

三和橋の設計

～全外ケーブル方式PC箱桁橋の片持架設工法における

工程短縮を目的とした設計～

Design of MIWA Bridge

鵜飼 宏二
Koji UKAI

川田建設(株)東京支店技術部
設計課

高野 喜代
Kiyoko TAKANO

川田建設(株)東京支店工務部
次長

今井 平佳
Hirayoshi IMAI

川田建設(株)東京支店技術部
設計課課長

清水 聡
Satoshi SHIMIZU

川田建設(株)東京支店工務部
工事課

鈴木 淳一
Junichi SUZUKI

川田建設(株)東京支店技術部
設計課

全外ケーブル方式を採用した橋梁は、大容量ケーブル（19S15.2,27S15.2等）が採用されるケースが多く、それにより定着突起部の施工がサイクル工程に大きく影響する。また、柱頭部においてはマスコンクリート構造物であるため、ひび割れ制御方法としてリフト分けすることとなり、これも工程に影響する。

本報告は、三和橋において工程の短縮を目的とした、主ケーブルシステム、ケーブル配置、定着突起の形状の選定および柱頭部の施工方法等について述べるものである。

キーワード：全外ケーブル，定着突起，サイクル工程の短縮，鋼材配置，施工性

1. はじめに

三和橋は、全外ケーブル方式を採用した張出し架設工法による最大張出し長47.0 m，最大支間長102.5 mを有する5径間連続ラーメン箱桁橋であり，磐越自動車道の4車線化に伴い計画された橋梁である。

一般的に全外ケーブル方式を採用した橋梁は，大容量ケーブル（19S15.2，27S15.2等）が使用されるケースが多く，そのため架設ケーブルの定着突起が大きくなり，さらに補強筋として太径鉄筋（D22，D25等）が密に配置されるため，サイクル工程内で定着突起の施工がクリティカルになる傾向がある。

