

(159) 前谷橋-全外ケーブル方式波形鋼板ウェブPC橋の施工性確認実験

日本道路公団 九州支社 構造技術課	今泉 安雄
日本道路公団 九州支社 鹿児島工事事務所	兼重 寛
オリエンタル建設(株) 技術研究所 正会員	阿部 浩幸
オリエンタル建設(株) 福岡支店工事部 正会員	○藤木 慶博

1. はじめに

東九州自動車道前谷橋は、橋長 163m（上り線。下り線は 160m。）の 2 径間連続 PC ラーメン橋であり、全外ケーブル構造と波形鋼板ウェブ複合構造を組合わせた世界で初めての橋梁である。

また、前谷橋は全外ケーブル方式および波形鋼板の採用以外にも、施工方法や鋼・コンクリート接合部に関して特殊な方法を採用している。本橋の特徴を以下に示す。

- ①外ケーブルの防錆には、グラウト充填が確認できる透明シースを用いた全長グラウトタイプを採用。
- ②仮設 PC 鋼棒を使用して毎ブロック毎に仮定着し張出し施工を行い、2～3 ブロック施工した後、大容量の外ケーブルの緊張・本定着を行う。外ケーブル緊張後は仮設 PC 鋼棒を解放し、引出・転用する特殊張出し架設工法の採用。
- ③ウェブ高 5.0m 以上の波形鋼板は、箱桁内側においてコンクリートウェブと合成させる。
- ④コンクリート床版と波形鋼板との接合は、フランスのドール橋で用いられたアングル接合を採用。

しかし、波形鋼板ウェブ橋は施工実績も少なく、本橋で採用する特殊張出し架設工法や床版と鋼板の接合方法など、初めての試みとなるものも多い。そこで、施工上問題になると考えられる項目を以下に示す。

- ①コンクリートウェブ合成部における打設・締め固めの作業性
- ②ドール橋で用いたアングル接合方式による接合部の配筋作業性およびフランジプレート直下のコンクリート充填性。
- ③仮設 PC 鋼棒を緊張するための特殊ジャッキの緊張作業性、PC 鋼棒を転用するための引き出し作業性。
- ④大容量（19S15.2 × 2 本）の外ケーブル定着体の構造の妥当性。（写真-1）
- ⑤全外ケーブル方式を採用したことによる、張出し床版先端部における応力分布状態。



写真-1 外ケーブル定着体

そこで、実施工に先立ち実物大の模型供試体を製作し、施工性確認実験および部材応力測定試験を実施し、問題点の抽出および改善を行った。

2. 実験概要

2.1 実物大模型供試体（写真-2）

供試体の一般図を図-1に示す。供試体は、柱頭部を挟んで 3.2m のブロックを左右 2 ブロック張り出した構造とする。柱頭部の長さは 3.0m、桁高は 3.5m、幅は 10.4m である。また、実橋ではウェブ高 5.0m 以上の部分にはコンクリートウェブを合成する。このため、供試体は左右非対称構造とし、1 ブロック目の片方については、波形鋼板の内側にコンクリートウェブを合成させるものとする。2 ブロック目には共に波形鋼板ウェブを使用した。波形鋼板ウェブの厚さは、12mm、形状は実橋に使用するものと同じ形状・同材質（波長 1600mm、波高 220mm、SM490Y 材）とした。

