

(89) 一谷橋の施工報告(プレグラウトPC鋼材の柱頭部への適用例)

JH名古屋建設局白鳥工事事務所 工事長 辻 吉康
 一谷橋(PC上部工) 工事作業所 所長 牧本 芳明
 ピーシー橋梁(株) 名古屋支店 技術課 ○佐藤 益弘
 (株)鴻池組 土木本部 技術部 棚橋 克哉

1. はじめに

一谷橋(PC上部工)工事は、愛知県と富山県を結ぶ東海北陸自動車道の岐阜県郡上郡高鷲村に建設される一谷橋(PC3径間連続ラーメン箱桁橋)と西洞橋(PC2径間連続ラーメン箱桁橋)であり、架設工法は張り出し架設工法である。本工事の特徴としては、上部構造の軽量化、作業の省力化およびコスト縮減の一貫として内外ケーブル併用方式の採用と従来は打設時の硬化熱の問題から、床版横締めのみを採用されていたプレグラウトPC鋼材(1S28.6)を端横桁および柱頭部の横締めを採用した点である。また、橋脚施工においても従来の構造とは違い施工の合理化、省力化を目指し、一谷橋はプレキャスト版型枠(以下PCa版型枠)工法を、西洞橋は橋脚内部に鋼製エレメントを配置した構造である。本文では、端横桁および柱頭部の横締めプレグラウトPC鋼材採用にあたっての温度解析、計測、硬化試験を中心に報告するとともに、各橋脚の柱頭部施工方法や橋脚剛性の評価によるたわみ管理について報告する。

2. 工事概要

| | | |
|------|------------------------------|----------------|
| 工事名 | : 東海北陸自動車道 一谷橋(PC上部工)工事 | |
| 発注者 | : 日本道路公団 名古屋建設局 | |
| 工事箇所 | : 岐阜県郡上郡高鷲村 | |
| 橋梁名 | : 一谷橋 | 西洞橋 |
| 構造形式 | : PC3径間連続ラーメン箱桁橋(非常駐車帯) | PC2径間連続ラーメン箱桁橋 |
| 橋長 | : 198.000 m | 160.000 m |
| 支間割 | : 54.500 m+89.000 m+54.500 m | 2 @ 80.000 m |
| 幅員 | : 11.400 m(非常駐車帯部 13.900 m) | 11.400 m |
| 活荷重 | : B活荷重 | 同左 |
| 横断勾配 | : 6.000~4.440 % | 2.000 % |
| 縦断勾配 | : 3.000 % | 4.000 % |
| 平面線形 | : R=680~A=300 | A=600~R=∞ |

主要材料

コンクリート : $\sigma_{ck} = 400 \text{ kgf/cm}^2$

鉄筋 : SD 345

PC鋼材

| | | | |
|-----|-----------|----------------------------|----------|
| 主方向 | : 内ケーブル | 12S12.7(SWPR7B) | アンダーソン工法 |
| | : 外ケーブル | 19S15.2(SWPR7B) | アンダーソン工法 |
| 横方向 | : 床版 | 1S28.6(プレグラウトPC鋼材 常温2年硬化型) | |
| | : 柱頭部、端横桁 | 1S28.6(プレグラウトPC鋼材 常温3年硬化型) | |

