

鷺舞橋の設計・施工

— 片面吊りによる 2 径間連続 PC 吊橋 —

大植 健*1・今井 平佳*2・大嶋 秀明*3・野口 秀一*4

1. はじめに

本工事は、神奈川県立境川遊水地公園の園内道路の一部として架設される、2 径間連続 PC 吊橋の上部工事である。本橋は、県内でも有数のサイクリングロードに面した公園施設のため、デザイン性・シンボル性が重視された橋梁であり、PC 吊橋としては国内初となる片面吊構造を採用した橋梁である（図-1）。

本橋の平面線形は曲率が大きく、片面吊構造では斜方向にケーブル張力を受ける結果、補剛桁には面外方向の断面力が発生する。このため、本橋は中間支点に面外方向の強制変位を与える必要があるなどの特殊な施工条件をもつ。また、面外方向の断面力に対してはプレストレスも関与してくるため、ハンガーケーブルの引込み・中間支点の強制変位・プレストレスの導入により、3次元方向に断面力が変化していくこととなる。このため、施工にあたっては構造上問題がないようにこれらを分割して与えていく施工ステップを検討する必要があった。

また、本橋のように多数のハンガーケーブルを引込む場合、ハンガーケーブルに作用する張力は、他のハンガーケーブルの張力の増減に大きく影響される。そのため、本橋のケーブル架設は張力による管理ではなく、ケーブル形状による管理とした。そこで、本架設においては3次元に展開されるケーブルの座標値を計算し、実測値と計算値の比較を行った。

本稿では、本橋を施工する際に行った施工手順の検討方法と結果、およびケーブル形状計算と計測結果について報告する。

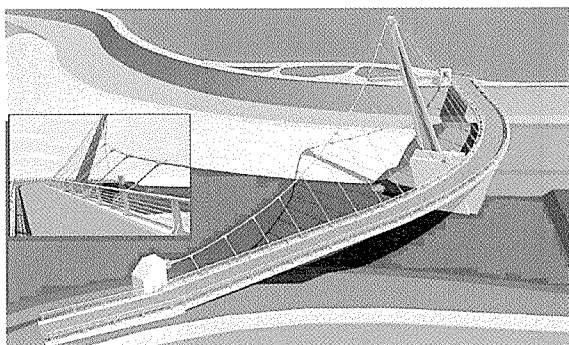


図-1 橋梁イメージ図

2. 橋梁概要

本橋梁の橋梁概要を以下に示す。

工事名：平成19年度 境川遊水地公園（仮称）
人道橋新設（上部工）工事

発注者：神奈川県藤沢土木事務所

工事場所：横浜市泉区下飯田町、藤沢市今田地先

工事期間：平成19年8月17日～平成21年1月31日

構造形式：2 径間連続 PC 吊橋

橋長：129.000 m

支間長：63.700 m + 63.700 m

有効幅員：4.000 m

主索：φ7 mm 亜鉛メッキ鋼線 × 397

吊索：構造用ストランドロープ φ63

補剛桁は、φ400 の中空部を3箇所有した場所打ちホーナー桁となっており、断面左側は長さ3.0 m、厚さ150 mm の張出し床版がついた非対称断面である（図-2）。上部工一般図を図-3に示す。平面曲率半径80 m の曲線桁に対し、ハンガーケーブルの吊点が5 m ピッチで24箇所設置される。