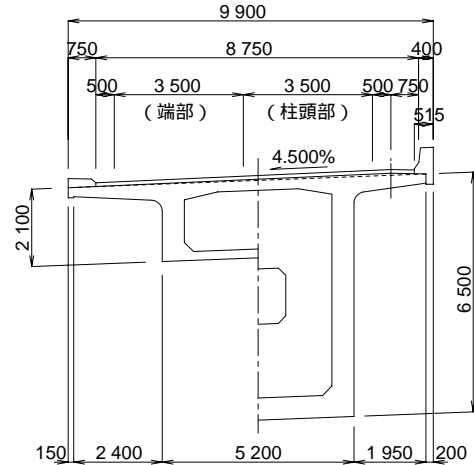


図2 主桁断面形状

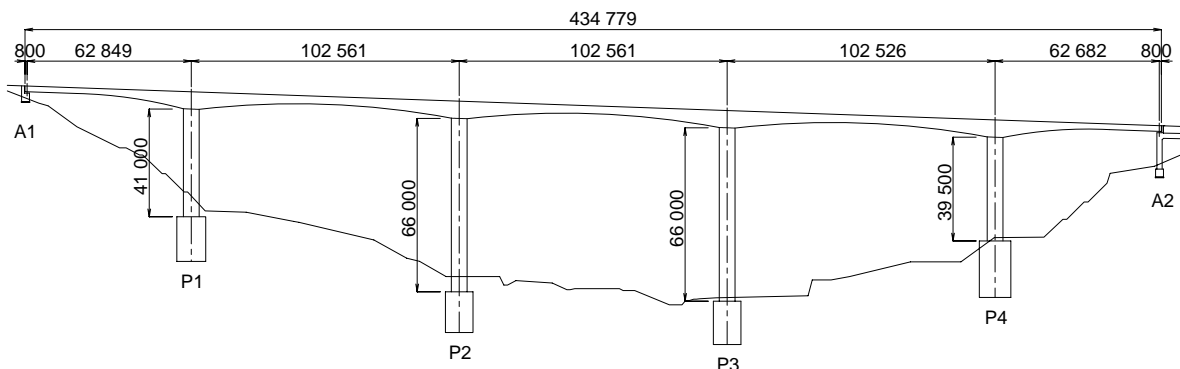


図1 三和橋全体一般図

さらに、本橋梁の橋脚高は66.0 mと高橋脚であり、材料の荷揚げ、荷下ろし等の作業性を考慮するとさらに工程に影響を及ぼすことが懸念される。

そこで、張出し施工における1サイクル工程の短縮を目的とし、使用PCケーブルシステムの組合せを考慮した定着突起サイズの小型化および標準化を図ったのでここに報告する。

また、柱頭部の施工においてマスコンクリート対策として工程を考慮した温度解析を行い、セメント種類、リフト数等を決定したので併せて報告する。

2. 設計条件

橋 長：435.179 m
 桁 長：434.779 m
 支 間 長：62.849 + 2 × 102.561 + 102.526 + 62.682 m
 ブロック割り：6 × 3.000 + 4 × 3.500 + 3 × 4.000 m
 有効幅員：8.750 m
 活 荷 重：B活荷重
 縦断勾配：3.500%
 横断勾配：4.500% ~ 2.625%
 斜 角：90°
 平面線形：R = 1 000 m ~ A = 400 m

3. 主ケーブルシステムの決定

(1) 決定方法

架設ケーブルの定着突起サイズを小型化するため、架設系での必要鋼材量では決定せず、設計荷重時に必要な鋼材量に対してケーブルシステムを決定した。なお、サイクル作業の簡略化を目的とし定着突起形状の標準化を図るため、各ブロック1本定着とし、定着位置もすべて同じとした。

架設系モデルにて設計荷重時に決定した鋼材量で不足する断面においては、仮設ケーブルを配置し対応した。

なお、仮設ケーブルは上床版内に設置するため、閉合後は緊張力を解放しグラウトを施すこととした。

そのため仮設ケーブルは図3のように柱頭部橋面上に定着用ブロックを設け、定着・解放を行うこととした。

さらに、仮設ケーブル解放後このブロックは撤去するため、施工性を考慮し接続面については下図のようにPC鋼棒により固定し、仮設ケーブル解放後この固定鋼棒を解放し、ブロックを撤去することとした。

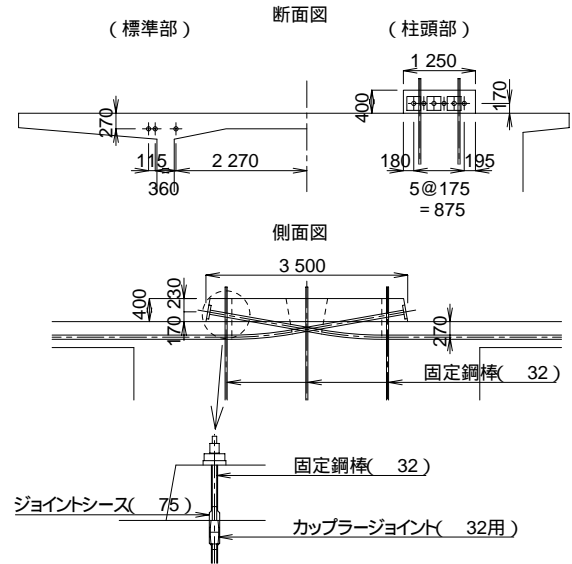


図3 仮設ケーブル定着用ブロック詳細図

(2) 必要鋼材量

a) 設計荷重時における必要鋼材量

完成系モデルにおける設計荷重時の断面力に対し、正曲げおよび負曲げのバランスを考慮した必要鋼材量として、閉合ケーブルに19S15.2、架設ケーブルに12S15.2とした場合のPC鋼材配置図を図4に示す。

b) 架設時における必要鋼材量

設計荷重時に必要な鋼材量にて張出し施工時の検討を行った場合、図5のように12BLおよび13BL施工時にて合成応力度が許容値を満足しない箇所が発生する。これに対し全体工期への影響や経済性を考慮して、仮設ケーブルにて対応することとした。