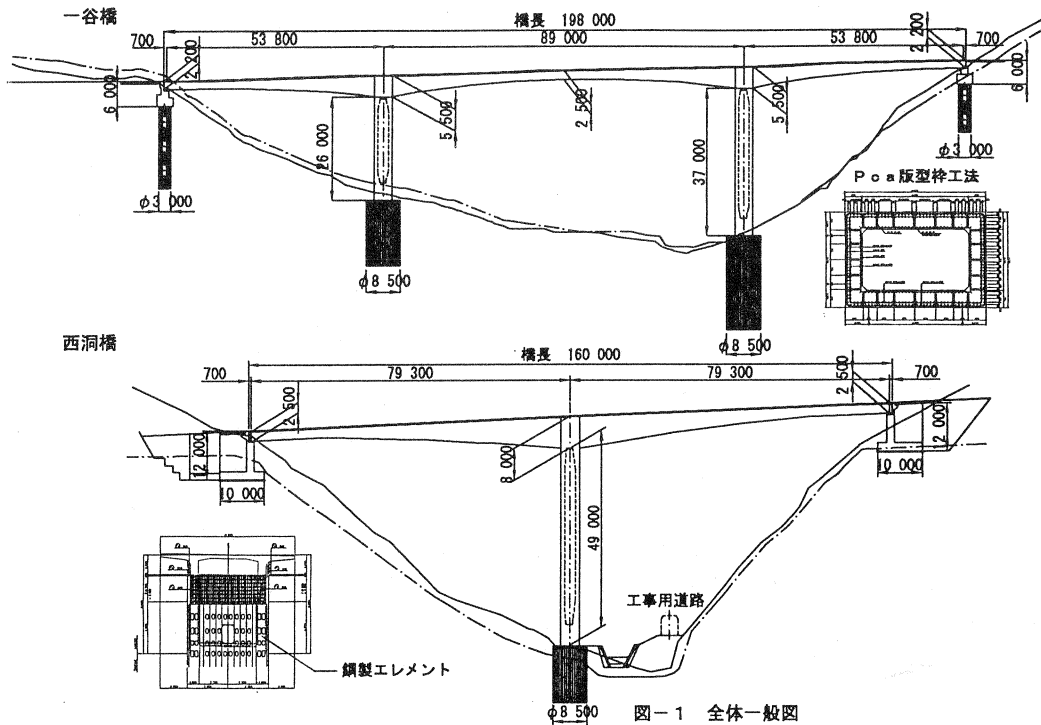


図-1 全体一般図

3. プレグラウトPC鋼材の柱頭部、端横桁への適用

3-1. 概要

プレグラウトPC鋼材(1S28.6)の柱頭部、端横桁の横締めを採用するに当たり、問題となるのは硬化樹脂がコンクリートの水和熱に対して鋭敏な反応を示し、特に硬化熱が高い場合は硬化開始が進行してしまいPC鋼材の緊張作業が不可能という状況が生じる恐れがあるため、PCラーメン箱桁橋の柱頭部等の大断面部材への採用には一部制限が設けられていた。このような中で硬化樹脂の特性を従来タイプ(常温2年硬化型)に比較して、若干遅延化させて高温化における硬化特性の改善を図った常温3年硬化型の柱頭部、端横桁への横締めPC鋼材としての適用を試みるため以下の解析、計測及び試験を行い適用方法などを検証した。

3-2. 適用に関する検討方法

3-2-1. コンクリート打設時の温度解析

温度解析は、マスコンクリートの温度・応力計算用プログラム(日本コンクリート協会)を使用した。

解析に当たり、実施工にあわせるため単位セメント量は現場と同じとし、外気温に関しては柱頭部、端横桁の施工時期が2橋とも11月~12月であったので過去2年間の最高、最低気温を調査し各ロットの打設日の日平均気温を算出し解析用外気温とした。また打設温度は打設時の外気温+5℃とした。

表-1 温度解析条件

| | |
|---------------|---|
| セメントの種類 | 早強ポルトランドセメント |
| 単位セメント量 | 409 kg/m ³ |
| コンクリートの設計基準強度 | 400 kgf/m ² |
| 断熱温度上昇式(※) | $Q(t) = A \times (1 - e^{-(t \times 1)})$ |
| 熱伝導率 | 2.2 kcal/m · h · °C |
| 比熱 | 0.25 kcal/kg · °C |
| 密度 | 2400 kg/m ³ |
| 線膨張係数 | 10 × 10 ⁻⁶ /°C |
| 外気温 | 日平均気温 |
| 打設温度 | 打設時の外気温+5℃ |
| 打設方法(一谷橋 柱頭部) | 2回打設 |
| (一谷橋 端横桁) | 1回打設 |
| (西洞橋 柱頭部) | 3回打設 |
| (西洞橋 端横桁) | 1回打設 |
| 型枠、養生条件 | 合板型枠 7 kcal/m ² · h · °C |