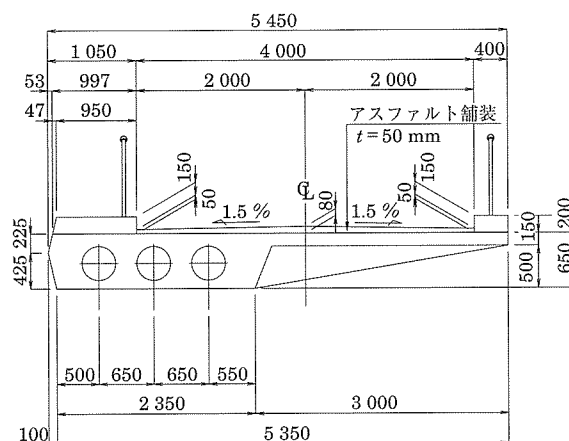


図-2 補剛桁断面図

*1 Ken OOUE：川田建設（株）東京支店 事業推進部

*2 Hirayoshi IMAI：川田建設（株）東京支店 事業推進部 技術課

*3 Hideaki OSHIMA：川田建設（株）東京支店 事業推進部

*4 Hidekazu NOGUCHI：川田建設（株）東京支店 事業推進部

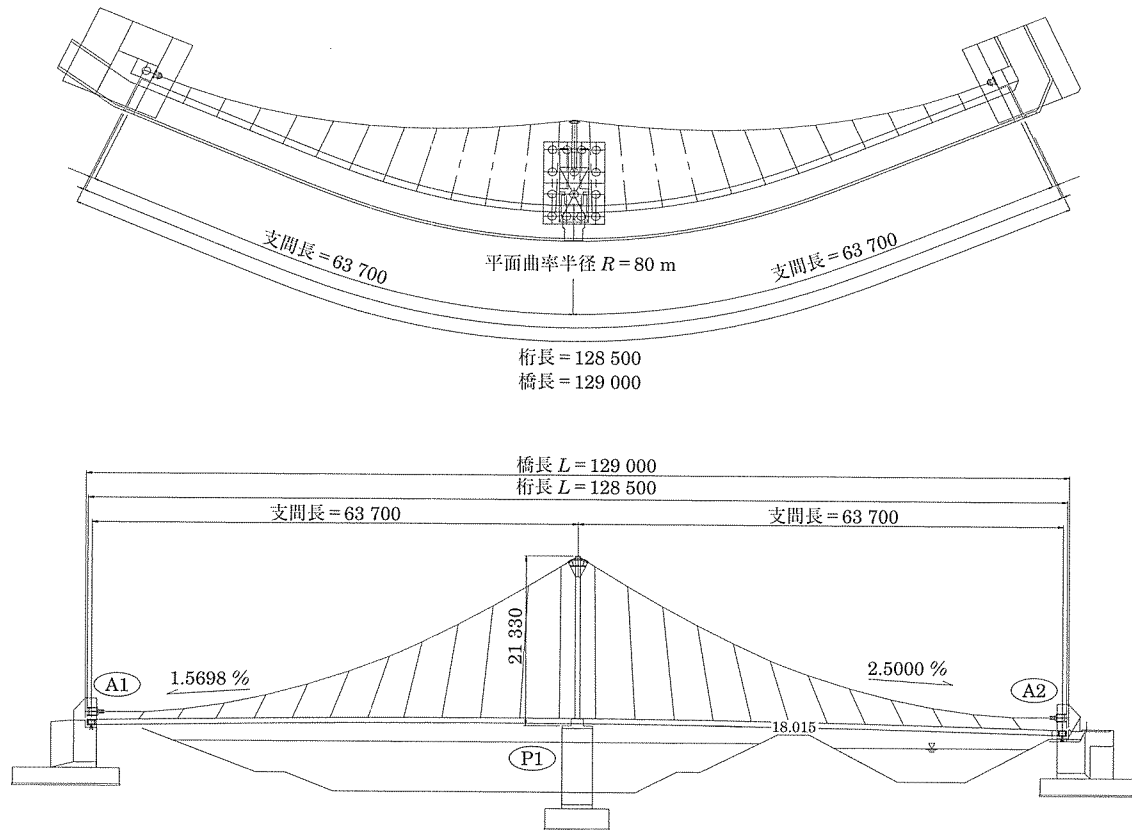


図 - 3 上部工一般図

3. 補剛桁に作用する断面力

3.1 面外曲げモーメントについて

本橋の補剛桁は、斜方向にケーブル張力が作用する。このため、ケーブル張力の水平方向成分により補剛桁には面外方向の曲げモーメントが発生する。この面外曲げモーメントに対しPC鋼材（12S15.2）を面外方向に偏心配置してプレストレスを与えている。しかし、中間支点付近の負曲げモーメントに対しては、PC鋼材によるプレストレスのみでは十分な効果が得られない。そこで、本橋ではハンガーケーブル引込み時に、中間支点到面外方向 300 mm の強制変位を与える。これにより、中間支点到正曲げモーメントが発生させ、中間支点到部の負曲げモーメントの低減を行う

