

内房線姉ヶ崎川橋梁 -PC 斜吊橋- の施工

津吉 毅*1・青木 秀太郎*2・高原 忠男*3・加藤 裕志*4

1. はじめに

姉ヶ崎川橋梁は、内房線姉ヶ崎駅・長浦駅間（蘇我起点 15 km 968 m）の二級河川椎津川を跨ぐ橋梁であり、旧橋梁は、デッキガーダー（下り線，9.7 m × 2 連，大正元年建設）および RC 単純桁（上り線，11.0 m × 2 連，昭和 43 年建設）から構成されていた。一方，河川管理者である千葉県は，昭和 45 年から中小河川改修事業により椎津川の河川改修を進めており，今回，千葉県からの要請により，河川改修事業として姉ヶ崎川橋梁を架け替えることとなった。

本文では，この姉ヶ崎川橋梁の主として上部工の施工および施工管理について，その概要を報告するものである。

2. 全体工事概要

工事は，旧橋梁の下流側に借地をし，仮盛土・仮橋梁を構築したのち，線路を仮線に切換え，旧橋梁を撤去した位置に新橋梁を構築，線路を新橋梁に切換える仮線方式を採用した。図 - 1 に，施工順序の概要図を示す。

工事は，平成 10 年 3 月に着手し，平成 11 年秋には，線路を仮線に切換えたのちに，旧橋梁撤去，新橋梁建設を行い，平成 14 年 5 月に下り線を，平成 14 年 6 月に上り線を新線に切換えて，新橋梁を供用開始した。新橋梁への線路切換え後は，借地部の仮線盛土・仮線橋梁撤去等を行い，平成 15 年 3 月にはすべての工事が完了する予定である。

3. 上部工施工概要

新橋梁の上部工構造形式は，①列車走行時の騒音の軽減，②将来的なメンテナンスの軽減，③レールレベルの制約，④経済性，施工性，景観等を勘案し，2 径間連続 PC 下路桁，PC ランガー等と比較検討のうえ，鉄道橋としては国内で初めてとなる橋長 81 m の下路桁形式の PC 単純斜吊橋を採用した¹⁾。表 - 1 に上部工の工事概要を，図 - 2 に橋梁の一般図を示す。上部工は，河川内に仮設 H 鋼杭を打設し，支柱式支保工にて場所打ち施工した。表 - 2 に上部工の主要数量を，図 - 3 に実施工程を，図 - 4 に施工順序のフローチャートを示す。上部工工事は，平成 13 年 4 月に着手しお

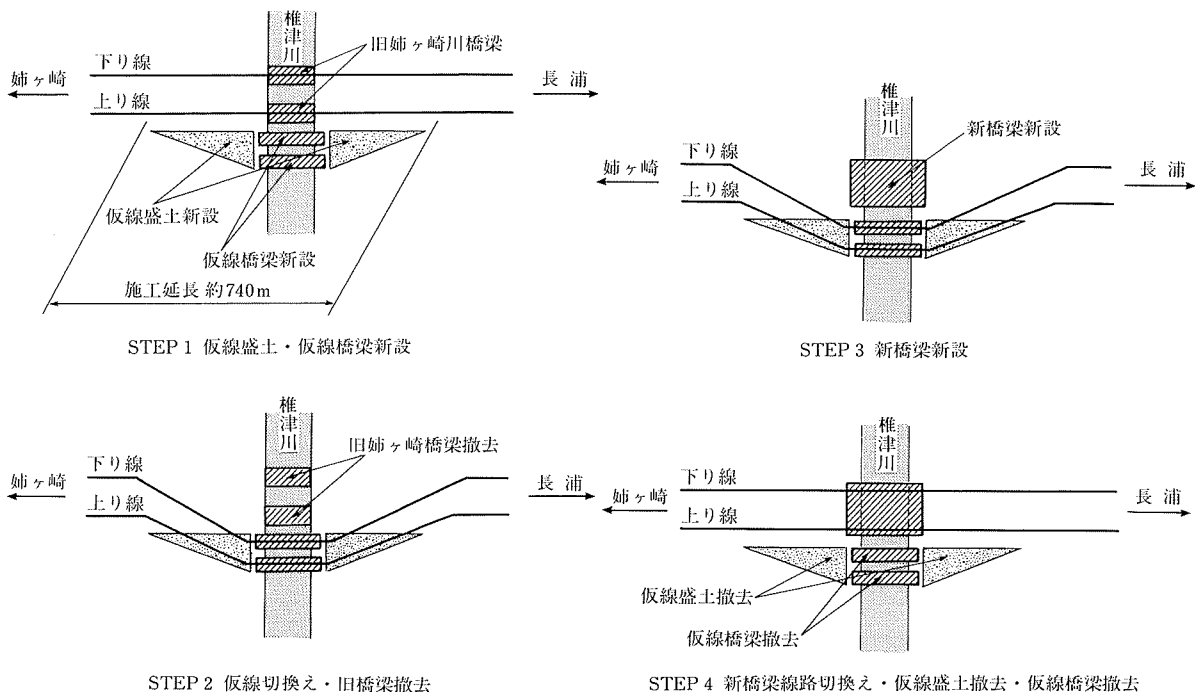


図 - 1 施工順序概要

*1 Takeshi TSUYOSHI：東日本旅客鉄道(株) 東京工事事務所 東海道総武

*2 Shutaro AOKI：東日本旅客鉄道(株) 東京工事事務所 総武工事区 (現 ジェイアール東日本コンサルタンツ(株))