(1) 解析モデル

温度解析は柱頭部、端横桁それぞれについて行い、算出点は各ロットの横締め位置とした。

図-2に解析モデルを示す。

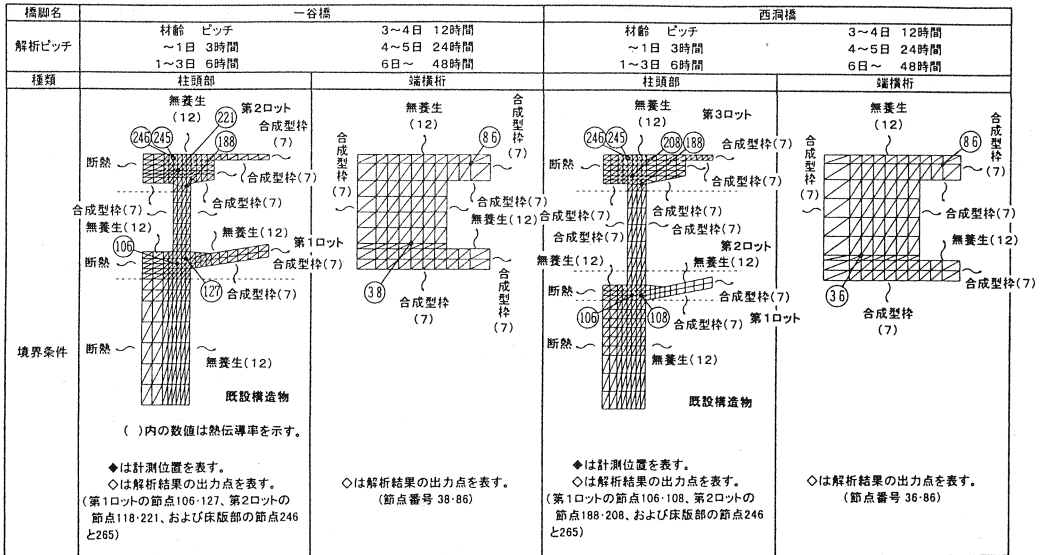


図-2 解析モデル

(2) 温度解析結果および検討

コンクリート温度解析結果の一部を図-3に示す。次に解析結果を基にプレグラウトPC鋼材の硬化予測について検討した。内容は温度解析による温度履歴を基にプレグラウトPC鋼材の緊張可能時間、コンクリート硬化温度の上限温度の予測および保管温度(コンクリート硬化後の仮定温度)15℃がより高い場合の硬化時間に及ぼす影響についての3項目である。以上の検討は住友電気工業(株)特殊線事業部にて行い、硬化予測に当たり常温2年硬化型(A050)と常温3年硬化型(A020)の2種類について比較している。

一谷橋 P1 柱頭部 (第1ロット)

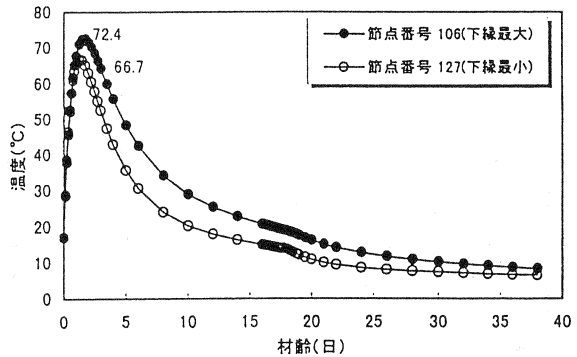


図-3 温度解析結果

なお、設定条件は以下の通りであり、3項目の検討結果は表-2, 3, 4に示す。

温度履歴 : (柱頭部 max 72.4℃、端横桁 max 66.1℃)

保管温度 : 15℃

緊張可能稠度 : 稠度 300 以上

樹脂タイプ : A050 (常温2年硬化型)、A020 (常温3年硬化型)

表-2 緊張可能時間

| | A050 | A020 |
|-----|-------|-------|
| 柱頭部 | 71日後 | 561日後 |
| 端横桁 | 185日後 | 745日後 |

表-3 最大コンクリート硬化温度

| | A050 | A020 |
|-----|-------|--------|
| 柱頭部 | +1℃まで | +12℃まで |
| 端横桁 | +8℃まで | +19℃まで |