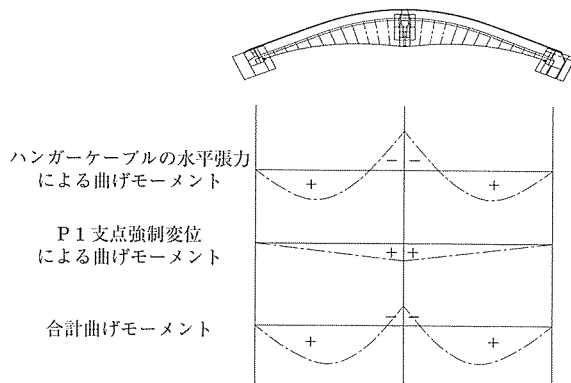


図 - 4 面外方向曲げモーメント図

構造となっている（図 - 4）。

3.2 ねじりモーメントについて

本橋梁は、図 - 5 に示すような補剛桁の片面吊構造となっており、ハンガー張力の鉛直成分によって発生するねじりモーメントを水平方向成分によって発生するねじりモーメントで緩和する構造となっている。このため、ハンガーケーブルの定着位置により、発生するねじりモーメントを調整することが可能である。

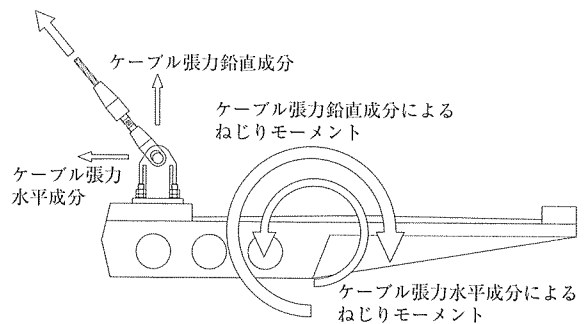


図 - 5 片面吊りによるねじりモーメントの発生

4. 施工検討

4.1 施工手順の検討

本橋は、全支保工により製作した補剛桁をハンガーケーブルを引込むことにより吊り上げる施工方法とした。また、本橋は、ハンガーケーブル張力の水平分力により発生する

面外曲げモーメントをPC鋼材によるプレストレスとP1支点の強制変位により緩和する構造となっているが、プレストレス・P1支点強制変位により発生する面外曲げモーメントも大きい為、ハンガーケーブルを引き込む前にプレストレスおよびP1支点強制変位を与えることはできない。よって、「ハンガーケーブルの引込み」・「プレストレスの導入」・「P1支点の強制変位」は補剛桁の耐力に問題のない範囲で分割して与える必要がある。

そこで、本施工にあたっては、図-6に示すフローチャートに従い施工手順の検討を行った。補剛桁に発生する引張応力度が 2.5 N/mm^2 以上とならないよう、プレストレスの導入・ハンガーケーブルの引込み・P1支点の強制変位の順で分割施工するものとした。

補剛桁は二軸曲げを受けるものとし、図-7に示す5点について応力度を算出した。本検討により決定した施工ステップを図-8に示す。また計算上、補剛桁が支保工から浮上するときのハンガー引込み量は全体の引込み量の90%前後となった。図-9には、各ステップで発生する応力度を示す。発生する応力度がもっとも厳しい点として⑤の発生応力度を示す。

4.2 ケーブルの製作長

本橋のケーブルは、形状による管理を行うためメインケーブルおよびハンガーケーブルの製作にあたっては、ケーブル形状計算結果に基づいた長さにより製作を行った。

ケーブル形状計算はメインケーブル定着位置、塔頂位置、桁側のハンガー定着位置・ハンガー定着点の面内水平位置の座標とケーブル自重、ハンガーが受けもつ主桁重量、メインケーブルアンカーに作用する反力を既知とし、メインケーブルの鉛直・面外座標を未知として以下の手法により行った。