*3 Tadao TAKAHARA：ドービー建設工業(株) 東京支店 工事部

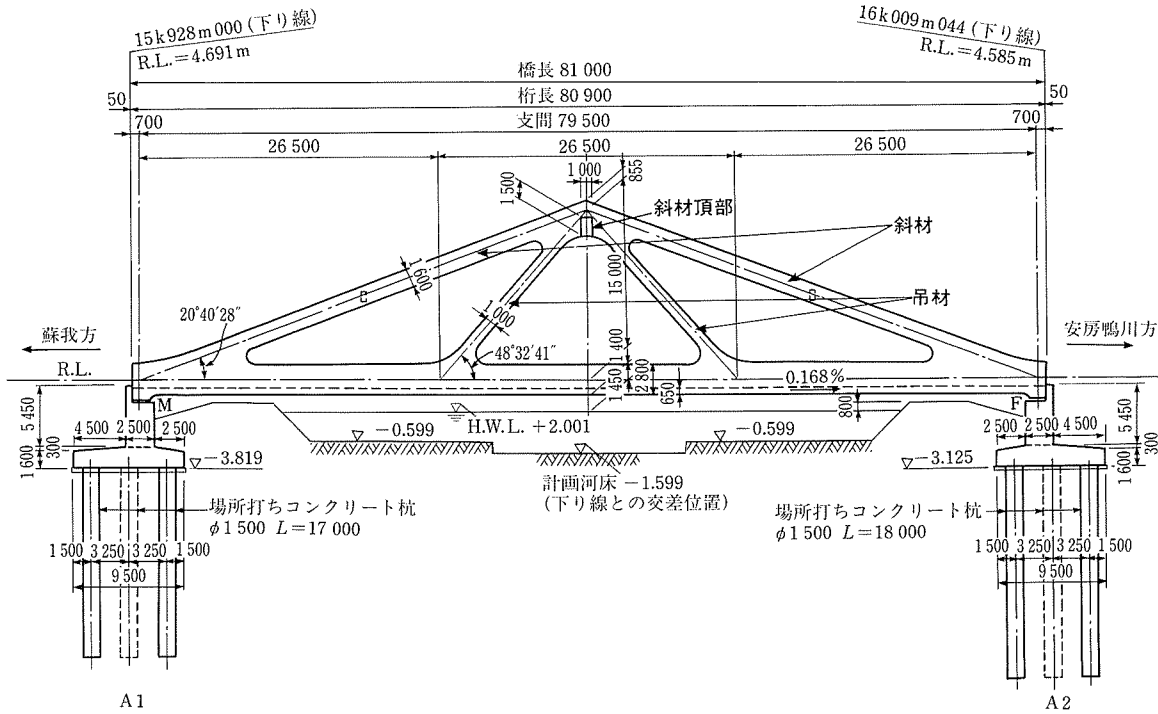
*4 Hiroshi KATO：ドービー建設工業(株) 東京支店 工事部

表 - 1 上部工工事概要

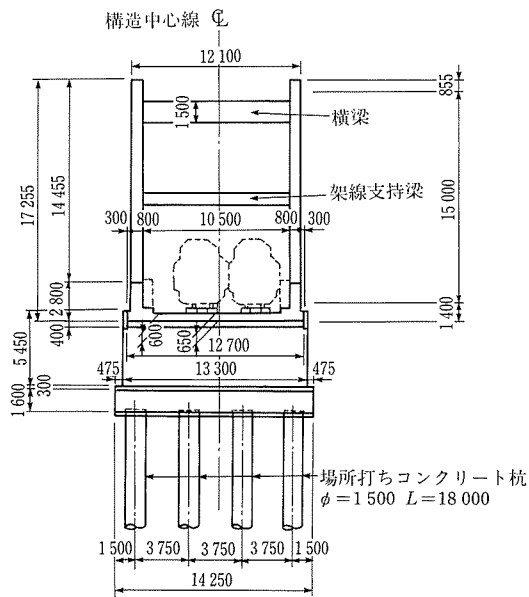
| | |
|------|-----------------------|
| 線名 | 内房線 (姉ヶ崎～長浦間) |
| 発注者 | 東日本旅客鉄道(株) 東京工事事務所 |
| 施工者 | ドービー建設工業(株) |
| 工事場所 | 千葉県市原市椎津 |
| 工期 | 2001年3月30日～2002年6月30日 |
| 橋梁形式 | ポストテンション方式複線単純PC斜吊橋 |
| 橋長 | 81.0 m |
| 支間長 | 79.5 m |

表 - 2 主要材料

| 材 料 | 仕 様 | 数 量 |
|------------------|---|-----------------------|
| 主桁コンクリート | $f'_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$ | 964 (m ³) |
| 吊材コンクリート | $f'_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$ | 42 (m ³) |
| 斜材コンクリート | $f'_{ck} = 60 \text{ N/mm}^2$ | 230 (m ³) |
| 横梁コンクリート | $f'_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$ | 16 (m ³) |
| 架線支持梁コンクリート | $f'_{ck} = 24 \text{ N/mm}^2$ | 8 (m ³) |
| 主桁・吊材 PC 鋼材 | PC 鋼より線 SWPR 7 B 12 S 15.2 mm | 51 (t) |
| 主桁床版横締め PC 鋼材 | PC 鋼より線 SWPR 7 B 12 V 12.7 mm | 15 (t) |
| 部材接合部補強 PC 鋼材 | PC 鋼より線 SWPR 19 1 S 28.6 mm (プレグラウト PC 鋼材) | 1.4 (t) |
| 鉄筋 (D 38) | SD 390 | 90 (t) |
| 鉄筋 (D 13 ~ D 25) | SD 345 | 110 (t) |



(a) 側面図



(b) 断面図

図 - 2 橋梁一般図

| 年 | | 2001 | | | | | | | | | | | | 2002 | | | | | |
|---------|--------|------|---|---|---|---|---|----|----|----|---|---|---|------|---|---|--|--|--|
| 月 | | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | | |
| 準備工 | | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 支保工 | | | ■ | ■ | | | ■ | ■ | | | ■ | ■ | | | | | | | |
| 主桁製作工 | 主桁部 | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | |
| | 吊材・斜材部 | | | | | | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | |
| | 架線支持梁 | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | |
| | 頭頂部・横梁 | | | | | | | | | ■ | ■ | | | | | | | | |
| 緊張グラウト工 | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | |
| 塗装工・防水工 | | | | | | | | | | ■ | ■ | | | | | | | | |
| 橋面工 | | | | | | | | | | | ■ | ■ | | | | | | | |
| 後片付け工 | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | | | | |
| 使用開始 | | | | | | | | | | | | | | | △ | | | | |

