

# PC箱桁橋の中央ヒンジの連結化—本谷川第三橋—

伊東 浩司\*1・富田 靖二\*2・尾原 文宏\*3・滝 慎一郎\*4

## 1. はじめに

中央自動車道本谷川第三橋（下り線）は、中央径間にヒンジを有する3径間連続PC箱桁橋で、昭和47年のしゅん功後30年余りが経過している。近年の車両の大型化や、中央ヒンジ部のクリープ変形などから中央ヒンジ部の垂れ下がり量が増加し、現在にあっては計画高からの垂れ下がり



写真-1 橋梁全景

が約15cmに達している状況であった。

また、冬期の凍結防止剤散布の影響などから発生している中央ヒンジ部の腐食などの損傷が非常に顕著であったため、昭和57年よりたびたび調査、応急対策を実施してきたが、いまだ中央ヒンジ部の垂れ下がり、中央ヒンジ部の腐食、大型車通行時の異常音の発生、伸縮装置の遊間異常等の問題が生じており、抜本的な補修・補強対策が必要となった。

本工事は、これらの損傷に対し維持管理の低減と走行性の改善を目的として、平成15年11月10日（月）から18日（火）までの土日を含む9日間で昼夜間連続対面通行規制による下り線の全面通行止めを行い、中央ヒンジ部の連結化工事を実施したものである。本報告では、補強工事における設計・施工上の特徴と留意点について紹介する。

## 2. 橋梁諸元

位置：長野県下伊那郡阿智村智里  
 道路規格：第1種3級B規格  
 橋梁形式：3径間連続PC有ヒンジラーメン箱桁橋  
 橋長：161 650 m  
 支間割：35.000 m + 72.000 m + 53.000 m

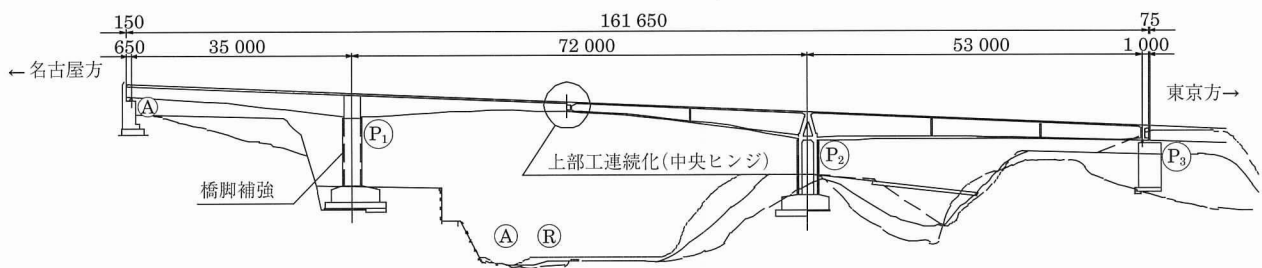


図-1 橋梁一般図



\*1 Hiroshi ITOU

日本道路公団 中部支社  
 飯田管理事務所 改良助役  
 (現・九州支社 大分工事事務所 工務課長)



\*2 Seiji TOMITA

日本道路公団 中部支社  
 松坂工事事務所



\*3 Fumihiko OBARA

三井住友建設(株) 大阪支店  
 土木部



\*4 Sinichirou TAKI

三井住友建設(株) 土木事業本部  
 土木技術部

幅員：10.150 m (全幅), 8.500 m (有効)  
 平面線形：A = 300, R = 600 m, A = 350  
 縦断勾配：I = 4.1856 %  
 桁高変化：2.000 m (A1) ~ 3.800 m (P1) ~ 1.500 m  
 (中央) ~ 4.500 m (P2) ~ 2.500 m (P3)  
 交差条件：一級河川 本谷川  
 しゅん功年度：昭和 47 年 7 月  
 支 承：可動 (ローラー支承), 固定 (中央ヒンジ)

