

(91) 第二東名高速道路大平高架橋の設計—全外ケーブルによる押し架設工法—

日本道路公団静岡建設局構造技術課

福永靖雄

日本道路公団静岡建設局浜松工事事務所

藤島幸年

オリエンタル建設・川田建設・銭高組 J V 正会員

横山俊夫

オリエンタル建設・川田建設・銭高組 J V 正会員

○石川善信

1. はじめに

大平高架橋は、第二東名高速道路、浜北 I.C～引佐 I.C 間の浜松浜北 S.A 付近に位置し、浜北市道、二級河川「灰の木川」などを跨ぐ、橋長 833m の 13 径間連続 P C 箱桁橋です。

本橋は、分散方式により両橋台からの押し工法による施工を採用し、縦断線形変化点において中央閉合を行う。片側からの押し架設長 490m、押しスパン 64m は国内でも最大規模の橋梁となる。

本橋の大きな特徴としては、27S15.2 の大容量 P C 鋼材、 $\sigma_{ck}=50\text{N/mm}^2$ の高強度コンクリートを用い、製作ヤードに仮支点を 7カ所設けることにより、完成系での全外ケーブル構造による押し工法が可能となったこと、また、床版の補強としてリブ付き床版を採用し、張出し床版長を長くすることにより主桁の重量を軽減させ、押し架設の合理化を図ったことである。

本文は、上り線の設計について報告する。

2. 工事概要

大平高架橋上り線の設計概要を以下に示す。

道路規格：第 1 種第 1 級 A 規格 (V=130Km/h)

活荷重：B 活荷重

構造形式：13 径間連続 P C 箱桁橋

橋長：833.0m (道路中心)

支間：63.1m+11@64.0m+63.1m (道路中心)

有効幅員：16.5m～16.725m

平面線形：R=∞

施工方法：分散方式による押し架設工法

主桁断面図を図-1に平面図を図-2に示す。

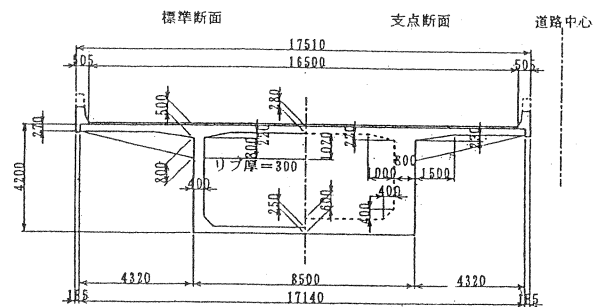


図-1 上り線主桁断面図

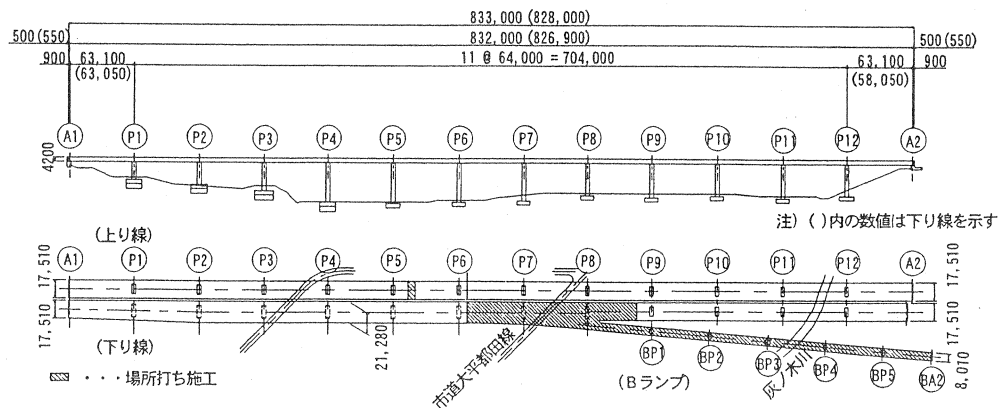


図-2 平面図

3. 全外ケーブル化へ向けての施工方法

全外ケーブルの配置方法として、基本的に2径間毎の中間支点横桁にて外ケーブルを定着する。外ケーブル配置形状は、たすき掛け配置とし、架設完了後に不要となる架設PC鋼材を撤去し完成系PC鋼材を追加配置する。

