

上分2号橋 (2径間連続PCUコンポ橋) の設計・製造

(株) I H I インフラ建設 正会員 ○西口 裕之
 徳島県県土整備部東部県土整備局 中西 誠久
 (株) I H I インフラ建設 山村 繁雄
 (株) I H I インフラ建設 正会員 廣井 幸夫

キーワード: PCUコンポ橋, 外ケーブル, プレキャストセグメント

1. はじめに

本橋は、徳島県名西郡神山町に架橋される2径間連続PCUコンポ橋である。本橋では、横桁部にて大容量の外ケーブル(19S15.2)が、上床版がない状態の断面(U形断面)および場所打ち床版打設後の合成断面時に緊張される。U形断面時に緊張する際、合成断面時の緊張と比較して、横桁部に付加的な引張応力が生じることが懸念された。そこで、各緊張時期において3次元FEM解析を行うことにより、横桁部に発生する引張応力を確認し、補強方法の検討を行った。また、本橋は、桁高が2.770mと高く、かつ、端部セグメントは複雑かつ高密度配筋である。よって、プレキャストセグメントを製造するにあたり、施工性および品質を向上させるための対策が必要であった。

本稿は横桁部3次元FEM解析およびプレキャストセグメントの製造に関する対策について報告する。

2. 橋梁概要

PCUコンポ橋は、I断面のコンポ橋と比較して主桁の剛性が高く、内・外ケーブル併用が可能であるため、より長支間の橋梁に対応できる。主桁は、プレキャストPC板を用いた場所打ち床版との合成構造である。

本橋の橋梁諸元を表-1、側面図を図-1に主桁断面図を図-2にそれぞれ示す。

表-1 上分2号橋の諸元

| | |
|------|---|
| 構造形式 | 2径間連続PCUコンポ橋 |
| 橋長 | 75.000m |
| 支間長 | 47.050m + 27.050m |
| 全幅員 | 9.200m |
| 平面線形 | A=75 ~ R=∞ |
| 横断線形 | 4.1% ↘ ~ 1.5% ↘ |
| 使用材料 | 主桁・横桁コンクリート $\sigma_{ck}=50\text{N/mm}^2$ |
| | 主桁内ケーブル 12S12.7 |
| | 主桁外ケーブル 19S15.2 |

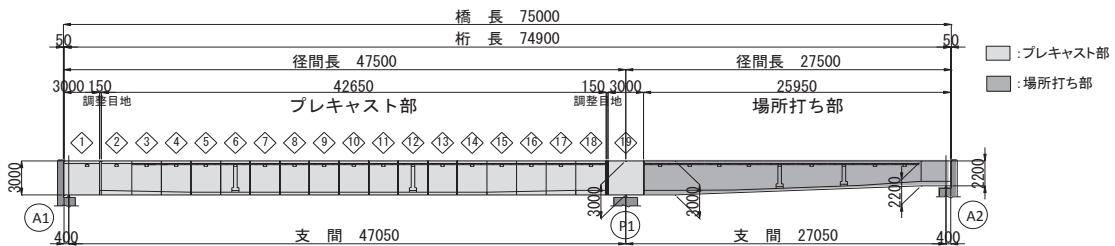


図-1 側面図

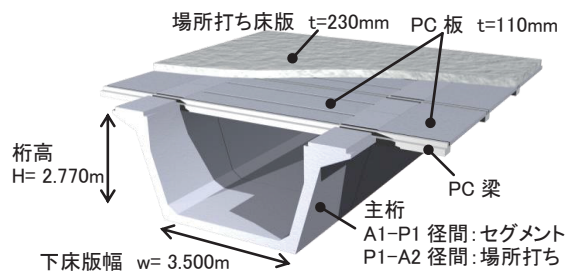


図-2 断面図

3. 横桁部検討フローおよび施工順序

横桁部の検討は、A1, P1, A2の各支点横桁について行った。本稿では、開口部がないA1, A2横桁の内、ケーブルが多く配置されているA1横桁の検討について報告する。ケーブルの緊張力によりA1横桁には、図-3に示す板曲げに類似した変形が生じ、横桁P1側（以後、横桁背面）に引張応力が発生する。さらに、U形断面時に緊張する場合、ウェブと下床版に固定された3辺支持となる。上床版を含めた4辺支持となる合成断面時と比較して、断面上部が支持、拘束されていないことによる付加的な変形および引張応力の発生が懸念されたため、図-4に示す検討を行った。

