

# PC フィンバック橋の施工 —北陸新幹線 姫川橋りょう—

萩原 秀樹 \*1・武田 哲郎 \*2・吉田 武 \*3・林 康子 \*4

## 1. はじめに

姫川橋りょうは、新潟県糸魚川市に位置し一級河川姫川を渡河する、新潟県内の北陸新幹線では最長となる橋梁である。本橋梁は新幹線の橋梁形式として初めて採用する7径間連続PCフィンバック橋で、橋梁支点部に魚の背びれ(フィン)のようにウェブを突出させた中路構造であり、鉄道橋としてはJR仙石線鳴瀬川橋りょう(6径間連続桁, 単線断面)に引き続き2番目、複線断面としては初の採用となる。

本橋梁はとくに厳しい腐食性環境にさらされることから、耐久性にとくに配慮した設計・施工を行っている。

そこで、本稿ではフィンバック形式橋梁の施工について、耐久性に対する論点から報告する。

## 2. 工事概要

姫川橋りょうの概要を以下に、位置図を図-1に、完成予想図を図-2に、標準断面を図-3に示す。

工事名：北陸幹(上・糸), 姫川B上部工  
 工事箇所：新潟県糸魚川市寺島・須沢地内  
 工期：平成16年7月～平成19年7月  
 発注者：(独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構  
 鉄道建設本部 北陸新幹線第二建設局  
 施工者：ピーエス三菱・興和・常磐JV  
 構造形式：7径間連続PCフィンバック橋  
 橋長：462.0m  
 支間：57.0 + 69.0 + 3@70.0 + 69.0 + 57.0m  
 総幅員：13.3m  
 設計速度：V = 260 km/h (新幹線)  
 曲線半径：直線  
 縦断勾配：6.0‰～level  
 架設方法：固定式支保工架設工法

フィンバック橋の構造的な特徴は、以下のようなことがあげられる。



図-1 施工位置図

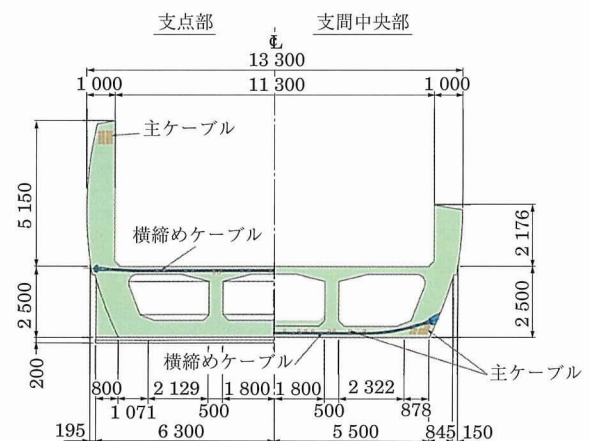


図-3 標準断面図



図-2 完成予想図

\*1 Hideki HAGIWARA : (独) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構  
 \*2 Tetsuro TAKEDA : ピーエス三菱・興和・常磐共同企業体 所長  
 \*3 Takeshi YOSHIDA : ピーエス三菱・興和・常磐共同企業体 主任  
 \*4 Yasuko HAYASHI : (株) ピーエス三菱 東京土木支店 技術部設計課長代理

- 1) ウェブ断面を橋面上に突出させたフィンバック部で、中間支点部の負の曲げモーメントとせん断力に対して抵抗させること。
- 2) フィンバック部にPCケーブルを配置することにより偏心量を大きくとることで桁高を低く抑えることができ、側径間部に位置する堤防上管理用道路の建築限界を確保するとともに線路の縦断線形を低く抑えることが可能なこと。
- 3) フィンバックの断面に曲線形状を施すことにより、背景の山並みに調和すること。

### 3. 分割打設の検討

#### 3.1 概要

姫川は急流河川であり洪水到達時間が短く増水するのが早いので、河川管理上の理由により施工は非出水期に限定した。施工方法は図-4に示すように固定式支保工架設による7施工区分の分割施工であり、7施工区分を3回の非出水期に分けて施工する。