本橋の場合、両橋台から押出しを行うため、P5~P6径間で中央閉合作業が生じる。従って、押出し先端部には横桁が無い場合外ケーブルの定着は不可能である。そのために、手延べ桁連結鋼材と併用して内ケーブルを配置する。完成時には、外ケーブルが配置されるため、この内ケーブルは、架設完了後にディテンションニングを行い撤去する。

2径間毎の外ケーブル定着を可能にするために、橋台より7ブロック(1ブロック1.6m)後方に製作ヤードを設置した。標準ブロックをRC部材として押出し4ブロック毎の中間支点ブロックにおいて、外ケーブルを配置、緊張する作業内容である。

以下に、押出し架設時の検討上の留意点を列記する。

- ① 製作ヤードの変更、仮支点の増設
- ② 大容量外ケーブル(27S15.2)、押出し時内ケーブル(手延べ桁連結鋼材併用)の使用
- ③ 手延べ桁の剛性(構造に対し、架設鋼材量が最小となる最適断面・剛性を設定)
- ④ 押出し時せん断鋼材の配置(架設完了後はディテンションニング)、斜め引張応力度の設定(許容値 2.2N/mm^2)
- ⑤ 押出し時の主桁許容応力度の設定($-1.8 < \sigma < 20\text{N/mm}^2$ 、連結部 $0 < \sigma < 20\text{N/mm}^2$)