本橋の施工順序（図-5）は、最初にA1-P1径間のプレキャストセグメントの架設を行い、架設完了後に横桁を打設し、A1-P1径間のPC鋼材（内・外スパンケーブル）の緊張を行う（U形断面）。次に、P1-A2径間の場所打ち部の主桁・横桁コンクリートを打設し、P1-A2径間のPC鋼材（内・外スパンケーブル）およびA1-A2径間の連続ケーブル（1次鋼材、A1-A2径間外ケーブル）の緊張を行う。その後、PC梁およびPC板を敷設し、場所打ち床版を打設する（合成断面）。断面合成後、連続ケーブル（2次鋼材、A1-A2径間外ケーブル）の緊張を行う。この施工順序をふまえ、各緊張時期にて3次元FEM解析を行い、引張応力を足し合わせることで、横桁背面に発生する引張応力の合計値を確認した。橋軸直角方向の引張応力がコンクリート（ $\sigma_{ck}=50\text{N/mm}^2$ ）の引張強度 $f_{tk}=3.12\text{N/mm}^2$ を超過した場合は、横締めPC鋼材種別および本数の検討を行い、プレストレスを導入することによる引張応力の低減を図り、低減した引張応力に対し、鉄筋による補強の検討を行った（図-4）。

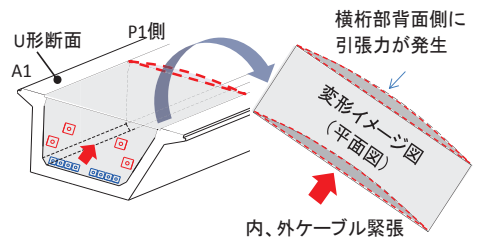


図-3 横桁変形イメージ図

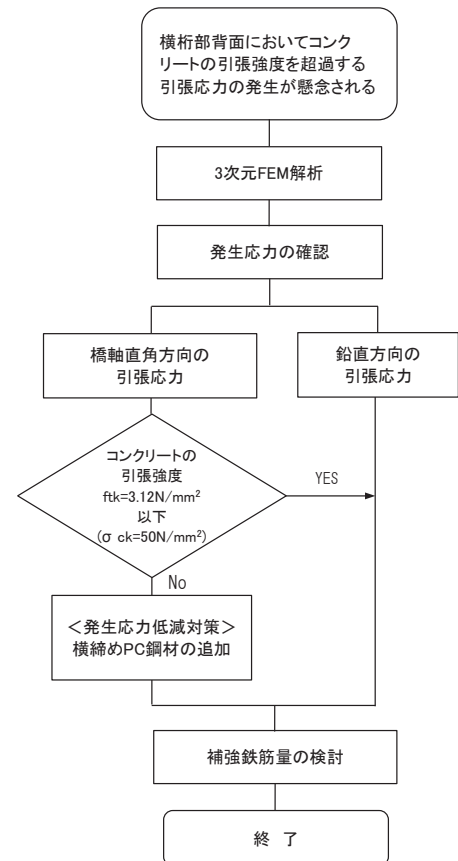


図-4 検討フロー

| STEP-1 (U断面) | A1-P1径間の内・外スパンケーブルの配置・緊張 |
|--|---|
| <p>外ケーブル:19S15.2 N=2本 内ケーブル:12S12.7 N=8本</p> | |
| STEP-2 (U断面) | P1-A2径間の内・外スパンケーブルおよびA1-A2径間の1次鋼材の配置・緊張 |
| <p>外ケーブル:19S15.2 N=2本 連続ケーブル 外ケーブル:19S15.2 N=2本 スパンケーブル 内ケーブル:12S12.7 N=2本</p> | |
| STEP-3 | A1-A2径間のPC梁、PC板の敷設 A1-A2径間の場所打ち床版打設 |
| STEP-4 (合成断面) | A1-A2径間の2次鋼材緊張 |
| <p>外ケーブル:19S15.2 N=2本 連続ケーブル</p> | |

図-5 施工順序

4. 3次元FEM解析モデルおよび結果

解析モデルの橋軸方向の長さは、解析結果に影響をおよぼさない桁高の3倍程度とし、8.8mとした。図-6に解析モデルを示す。

載荷荷重は、内・外ケーブル緊張直後の許容応力度 $0.7\sigma_{pu}$ ($0.7 \times 1850\text{N/mm}^2$) とし、横桁背面に発生する引張応力を確認した。

図-7に A1 横桁部の解析結果 (最大主応力) を示す。外ケーブルの緊張力により、横桁背面の橋軸直角方向に卓越した引張応力が発生した。U 形断面時 (STEP-1, 2, 外ケーブル 4 本) において、コンクリートの引張強度 ($f_{tk}=3.12\text{N/mm}^2$) を超過する引張応力 (3.44N/mm^2) が発生した。