ここで、主桁コンクリート ($c_k=40 \text{ N/mm}^2$) の架設時における許容引張応力度は 2.5 N/mm^2 であるが、クリ

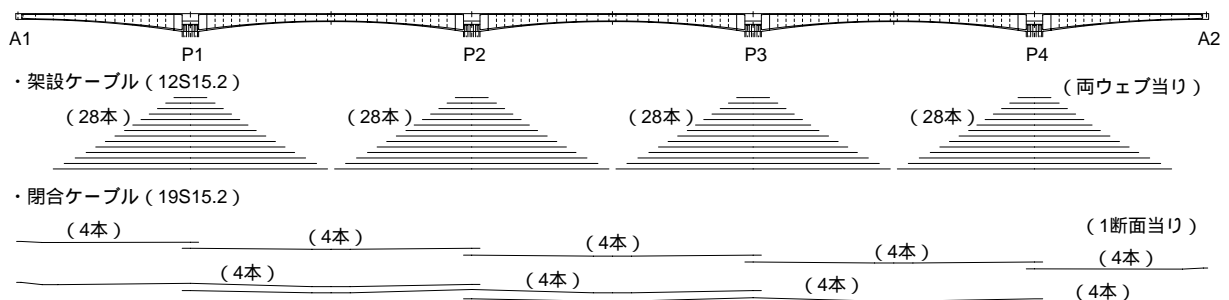


図4 PC鋼材配置図

ープ、乾燥収縮およびPC鋼材のリラクセーションによりプレストレス量が0.8~1.6 N/mm²程度減少することを考慮し、上床版のひび割れ発生の可能性を少なくするため、-1.0 N/mm²を目安とした。

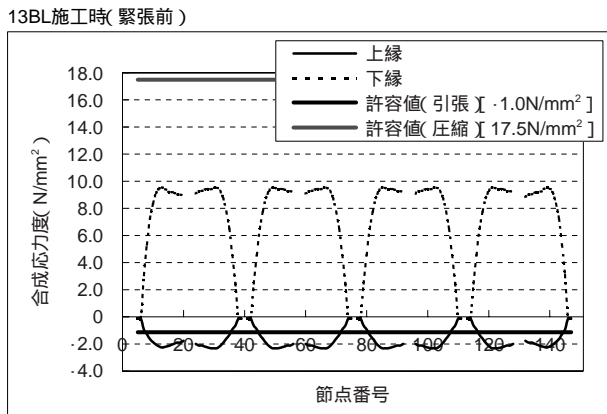
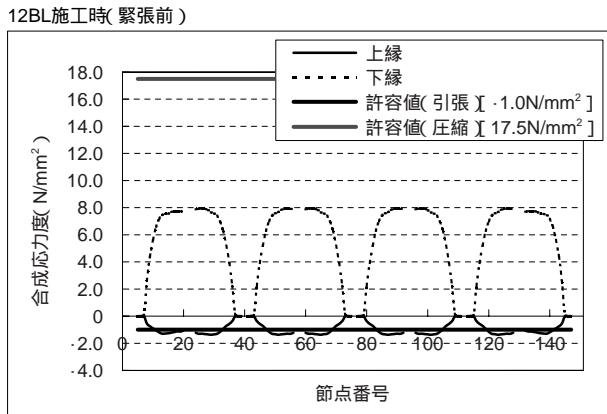
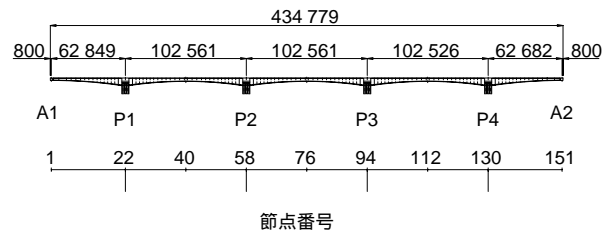