① ハンガーケーブルの定着点座標値の仮定

メインケーブルの始終点の直線上に、ハンガーケーブル定着点を仮定。桁側の鉛直荷重によりメインケーブルに作用する分力を算出。

② 面内に対するケーブルの釣り合い計算

鉛直荷重によるケーブル面内の釣り合い計算を行い、鉛直座標を算出する。この際、メインケーブルの水平反力を既知とする。

③ 面外に対するケーブルの釣り合い計算

鉛直成分を無視して、ケーブル面外方向の荷重による釣

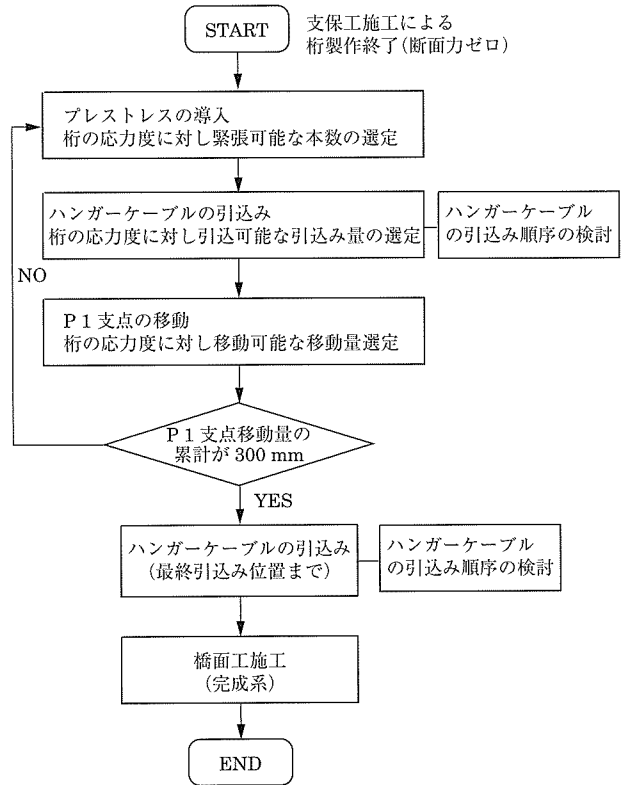


図-6 施工検討フローチャート

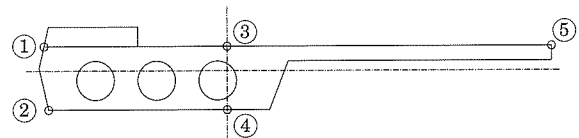


図-7 補剛桁の応力評価点

り合いの計算を行い、面外座標値を算出する。この際、面外方向に作用する力は①にて求めた面外方向分力とする。

④ 水平方向の釣り合い計算

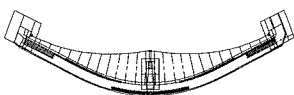
ハンガーケーブルの水平方向分力を考慮して、鉛直座標値を再算出。

⑤ 水平分力が収束するまで繰り返し計算

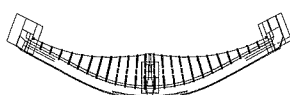
水平分力が収束するまで①～④までを繰り返す。

上記の手法により算出したケーブル座標値からケーブル張力と完成長を算出した。その結果からケーブルの無応力時のケーブル長を算出し、ケーブルの製作長とした。

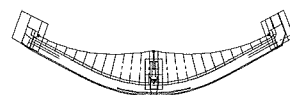
STEP 1 プレストレスの導入
全体の60%の鋼材を緊張