表-4 保管温度の影響

| 保管温度(℃) | A050 | A020 |
|---------|-------|--------|
| 15 | 596日後 | 1029日後 |
| 16 | 515日後 | 922日後 |
| 20 | 357日後 | 622日後 |

(3) 適用方法

前項の硬化予測より、実際のコンクリート打設日の外気温は、解析で用いた温度に対して変動があり、また生コンプラントのセメントにより断熱上昇式の定数が多少異なることを考慮すると、最も硬化温度が上昇する一谷橋P1柱頭部下縁(図-3)において、常温2年硬化型(A050)においては解析温度の余裕が最大72.4℃に対して+1℃しかないため柱頭部の横締めには使用することは不適当と推定され、解析温度の余裕が+12℃である常温3年硬化型(A020)では緊張作業には問題ないとする。また温度上昇が小さい一谷橋P2柱頭部上縁(最大39.0℃)でも保管温度が20℃であれば2年後の供用開始時に硬化していると推定され、本橋において柱頭部及び端横桁の横締めには常温3年硬化型のプレグラウトPC鋼材を使用した。

3-2-2. 実橋温度計測

柱頭部打設時の温度に対する検証は、温度計測装置を3柱頭部(一谷橋P1,P2,西洞橋P1)の計6測点とし、コンクリート打設時以降の温度変動の測定を行った。

(1) 温度計測結果

各柱頭部における最高温度および外気温の比較を表-5に示す。温度計測で得られた実測値が温度解析値よりも若干小さくなっているが、これは実際の外気温が温度解析に用いたものより低かったためと思われる、温度解析値は妥当であったと推定される。図-4は解析値と実測値の温度履歴グラフを示す。

表-5 温度計測結果

| 柱頭部 | ロット名 | 打設日 | 最高温度 (°C) | | 外気温 (°C) | |
|-------|-------|-------|-----------|------|----------|------|
| | | | 実測値 | 解析値 | 実測値 | 解析値 |
| 一谷橋P1 | 第1ロット | 11/5 | 66.0 | 72.4 | 8.0 | 12.0 |
| 一谷橋P2 | 第1ロット | 11/20 | 65.0 | 71.3 | 5.0 | 11.0 |
| 西洞橋P1 | 第1ロット | 11/14 | 67.0 | 71.3 | 8.5 | 10.0 |

一谷橋P1柱頭部 第1ロット

一谷橋P2柱頭部 第1ロット

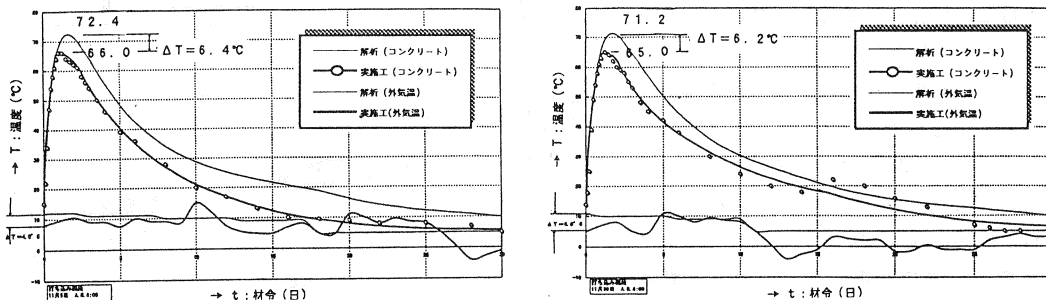


図-4 実測値と解析値の温度履歴

3-2-3. 硬化試験

(1) 目的

柱頭部に使用した「常温3年硬化型」の硬化状態を確認するためには、実施工に使用したプレグラウトPC鋼材を抜き取ることが考えられるが、非現実的であるので、本工事では実施工時の温度履歴を試験室で強制的に与え、その後に構造物に配置されているPC鋼材と同等の外気温変動を与えるため現場にて保管して、竣工日より約一ヶ月前に各種試験によりエポキシ樹脂の硬化状態を確認する。