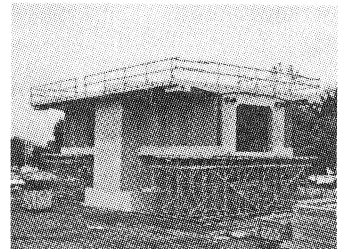


写真-2 供試体全景

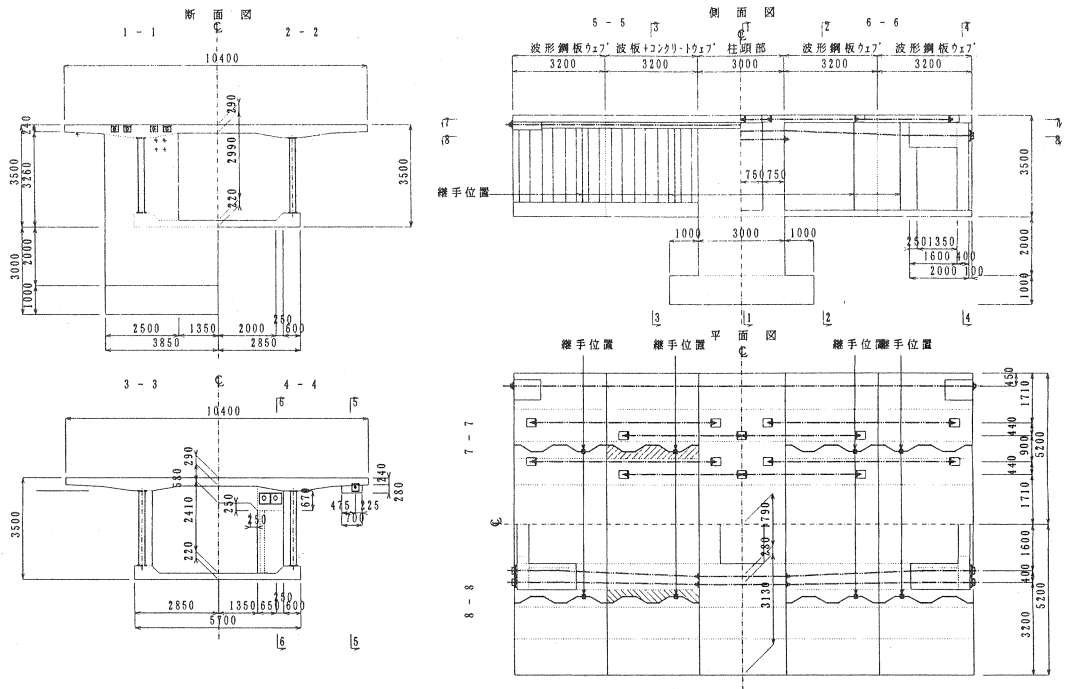


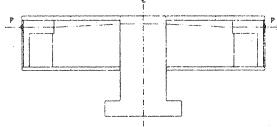
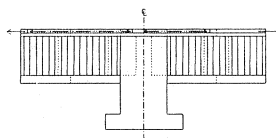
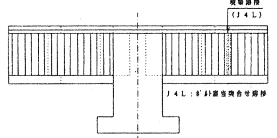
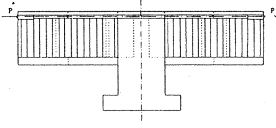
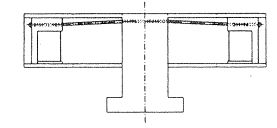
図-1 供試体一般図

2.2 施工性確認実験

施工性確認実験における各施工段階毎の施工手順及び確認・検討項目を表-1に示す。

表-1 施工手順及び確認・検討項目

施工段階	確認・検証項目	施工段階	確認・検証項目
施工段階1 下部工及び柱頭部の施工 	<ul style="list-style-type: none"> ・波形鋼板の形状保持 	施工段階2 波形鋼板現場溶接その1 	<ul style="list-style-type: none"> ・自動溶接機による溶接作業性及び作業時間 ・継手方法の違いによる作業性及び作業時間の比較 ・溶接前後における波形鋼板の形状変化 ・検査に要する作業時間・
施工段階3 1ブロック施工 	<ul style="list-style-type: none"> ・波形鋼板、床版鉄筋、横締鋼材との取り合い ・コンクリート及び下床版コンクリートの充填性 ・波形鋼板フランジ部の空気孔の配置妥当性 	施工段階4 1 B L横締鋼材、仮設鋼棒緊張 	<ul style="list-style-type: none"> ・仮設鋼棒の配置及びソケットの配置作業性 ・緊張作業性 ・切り欠き周辺のひび割れ発生状況