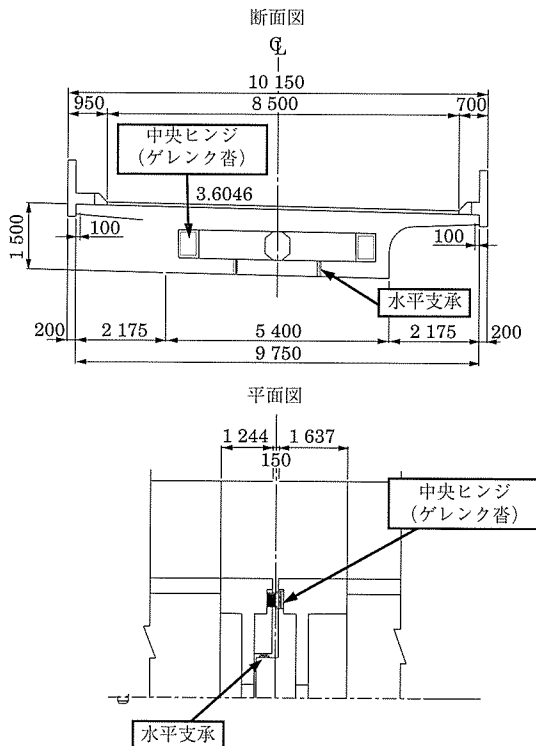


図 - 2 断面図および中央ヒンジ配置図

### 3. 損傷状況

本橋の損傷について以下に示す。

- ① 中央ヒンジ部の垂れ下がり (写真 - 2)
- ② 凍結防止剤を含んだ雨水の浸入による中央ヒンジの腐食

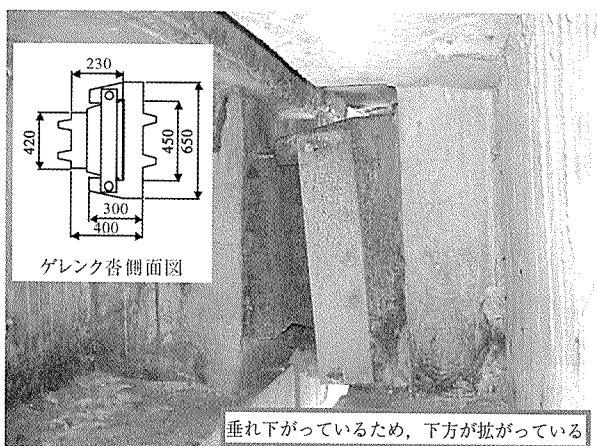


写真 - 2 中央ヒンジ (ゲレンク沓)

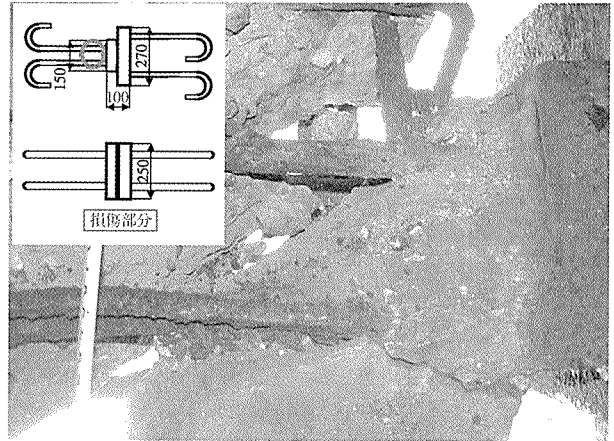


写真 - 3 水平支承コンクリートの破壊

③ 中央水平支承部コンクリートの破壊 (写真 - 3)

④ 中央部のジョイントの遊間異常

昭和 52 年, 同 57 年, 平成 14 年 6 月と中央ヒンジ部の垂れ下がりについて計測調査を行ってきたが, 供用当初の約 13 cm の上げ越しに対し, 現在までに計画高より約 15 cm の垂れ下がりが生じている (図 - 3)。

中央ヒンジ部の垂れ下がりの要因の一つとして, 建設当時の設計と実際のコンクリートのクリープなどの物性の評価に差があったことがあげられる。このことは, 本橋が建設されたあと, ヤング係数の見直しが行われていることからもうかがえる。(たとえば, 設計基準強度 40 N/mm<sup>2</sup> のコンクリートのヤング係数は道路橋示方書・同解説 (社団法人 日本道路協会) 平成 2 年版において 3.5 × 10<sup>4</sup> N/mm<sup>2</sup> から 3.1 × 10<sup>4</sup> N/mm<sup>2</sup> へと見直しが行われている。)

## 4. 工事概要

### 4.1 対策工法の選定

中央ヒンジ部の垂れ下がり対策案として考えられる工法を以下に示す。

案①構造系を変えない場合

- ・既設ヒンジにベアリングプレートを挿入する。
- ・中央ヒンジを取り替える
- ・中央ヒンジを増やす。

案②構造系を変える場合

- ・中央ヒンジ部に橋脚を設置する。
- ・中央ヒンジ部を剛結化する。

案①は, 今後の変形の進行を抑制することができないことと, 将来においてジョイントの遊間異常を補修し続ける必要がある。

また, 案②のうち「中間橋脚を設置する」案については, 設置位置が河川の流芯付近になるため実質不可能である。

よって, 今後の維持管理の軽減および走行性の改善を図るための抜本的な対策として, 「中央ヒンジ部の剛結」による上部工の連結化案を採用することとした (図 - 4)。