図-3 上部工実施工程

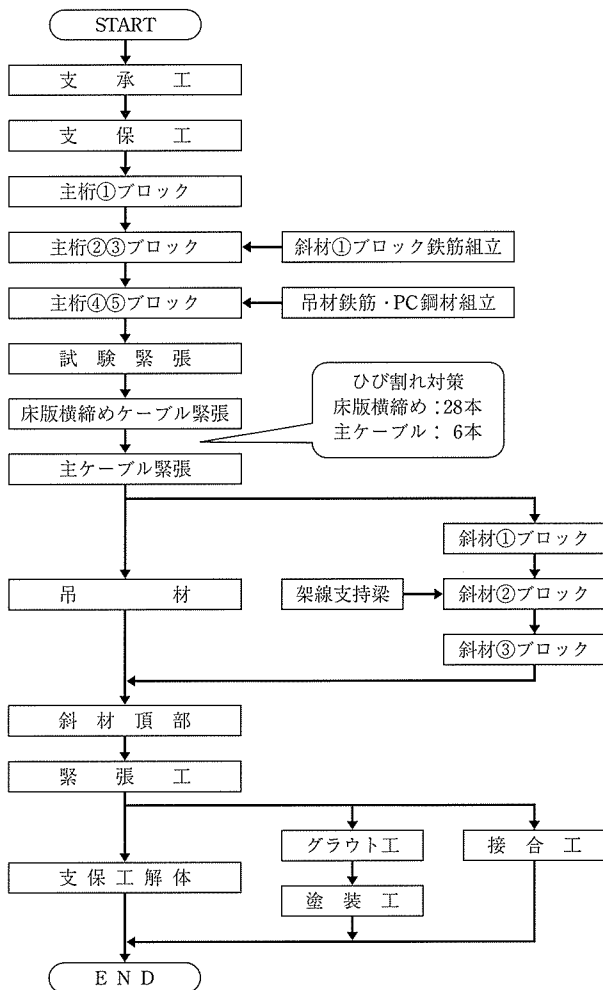


図-4 上部工施工順序

むね1年間で軌道工事を含めた橋梁工事を完了した。以下に、主な施工概要について述べる。

3.1 主桁の施工

(1) 施工ブロック割

主桁(PC部材)は、図-5に示すように全体を5ブロッ

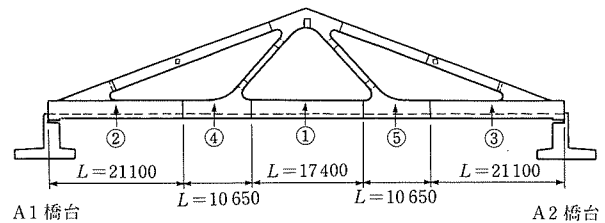


図-5 主桁コンクリートブロック割

クに分割し、上流側の工事用栈橋にポンプ車を配置してコンクリートを打設した。ポンプは、基本的には同時に2台を使用した。主桁コンクリートは、当初は、施工目地を作らないように全体を一体打設することを検討したが、①全体コンクリート数量が964 m³と多いこと、②下流側は仮線に隣接しており下流側からのポンプ打設が不可能なため、上流側工事用栈橋上からのポンプ車2台のみによる施工となること、③主桁を一括打設すると、斜材の鉄筋、吊材ケーブルの配置およびその保持がきわめて困難であること、④地元との作業時間帯の約束の制約などから、全体を5ブロックに分割して打設した。

(2) 施工

主桁と吊材、斜材の接合部は、鉄筋・PC鋼材が重複し、かつ、それらを所定の位置に保持する必要があるため、吊材部および斜材部の足場・支保工を設置してから、主桁・吊材・斜材の鋼材を組み立てた(写真-1)。なお、主桁の



写真-1 主桁・斜材接合部の配筋状況

スターラップは、これらの組立て作業を容易にするため、コの字形の鉄筋をフレアー溶接にて組み合わせ接合した。主桁コンクリートは、前述したように各ブロックとも基本的に2台のポンプ車を用いて打設した。表-3に主桁コンクリートの配合を示す。主桁コンクリートは、とくに吊材、斜材との接合部は鋼材配置が密なため、現場添加型の流動化剤を用いてスランプを15 cmとし、棒状バイブレーターのほかに、型枠に箱型バイブレーターを取り付けて締め固めを入念に行った。なお、施工ブロック目地には、エポキシ系の塗布防水を行った。

3.2 斜材・吊材の施工

(1) 斜材頂部の現場施工試験

表 - 3 主桁コンクリートの配合

| 設計基準強度 f'_{ck} (N/mm ²) | セメントの種類 | 水セメント比 | 細骨材率 | スランブ | 空気量 | 単位量 (kg/m ³) | | | | 混和剤 | 備考 |
|--|---------|---------|---------|------|-----------|--------------------------|-----|-------|-------|-------|------|
| | | W/C (%) | s/a (%) | (cm) | (%) | セメント C | 水 W | 細骨材 S | 粗骨材 G | | |
| 40 | 普通 | 41 | 40.7 | 8 | 4.5 ± 1.5 | 388 | 159 | 712 | 1 077 | 0.97 | |
| 40 | 普通 | 41 | 40.7 | 8 | 4.5 ± 1.5 | 402 | 165 | 702 | 1 061 | 1.005 | 夏季配合 |

^{*)} 混和剤；高性能 AE 減水剤（遅延型）
^{*)} スランブは現場到着時

表 - 4 斜材コンクリートの配合

| 設計基準強度 f'_{ck} (N/mm ²) | セメントの種類 | 水セメント比 | 細骨材率 | スランブフロー | 空気量 | 単位量 (kg/m ³) | | | | 混和剤 (%) |
|--|---------|---------|---------|----------|-----------|--------------------------|-----|-------|-------|---------|
| | | W/C (%) | s/a (%) | (mm) | (%) | セメント C | 水 W | 細骨材 S | 粗骨材 G | |
| 60 | 中庸熟 | 34 | 46.7 | 450 ± 50 | 4.5 ± 1.5 | 450 | 153 | 833 | 988 | 1.6 |