さらに、合成断面時 (STEP-4) に連続ケーブル (2次鋼材, 外ケーブル 2 本) を緊張することにより、引張応力が 4.02N/mm^2 となったが、この STEP-1, 2 からの増分は 0.58N/mm^2 と比較的小さかった。これは、前述のとおり、横桁の支持、拘束条件の影響によるものと考えられる。橋軸直角方向の引張応力低減対策として、横桁背面側に横締め PC 鋼材 (1S28.6) を 8 本配置し、プレストレスを導入することにより、引張応力を 2.76N/mm^2 まで低減した。また、鉛直方向の引張応力およびプレストレス導入後に残留する橋軸直角方向の引張応力に対しては、D16 の鉄筋を格子状に配置した。補強結果を図-8に示す。

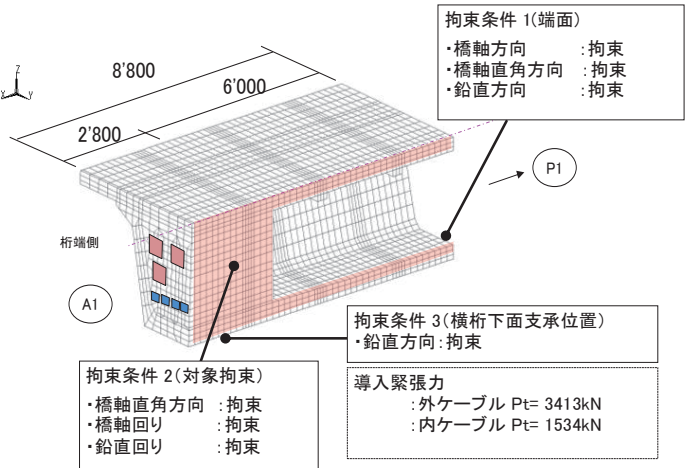


図-6 解析モデル

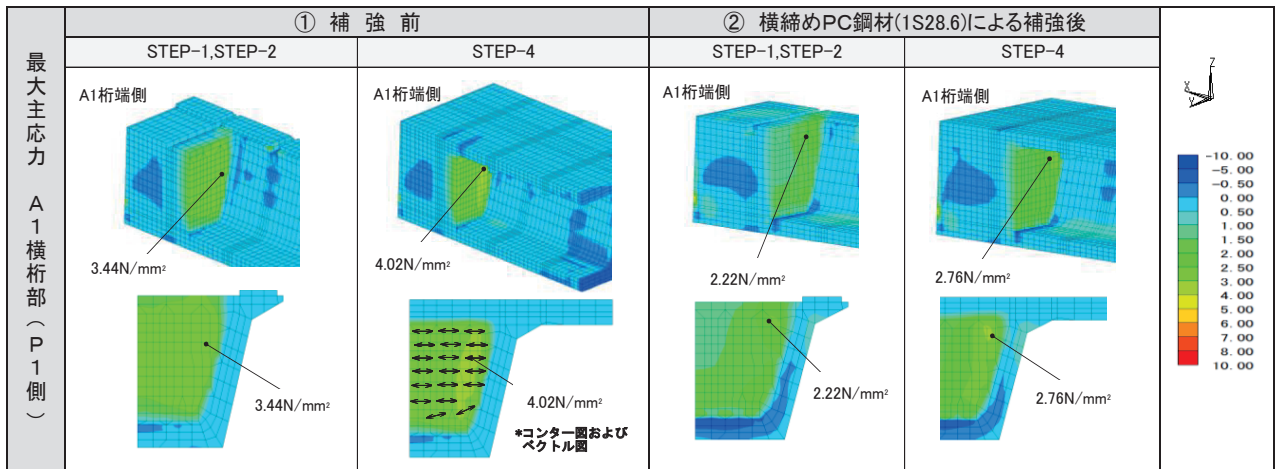


図-7 解析結果 (最大主応力 コンター図)