以下に、A1側からの押出し時のケーブル配置図と外ケーブル配置のイメージ図を示す。

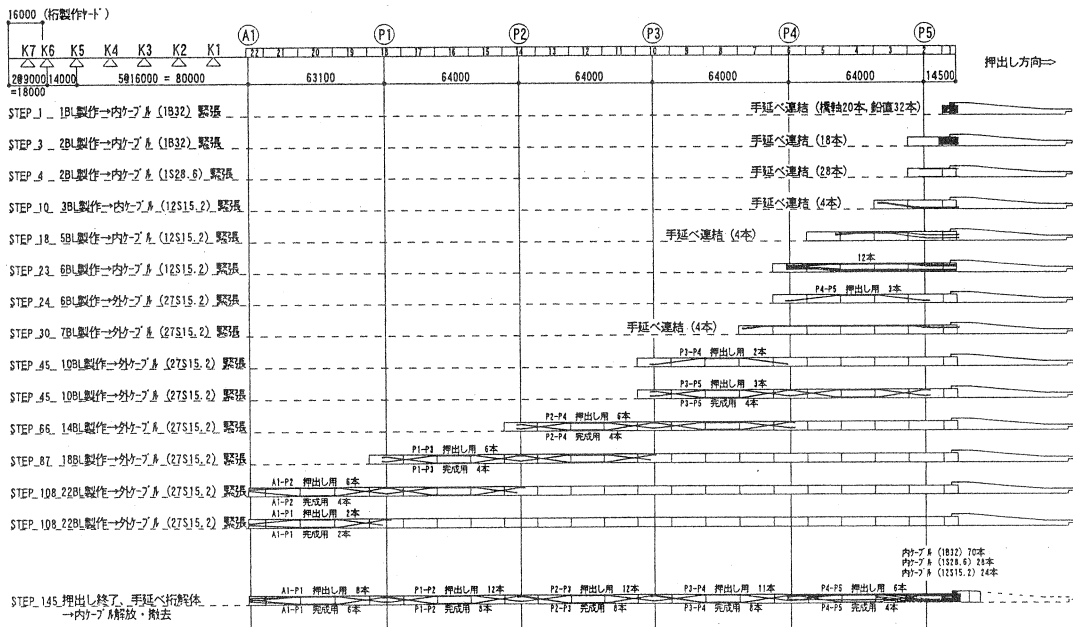


図-3 A1側からの押出し時ケーブル配置図

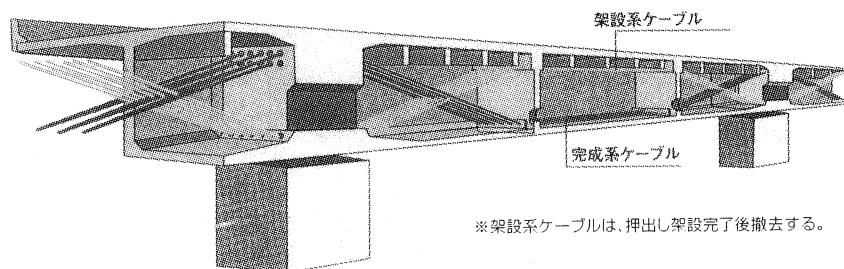


図-4 外ケーブル配置イメージ図

4. PC鋼材の配置

本橋に使用したPC鋼材の種類とその用途について以下に列記する。

①外ケーブル SWPR7BL 27S15.2

押し出し架設用と完成用があり、基本配置は、たすき掛け配置の2径間の支点横桁定着とする。完成用ケーブルは、エポキシケーブルとし、押し出し架設用ケーブルは、緊張後ケーブル接続用カップラーを用い、更にテンドンを延長する。架設完了後に、押し出し架設用ケーブルを全て撤去する。

②内ケーブル SBPR930/1180 φ32, SWPR19L 1S28.6

主桁と手延べ桁の連結用鋼材として配置する。配置は、主桁と手延べの連結面に曲げ引張応力を生じさせなく、連結用PC鋼棒の定着位置は連結面から下フランジ幅の3/4以上離れた位置とした。これら、内ケーブルは、押し出し架設完了後、全数応力解放を行う。

③内ケーブル SWPR7BL 12S15.2

主桁と手延べ桁の連結材を兼ね、架設時に外ケーブルが配置できない先端部に配置する。押し出し架設完了後に、全て撤去する。

④ 横締め鋼材 SWPR19L 1S28.6

床版横締め、横桁横締め、横桁付近下床版横締めには全てプレグラウトPC鋼材を使用する。

⑤主桁せん断鋼材 SBPR930/1180 φ32

押し出し架設時にはせん断鋼材が必要で、設計荷重時には必要ないため、施工時に必要なせん断鋼棒を配置し、架設完了後応力解放を行う。

⑥横桁鉛直鋼材 SWPR19L 1S28.6

外ケーブルを全て横桁で定着するため、横桁部に大きな引張応力が作用する、これを改善する目的で横桁部に鉛直鋼材を配置する。

5. 撤去PC鋼材の再利用方法について

本橋では、押し出し架設時に先端付近に12S15.2の内ケーブルを配置する。また、架設時外ケーブルとして27S15.2を配置する。いずれの鋼材も架設完了後、応力を解放し撤去する。撤去される鋼材の重量は、12S15.2鋼材が63tf、27S15.2鋼材が238tfとなる。撤去されるPC鋼材の再利用方法としては、地覆の主鉄筋、下り線主桁軸方向鉄筋（主にウェブ鉄筋並びに曲げ破壊によって鋼材量が決定する区間に配置する。）、主桁直角方向鉄筋として用いることが考えられる。コンクリートと鋼材の付着の問題を明確にする、撤去されたPC鋼材をいかに錆びさせないかなど今後の課題はあるものの、撤去鋼材を再利用することは可能である。

下り線に関しては、押し出し施工時期のタイムラグにより、本工事において多少の再利用が可能だが、その殆どは、他工事への引き渡ししか、廃棄処分となる。再利用に際し、撤去方法、損傷度の評価、保管場所、保管方法、加工などが今後の検討課題として重要な項目となる。