耐久性の観点からは、1施工区分における主桁のコンクリート打設は1回により行うことが望ましいが、1施工区分の打設数量が約1500m<sup>3</sup>と多くポンプ車の配置スペース、打設に要する時間、鉄筋およびケーブルの保持、型枠および支保工の設置がきわめて困難であることから1施工区分をさらに4ブロックに分割して打設した。図-5に分割図を示す。コンクリートの打設は、支点部は箱桁部①とフィン部②で分割し、箱桁部は全断面一括で、また、支間中央部は、下床版とウェブ③と上床版とフィン部④に分割して行った。

このため、打継部の拘束および温度勾配の影響を把握するために、3次元FEMによる温度解析を行い、ひび割れ幅抑制用の鉄筋補強を行った。また打設から緊張までの期間が長くなる部位に対しては、コンクリート打設2日後に仮にプレストレスを与えることで施工段階での乾燥収縮によ

るひび割れの発生を抑制した。

#### 3.2 温度解析

分割打設により生じる打継目には、新設コンクリートの水和熱による温度上昇、外気温の影響、既設コンクリートによる拘束などによりひび割れが発生する可能性がある。そこで、3次元FEM温度解析を行い、各施工目地における打継目でのひび割れ発生の可能性を検討し、ひび割れ発生の可能性が高い場合には鉄筋により補強することとした。

温度解析は、図-6に示す3箇所の打継目に対し検討を行った。着目点1では、箱桁部①とフィン部②の打継目、着目点2では下床版とウェブ③と上床版とフィン部④の打継目、着目点3では支点部と支間中央部との打継目についてそれぞれ検討を行った。

以下に、代表モデルとして着目点1の検討について示す。図-7にモデル図および拘束条件、図-8に解析結果を示す。2002年制定コンクリート標準示方書〔施工編〕((社)土