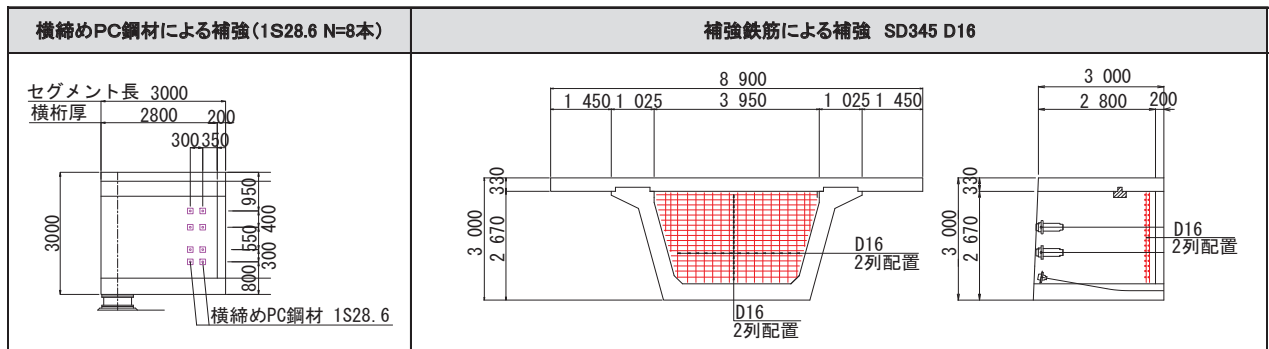


図-8 補強図

5. プレキャストセグメントの製造

工場でのプレキャストセグメントの製造について、以下の施工性向上および品質向上に関する対策を行った。

- ① 鉄筋組立てのプレファブ化 (写真-1)
- ② 高流動コンクリートの採用

桁高が2.770mと高く、太径の鉄筋を使用するため鉄筋質量も重く、作業スペースに制約を受ける型枠内での鉄筋組立ての施工性が懸念された。そこで作業効率向上を目的に、型枠と同形状の鉄筋架台を製作し、鉄筋組立てをプレファブ化した。プレファブ化することにより、作業の効率化が図れ、かつ、他の作業と平行して行えるため、セグメント製造サイクル日数を1日短縮することができた。

本橋のセグメントは、とくに端部セグメントにおいて、鉄筋が複雑かつ高密度に配置されているため、下床版へのコンクリートの充填性が懸念された。したがって、充填性向上対策として高流動コンクリート(スランプフロー値55cm)を採用した。採用するにあたり、試験練りを実施して、混和剤(高性能減水剤)の最適添加量を比較検討した。セメント量に対し、添加量を0.75%、0.80%、0.85%と変化させ比較を行った(写真-2)。結果、目標スランプフロー55cmに対し、最適添加量は0.80%であった。表-2にプレキャストセグメントの製造に使用したコンクリートの配合を示す。この配合にてコンクリート打設を行うことにより、下床版を確実に充填することができた。



写真-1 鉄筋組立てプレファブ化

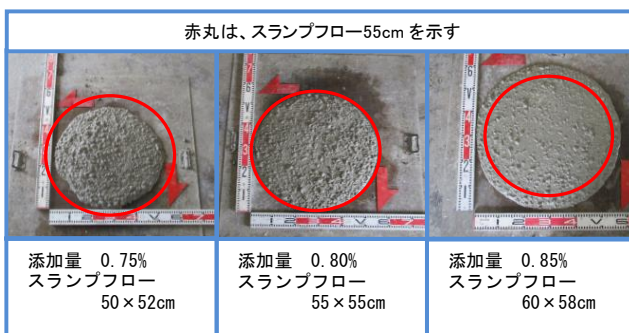


写真-2 スランプフロー

表-2 配合表

| 配合 | スランプフロー (cm) | 水セメント比 W/C (%) | 粗骨材率 S/a (%) | 空気量 (%) | 単 位 量 (kg/m ³) | | | | | |
|-----------|-----------------|-------------------|-----------------|------------|----------------------------|-----------|----------|-----------|-----|------|
| | | | | | 水 W | セメント C | 細骨材 S | 粗骨材 GL | 混和剤 | |
| | | | | | | | | | A1 | A2 |
| 50-55-20H | 55 | 35.6 | 47 | 4.5±1.5 | 165 | 463 | 803 | 919 | 3.7 | 0.03 |

混和剤A1 : 高性能減水剤
混和剤A2 : AE剤

6. おわりに

PCUコンボ橋は、各施工段階に応じて断面形状が異なることから、施工順序をふまえた検討を行う必要がある。本橋において、横桁部の検討で3次元FEM解析を実施することにより、内・外ケーブルの緊張力により横桁部背面に4N/mm²を超える引張応力が生じることを確認した。発生応力の低減対策として横締めPC鋼材(1S28.6)を配置した上で、残りの引張応力に対して補強鉄筋を配置した。現在、プレキャストセグメントの製造を行っているが、各種対策を実施し順調に進んでいる。

最後に、本橋の設計・製造に際し、ご指導、ご協力を賜りました関係各位に厚く感謝の意を表するとともに、本報告がPCUコンボ橋の設計・製造の一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) プレキャストブロック工法 設計施工の手引き (案) 社団法人プレストレストコンクリート建設業協会
- 2) 外ケーブル構造・プレキャストセグメント工法設計施工規準 社団法人プレストレストコンクリート技術協会