6. 製作ヤード上でのRC部材時の補強について

本橋では、完成系の全外ケーブル化を図るため、押し出し時における外ケーブルの緊張を径間単位で行っている。そのため、外ケーブルを緊張するまでの間、RC構造での押し出し状態が4ブロック続く。製作ヤードから仮支点を7ヶ設けているため、主荷重である自重による発生断面力は、上下縁の応力度は 1 N/mm^2 以下でありひび割れの心配はない。しかし、本橋の押し出し方法は、分散方式によるため各支点における変位誤差の影響、押し出し後の地盤クリープ沈下の影響により、コンクリート部材特に新旧コンクリート打ち継ぎ目地部にひび割れが生じる危険性があった。将来的には、外ケーブルによりプレストレスを導入するが、一度ひび割れが発生すると、将来的にも床版の水漏れの要因になる可能性が高く、橋梁の耐久性に問題が生じる場合もある。

以上より、押し出し架設中のRC構造状態で予想される変位に起因する発生断面力に対して、架設外ケーブルを用いてプレストレスを導入してひび割れ制御を行う。

以下に、配置に関する条件を列記し配置概要図を示す。

- ①使用する鋼材は、 $\phi 32$ 架設用総ネジPC鋼材とし、外ケーブル構造で、定着はブラケット方式とする。
- ②製作ヤード上のRC構造状態区間のみ配置する。
- ③配置本数は、反力誤差 500KN 程度に相当する曲げモーメント抵抗可能は本数とする（ $N = 10$ 本）。
- ④桁内の外ケーブル（27S15.2）を緊張した時点で、架設用外ケーブルの張力を解放する。
- ⑤ 解放した架設用総ネジPC鋼材は、転用して用いる。

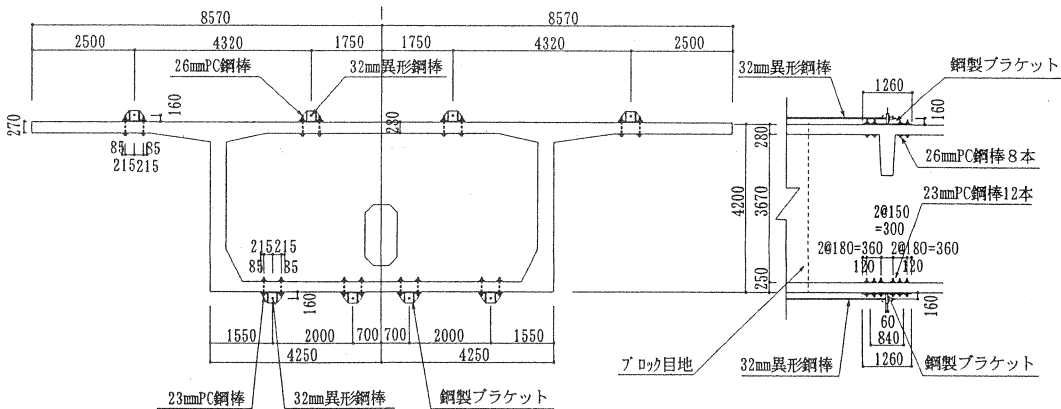


図-5 架設用外ケーブル配置図

7. リブ付き床版の設計

第二東名高速道路の場合、有効幅員が16.5mと広いためPC箱桁橋（1室箱桁橋）においては、張出し床版をリブやストラットにより補強する必要がある。張出し床版を補強することにより、下床版幅の減少が可能となり、主桁の軽量化を図るとともに、橋脚幅を耐震設計上、必要な幅まで縮小することが可能となり、基礎構造まで含めた工費節減効果が期待できる。大平高架橋は、張出し床版の補強方法として、リブ付き床版を採用した。