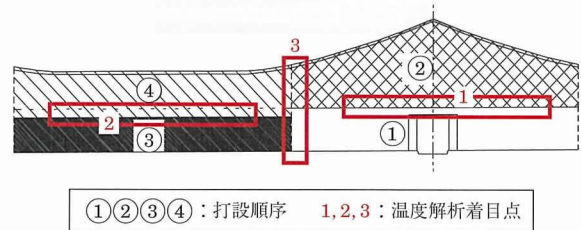


図-6 検討位置

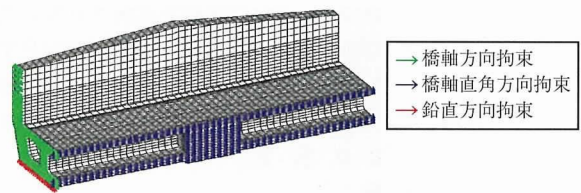


図-7 モデル図および拘束条件

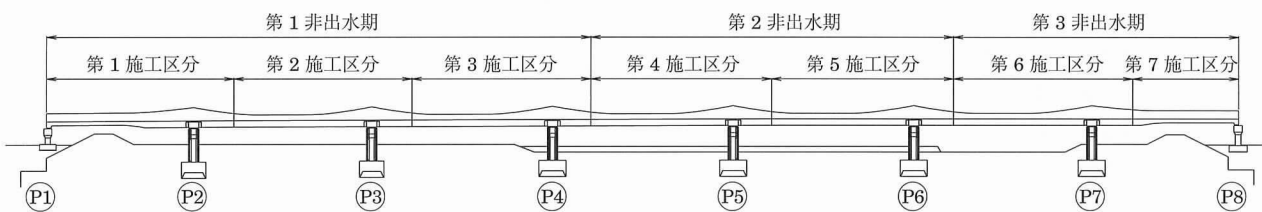


図-4 施工段階図

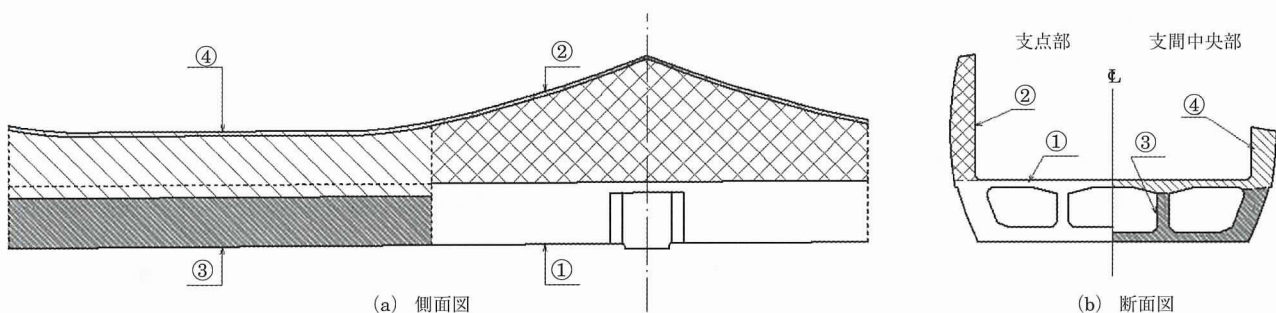


図-5 打設分割図

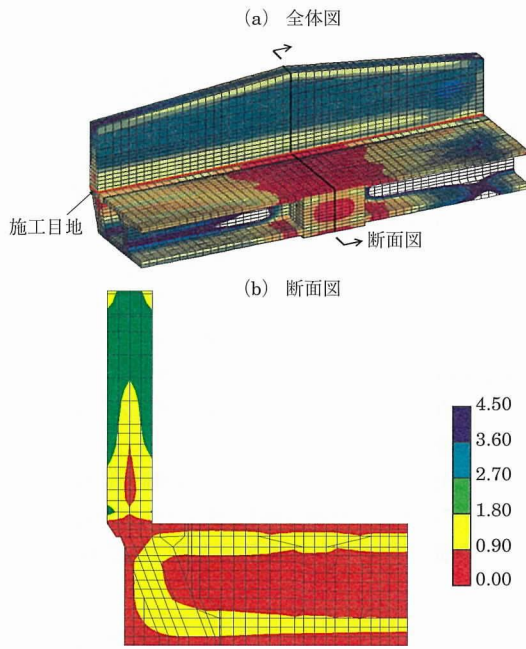


図 - 8 経験最小ひび割れ指数

木学会)では、ひび割れの防止をしたい場合、ひび割れ指数 1.75 以上と規定されていることから、本橋梁では、ひび割れ指数 1.8 以下の部分に対して補強を行うこととし、このときひび割れ幅の制限値は、とくに厳しい腐食性環境を考慮して 0.15 mm 以下とした。

発注図書においても、温度解析を行い、箱桁部①およびフィン部②に対して D19 ctc 125 の配筋で補強されていたが、実施工に合わせ再解析を行った結果、鉄筋量が不足することがわかった。よって、D13 鉄筋を D19 鉄筋の間に配置することとし、この結果、ひび割れ幅は 0.11 mm となり許容値を満足した (図 - 9、表 - 2)。

### 3.3 乾燥収縮の検討

次に温度解析のモデルを用いて、乾燥収縮の影響に着目した解析を行った。乾燥収縮の検討は、コンクリートの温度上昇および外気温の影響を無視している。

図 - 10 に経験最大主応力を示す。このとき、床版とウェブの接合部付近に応力集中していることが判る。最小ひび割れ指数は制限値の 1.8 を下回ってはいないが、ひび割れ発生抑制のため床版とウェブの接合部付近に補強鉄筋を配置することとした。図 - 11 に補強鉄筋配置図を示す。

### 3.4 仮締めケーブル

前述したように、本橋梁は各スパンについて 4 分割でのコンクリート打設を行うため、最初に施工する橋脚上の主桁部分のコンクリート打設から主ケーブルの緊張完了まで 60 日程度要する。このとき、乾燥収縮による変形を型枠で拘束するため、主ケーブルの一部および仮設ケーブルにプレストレスを与えることで、ひび割れの発生を抑制した。

図 - 12 に仮締めの施工手順を示す。

仮締め PC ケーブルとしては SWPR19 1S28.6 を、下床版ケーブルとしては本設の主ケーブル SWPR7B 12S15.2 を 12 本中 2 本使用した。本設の鋼材配置図を図 - 13 に示す。