### 4.2 上部工の連結化

1) 補強外ケーブルの配置検討

本橋における上部工の連結化は, 補強外ケーブルによる

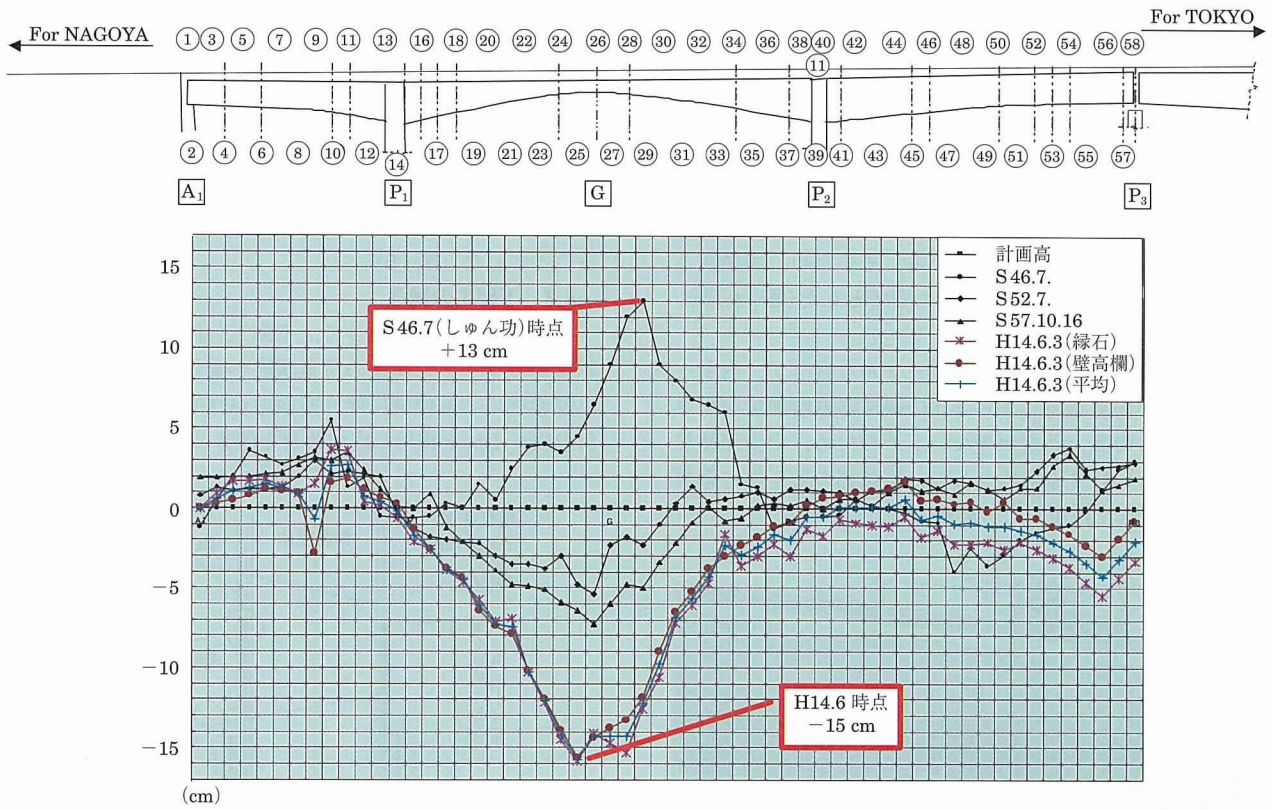


図-3 たわみグラフ

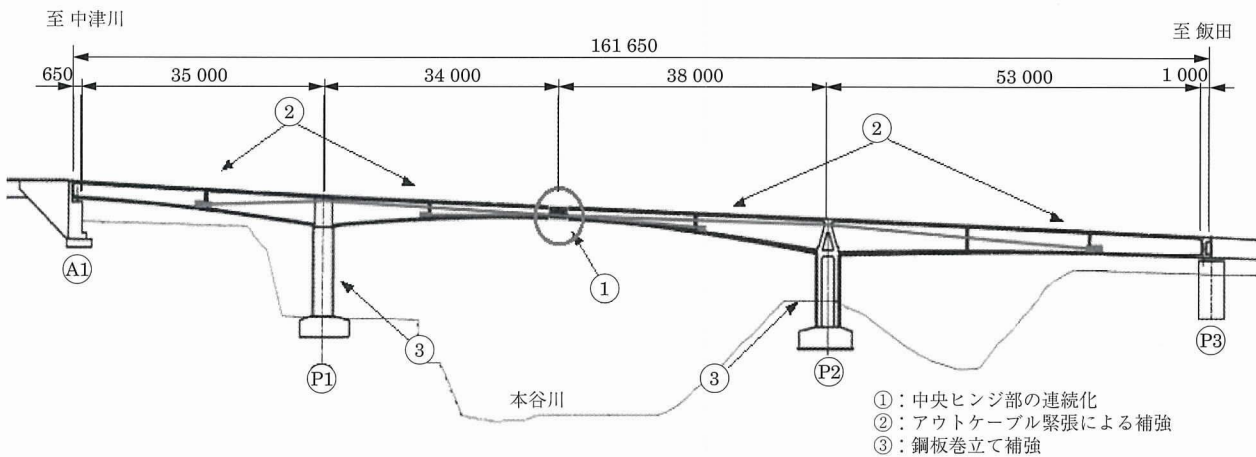


図-4 補強一般図

剛結連続化とした。補強外ケーブルの配置が可能なタイプは、箱桁内に配置し既設の部材を偏向部とするタイプ (TYPE I) と中央連続部の主桁下面に新たに偏向部を設置し少ない PC 鋼材量で、より多量のプレストレスを導入するタイプ (TYPE II) が考えられるが、主要点の応力度等の構造的、施工性、既設部材への影響および応力バランス等から TYPE I を採用することとした (図-5)。