^{*)} 混和剤；高性能 AE 減水剤

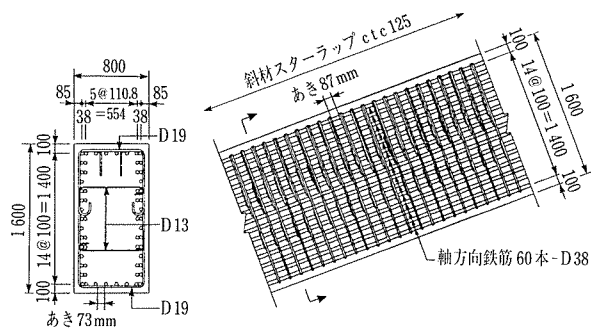


図 - 6 斜材の配筋

斜材は RC 部材であり、軸方向鉄筋として、D 38 が 1 断面あたり 60 本、スターラップとして D 16 または D 19 が 125 mm ピッチで配置されている（図 - 6）。さらに、斜材、吊材（PC 部材）、横梁（RC 部材）が接合される斜材頂部においては、それらの部材の鉄筋、PC 鋼材が複雑に入り組んで配置されており、コンクリート打設の施工性が懸念された。また、斜材は幅 800 mm × 高さ 1 600 mm と比較的大断面であり、かつ、設計基準強度が $f'_{ck} = 60 \text{ N/mm}^2$ であることから、セメント量も多くなることが想定され、したがって、水和熱による温度ひび割れ・収縮ひび割れ対策等についても、施工性とあわせて事前に配合試験を行った。表 - 4 に検討の結果採用した配合を示す。ここで、斜材に使用するコンクリートのフレッシュ性状としては、高い流動性・間隙通過性を有し、振動機による補助的な加振により型枠のすみずみまで確実に充填され、なおかつ材料分離抵抗性を有する“準高流動コンクリート”とすることを目標とした。また、水和熱抑制を目的として中庸熟ポルトランドセメントを用いることとした。

現場での実物大模型を用いた打設試験では、実際の鉄筋・ケーブル配置を行い、その配置状況を確認し、また、コンクリート打設時には、その充填状況が目視確認できるように、部分的に半透明型枠を用いた。図 - 7 に試験体として抽出した部位を、写真 - 2、3 に試験体の鋼材配置状況を、写真 - 4 にコンクリート打設状況を示す。試験の結果、鋼材配置が困難な箇所については、鉄筋加工形状の変更、機械式継手・フレアー溶接の採用などを実際の本施工に反映させたほか、鋼材組立て順序についても、試験体製作結果により再検討を行い、本施工時のタイムロスを最小限に

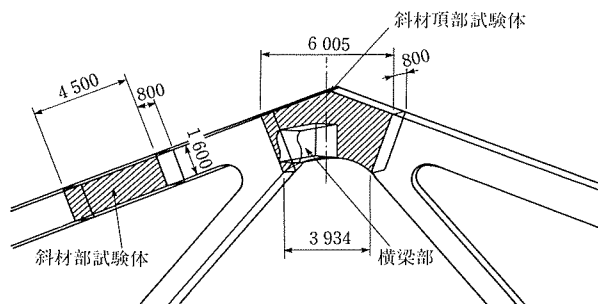


図 - 7 実物大試験抽出箇所

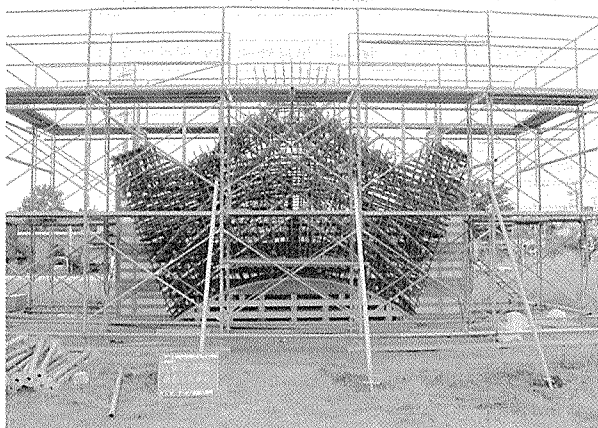


写真 - 2 斜材頂部の実物大試験体配筋状況



写真 - 3 斜材実物大試験体の配筋状況

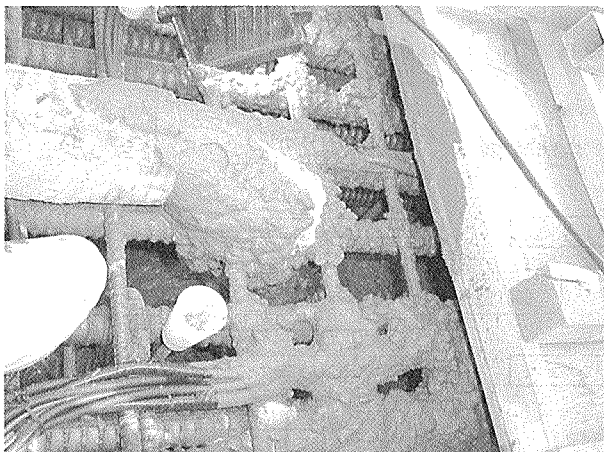


写真-4 実物大試験体コンクリート打設状況

ンクリートは、比較的流動性の高い準高流動コンクリートを用いたため、型枠に作用する側圧は一般的なコンクリートよりも大きくなる。また、斜材頂部の高さは橋面から約14.5 m程度となるため、支保工および型枠の強度を考慮し、1ブロックの高さが5 m程度以下となるように、斜材頂部以外を3ブロックに分割して施工した。

(3) 施工

斜材部は、鉄筋をブロックごとに作業ヤード上で地組みし、クレーンにて所定の位置にセットした(写真-6, 7)。これにより、太径鉄筋(D38)の組立ての工期が短縮でき、また安全性も確保できた。一方、前述のように、斜材断面には1断面あたり軸方向鉄筋(D38)が60本配置され、鉄筋間隔も100 mm程度である。そのため、軸方向鉄筋の継手にはエンクローズ溶接継手を用い、その品質管理としては、溶接箇所全数を対象に超音波探傷試験を行った。

コンクリートの打設は、その充填状況が確認できるように、側枠の一部に半透明の型枠を使用し(写真-8)、下方から上方へ、上型枠(合板パネル)を随時取り付けながら施工を行った。なお、頂部横梁・架線支持梁は、斜材と同時に60 N/mm²のコンクリートを打設した。