仮締めを行うことにより、設計計算と異なるプレストレ

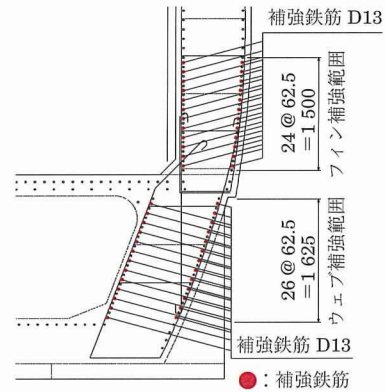


図 - 9 補強鉄筋配置要領

表 - 2 柱頭部フィン部ひび割れ幅検討結果

補強鉄筋	D19 ctc 125	D19 ctc 125 + D13 ctc 125
かぶり $c$ (mm)	79.5	79.5
ひび割れ間隔 $S$ (m) ( $S = \phi / 2.5 \rho$ )	0.79	0.55
硬化温度上昇値 $T1$ (°C)	39.4	39.4
温度拘束ひずみ $\epsilon$ ( $\epsilon = 1.0 \cdot T1 \cdot 10 \times 10^{-6} / 2$ )	1.97 E - 04	1.97 E - 04
ひび割れ幅 $W$ (mm) ( $W = S \cdot \epsilon$ )	0.16	0.11
判定 ( $W < 0.15$ mm)	NG	OK

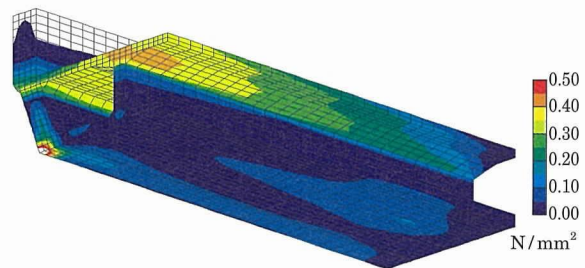


図 - 10 乾燥収縮による経験最大主応力

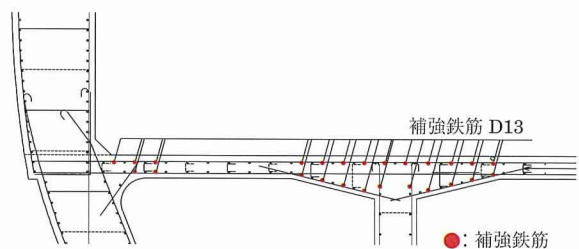
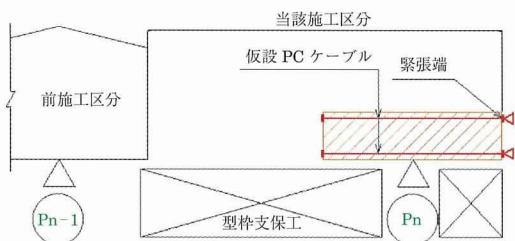
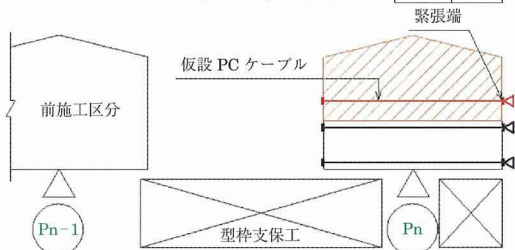


図 - 11 乾燥収縮に対する補強鉄筋配置図

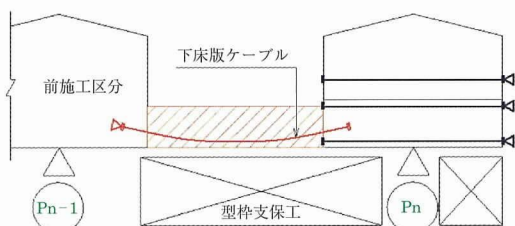
STEP1-仮設 PC ケーブル(1S28.6, 12 本)緊張 打設日 1 日