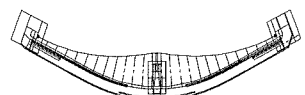
STEP 2 ハンガーケーブルの引込み
全体張力の35%を引き込む



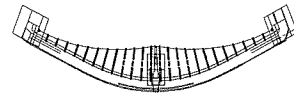
STEP 3 P1支点の移動
支点移動量 100 mm



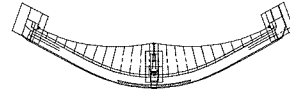
STEP 4 プレストレスの導入
全体の40%の鋼材を緊張



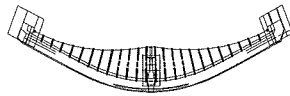
STEP 5 ハンガーケーブルの引込み
全体張力の85%を引き込む



STEP 6 P1支点の移動
支点移動量 200 mm



STEP 7 ハンガーケーブルの引込み
全体張力の100%まで引き込む



STEP 8 橋面工施工
完成形

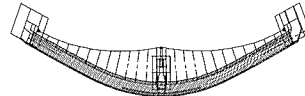


図-8 施工ステップ

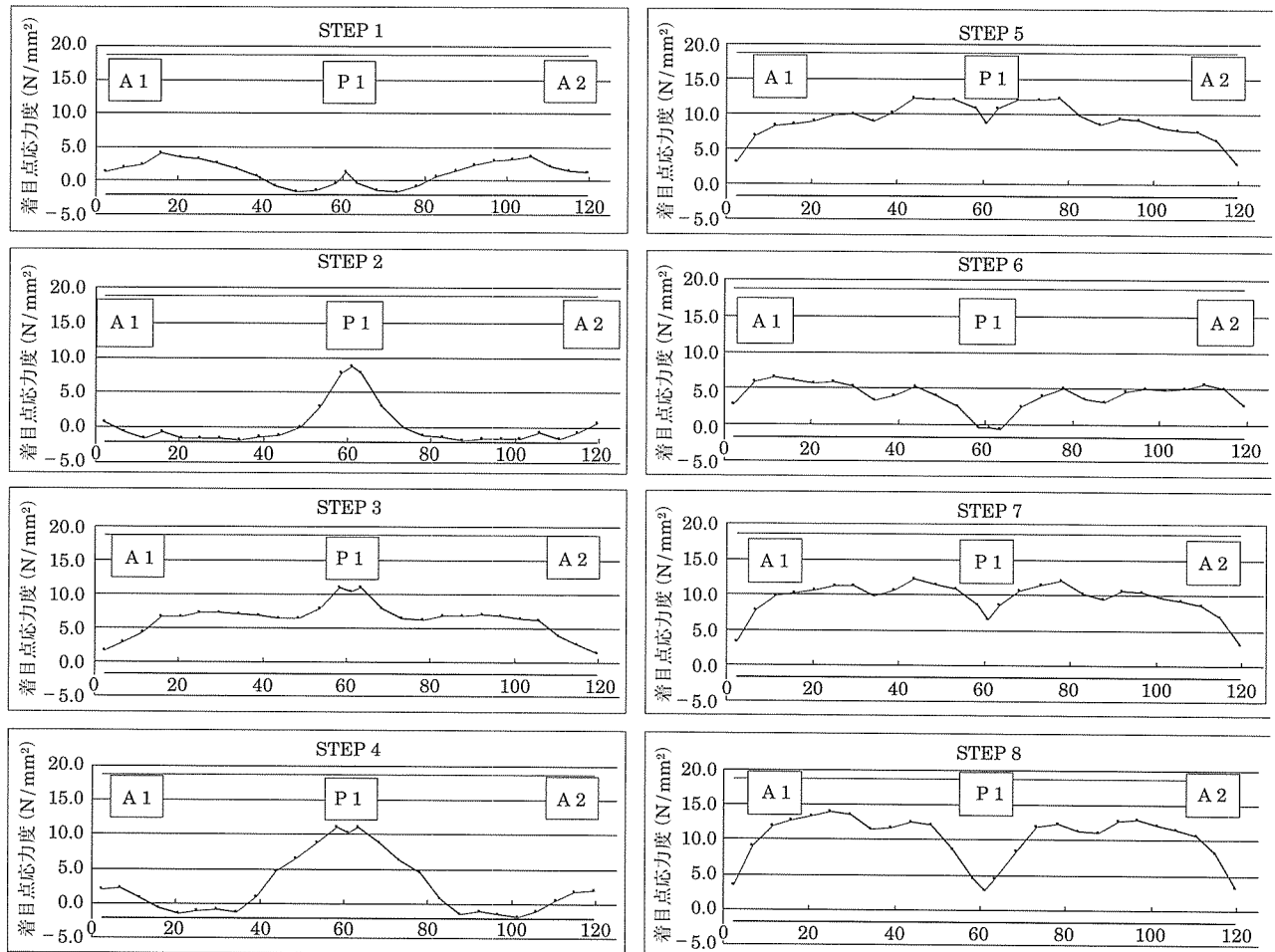


図-9 施工ステップごとの補剛桁応力度

また、上記の手法により算出したケーブル座標値は3次元大変形解析により力の釣り合いが取れていることを確認した。

4.3 メインケーブルの架設

本橋では、メインケーブルをクレーンにより一括架設する施工方法とした。このため、メインケーブルを展開するための足場を橋体の側方に設置した。ただし、河川上に展開足場を設置することが困難であったため河川上は橋面を利用してメインケーブルの展開を行った(図-10)。