2) 定着位置の検討

補強外ケーブルは、中央ヒンジ部の連続化に対する補強とともに、活荷重強度の増加に対する中間支点上 (P1, P2) の補強も兼ねている。

側径間部への定着は、主桁への負担軽減が期待できる隔

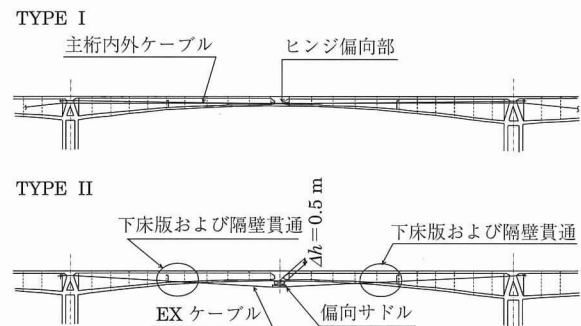


図-5 補強外ケーブル配置比較

壁部背面に定着させることとした(図-4, ②)。

中央径間部に配置する補強外ケーブルの定着位置は、柱頭部や端横桁などの剛性の高い部材への定着が一般的であるが、本橋の柱頭部構造は、通常の隔壁構造ではなくコンクリート壁を三角形のトラス状に組み合わせた形式であり、柱頭部構造へ負担および主桁へのプレストレス導入が不明確となる。また、柱頭部内でプレストレス力の流れが複雑なため、柱頭部の補強が困難となる。そのため、側径間と同様に中央径間の中間隔壁位置への定着とした(図-4, ②)。

### 3) 終局荷重時に対する補強

上部工の連続化の補強は、外ケーブルで行うが、内ケーブルと違い終局荷重時におけるPC鋼材応力増加量が小さく、曲げ耐力の向上効果が少ない。そのため、中央剛結部の終局荷重時に対する補強として、剛結部の桁下縁に鋼板を接着する工法を採用した(写真-4)。



写真-4 床版下面鋼板接着補強

### 4) 定着部背面の補強

補強外ケーブルのプレストレスによる力が定着体を介して主桁に伝達されるため、定着体付近の既設部材には複雑な応力が働くことになる。定着体付近の応力状態を把握するため立体FEM解析をおこなったところ、既設の下スラブとウェブには、定着体背面に局所的な引張応力が発生する結果となった。そのため、この局部応力に対して帯鋼板を接着することにより補強を行うこととした(図-6)。

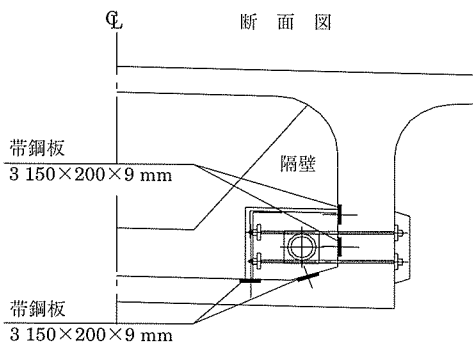


図-6 定着突起部鋼板補強

### 5) 主桁横方向の補強

補強外ケーブルの配置は、主桁部材とPC鋼材との付着がないことから、補強外ケーブルのプレストレスが主桁に外力として載荷されることとなる。この外力が主桁横方向の変形を生じさせ、既存の各部材に横方向の曲げモーメントを発生させることとなる。そのため、主桁横方向の断面力に対しての補強として、定着突起の近傍に隔壁を設置することとした(図-6)。

### 4.3 下部工の補強

上部工の連続化によって、下部工へ作用する荷重が既設状態からラーメン構造の荷重状態へ変化し、橋脚に主桁の温度変化による伸縮に伴う断面力が作用することから、鋼板巻立て工法を採用し応力改善を図ることとした(図-7)。

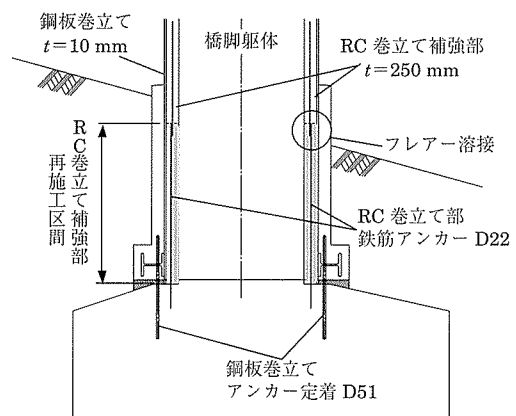


図-7 P1 橋脚補強概要

中央ヒンジ部の剛結化後における橋脚柱基部の曲げモーメントの絶対値が最大となるのは、「死荷重+活荷重+温度変化(-10℃)」時で、この状態では鋼板巻立てによる補強を行った場合でも橋脚柱基部断面の曲げ応力度を許容値以下にすることが困難となった。

よって、これを改善させるため、中央ヒンジ部の剛結化前に、ジャッキを用いた水平加圧による橋脚柱基部の反力調整を行うこととした。

### 4.4 水平加圧工

上部工の連続化により橋脚には、外ケーブル緊張によるプレストレスや温度変化にともなう主桁の伸縮によって、構造改善前には作用していなかった断面力が作用する。このため、本橋では常時において橋脚柱基部の曲げ応力度が許容値を満足しないケースが生じた。