施工段階	確認・検証項目	施工段階	確認・検証項目
施工段階5 波形鋼板現場溶接その2	・施工段階2に同じ	施工段階8 外ケーブル緊張(19S15.2mm 4本) 	・外ケーブル配置作業性 ・定着体形状寸法の妥当性 ・外ケーブル緊張によるシースへの影響
施工段階6 2ブロック施工	・施工段階3に同じ		
施工段階7 2BL横締鋼材、仮設鋼棒緊張	・施工段階4に同じ		
施工段階9 仮設鋼棒の解放・引出し 	・引き出し作業性の確認	施工段階10 波形鋼板現場溶接(その3:後溶接) 	・施工段階5に同じ ・後溶接によるコンクリート床版への影響
施工段階11 張り出し補強ケーブル緊張(19φ7) 	・ケーブル配置作業性 ・定着体形状寸法の妥当性	施工段階12 外ケーブルグラウト工 	・充填状況及び内部空気溜まりの有無の確認 ・デブリエータとシースのジョイントにおけるグラウト漏れ

2.3 部材応力度測定試験

部材応力測定試験は、施工時における仮設P C鋼棒緊張時、外ケーブル緊張時、張出し床版補強ケーブル緊張時における各部材の応力を測定するものである。以下に主な測定項目を示す。

(1) 打ち継ぎ目コンクリート応力

全外ケーブル方式を採用したことにより、張出し床版先端部におけるシェアラグの影響を確認するため、1・2ブロック打ち継ぎ目部のコンクリート応力を測定した。(図-2参照)

(2) 外ケーブル定着体の各応力

大容量(19S15.2×2本)の外ケーブルを定着するため、定着体は鋼・コンクリート複合構造とした。この定着体の形状・寸法の妥当性を確認するため、定着体の鉄筋、鋼板の各応力を測定した。(図-3参照)

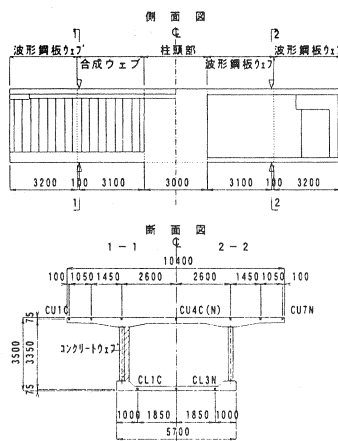


図-2 コンクリート応力測定位置

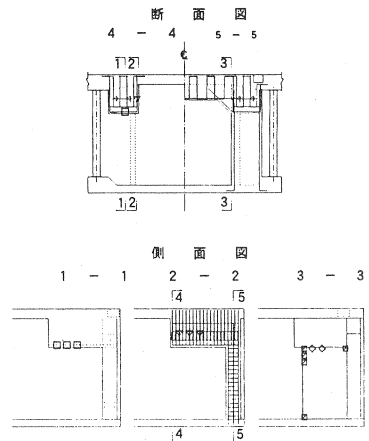


図-3 定着部応力測定位置

3. 実験結果

3.1 施工性確認実験

主な施工段階において発生した問題点およびその解決策を以下に示す。

・施工段階 3, 6 (1, 2ブロック施工)

ドール橋方式のアングル接合は、フランジプレートに溶接されたアングルの裏表両面にU字鉄筋を溶接する方法である。このU字鉄筋が床版鉄筋と干渉したため、実橋ではアングルの配置を床版鉄筋のピッチに合わせることで対処する。[写真-3参照]

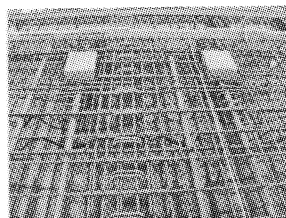


写真-3 接合部

また、下フランジ直下のコンクリート充填性は、桁内側から外側へ流し込むように打設することで問題はなかった。

・施工段階 4, 7, 9 (仮設鋼棒緊張、解放、引き出し)

本橋における張り出し架設工法は、上床版に配置した仮設PC鋼棒を使用して1ブロック毎に仮定着を行う特殊張出し架設工法を採用した。その仮設鋼棒の緊張には[写真-4]に示すような特殊ジャッキを使用して行った。この特殊ジャッキの緊張・解放作業及び仮設鋼棒の引き出し作業に問題は生じず、また、緊張時における切り欠き周辺のひび割れも生じなかった。

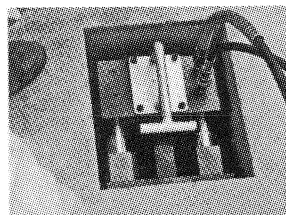


写真-4 特殊ジャッキ

・施工段階 8 (外ケーブル緊張)