メインケーブルの架設は200tクレーンを2基と50tクレーンを2基使用して行った。架設の手順としては、展開したメインケーブルの両端部を橋台のアンカーに設置後、

200tクレーン②により展開時におけるメインケーブルの折れ点を吊り上げ、メインケーブルが直線となる位置へ折れ点を移動させた。その後、200tクレーン①によりメインケーブルを主塔へ架設した(写真-1)。50tクレーンはA1-P1間の介錯用を使用した。

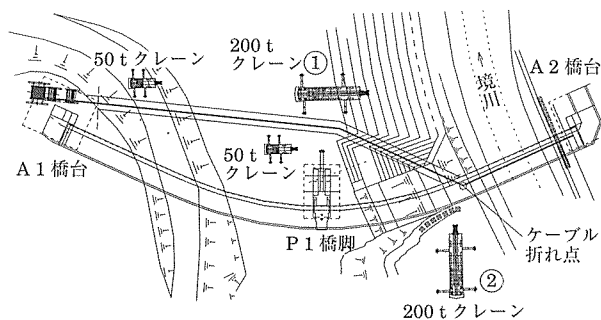


図-10 ケーブル架設時クレーン配置図

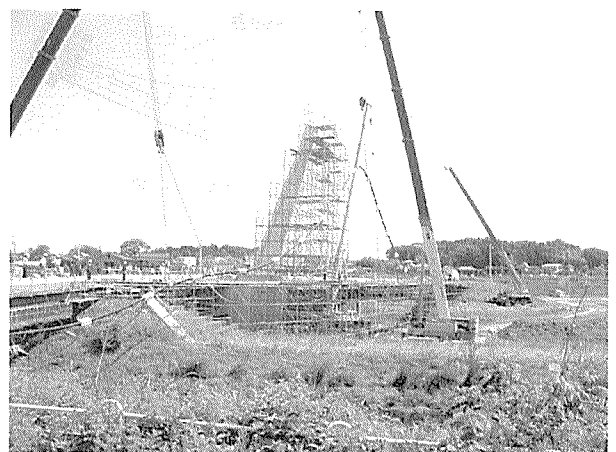


写真-1 メインケーブル架設状況

4.4 ハンガーケーブルの引込み

多数存在するハンガーケーブルを引き込む場合、ハンガ

ケーブルに作用する張力は他のハンガーケーブルの張力の増減に影響される。とくに本橋のようにメインケーブルとハンガーケーブルの二種類のケーブルにより構成される吊構造では、張力の変動によるケーブルの形状変化が大きいため、その影響も大きくなる。このため、施工においてハンガー張力を管理することは非常に困難となる。よって、本工事におけるハンガーケーブルの引込みはハンガーケーブルの引込み量（長さ）を管理して施工を行うものとした。

ハンガーケーブルの引込みはP1を中心とした左右対称の1組ずつをセンターホールジャッキを使用して引き込むこととした（写真-2）。引込み順序はメインケーブルの変位がもっとも大きくなる支間中央のケーブルから引込みを行うものとした。その後、ケーブル全体に平面方向のサグ