図5 架設時における合成応力度図(仮設ケーブルなし)

仮設ケーブルは、13BL施工時(緊張前)における必要鋼材量に対し緊張のタイミング、ケーブルシステムおよび本数を考慮し12S12.7を6本配置した。配置範囲は架設時の合成応力度が満足しない範囲とし、9BL, 10BL,

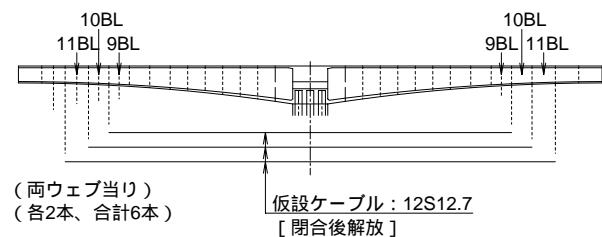


図6 仮設ケーブル配置図

11BL施工時に緊張するものとした(図6)。

また、仮設ケーブルを配置した場合の架設時における合成応力度図を図7に示す。

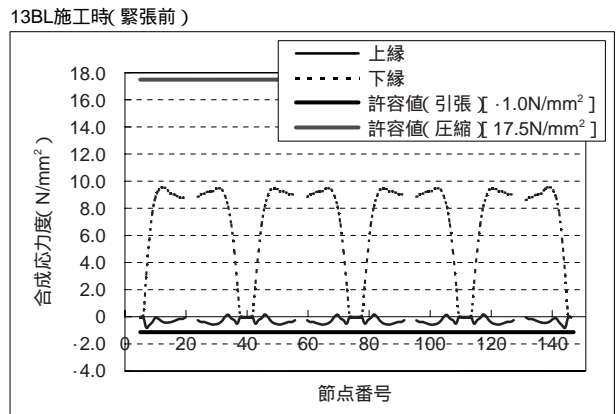
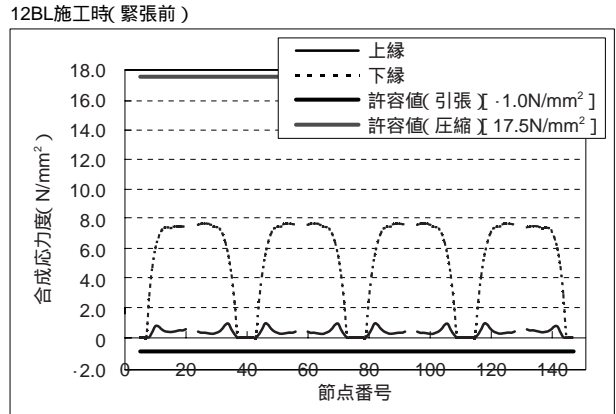


図7 架設時における合成応力度図(仮設ケーブルあり)