大平高架橋の張出し床版長は、4.32m、下床版幅は、8.5mと道路橋示方書の範囲を大きく逸脱しているため、検討には全てFEM解析にて行った。作業手順としては、リブ配置間隔およびリブ剛性（リブ寸法の決定）の検討を行い、次に、リブ取付位置の断面力を考慮したウェブの補強、床版の支持機構を考慮したPC床版の設計を行う。

スパン長は 64m で、4 ブロック (L=16m) に分割して押し出しを行うため、リブ配置間隔は製作ブロック内で割り付くように 4.0m とした。張出し床版リブ形状は、中間床版部で決定される P C 鋼材配置間隔と、張出し床版付根で必要となる P C 鋼材配置が一致するリブ剛性とするのが最も経済的である。中間床版部に必要な横締め P C 鋼材は、1S28.6 が 80cm ピッチであり、リブ寸法は、厚さ 30cm、高さ 80cm となった。

張出し床版をリブ補強することにより主桁ウェブ (リブ付け根部) に大きな引張応力が発生する。この引張応力を効果的に改善するために、図-6 に示す 4 タイプの補強方法を提案した。タイプ 1, 2 は、上床版全体を剛にして、ウェブへの曲げを発生させない方法である。タイプ 3, 4 は、ウェブを直接的に補強する方法である。この補強方法によると、ウェブの引張応力は改善されるが、リブに大きな引張応力が発生しひび割れが生じる恐れがあるため、ウェブの曲げ引張応力を改善でき、配筋や型枠組立の施工性に優れたタイプ 1 の補強方法を採用した。

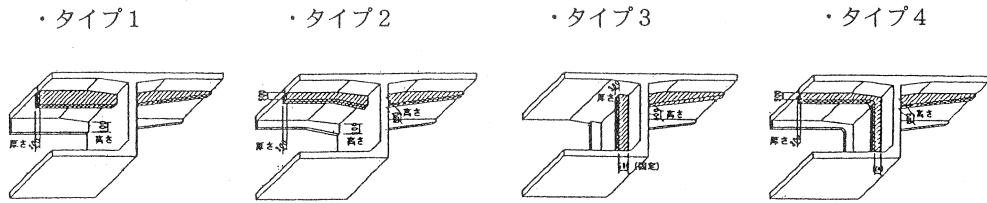


図-6 ウェブ補強方法

8. 支点横桁部の温度解析

大平高架橋の中間横桁は、幅 8.5m、長さ 3.0m、高さ 4.2m と非常にマッシュな構造であり、設計基準強度 50N/mm^2 と高強度コンクリートが適用されていることから、セメントの水和熱に起因する温度ひび割れの発生が懸念された。

3次元 FEM 温度解析プログラムを用いて、セメントの種類を早強、普通セメントの 2 種類で、外気温度を夏場、冬場とした場合の計 4 ケースについて解析を行った。

各々のセメントを使用した場合における、横桁の中央部と表面部の、冬場の温度履歴、最大主応力履歴図、ひび割れ指数を図-7~図-9 に示す。普通セメントを使用した場合、早強セメントに比べて温度が約 10°C 、ひび割れ指数が約 0.2 改善されることが分かった。大平高架橋は、4 ブロックを RC 部材で押し出し、中間支点横桁ブロックにて外ケーブルを配置して、緊張作業を行う。支点横桁ブロックは、ケーブル配置から

