。

終局時： $R_d = Q_u$

$$Q_u = \inf(Q_{u1}, Q_{u2}), \quad Q_{u1} = (3/5) \sigma_{ck} \cdot A_c, \quad Q_{u2} = \sigma_{sy} \cdot A_s$$

使用時： $R_a = Q_a$

$$Q_a = \inf(Q_{a1}, Q_{a2}), \quad Q_{a1} = \sigma_{ca} \cdot A_c, \quad Q_{a2} = \sigma_{sa} \cdot A_s$$

ここに、 σ_{ck} ：コンクリート準強度， A_c ：斜方向パネルの投影面積

σ_{sy} ：接合棒鋼の降伏点強度， A_s ：接合棒鋼の断面積

σ_{ca} ：コンクリート許容支圧応力度

σ_{sa} ：接合棒鋼の許容引張応力度

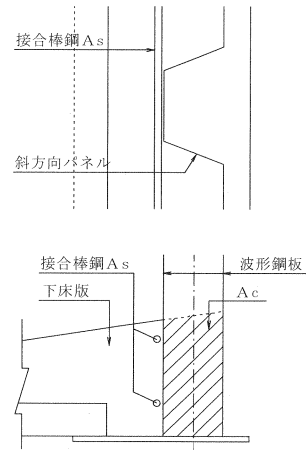


図-5 斜方向パネルの投影面積

(3) 実験結果

1) ずれ量

図-6 に示すように、各接合構造の計測範囲において、波形鋼板ウェブ側面および下フランジのそれぞれ2箇所を削孔し、鋼板に抵触しないように下床版コンクリートに埋設した棒鋼と波形鋼板の橋軸方向の相対変位を測定した。図-7 に支점에設置したロードセルの値とずれ量 (各2点の平均) の関係を示す。なお、グラフにおいてずれ量は下床版コンクリートが支点方向に、波形鋼板が支間中央方向に移動した場合を正 (+) とした。

いずれの接合構造も、設計上の使用時耐力近傍からずれが発生しており、使用時のずれ量はわずかで弾性的な挙動の範囲であった。また、設計上の終局耐力以上の荷重载荷に対しても破壊に至っておらず、十分な耐力を有していることが確認できた。接合部の剛性に関しては、プレートジベル接合が最も高い結果となった。ブロックジベル接合は、スタッドジベル接合に接合棒鋼を配置した構造であるが、スタッドジベル接合に比較して高い剛性を有していた。