4. 定着突起

(1) 定着突起の標準化

張出し架設におけるサイクル工程を1.5日程度短縮するため、架設ケーブルの定着突起をリブ付きタイプでなく独立突起タイプとした(図8および写真1, 2)。

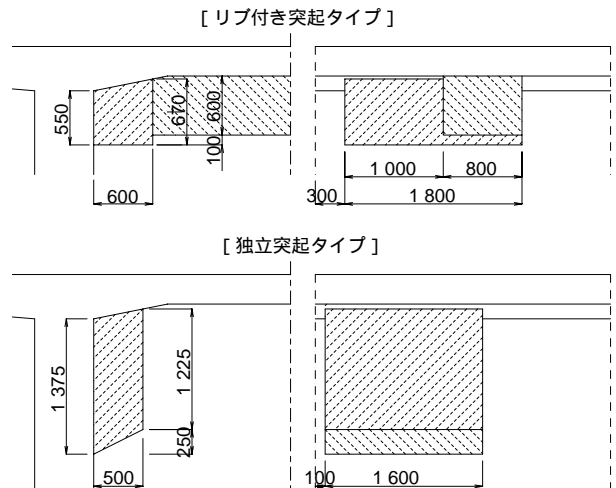


図8 定着突起比較図

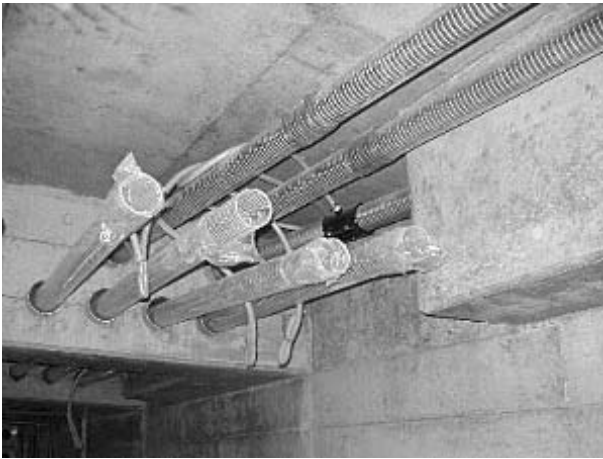


写真1 リブ付きタイプ



写真2 独立突起タイプ

これは、移動作業車を移動させる際、リブ付きタイプの場合リブ背面に設置される支保工を完全に解体するか、リブに干渉しない高さまで支保工をダウンさせる作業が発生し工程に影響を及ぼすためである（写真3、4）。

また、支保工のダウン作業は桁高の高いところでは可能であるが、低くなってきてスペースが確保できなくなってきた場合には支保工の組立・解体作業が必要となり、これがサイクル工程内でクリティカルとなる。

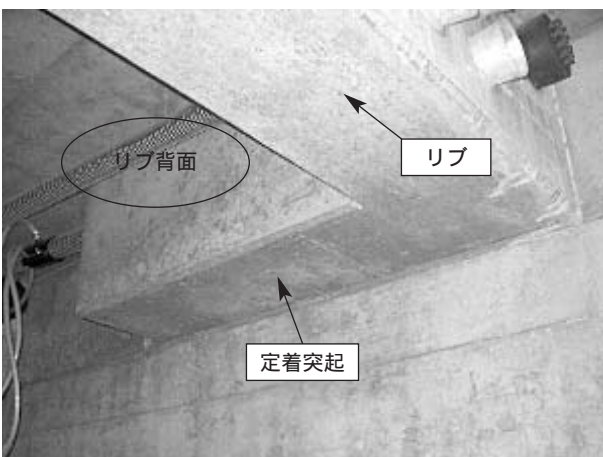


写真3 定着突起（リブ付きタイプ）

さらに、リブ付き突起タイプの場合はリブおよび定着突起の両方に偏向部を設けることとなるが、独立突起タイプの場合は定着突起部に鉛直方向および水平方向共に偏向させるものを1箇所設ければよいため、リブ付き突起タイプに比べプレストレスのロスも低減でき有効である。



写真4 リブ背面の支保工

（2）定着突起の形状および配筋の決定

配筋を含めた突起形状の標準化は、サイクル工程短縮に有効である。突起形状の標準化にあたり、特に外ケーブル配置において以下の項目を考慮した。

サイクル施工であるため、ケーブルの定着位置はすべて同じ位置（高さ）とし、架設ケーブル緊張時における手間を軽減させた。

柱頭部におけるケーブルの偏心量（ ep ）をできるだけ大きくとるため、鋼管の最小間隔を確保しケーブルは2段配置とした。

1ブロック手前に偏向部を設け（水平と鉛直の両方を偏向させている）、そこから柱頭部まで直線配置とした。（放射状配置）

直線配置区間については柱頭部から偏向部まで同じ高さとし、ケーブルの偏心量を確保した。

ケーブルと定着突起が干渉する箇所については突起にアゴを設け貫通管を設置し対応した。

ここで、本橋は平面線形として $R=1000\text{m} \sim A=400\text{m}$ の要素を持っているため、これを考慮しアゴの形状（幅）を決定した。