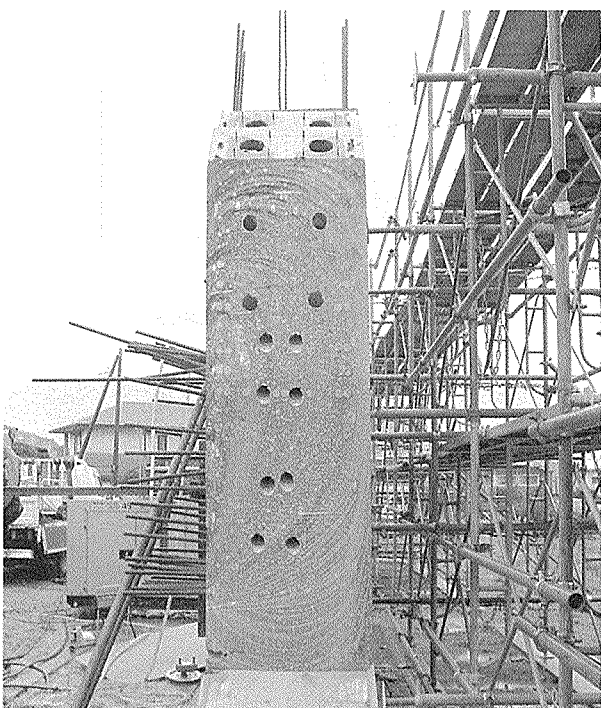


写真-5 コンクリートの充填状況の確認(ワイヤーソーで断面を切断)



写真-6 クレーンによる鉄筋ブロックの架設

抑えることができた。また、“準高流動コンクリート”は、パイプレーターを使用することにより、材料分離も見られず、鉄筋の周囲および型枠のすみずみまで密実に充填できることが確認できた(写真-5)。

(2) 施工ブロック割

斜材、吊材の施工ブロック割を図-8に示す。斜材のコ

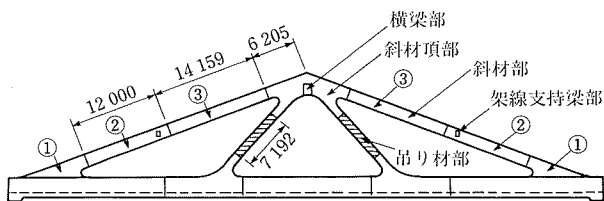


図-8 斜材、吊材コンクリートブロック割

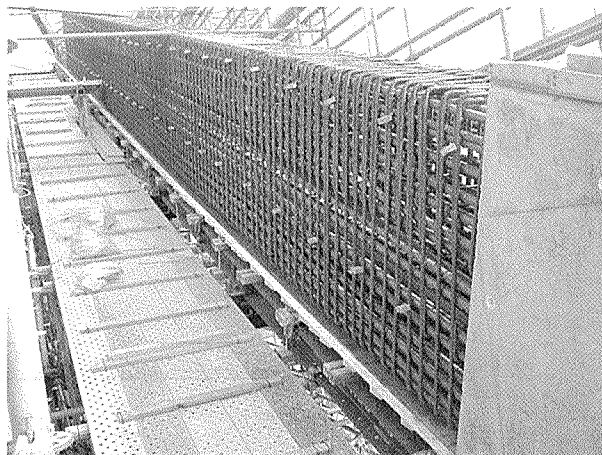


写真-7 斜材鉄筋組立て終了状況



写真-8 半透明の型枠を使用したコンクリート充填の確認状況

3.3 プレストレスト工

(1) 主桁、吊材

主桁、吊材のケーブル配置は、主桁橋軸方向には 12 S 15.2 mm が 38 ケーブル、主桁橋軸直角方向には 12 V 12.7 mm が 127 ケーブル (700 mm ピッチ)、吊材には 1 断面あたり 12 S 15.2 mm が 8 ケーブルである。図 - 9 に主桁橋軸方向および吊材のケーブル配置を示す。図 - 10 は、ケーブル緊張順序である。最初に主桁のひび割れ防止の 1 次緊張として、主桁コンクリート打設後、斜材、吊材の施工が完了する前に、床版部の橋軸方向ケーブル 6 本と、横締めケーブル 28 本の緊張を行った。残りの全ケーブルは、構造系が完成した後に緊張したが、この際には、主桁橋軸方向の曲げ上げケーブル (吊材との接合部で上縁側に曲げ上げられているケーブル) により、支保工に過大な下向きの力が作用しないよう、主桁橋軸方向ケーブルと吊材ケーブルを交互に緊張した。グラウトは、ノンフリージングの粘性型を使用し、グラウトキャップを取り外して充填状況を確認したのち (写真 - 9) に切り欠き部の後埋めコンクリートを打設した。

(2) 部材接合部の補強鋼材

主桁と吊材、主桁と斜材および斜材頂部の吊材と斜材の接合箇所には、局所的な引張応力に対する応力度改善を目的として補強 PC 鋼材を配置した (図 - 9)。PC 鋼材としては、JR 東日本では、原則的にグラウトタイプの鉛直締め

PC 鋼棒の使用を禁止しており、今回はプレグラウトタイプの PC 鋼材 (1 S 28.6 mm) を使用した (写真 - 10)。本橋で

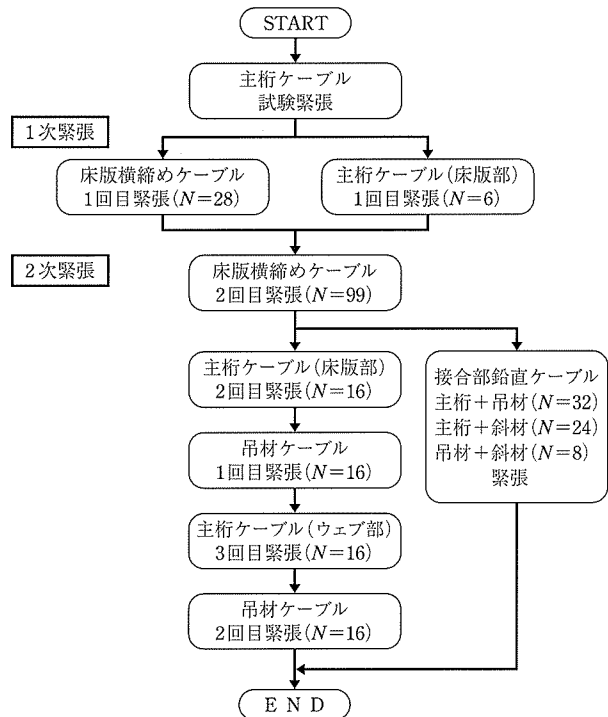


図 - 10 PC ケーブル緊張順序

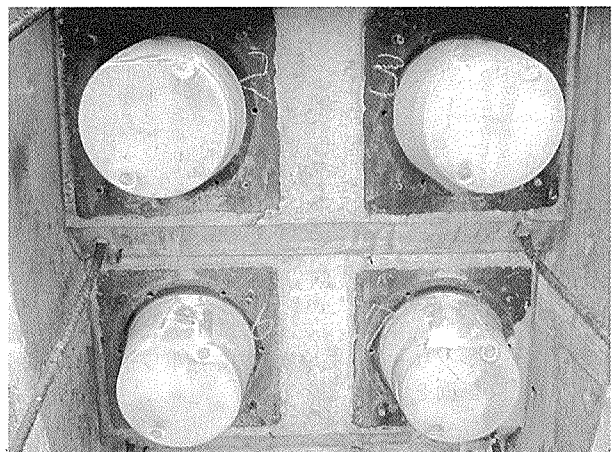


写真-9 グラウトの充填確認 (グラウトキャップ取り外し後)