(2) 試験項目

- 稠度試験 (JIS K 2220) → ステンレス容器試験体
- 圧縮強度試験 (JIS K 6911) → ステンレス容器試験体
- 目視による硬化試験 → プレグラウトPC鋼材試験体

(3) 試験体

ステンレス容器にエポキシ樹脂を入れた試験体

常温3年硬化型(A020) 4体

常温2年硬化型(A050) 4体

プレグラウトPC鋼材試験体

本工事で使用したもの(1S28.6)と同一で、長さはL=50cmとする。

常温3年硬化型(A020) 4体

常温2年硬化型(A050) 4体

試験体はそれぞれ実施工時と同じ温度履歴を与え、現場にて保管することにより、実施工で使用されたプレグラウトPC鋼材の再現を図る。

(4) 試験結果

1) 促進硬化試験結果

表-6 供試体

| 供試体 | プレグラウトの樹脂タイプ | 温度履歴タイプ | | 備考 |
|-----|-------------------|------------|----------|------|
| | | 温度履歴の対象 | Tmax(°C) | |
| N01 | A-020 特別仕様(3年硬化型) | 一谷橋P1第1ロット | 66.0 | 本工区用 |
| N02 | A-050 暑中タイフ | 一谷橋P1第2ロット | 39.0 | 比較材 |
| N03 | A-020 特別仕様(3年硬化型) | 一谷橋P1第1ロット | 66.0 | 本工区用 |
| N04 | A-050 暑中タイフ | 一谷橋P1第2ロット | 39.0 | 比較材 |
| N05 | A-020 特別仕様(3年硬化型) | 温度履歴付与せず | ハージン | 指標材 |
| N06 | A-050 暑中タイフ | 温度履歴付与せず | ハージン | 指標材 |

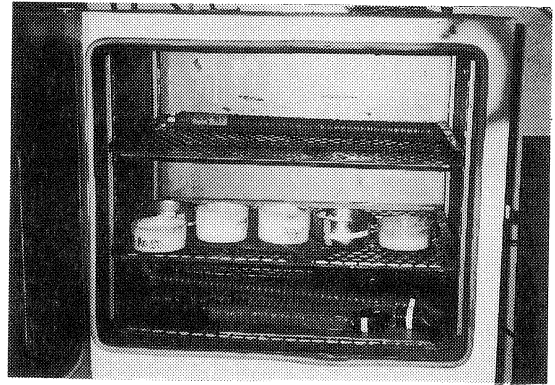


写真-1 促進硬化試験状況

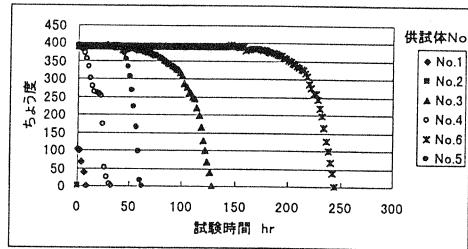


図-5 硬化試験結果

2) エポキシ樹脂の圧縮強度試験結果を表-7に示す。

表-7 圧縮強度試験結果

| 供試体 | プレグラウトの樹脂 | 温度履歴タイプ | | 圧縮強度 (N/m ²) | | | | 規 規 値 | 判 程 |
|-----|-------------|------------|----------|--------------------------|----------------|----------------|-----|-------------|--------|
| | | 温度履歴の対象 | Tmax(°C) | X ₁ | X ₂ | X ₃ | 平均 | | |
| N01 | A-020 特別仕様 | 一谷橋P1第1ロット | 66.0 | 105 | 106 | 105 | 105 | 70 以上 | OK |
| N02 | A-050 暑中タイフ | 一谷橋P1第2ロット | 39.0 | 114 | 111 | 112 | 112 | | OK |
| N03 | A-020 特別仕様 | 一谷橋P1第1ロット | 66.0 | 102 | 100 | 103 | 102 | | OK |
| N04 | A-050 暑中タイフ | 一谷橋P1第2ロット | 39.0 | 109 | 107 | 105 | 107 | | OK |
| N05 | A-020 特別仕様 | 温度履歴付与せず | ハージン | 104 | 101 | 102 | 102 | | OK |
| N06 | A-050 暑中タイフ | 温度履歴付与せず | ハージン | 102 | 102 | 99 | 101 | | OK |