水平に対する偏向方法は、ジャッキのセット等施工性を考慮し、ケーブルと小口が直角になるようにウェブと平行にした。

偏向管、貫通管は、配置精度を上げるため前後が見渡せるように型枠から突出させてセットする必要がある。そこで突起前面および背面の形状については、型枠の加工、施工性を考慮してハンチを設けずウェブと直角にした。

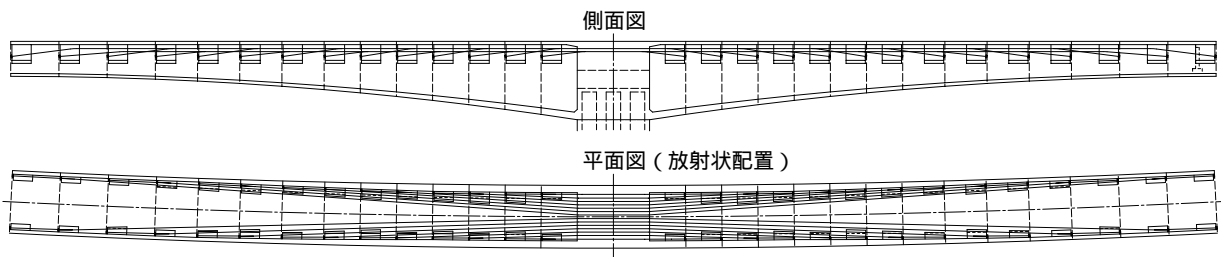


図9 ケーブル配置図

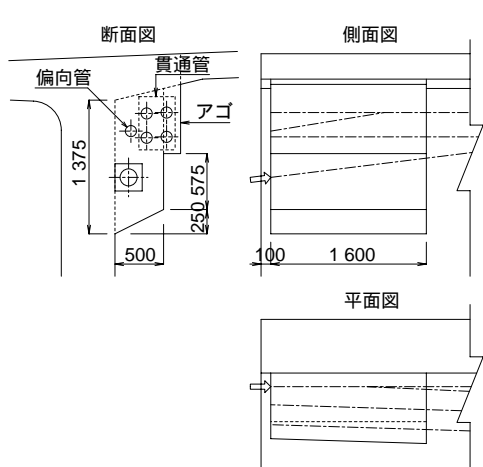


図10 定着突起詳細図

図9にケーブル配置図，図10に定着突起詳細図を示す。ケーブル配置を考慮した定着突起の形状を仮決定した後，3次元FEM解析により形状の調整を行った。

FEM解析においては，コンクリートの引張応力度をひび割れ発生限界内 ($\sigma < 3.0 \text{ N/mm}^2$) に抑えることを目標とし，加えて引張応力度の発生する箇所には補強鉄筋を配置した。FEM解析結果を図11に示す。

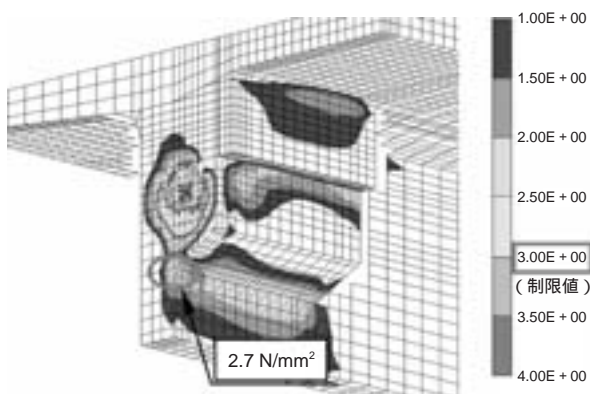


図11 定着突起のFEM解析結果

補強鉄筋量は，PCケーブルの定着部であることから鉄筋の引張応力度の制限値を 100 N/mm^2 (死荷重時の許容引張応力度) として決定し，配置量は最大でD19@125となり施工性に影響のない程度で収まった。