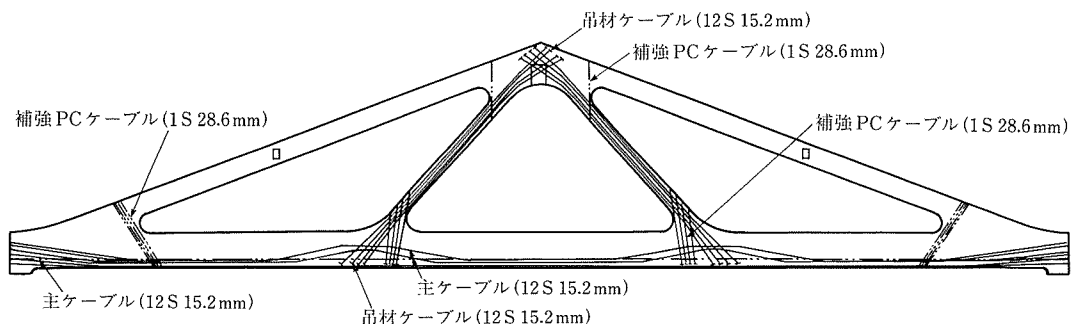


図 - 9 主桁・吊材 PC ケーブル配置

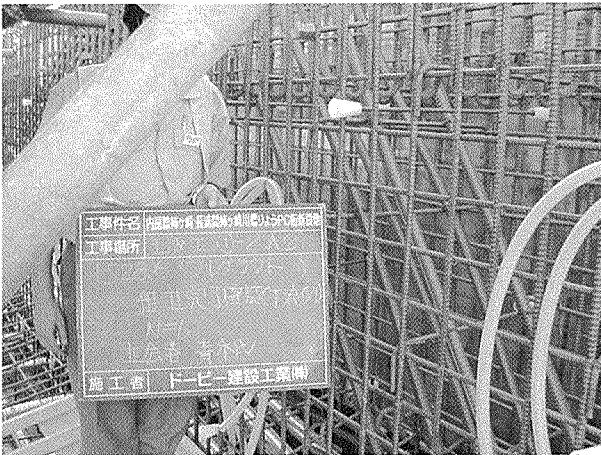


写真 - 10 プレグラウト PC 鋼材配置状況

は、プレグラウト鋼材が配置される主桁と、斜材、吊材のコンクリート材齢差が大きく、鋼材を部材に配置してから実際に緊張するまでに4~5ヶ月近くの時間が経過する。また、セメント量が多く水和熱の高い高強度コンクリートを使用している。そのため、プレグラウト鋼材としては、硬化が水和熱に影響されにくい湿気硬化型エポキシ樹脂を用いた超遅延型を採用した。その結果、材齢差が大きい部材間でも、とくに問題なくプレグラウト鋼材の施工ができた。

3.4 橋面工

橋梁上の軌道構造は、弾性バラスト軌道を採用している。この軌道構造は、PC マクラギを、ゴム支承を介して台座コンクリート、橋梁床版で直接支持する構造で、近年、新設する高架橋や橋梁で一般的に用いられているものである。今回は、新たに開発したπ型のマクラギを用いた。このマクラギは、供用開始後もマクラギを持ち上げて、レールの高さを調整できるように開発したもので、元来は盛土区間での使用を目的として開発したものであるが、今回は、桁のクリープ変形(下がり)が設計値よりも大きく発生した場合にでもレール高さ調整に対応できるように、この形式のマクラギを採用した。施工は、軌きょう(レール、マクラギ)を所定の高さにセットしたのち、台座コンクリートを打設した。写真 - 11 に軌きょう組立て状況、写真 - 12

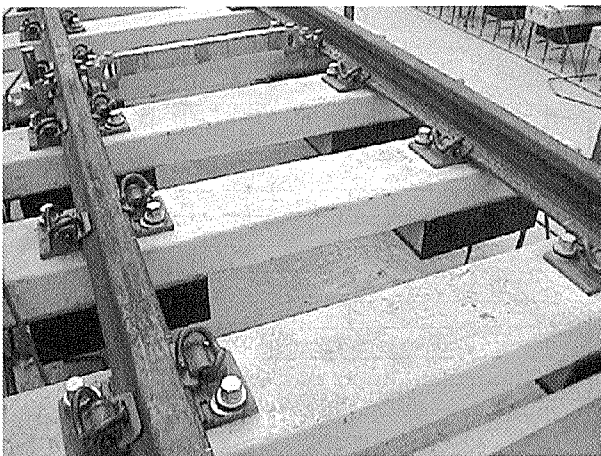


写真 - 11 軌きょう組立て状況

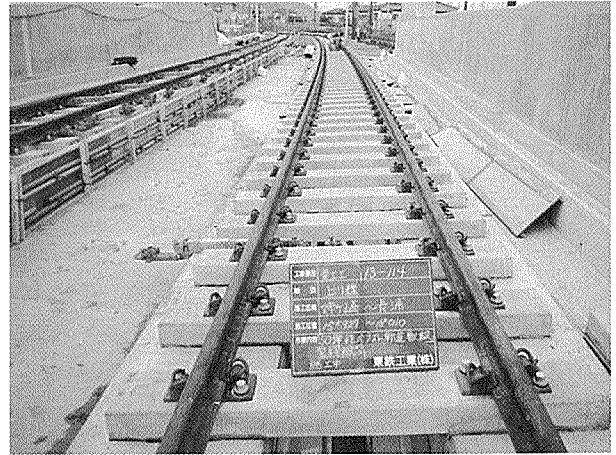


写真 - 12 台座コンクリート打設後の状況

に台座コンクリート打設終了後の状況を示す。

3.5 塗装工

本橋は、海岸線に比較的近く、近隣が工業地帯という立地であるため、耐久性に考慮し、かぶりを50mmとしている²⁾が、さらに耐久性を向上させるために、主としてメンテナンスが困難な部位には表面塗装を施工した。塗装の範囲は、斜材、吊材、横梁、架線支持梁が部材全周、主桁はウェブ上面および外面である(図 - 11)。表 - 5 に塗装の仕様を示す。なお、塗装を施工するにあたり、斜材・吊材の天端については、エアだまり等の処理を確実にし、付着性を高めるためバキューム・ブラスト工法にてコンクリート表面を研削処理し(写真 - 13)、塗装材はローラーにて塗布した(写真 - 14)。