そこで、図-8に示すように上部工の連続化前に油圧ジャッキを使用して中央ヒンジ部で水平加圧を行うことにより、橋脚柱基部の曲げ応力度の改善を図った。

水平加圧に際し、設計および連続化時期の影響について検討を行い、導入する水平加圧力を設定した。

#### (a) 線形の影響

水平加圧による各部材の発生断面力の算出は、主桁を直線とした2次元骨組モデルにより解析を行っている。

しかし、実構造物においては平面線形、縦断勾配、および中央ヒンジ部の垂れ下がりなどの要因があるため、構造

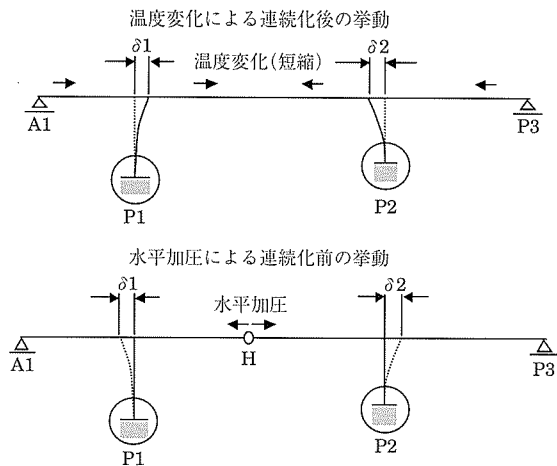


図 - 8 温度変化と水平加圧による挙動

表 - 1 橋脚断面力に与える線形の影響

	単位	P1 橋脚	P2 橋脚
		下端	下端
①平面線形の影響	%	-0.2%	0.0%
②縦断勾配の影響	%	-0.1%	-0.1%
③たわみ量の影響	%	-0.7%	-1.0%
直線解析に対する影響	%	-1.0%	-1.1%

解析結果に大きな影響を与えることが懸念された。

その結果、表 - 1 に示すように橋脚断面力に与える線形の影響は約 -1.0% となったため、導入する水平加圧力には、線形の影響を考慮しないこととした。

(b) 連続化時期の影響

水平加圧を行わずに連続化を行った場合、橋脚柱基部断面の曲げ応力度は、温度が降下する状態に対して許容値を満足することができない。しかし、本工事の連続化時の気温は、過去の記録から基準温度（年平均気温）に対してわずかに降下した状態となるため、11月のこの時期に連結すれば橋脚基部断面に作用する曲げモーメントは安全側となる。さらに、橋脚断面は温度上昇時には曲げ応力度に余裕があることから、連続化時における水平加圧力の温度補正を行う必要はないと判断した。

(c) 水平加圧力の設定

水平加圧を行ううえで重要なことは、各部材に損傷が生じないように必要な水平力を導入することである。

また、連続化する際に新たに連結部に構築した部材に初期欠陥を発生させないように、規制工事期間内に連続化を完了する必要がある。そこで、これらのことを踏まえて以下のように水平加圧力を設定した。

本橋が水平加圧を行わずに連続した場合には、基準温度に対して温度降下が -6.7℃ に達した状態で P1 橋脚柱基部断面の曲げ応力度が許容値を超過する。このため、設計温度変化 -10℃ に対して橋脚柱基部の曲げ応力度が許容値を超過する温度変化量分  $\Delta T = -10℃ - (-6.7℃) = -3.3℃$  だけ改善することとした。

したがって、上記の温度変化 (-3.3℃) により橋脚柱頭部に生じる水平変位量 ( $\delta 1, \delta 2$ ) に対して逆方向に同等

の変位量 ( $-\delta 1, -\delta 2$ ) が生じるように、水平加圧力の導入量を表 - 2 に示す値に設定した。

また、水平加圧力導入量の上限値は、P1 橋脚上端の部材断面が水平加圧力を導入する方向に対して安全率が最も低いため、この部材に注目して設定した。

P1 橋脚上端部の曲げ応力度が最大となるケースは「活荷重+温度変化 (+10℃)」時で、この時に負の応力度を生じさせない上限値を設定した。

表 - 2 設計水平変位量・水平加圧力

		水平変位量 (mm)		水平加圧力 (kN)
		橋脚柱頭部	中央ヒンジ部	
P1 橋脚側	$\delta 1$	-1.35	-1.57	1 030
P2 橋脚側	$\delta 2$	0.63	0.84	
計	$\Sigma \delta$	1.98	2.41	

4.5 工事計画

全体の工事計画を大別すると、上部工にかかる工事、下部工にかかる工事、対面通行規制期間中の工事、それ以外の期間に行う工事となる (図 - 9)。

(1) ステップ 1

- ・対面通行規制時に行う工事のための事前工事である。
- ・最初に行ったのは、工所用進入路、仮設構台および吊り場の設置である。
- ・上部工については、外ケーブル用の定着部・偏向部等の施工および中央連結部の下床版の撤去などを行った。
- ・下部工については、巻立てる鋼板の接着までを行った。

(2) ステップ 2～ステップ 5

- ・対面通行規制による通行止め時に行った工事である。
- ・上部工については、中央連結部の既設フィンガジョイントの撤去から始めた。これは全面ではなく片側車線分の施工を交互に行う必要があったが、短時間で施工を完了することができた。
- ・その後、中央連結部の配筋等を行い、ウェブ部に