なお，鋼管の出入り口については，補強のためすべての箇所にスパイラル筋を配置することとした (図12)。

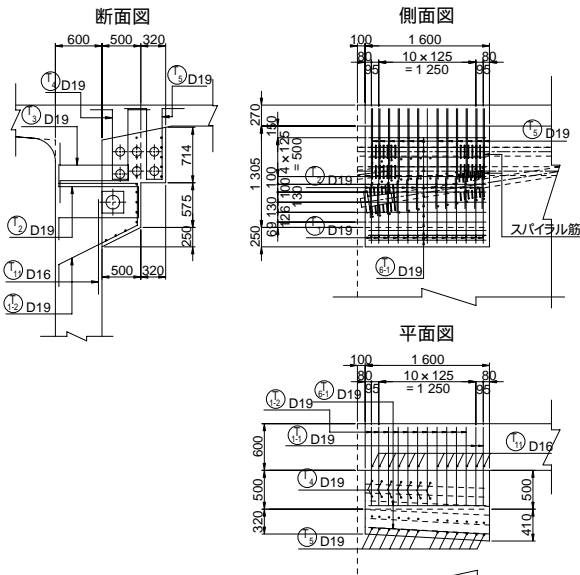


図12 配筋要領図

5. 柱頭部の施工

本橋梁における柱頭部横桁は幅：7.5 m，厚さ：6.0 m，高さ：6.5 mで，ハイブリッド橋脚および外ケーブル方式を採用していることにより充実断面となり，マスコンクリート構造物となる (図13)。

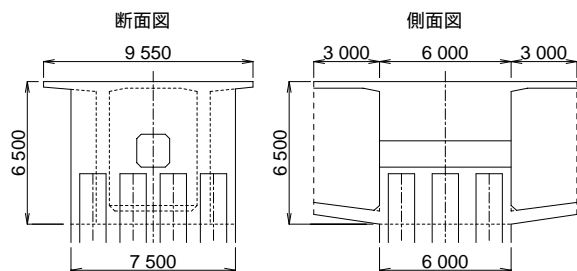


図13 柱頭部形状図

そこで，マスコンクリートの施工にあたり，セメントの水和熱によって生じる温度応力や乾燥収縮を考慮した温度解析を行い，工期短縮を目的とした施工方法を決定した。

(1) セメントの種類

張出し架設工法による場所打ちのプレストレストコンクリートは，通常早強ポルトランドセメントが使用されるが，このマスコンクリート構造物に対し早強ポ

ルトランドセメントを使用すると、温度応力および乾燥収縮等によるひび割れの発生が懸念される。

そこで、セメントの種類として早強ポルトランドセメント、普通ポルトランドセメント、中庸熱ポルトランドセメント、低熱ポルトランドセメントの4種類について比較検討を行い、温度応力、強度発現、経済性、市場性および補強鋼材量を考慮し、中庸熱ポルトランドセメントを採用することとした。

また、橋脚部においても温度解析により中庸熱ポルトランドセメントを採用している。

(2) 打設リフト数

打設リフト数は施工工程に直接影響する。

極力リフト数を減らした方が工程は短縮できるが、ひび割れの発生率は高くなる。

よって、打設リフト数は1リフト～3リフトの3タイプについてセメント種類、打継目位置、環境温度、型枠の種類（合板、FRP）を考慮した検討を行い、2リフトに分けて打設することとした（図14）。