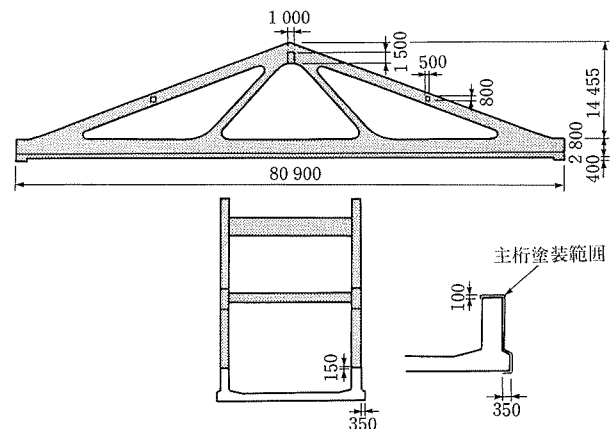


図 - 11 塗装範囲

表 - 5 塗装仕様

| 層 | 材 料 | 塗布量(kg/m ²) |
|----------|------------------|-------------------------|
| プライマー | 潜在硬化型一液エポキシプライマー | 0.15 |
| 表面保護材下塗り | 無機弾性材(ポリマー) | 1.0 |
| 表面保護材上塗り | 無機弾性材(ポリマー) | 0.5 |
| 仕上げ材下塗り | 弾性水性アクリル塗料 | 0.15 |
| 仕上げ材上塗り | 弾性水性アクリル塗料 | 0.15 |



写真 - 13 バキューム・ブラスト工法による表面処理状況



写真 - 14 ローラーによる塗料の塗布状況

3.6 生コンクリートの施工管理

JR 東日本では、コンクリート構造物の品質確保のため、現場到着時の生コンクリートの静電容量方式による単位水量測定を、その品質管理項目として採用している³⁾。ここでは、本橋での実施例(写真 - 15, 16)を紹介する⁴⁾。図 - 12 は、単位水量の測定の流れとその所要時間の実績である。単位水量の測定試験は、打設当日の打ち込み開始前に1回、以後、1時間を越えるごとに1回行うこととしている。表 - 6 は、本橋で用いたコンクリートの打設数量、コンクリート配合および単位水量試験の判定基準である。ここで、単位水量の測定値が表中の警告値を超えると、改善を生コンクリートプラントに指示し、それ以後は、水分測定値が警告値以下となるまで、生コンクリート運搬車全車に対して水分量測定を行うこととしている。また、測定値が許容値を超過したコンクリートは打設しないこととしている。図 - 13 は、単位水量の測定結果である。今回の工事では、許容値を超えることはなかったが、主桁1ブロックの第3回目～第5回目、斜材1ブロックの第1回目および斜材2ブロックの第2回目の計5回の測定値が警告値を超える結果となった。しかしながら、これらについても、生コンクリートプラントに是正を求めることで、単位水量は改善される傾向にあった。測定記録全体としては、とくに顕著な傾

向はあらわれなかったが、単位水量を測定すること自体には、品質を確保するために重要かつ大きな効果があると考えている。

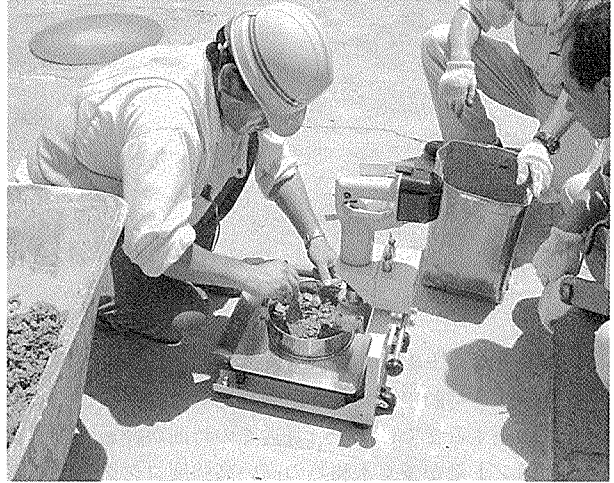


写真 - 15 水分測定用試料採取状況(ウェットスクリーニング)