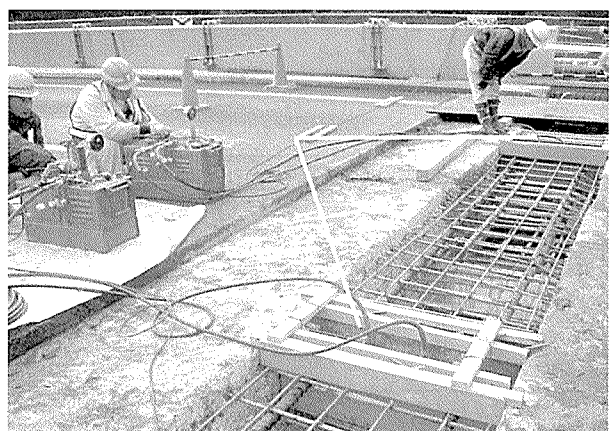


写真 - 5 水平加圧状況

反力調整用の 100 t 水平ジャッキ 2 台をセットした。

- ・計測を行いながら水平ジャッキを加圧し、所定の水平変位量を確認後、中央連結部のコンクリート打設を行った（写真-5）。
- ・コンクリート養生後、外ケーブル等補強用 PC 鋼材を緊張し、高欄等の橋面工を施工した。
- ・下部工については、上部工の中央連結部の施工を完了した後、アンカー定着を行った。