写真-2 ハンガーケーブル引込み状況

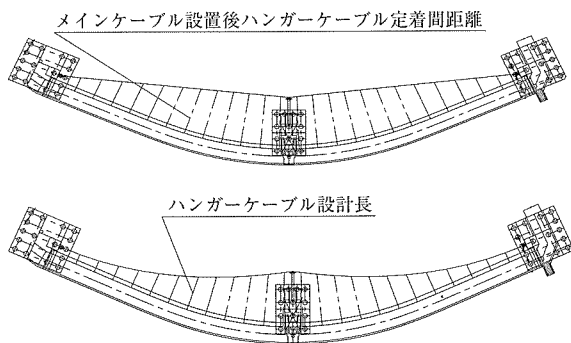


図-11 ハンガーケーブル引込み量

がつくよう1本置きにケーブルを引き込み、両端部は最後に引込みを行う手順とした。

ハンガーケーブルの全引込み量は、メインケーブル設置直後（鉛直にサグがついた状態）のハンガー定着間距離と完成系のハンガーケーブル設計長の差分から算出した（図-11）。

4.5 上部工の検証

本橋の施工においては、ケーブル形状の確認としてケーブル座標値の実測を行った。計測はケーブルバンドに光波測量器用のシールターゲットを添付し（写真-3）、光波測量にて行った。表-1および図-12にケーブル座標値の計算値と実測値の比較を示す。全体としてはほぼ計算値と一致した座標値となったが、計算値と実測値では最大で48mmの差が生じた。ハンガーケーブルが長くなるほど差異が現れる傾向となっているが、ハンガーケーブルの角度の誤差が長いケーブルほど、座標値の誤差へと現れやすいためであると考えられる。

図-13に、計算によるケーブル座標による応力度と実測のケーブル座標値結果を反映した補剛桁の応力度との比較を示す。着目位置は図-7の⑤位置とした。結果として、今回の計算値と実測値のケーブル座標誤差では補剛桁の応力度は許容応力度内であり、構造に問題がないことがいえる。

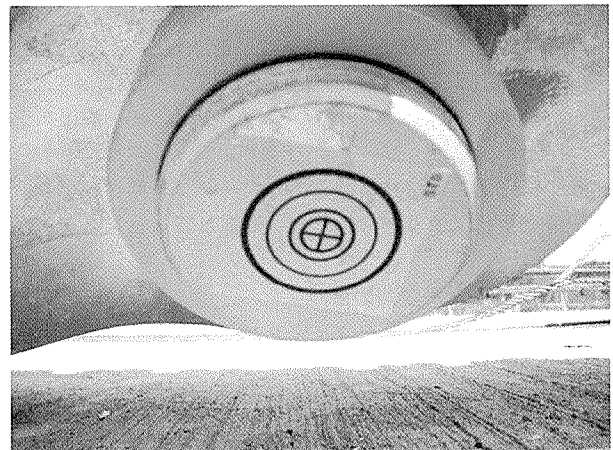


写真-3 シールターゲット添付状況

表-1 メインケーブル座標値の計算値と実測値の比較

ケーブル番号	C 603			C 606			C 609		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
計算値	17.640	2.156	22.337	32.611	4.653	26.521	46.360	4.852	32.177
実測値	17.631	2.145	22.325	32.599	4.639	26.503	46.349	4.809	32.129
差	0.009	0.011	0.012	0.012	0.014	0.018	0.011	0.043	0.048
ケーブル番号	C 616			C 619			C 622		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
計算値	75.455	4.738	32.170	89.147	4.435	26.523	104.076	1.862	22.346
実測値	75.439	4.701	32.136	89.165	4.402	26.499	104.090	1.852	22.333
差	0.016	0.037	0.034	-0.018	0.033	0.024	-0.014	0.010	0.013