STEP2-仮設 PC ケーブル(1S28.6, 4 本)緊張 打設日 21 日



STEP3-下床版ケーブル(12S15.2)緊張 打設日 41 日



STEP4-仮設 PC ケーブル(1S28.6, 4 本)緊張力一部開放 打設日 56 日

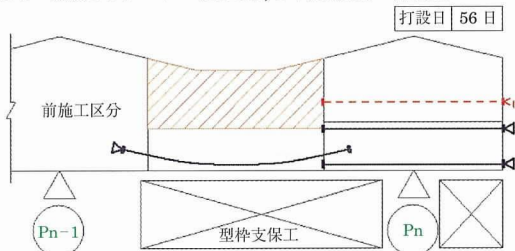


図 - 12 仮締めケーブル施工手順

を導入することとなるので、応力照査もあわせて行った。

#### 4. コンクリートの配合

使用するコンクリートの配合は、耐久性を考慮し、単位水量の上限値 175 kg/m<sup>3</sup>、最大水セメント比 43%、骨材の種類は無害と制限されており、この条件を満たし構造物の要求性能、耐久性を損ねるような初期欠陥を生じさせないこと、また施工性を考慮し、表 - 3 上段の配合を採用した。

表 - 3 コンクリートの配合

設計基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )	スランブ (cm)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位重量 (kg/m <sup>3</sup> )				
				セメント C	水 W	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 フローリック SV 10
40	12	40.0	50.0	412	165	878	878	4.12
40	12	42.0	50.0	393	165	878	878	4.12

ここで、水セメント比を小さくしコンクリートの充填性を確保するために、高機能型 AE 減水剤を用いスランブを 12 cm とした。また、アルカリ骨材反応に対し無害の骨材として、石灰石を使用した。

コンクリートの品質管理にあたっては、スランブ・空気量・圧縮強度・塩化物含有量に加え、コンクリートの単位水量についても管理を行った。単位水量の測定状況を、写真 - 1 に示す。また、高機能型 AE 減水剤を使用することで、さらに耐久性・水密性に優れたコンクリートとすることが可能となった。

第 1 非出水期施工における打設実績を踏まえコンクリートの配合を再検討した結果、セメント量を少なくすることが可能であることがわかった。また、この配合に対して温度解析を行った結果からコンクリートの最高温度を下げる事ができることが確認された。第 2 非出水期以降の施工においては、表 - 3 下段の配合の採用を検討している。

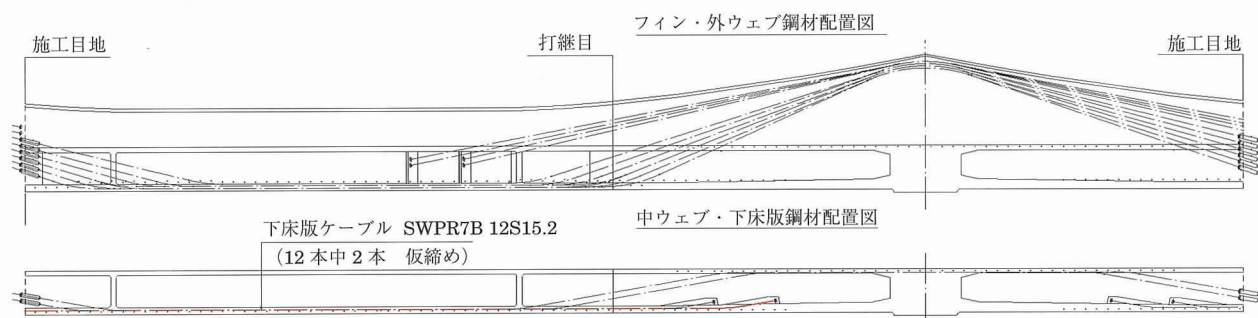


図 - 13 鋼材配置図



### 5. 養生および仮囲い

施工する冬期は気温が低く暴風雪の吹き荒れる日が多いため、飛来塩分からの防護、コンクリートの適切な温度での養生、また、良好な施工環境を確保する目的で写真-2に示す全体を覆う形式の大規模な上屋を設置した。