(3) ステップ 6

- ・対面通行規制時に行う工事を完了した後の工事で

ある。

- ・上部工については、箱桁下縁に補強用鋼板を接着し、下部工については、根巻きコンクリートの施工を行った。

4.6 計測工

4.6.1 概要

本橋は比較的橋脚高が低く、補強工事における水平反力調整時に橋脚付け根部に大きなモーメント、および支間中央部に大きな圧縮応力が生ずると想定された。

したがって、当初の設計で予想されなかった応力、変位等の挙動を把握し、工事の安全性を確認するため、施工中

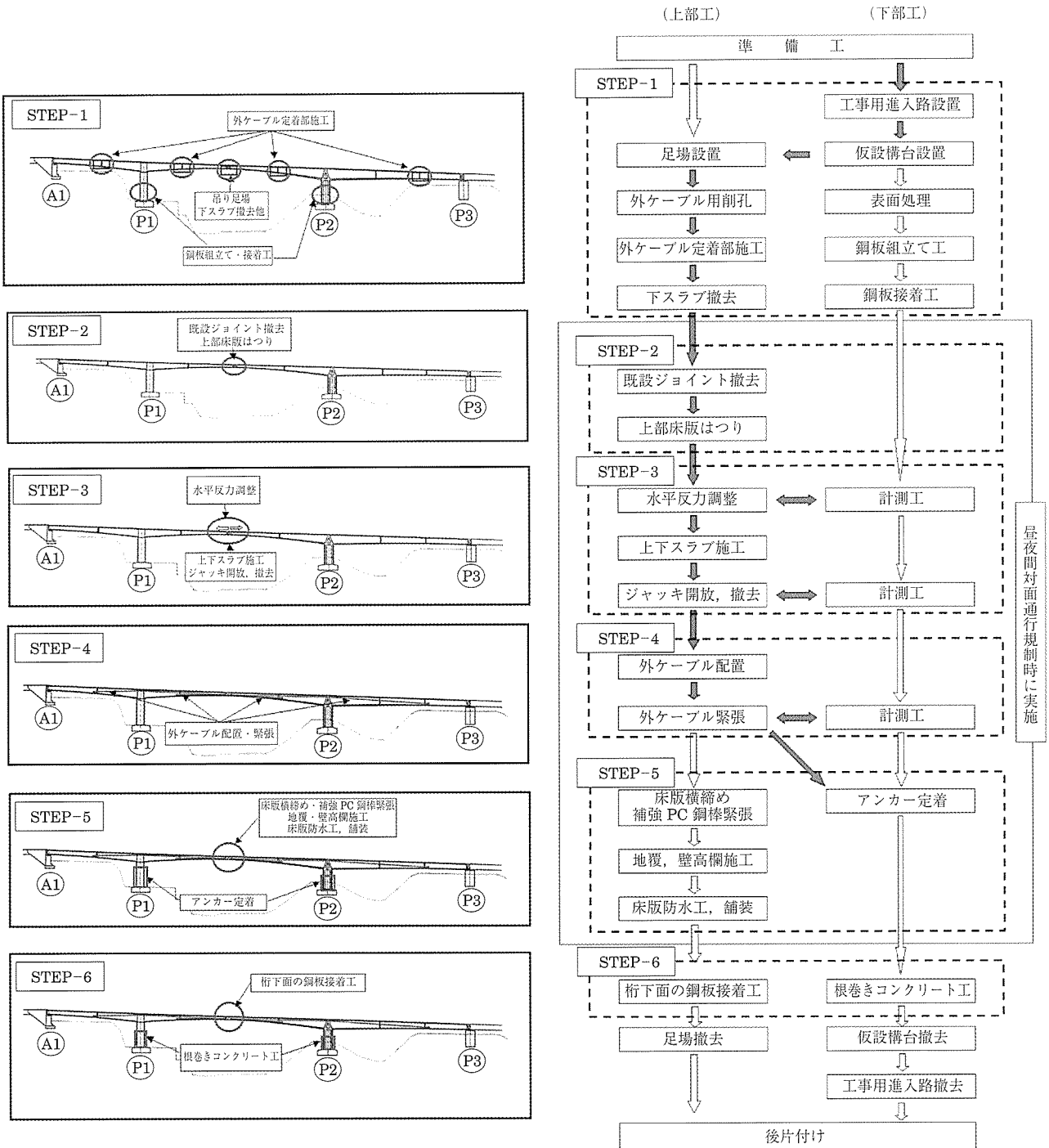


図 - 9 全体工事計画

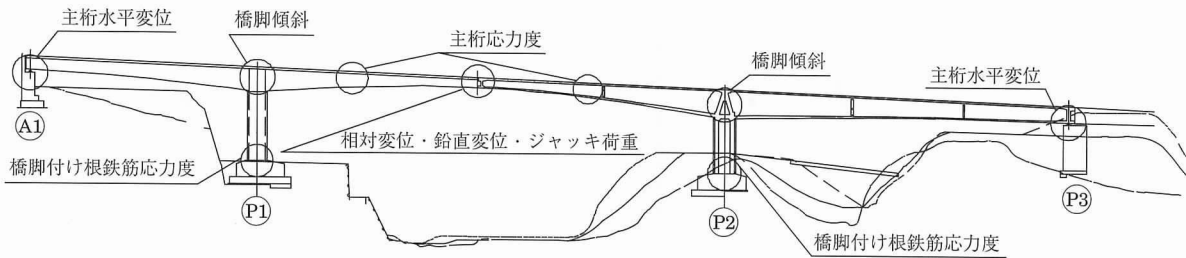


図 - 10 計測項目

に各部の変位，傾斜，応力等の変動を計測し，設計諸数値と比較・検証することとした（図 - 10）。

(1) 橋脚下端の鉄筋応力度

橋脚付け根部に大きなモーメントが生じるため，橋脚下端の鉄筋応力を計測した。

(2) 主桁のコンクリート応力度

支間中央部に大きな圧縮応力が生じる他，外ケーブル緊張時にも応力変動が生じるため，主桁の上下縁近傍のコンクリート応力を計測した。

(3) 桁端部の水平変位

水平反力調整時および外ケーブル緊張時に桁の水平移動が生じるため，主桁端部の変位を計測した。

(4) 中央ヒンジ部の水平・鉛直変位

桁を押し広げるため，左右主桁間の相対水平変位および主桁の鉛直変位を計測した。

(5) 橋脚の傾斜

水平反力調整時および外ケーブル緊張時に生じる水平変位は，橋脚の傾斜を伴って大きな曲げモーメントを生じさせるため，橋脚頭部の傾斜を計測した。

(6) 温度

現況の温度変化による主桁の伸縮量は，桁端部と中央ヒンジ部の水平変位として現れているが，中央ヒンジ部の剛結化後は，中央径間の伸縮はすべて橋脚へ水平力として作用することから，水平反力調整はその時点の主桁温度等に

より決定する必要があるため，主桁コンクリート，箱桁内部，外気等の温度を計測した。

(7) ジャッキ圧力

ジャッキ荷重の管理は主桁や橋脚の応力挙動に直接影響を及ぼすことから，前述の各計測項目とあわせて監視し，施工の安全性を確認した。

4.6.2 計測結果

(1) 水平変位（図 - 11，12）

最終水平加圧力（1 065 kN）を導入した時点において，所定の中央ヒンジ部相対変位量（2.51mm：設計値の104%）を与えることができた。

設計導入水平加圧力（1 029 kN）を導入した時点で，中央ヒンジ部相対変位量が設計値（2.41 mm）に達しなかったため，所定の変位量を導入できるように最終水平加圧力を1 078 kNに設定し，計測水平加圧力1 065 kNで加圧を完了した。

水平加圧に対する変位量は，加圧力と変位量の関係から変化率が徐々に増加しており，突出した値も確認されないことから，各加圧段階における変位には異常はないと判断される。