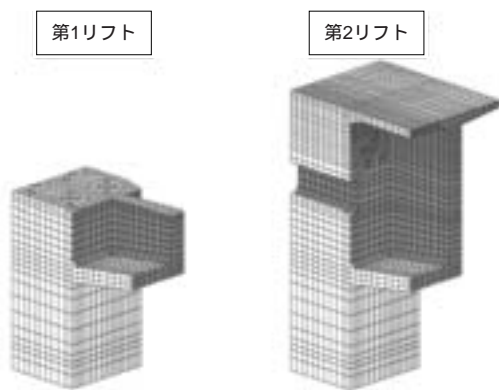


図14 打設リフト図

(3) ひび割れ制御対策

温度応力解析より引張応力度の発生する箇所については、補強鋼材を配置して対応した。

補強鋼材は、コンクリートの引張応力度がひび割れ発生限界（ $\sigma_{ca} = 3.0 \text{ N/mm}^2$ ）を超える箇所についてはPC鋼材を配置し、それ以下の引張応力度については鉄筋にて対応した（図15）。

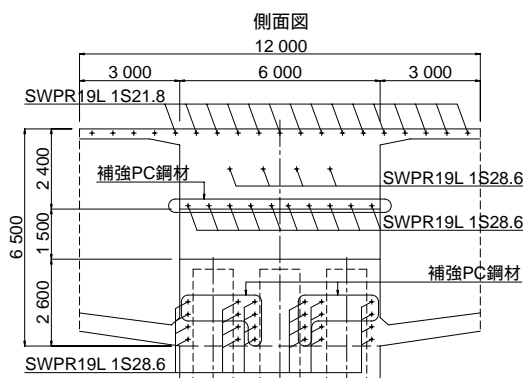


図15 補強PC鋼材配置図

6. フェールセーフおよびシェアラゲ

(1) フェールセーフ

外ケーブルを採用した張出し架設工法による橋梁の架設ケーブルは、定着突起にて定着するため配置本数が少ない。その定着突起に何か不具合が生じ架設ケーブルが機能しなくなった場合を想定し、安全対策としてフェールセーフ鋼材を配置する。

本橋梁は架設ケーブルに12S15.2を各ブロック2本使用しており、フェールセーフ鋼材はこの1本分と同等の鋼材量としてPC鋼棒 32を4本配置することとした。

(2) シェアラゲ

張出し施工により、張出し床版先端には局部的な温度応力および乾燥収縮により橋軸方向に引張応力が発生し、張出し床版先端の打継目から斜めひび割れが生じる恐れがあるため、このひび割れ防止対策として張出し床版先端にPC鋼材（シェアラゲ鋼材）を配置した。

これは、5BLおよび13BLの張出し床版先端の下端に定着突起を設け、張出し床版片側に外ケーブルED-P50を1本配置することとした（図16）。

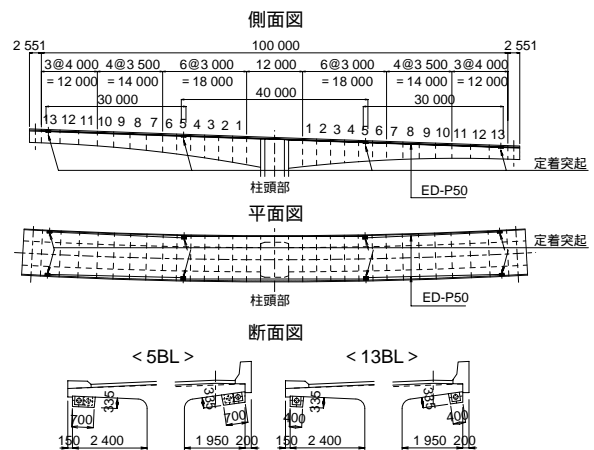


図16 シェアラゲ鋼材配置図

7. まとめ

大容量ケーブルによる経済性の追求が現在の主流であるが、本橋のように従来用いられているケーブルシステムを併用することで定着突起の小型化、標準化による工期短縮が期待でき、また定着箇所を分散したことで定着突起の安全性も向上したと考える。

加えて、仮設ケーブルを解放することにより連続PC鋼材を減らせた事など二次的な効果も得られている。

以上のように本検討で、従来から用いられてきたケーブルシステムを適宜組み合わせる用いることの優位性を確認できたと考えられる。

今後、同様な橋梁計画において本報告が一助となれば幸いです。