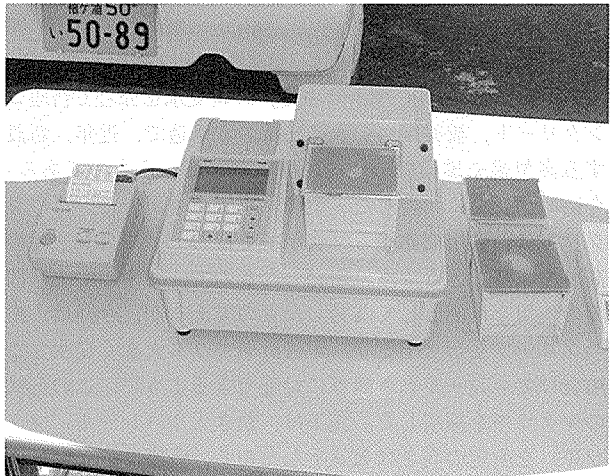


写真 - 16 水分量測定状況

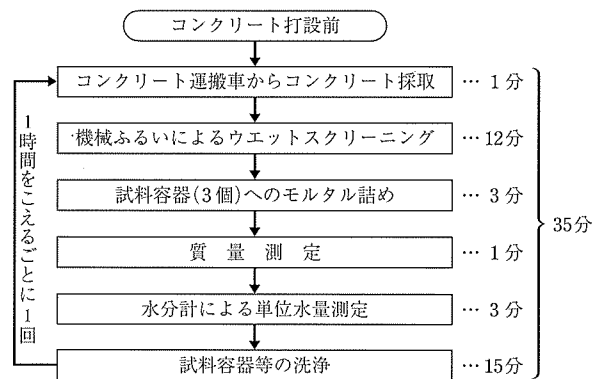


図 - 12 単位水量測定フローと所要時間実績

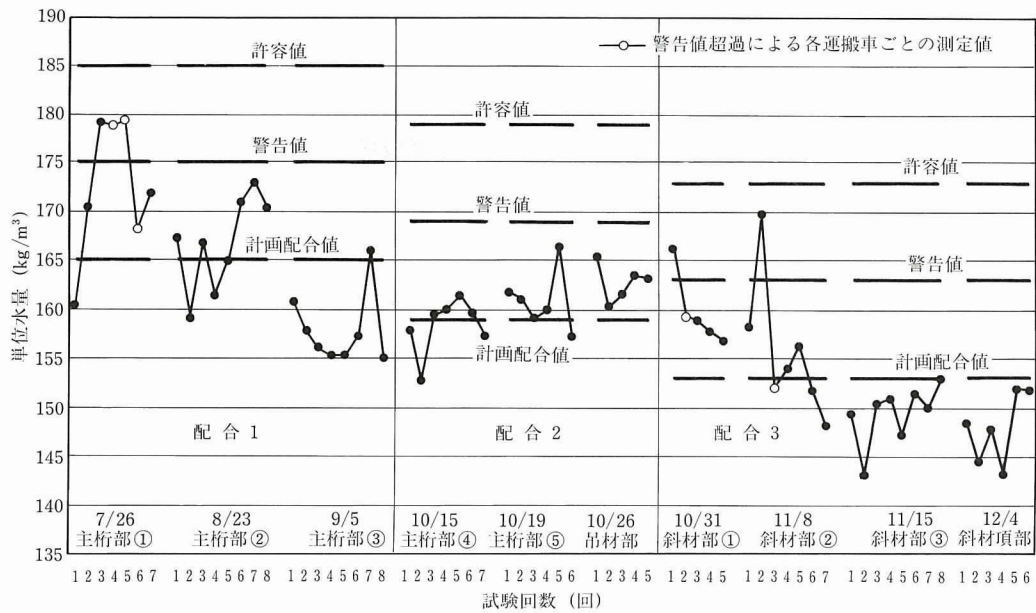


図 - 13 単位水量測定結果

表 - 6 コンクリート打設数量・配合および単位水量の判定基準

| 配合 | 部 材 | 打設数量 (m³) | 単位水量 (kg/m³) | | | 記 事 |
|----|------|-----------|--------------|-----|-----|---|
| | | | 計画配合値 | 警告値 | 許容値 | |
| 1 | 主桁部① | 206.6 | 165 | 175 | 185 | ・粗骨材最大寸法 20 mm ・スランプ 8 cm ・夏期配合 |
| | 主桁部② | 254.0 | | | | |
| | 主桁部③ | 254.0 | | | | |
| 2 | 主桁部④ | 129.7 | 159 | 169 | 179 | ・粗骨材最大寸法 20 mm ・スランプ 8 cm |
| | 主桁部⑤ | 129.7 | | | | |
| | 吊材 | 27.2 | | | | |
| 3 | 斜材部① | 39.5 | 153 | 163 | 173 | ・粗骨材最大寸法 20 mm ・スランプフロー 45 cm ・準高流動コンクリート |
| | 斜材部② | 69.8 | | | | |
| | 斜材部③ | 75.1 | | | | |
| | 斜材頂部 | 65.0 | | | | |

警告値：承諾した配合の単位水量に 10 kg/m³ を加えた値、または単位水量の上限値のうち小さい方の値
 許容値：承諾した配合の単位水量に 20 kg/m³ を加えた値、または単位水量の上限値に 10 kg/m³ を加えた値のうち小さい方の値
 *単位水量の上限値：水中コンクリートを除き、粗骨材の最大寸法が 20~25 mm の場合 175 kg/m³、40 mm の場合 165 kg/m³

4. おわりに

内房線姉ヶ崎川橋梁について、上部工の施工を中心に報告した。本橋梁は、PC 単純斜吊橋という鉄道橋としては国内で初めての新しい構造形式であるが、スパン 80 m 程度の 1 スパンの PC 橋としては、ランガータイプと並んで、今後ともこの構造形式が適用される可能性があると考えている。この橋梁では、斜材、吊材が 1 箇所集中するため、その接合箇所での鋼材配置が非常に複雑となるが、今回の施工では、コンクリートの配合検討、実物大打設試験等を行うことでよりよい施工ができたと考えている。しかしながら一方では、より合理的な施工のためには、この斜材頂部の部材接合箇所での鋼材配置等に今後の改善の余地があるものと思われる。

写真 - 17 は、供用開始後の橋梁の状況である。都市郊外に立地する橋梁としては、景観的にも非常に映える橋梁が施工できたと考えている。最後に、本報告が今後の同種工事の計画・設計・施工の一助となれば幸いである。



写真 - 17 使用開始後の姉ヶ崎川橋梁

謝 辞

斜材コンクリートの配合については、宇都宮大学藤原浩已助教授にご指導いただきました。また、東日本旅客鉄道(株)建設工事事務部構造技術センターの関係各位には、設計・施工全般にわたり指導をいただきました。ここに記して謝辞といたします。なお、本橋梁の下部工（場所打ち杭、橋台）、橋面工（軌道敷設）は、東鉄工業(株)の施工である。

参 考 文 献

- 1) 青木大地, 柳原雅樹, 津吉毅, 鎌田則夫; 内房線姉ヶ崎橋梁の設計, プレストレストコンクリート, Vol.43, No.5, 2001年9月
- 2) 鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物; 運輸省鉄道局監修, 鉄道総合技術研究所編, 1992年
- 3) 菅野貴浩; JR 東日本におけるコンクリート構造物の長寿命化への取り組み, コンクリート工学 Vol.40, No.5, 2002年5月
- 4) 青木秀太郎, 柳原勝信, 津吉毅, 柳原雅樹; PC 橋りょう工事におけるコンクリートの単位水量試験結果について, 土木学会全国大会, 2002.9

【2002年7月24日受付】