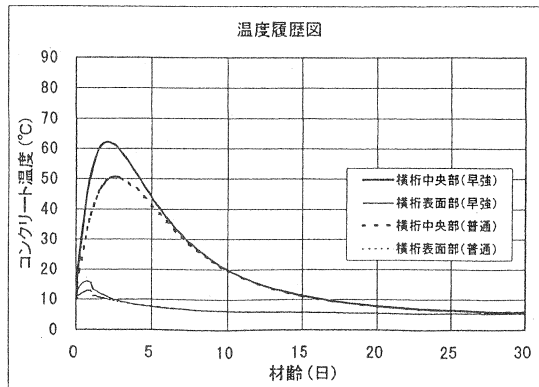


図-7 温度履歴図

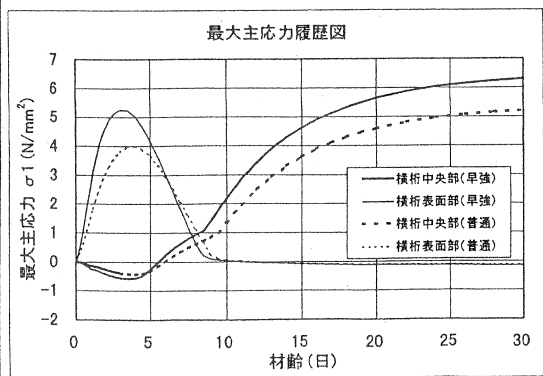


図-8 最大主応力履歴図

緊張まで8日の予定であるため、普通セメントコンクリートとした場合でも7日強度で50N/mm²を超えていることより、より温度ひび割れの影響を改善することが可能な普通セメントコンクリートを使用する。標準ブロックは、コンクリート打設後3日で押出しを開始することより、早強セメントコンクリートにより施工を行う。表-1にコンクリートの配合表を示す。普通セメントコンクリートは、温度による影響を最大限削除するために、可能な限り単位水量を抑えた。

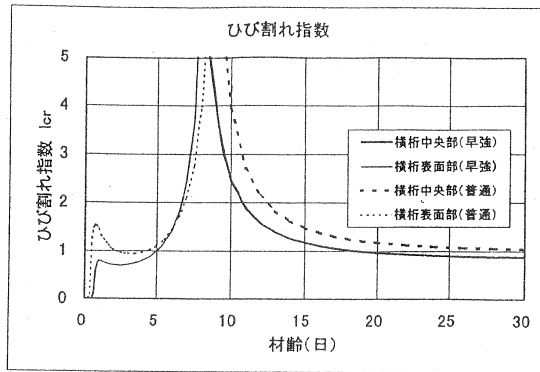


図-9 ひび割れ指数

表-1 コンクリートの示方配合

セメントの種類	呼び強度 (N/mm ²)	スランブ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(Kg/m ³)				高性能AE減水剤 (C*%)
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	
早強PC	50	17	5	37	37	155	419	647	1113	1.0
普通PC	50	17	5	37	40	139	377	731	1108	1.4

* ポリカルボン酸系高性能AE減水剤を使用。

9. おわりに

現在、設計は下り線、Bランプ橋の詳細設計に取り組んでいる。工事は、上り線A1側からの押出し架設が始まり平成12年7月末現在で全54ブロック中の3ブロックの施工が完了している。

計画されている施工サイクルは、16mブロック16日(1m=1日)ペースで施工を行うことになっている。しかし、全外ケーブル構造としたことにより、支点横桁ブロックの鉄筋、外ケーブル、その補強筋などの配置が集中しており非常に複雑となっている。また、外ケーブル定着により発生する局部的応力を解消するために更に鉄筋、PC鋼材が配置されるのが現状である。また、今までの押出し工法は、隔壁などは後施工することにより、押出し施工サイクルに影響が及ばなかったが、架設系にも外ケーブルを緊張するため、ディビーター部などの後施工は不可能となり、標準ブロックにおいても押出しに必要以上の日数を要してしまうのが現状である。今後は、施工工程短縮に向けて、主桁鉄筋のプレハブ化などにも取り組む必要がある。また、現在施工上問題となっている点を抽出し、対応策を検討し更なる施工の合理化を目指したい。

今後種々の問題は残されているが、全外ケーブル構造による押出し架設工法が可能となったことは今後の新しい橋梁構造形式の一つとして期待できるだろう。

次回報告する機会があれば、押出し架設施工報告並びに下り線、Bランプ橋分岐部の設計報告、外ケーブル定着による局部応力解析報告を行う。