外ケーブル緊張時において、透明シースと偏向管のジョイント部に変形が生じた。[写真-5、図-4参照]これはジョイント部のフランジの剛性不足によるものであった。このため本橋では透明シースをコンクリート内に直接埋め込む方法に変更する。[図-5参照]

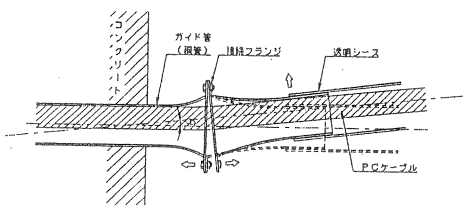


図-4 ジョイント部の変形

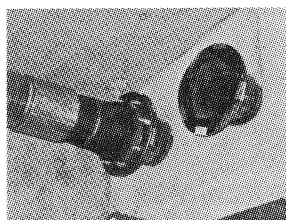


写真-5 シースジョイント部

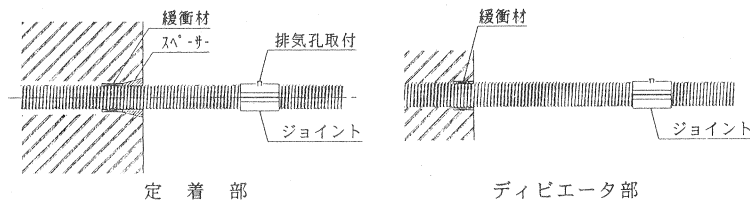


図-5 改良案

3.2 部材応力測定試験

(1) 打ち継ぎ目コンクリート応力

図-6に外ケーブル緊張時の打ち継ぎ目コンクリート測定結果を示す。また、表-2にFEM解析との数値比較を示す。これによると、外ケーブル緊張時の打ち継ぎ目におけるコンクリート応力の実測値は、概ね解析値の85～100%である。しかし、合成ウェブの張出し床版先端部においては、発生応力が小さいことの影響もあるが、実測値はFEM解析値の75%と他の部位と比較してやや小さい値を示している。

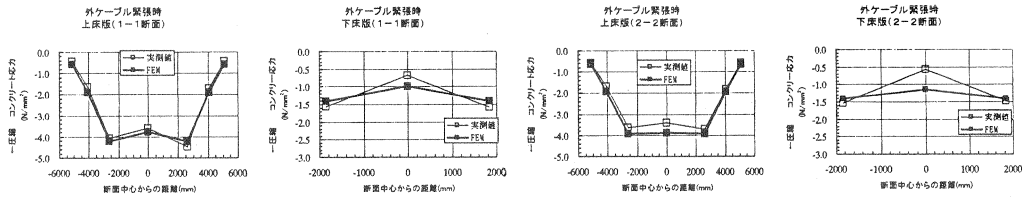


図-6 応力測定結果（外ケーブル緊張時）

表-2 FEM解析との比較（外ケーブル緊張時）

単位：N/mm²

	合成ウェブ側上床版（1-1断面）					波形鋼板ウェブ側上床版（2-2断面）			
	断面中央	ウェブ部	張出床版中 中央部	張出床版 先端		断面中央	ウェブ部	張出床版 中央部	張出床版 先端
実測値①	-3.62	-4.29	-1.68	-0.44	実測値①	-3.36	-3.59	-1.74	-0.57
FEM：②	-3.80	-4.22	-1.91	-0.59	FEM：②	-3.89	-3.92	-1.96	-0.68
比（①/②）	0.95	1.02	0.88	0.75	比（①/②）	0.86	0.92	0.89	0.84

(2) 定着体応力

外ケーブル緊張時の定着体の鉄筋応力、鋼板応力を図-7、8に示す。これによると、外ケーブルの緊張力3000kN（片側当たり1500kN）からFEM解析値とは異なってくる。これは写真-6に示すように定着部にひび割れが生じたため、定着体のコンクリートと鋼板の応力伝達が解析通りに行われていないことを示している。これは、コンクリートと鋼板の接合部の剛性が不足していることが原因である。つまり、鋼板を貫通している鉄筋量の不足と鉄筋応力の許容値が大きいことが原因である。そこで定着体の接合部には以下に示す対策を行った。