3-3. 考察

実橋の温度計測データによれば実測値と解析値では、およそ5°C程度の温度差の範囲であることが確認できた。さらにそのデータを基に各試験体に実施工と同様な温度履歴を与え、硬化度試験や圧縮強度試験結果により硬化の確認が実証されたと思われる。また、今後は温度解析が80°C以下となるような部材であれば常温3年硬化型樹脂を使用したプレグラウトPC鋼材の適用が可能であると推定され、硬化も若干遅れるが確実に硬化すると思われる。

4. 柱頭部の施工およびたわみ管理

4-1. 概要

2橋の橋脚構造は新工法であり一谷橋はPCa版型枠工法、西洞橋は鋼製エレメントを橋脚内部に配置した構造形式である。PCa版型枠工法とは、RC橋脚施工での型枠をプレキャスト版($\sigma_{ck}=500\text{kgf/cm}^2$)を用いての施工であり、鋼製エレメント構造は、鉄筋を鋼製エレメントに置き換えた構造であり両工法とも施工の合理化、省力化および工期短縮を進めたものである。

4-2. 柱頭部の施工

(1) 一谷橋

写真-2に引き渡し時点での柱頭部天端を示す。

柱頭部に関しては従来とほぼ同じように施工可能であるがPCa版を使用しているため、PCa版製作前に柱頭部支保工ブラケット用箱抜き位置については入念に打ち合わせを行った。

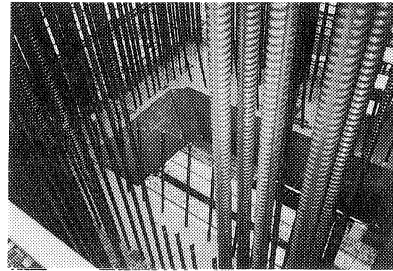


写真-2 柱頭部（一谷橋）

(2) 西洞橋

写真-3に鋼製エレメント配置状況を示す。

柱頭部の鉄筋組み立てに当たり、スターラップ及び通し筋との取り合いを考えながら、鉄筋組み立ての順序を含めた施工方法を、設計と施工側の両方で打ち合わせを行いながら検討した。また、ウェブ通し筋については上部工の配筋位置が決定した時点で鋼製エレメントに通し筋用孔をあけて貫通させた。

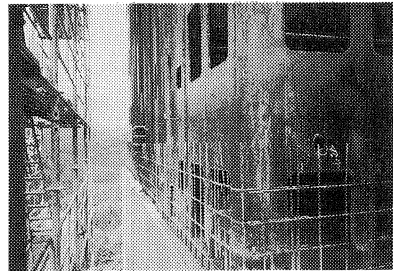
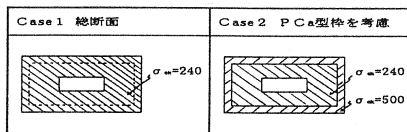


写真-3 柱頭部（西洞橋）

4-3. たわみ管理

張り出し施工において施工時の上げ越し管理が非常に重要となるため、たわみ量算出時の橋脚剛性についてそれぞれ以下の2ケースにて比較し、一谷橋ではCASE-1(総断面)で行い、西洞橋では鋼製エレメントの影響を考慮したCASE-2(エレメント考慮)で行った。2橋とも、たわみ量についてはほぼ計算値どおりの値となり、無事に閉合でき橋脚剛性の評価として適当であると思われる。

一谷橋



西洞橋

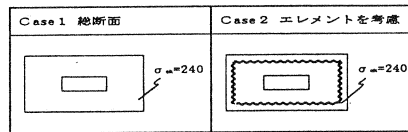


図-6 橋脚剛性の評価方法

5. おわりに

本橋は、端横桁および柱頭部の横締めプレグラウトPC鋼材(常温3年硬化型樹脂)を採用するに当たり各種解析、計測、試験により適用が可能であることが検証できたことは、本報告が今後、柱頭部などの大断面へのプレグラウトPC鋼材の適用性についての一助となれば幸いである。最後に、本橋の施工に当たり多大なご指導・御尽力を賜った関係各位に深く感謝の意を表する次第であります。