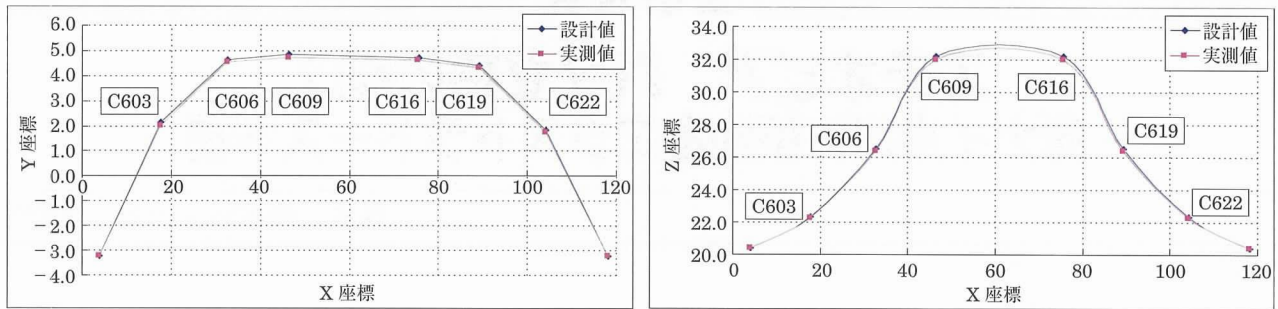


図 - 12 メインケーブル座標値の計算値と実測値の比較グラフ

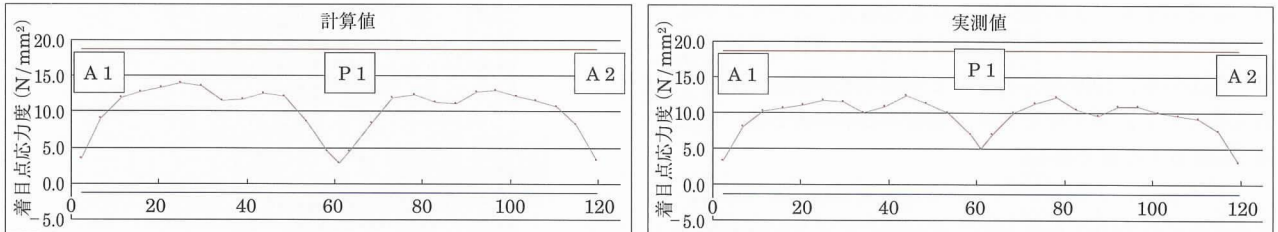


図 - 13 計算値と実測値の応力度グラフ

5. おわりに

本工事は、平成 19 年 8 月に着工し、平成 20 年 6 月において補剛桁の吊込みまでが完了している（写真 - 4）。片面吊りの 2 径間連続 PC 吊橋として国内でも施工事例のない橋梁の施工であり、これまでの吊構造にはない問題点とそれらに対する検討が必要であった。橋面工を行い、設計死荷重を載荷することで構造完成となるが、補剛桁吊込みまでの出来形・計測値に大きな問題がないことから本検討結果が妥当であったといえる。

最後に今回の工事において多大なご指導をいただいた関係各位に感謝する次第である。

【2008 年 10 月 15 日受付】

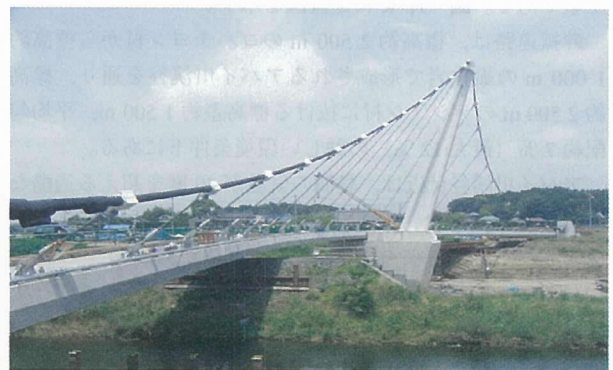


写真 - 4 ケーブル引込み完了後



図書案内

PC技術規準シリーズ

複合橋設計施工規準

頒布価格：会員特価 6,000 円（送料 500 円）

：非会員価格 6,825 円（送料 500 円）

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会 編
技報堂出版