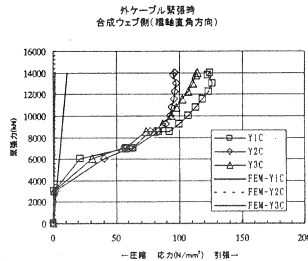


図-7 鉄筋応力

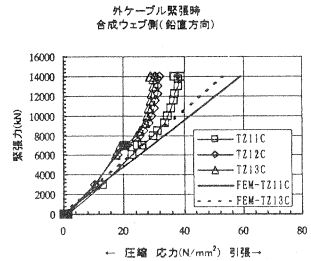


図-8 鋼板応力

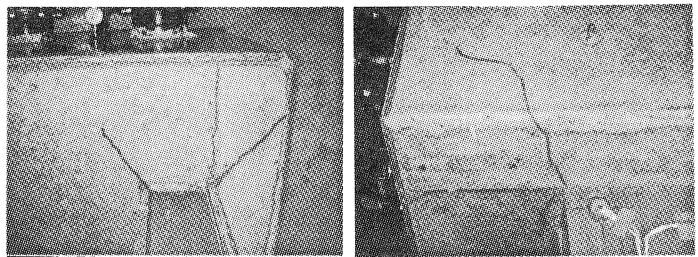


写真-6 ひび割れ発生状況

①コンクリート部への埋め込み方式となっている鋼・コンクリート接合部をフランジプレートタイプに変更する

- ②フランジとコンクリートとの接合は、太径のねじ切り異径鉄筋を使用する。
 - ③接合部の鉄筋の許容応力度を 100N/mm^2 程度に設定する。
- 尚、図-9 に定着体接合部の構造変更を示す。

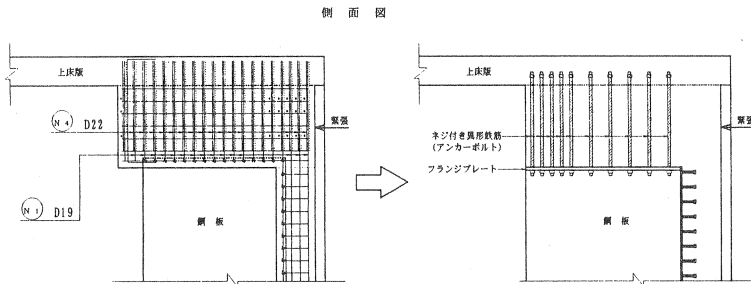


図-9 接合部構造変更

4. まとめ

本実験において得られた結果をまとめると以下のようなものである。

(1) 施工性確認実験において

- ・ドール橋方式の接合部の配筋作業性においてU字筋と床版鉄筋が干渉した。このため、実橋の設計においてはアングルを床版鉄筋の配置にあわせることで対処するものとした。
- ・下床版フランジ直下のコンクリート充填性は、桁内側から外側へ流し込むように打設することで問題はなかった。また、空気孔の配置は $@300, @600\text{mm}$ の2種類について行ったが差は見られなかった。実橋では $@300$ で空気孔を設けている。
- ・仮設 PC 鋼棒を用いた特殊張出し施工は、ジャッキの緊張・解放作業、PC 鋼材の引出作業ともに問題なく行えた。
- ・透明シースと偏向管ジョイント部のフランジが剛性不足のため変形した。このことから、実橋では透明シースをコンクリート内に直接埋め込み、出口には緩衝材を設置するタイプに変更するものとした。
- ・透明シースの採用により、シース内部のグラウト充填状況を目視にて確認することができ、充填性は良好であった。

(2) 部材応力測定試験において

- ・外ケーブル緊張時の打ち継ぎ目におけるコンクリート応力に関して、実測値は FEM 解析値の 90% 前後である。ただし、合成ウェブ側の張り出し床版先端部の実測値は FEM 解析値の 75% であり、発生応力が小さいことも影響し、他の部位と比較して小さい値となった。
- ・定着体は鋼・コンクリート接合部の剛性不足によりひび割れが生じた。このため、埋め込み方式であった接合方法をフランジプレートタイプに変更している。

5. おわりに

12年7月現在、前谷橋の下り線の張り出し架設を施工中であるが、上記の結果を踏まえた施工により当該作業上の問題は発生しておらず、本実験は大変有意義なものであった。