(2) 橋脚の傾斜（図 - 13）

最終水平加圧力を導入した時点において，橋脚の傾斜角は設計値の約50%にとどまる値を示したが，水平加圧力と傾斜角の関係からは突出した値は確認されないことから，

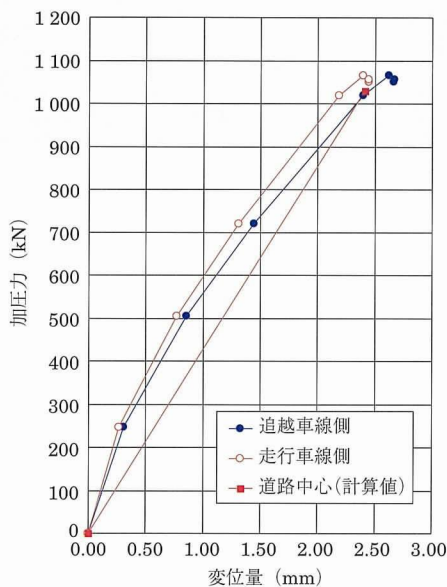


図 11 - 中央ヒンジ部相対変位

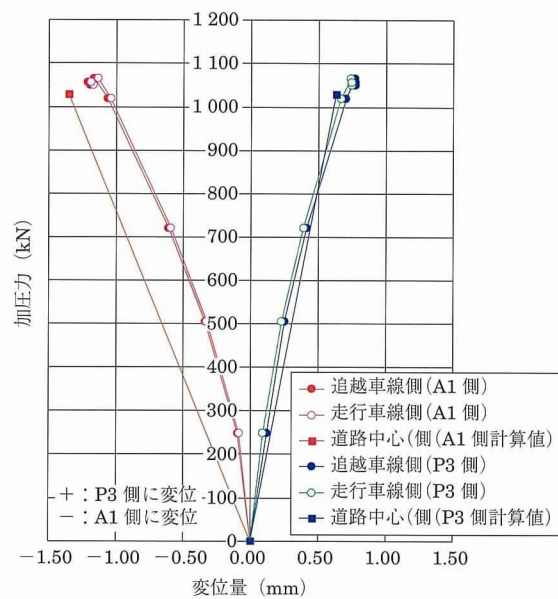


図 12 - けた端部水平変位

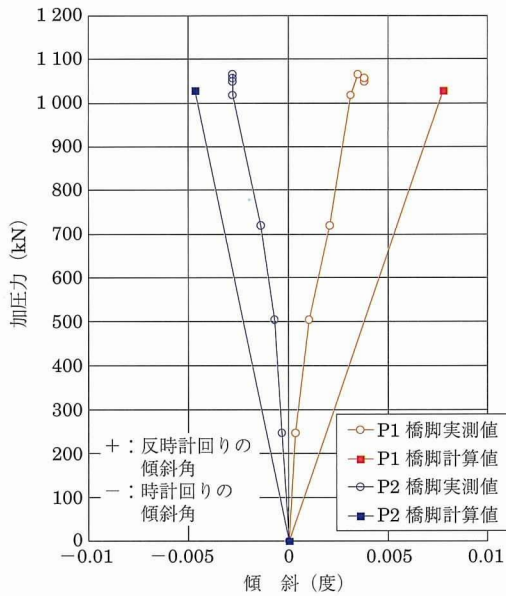


図 13 - 橋脚の傾斜

各加圧段階における傾斜角には異常はないと判断される。  
橋脚の傾斜角が設計値よりも小さかったにもかかわらず、所定の水平変位が生じているが、これは、橋脚基部付近での傾斜が想定よりも大きかったためと推測される。

(3) 鉛直たわみ (図 - 14)

最終水平加圧力を導入した時点において、鉛直たわみは設計値の約 80 % となった。原因としては、橋脚の傾斜角度が想定よりも小さいこと、主桁の曲げ剛性が想定よりも大きいこと等が考えられる。

水平加圧力とたわみ量の関係からは突出した値は確認されないことから、各加圧段階における鉛直たわみには異常はないと判断される。

(4) その他

橋脚鉄筋および主桁のひずみに関しては、水平加圧段階の異常有無の判断材料とした。両ひずみともに設計値よりも小さい値を示したが、水平加圧力とひずみの関係からは突出した値は確認されないことから、各加圧段階におけるひずみには異常はないと判断される。

(5) まとめ

以上の計測結果から、目安とした水平変位を導入することができたと考えられる。

また、水平加圧時以外で、中央ヒンジ部のコンクリート打設前後および外ケーブル緊張時にも同様な計測を実施しており、異常がないことを確認している。

5. おわりに

本工事の連続化工事は、昼夜間連続対面通行規制というかぎられた日数のなか、計測工を実施し設計値と実測値を比較しながら施工するという特殊な条件下であったにもかかわらず、工程どおり順調に進行し、無事故無災害で完了

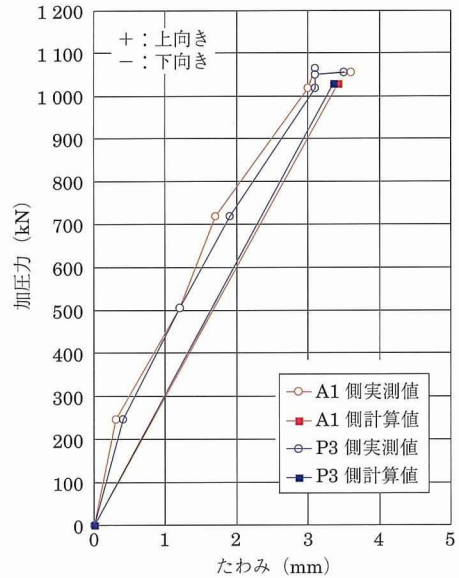


図 14 - 中央ヒンジ部垂直変位

することができた。今後も維持管理に努め、連続化後の状況を定期的に点検し、連続化の効果を確認していく予定である。

最後に、本工事の施工にあたり、多大なご指導ご協力を賜った関係各位に感謝の意を表するとともに、本報文が今後の参考になれば幸いである。



写真 - 6 完成

参考文献

- 1) 滝・伊東・富田・高城：本谷川第三橋補修工事報告，第 13 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，2004.10
- 2) 伊東・富田：中央ヒンジ連結による走行性の改善，技術情報誌「EXTEC」69号 Vol. 18, No.1, 2004.6

【2005 年 1 月 6 日受付】