また、図-14に示すように熱電対をコンクリート内部①、②に設置し、養生期間および脱型時期を決定した。打設後はコンクリートファーネスを設置して、養生温度を5日間10℃以上に保つようにした。一方、箱桁内部には送風機により外気を送り温度上昇を抑制した。

脱型時の温度差によるひび割れを防止するため、コンクリート外側温度②と養生温度③の差が15℃以内になったのを確認後脱型した。図-15に養生温度グラフを示す。

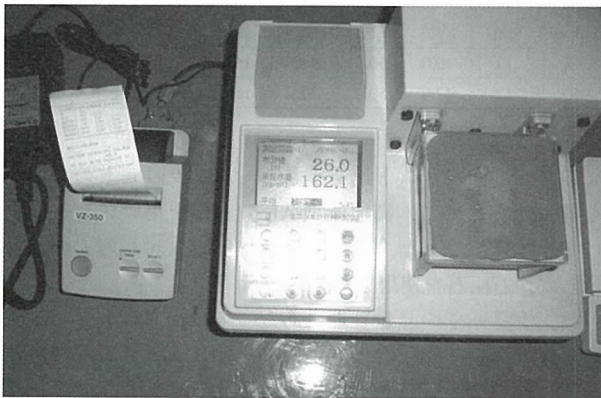


写真-1 単位水量測定状況（静電容量法）

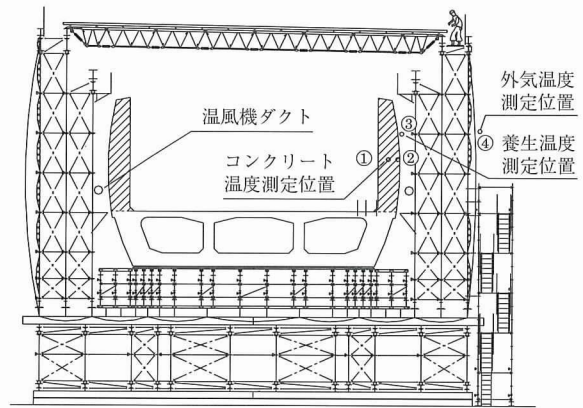


図-14 養生上屋および温度測定位置図

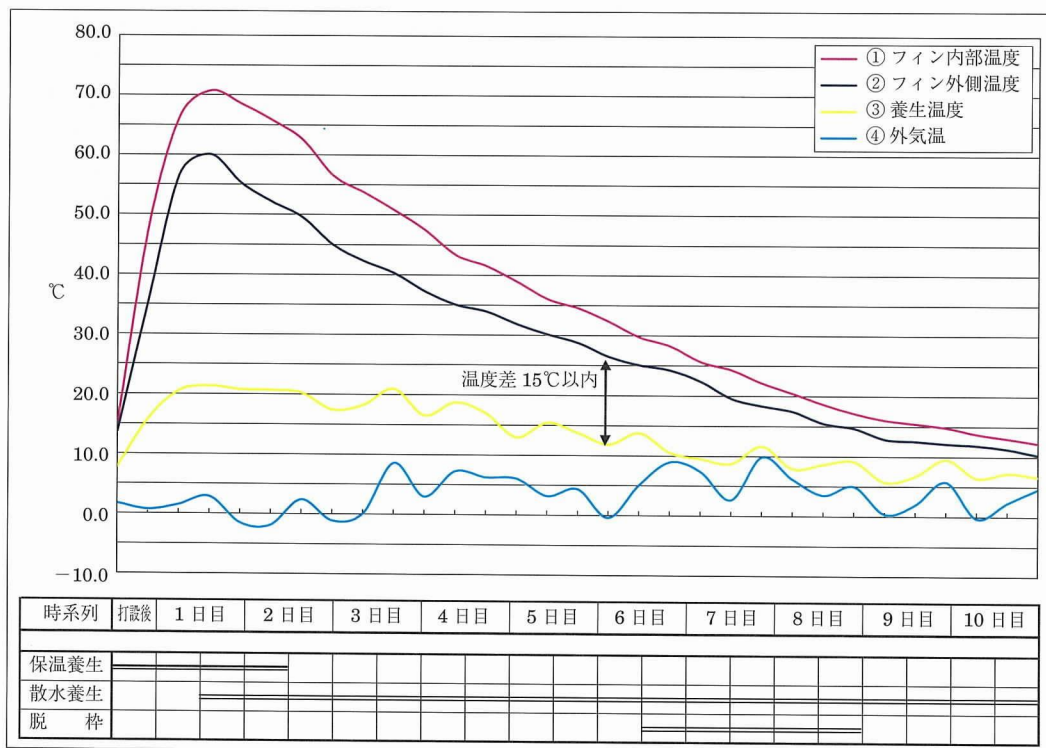


図-15 養生温度グラフ



写真-2 養生上屋

## 6. 防 水 工

本橋梁は、寒冷地かつ塩害環境下に架橋されるため以下の塩害対策を行っている。

- 1) 水セメント比の制限
- 2) かぶりの増厚 (外側 70 mm, 箱桁内部 50 mm)
- 3) 施工が中断する施工目地におけるエポキシ鉄筋の使用
- 4) ひび割れ制限値を、とくに厳しい腐食性環境を考慮して 0.15 mm 以下とし、補強鉄筋を配置

また、近隣の高架橋における塩分浸透状況をみると、海

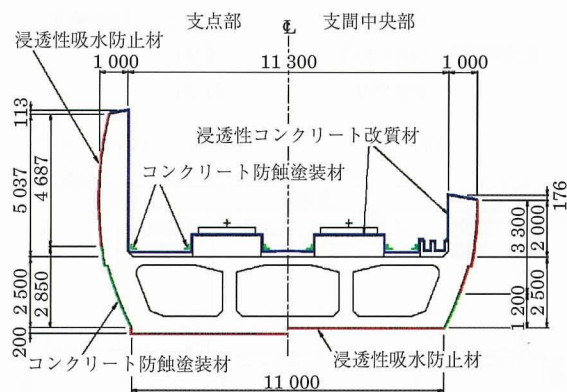


図-16 防水工施工箇所

岸線より 600 m, 経過年数 12 年におけるコンクリート表面からの塩化物イオン浸透深さはおおむね 5 cm に達する。このことからコンクリート打設時の発熱により発生する微細なひび割れを考慮すると、先に述べた対策のみでなく、さらなる耐久性向上策として全周に塩害対策の防水塗装を行った。表-4 および図-16 に施工箇所と使用した防水の種類を示す。