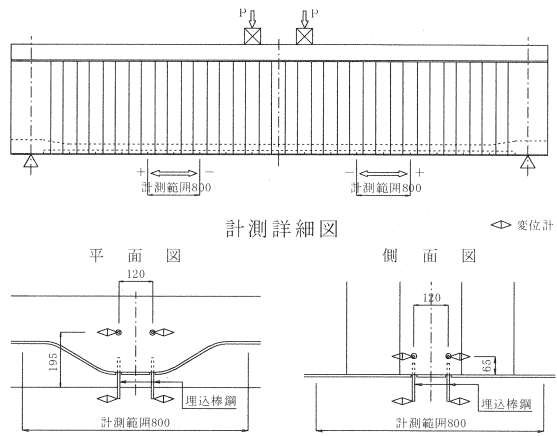


図-6 計測位置および計測方法

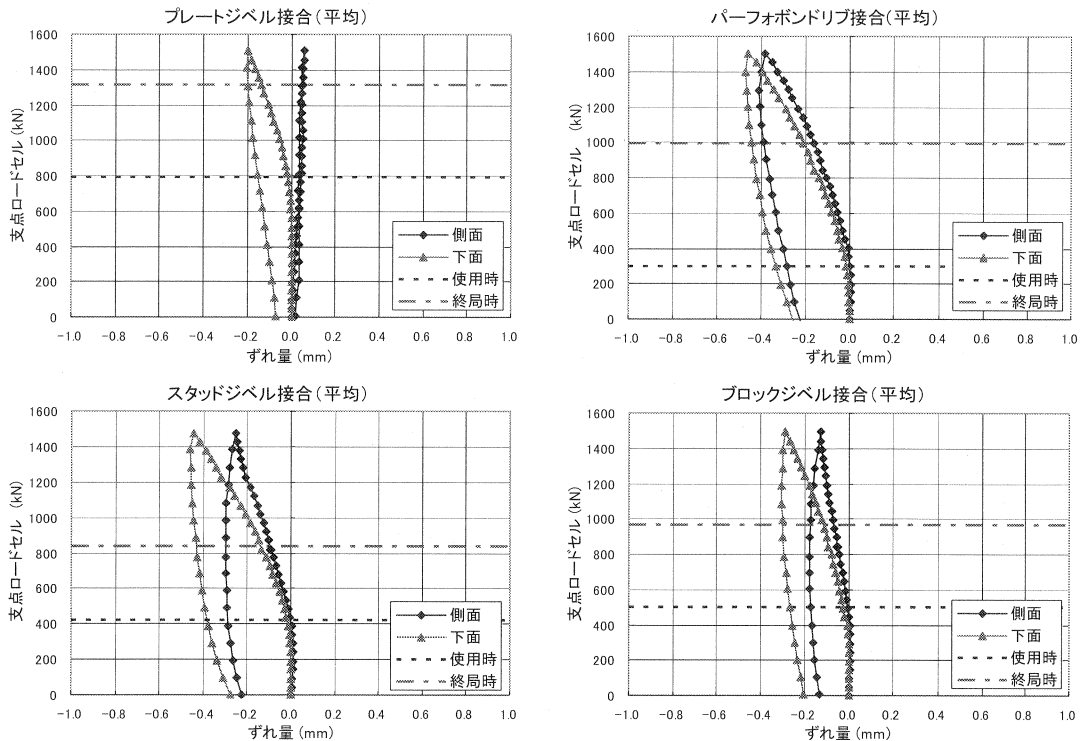


図-7 支点ロードセル値とずれ量

2) ひび割れ状況

下床版の変状確認は、載荷荷重 700kN/ジャッキ (4 台の計 2800kN) までの各段階および最大載荷荷重 1500kN/ジャッキ (4 台の計 6000kN) の荷重除荷後に実施した。図-8 に最大荷重除荷後の下床版のひび割れ状況を示す。いずれの接合タイプも、設計上の終局耐力以上の荷重载荷に対して、損傷は接合部近傍にお

ける 0.1mm 前後のひび割れのみと軽微であり、載荷装置の能力範囲では破壊には至らなかった。

ひび割れは、波形形状によりせん断キー的な作用が想定される下床版突起基部に発生した。ひび割れ発生の性状を確認するため、最初にひび割れが発生した 650 kN/ジャッキ (4 台の計 2600kN) 載荷時の弾性 FEM 解析を行った。解析は、波形鋼板をプレート要素、それ以外をソリッド要素とし、接合面における下床版と波形鋼板は一体となって挙動するものとした。また、各材料の物性値ならびに製作時の構造変化等の各条件は、供試体の条件を反映した。

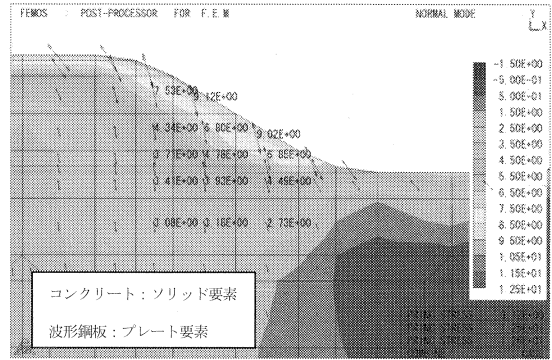


図-9 ひび割れ近傍の最大主応力 (ベクトル) 図

図-9 に下床版におけるひび割れ発生箇所近傍の最大主応力図を示す。解析の結果、ひび割れ発生位置においてコンクリートの引張強度を超える応力が生じており、供試体のひび割れ発生位置と整合性が確認できる。

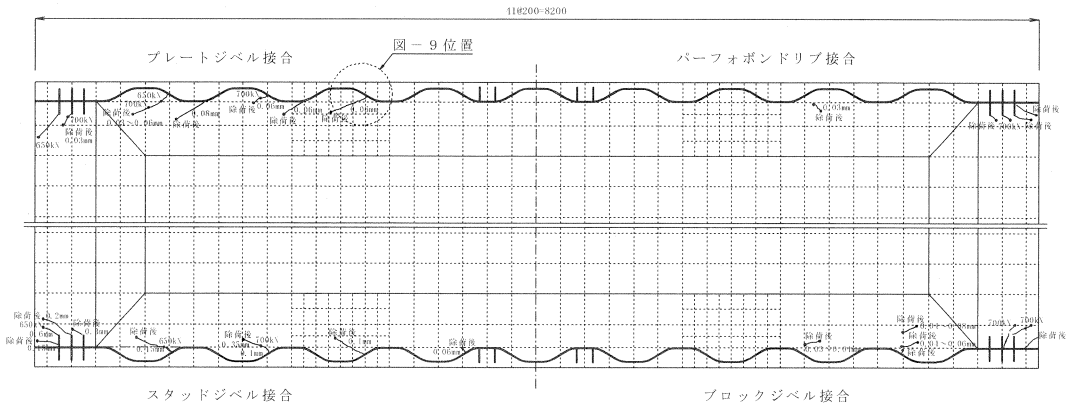


図-8 ひび割れ状況

6. まとめ

P C 板を敷設した状態で波形鋼板ウェブを先行架設する新しい押し出し工法は、試設計の結果からも従来の押し出し工法と比較して十分有用性があると考えられる。また、梁供試体による載荷実験により、いずれの接合構造においても以下の事項が確認できた。

- ①橋軸方向のずれせん断力に対する使用時のずれ量はわずかであり、弾性的な挙動の範囲であった。
- ②設計上の終局耐力以上の荷重載荷に対しても損傷は軽微であった。

以上のことから、提案するずれ耐力算出方法により、十分な安全性の確保が可能であることが確認できた。

今後は、本実験において実施した接合構造毎の詳細計測の結果や、実施を予定している要素供試体による押抜きせん断実験の結果から、接合構造の力学的特性や破壊性状を検討する予定である。また、並行して実施した面外方向の曲げに対する確認実験の結果に加えて、施工面や経済性における細部検討を実施し、実用性の高い合理的な橋梁架設工法へと発展させていく予定である。

【参考文献】

- 1) 「Altzipfergrund 高架橋—ドイツ初の波形鋼板ウェブ P C 橋—」プレストレストコンクリート Vol. 44 No. 1
- 2) 「複合橋設計施工基準」(社)プレストレストコンクリート技術協会編 技報堂出版
- 3) 「複合構造物の性能照査指針 (案)」土木学会
- 4) 桜田,東田他「ツインパーフォボンドリブ接合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 pp297-302,2004.10