## 7. ま と め

本橋梁は、PC フィンバック橋本体の第 1～3 施工区分の施工を終え、平成 19 年 7 月の完成を目指し施工中である。その状況を写真-3 に示す。

新幹線の橋梁形式として初めてのフィンバック橋である本橋梁においては、耐久性向上の目的からいくつかの新しい試みもされている。本報告が今後 PC 橋の発展の一助になれば幸いである。

最後に、本橋梁の設計および施工に関し、ご指導、ご協力をいただきました関係者各位に深く感謝し、ここに記して謝意を表する次第です。



写真-3 施工状況 (平成 17 年 5 月撮影)

表-4 防水工の種類

施工箇所	防水の種類	特 徴
外側側面・底版	浸透性吸水防止材 シラン・シトキサン系 (マジカルリペラー)	塗布することにより、コンクリート面に浸透して無色透明の吸水防止層を形成する。吸水防止層は、水滴は通さずコンクリート内部の水蒸気は透過させる。
内側側面・橋面	浸透性無機系コンクリート改質材 (RC ガード)	塗布することにより、コンクリート内部に浸透して水酸化カルシウムと反応しプリン状ゲルを形成し空隙を塞ぎ水の浸入を防止する。無色透明であり、自己修復機能により長期間にわたり劣化抑制効果がある。
横締めあと埋め部	浸透性無機系コンクリート改質材 (RC ガード) + コンクリート防蝕塗装材 ハイパロン合成ゴム系 4 層 (タフコート B)	RC ガードは、上記による。  耐候性・耐薬品性に優れゴム被膜は継ぎ目のない弾性のある均一な防水塗膜を形成する。

【2005 年 7 月 6 日受付】