

三井野原ループ6号橋の設計と施工

菅	原	信	二*
高	田	嘉	洋**
川	浦	順	一***

1. まえがき

三井野原ループ6号橋は、一般国道314号改築事業の一環として建設された。同国道は広島県福山市を起点とし島根県木次町に至る、総延長160kmの山陰と山陽を結ぶ幹線道路である。このうち広島・島根県境付近は地形が急峻なため、これまで幅員が狭く、線形も悪い未改良区間であり、冬期の積雪により通行止めとなることもしばしば生じている。このような状況に対し昭和53年度より、県境を挟む約11kmの区間の改築事業が実施されている。この中で島根県側の直線距離にして約1kmの区間は標高差が約170mもあり、橋梁とトンネルを主体とする、二重ループ構造として計画された。本橋はこのループ構造のほぼ中央に位置する。地形は急峻な谷部であり平面曲線半径が $R=120\text{m}$ となる区間であることから、断面のねじり剛性が高いPC箱桁断面とした。また、施工法はディビダーク工法であり、場所打ち片持ち張出し架設を行った。本橋での片持ち張出し施工は、平面曲線120m、縦断勾配3.7205%、横断勾配6.0%というこれまでに例のない厳しい条件下のものとなった。特に平面曲線 $R=120\text{m}$ は、この種の張出し架設されるPC橋としては、これまでの最小実績($R=150\text{m}$)を超えるものである。

以下に、三井野原ループ6号橋の設計と施工について報告する(写真-1、図-1~4)。

2. 工事概要

2.1 工事概要

工事名：一般国道314号三井野原ループ6号橋工事
工事場所：島根県仁多郡横田町奥鈿地内

工期：昭和62年7月31日～平成元年1月31日

発注者：建設省中国地方建設局松江国道工事事務所

設計：千代田コンサルタント株式会社

施工：住友建設株式会社

2.2 構造概要

橋種：プレストレストコンクリート道路橋

* Shinji SUGAWARA：建設省松江国道工事事務所所長

** Yoshihiro TAKADA：住友建設(株)広島支店

*** Junichi KAWAURA：住友建設(株)土木部



写真-1 施工状況

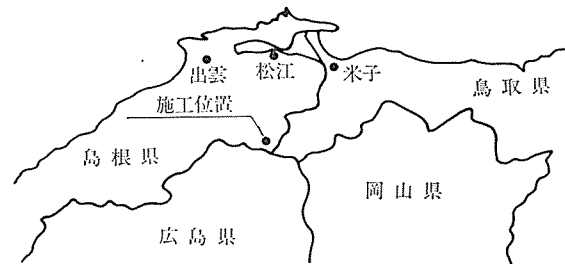


図-1 位置図

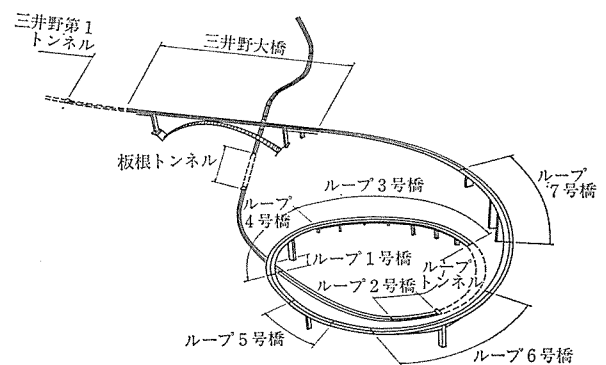


図-2 ループ橋全体図

道路規格：第3種第4級

橋格：1等橋

構造形式：PC 2径間連続Tラーメン橋

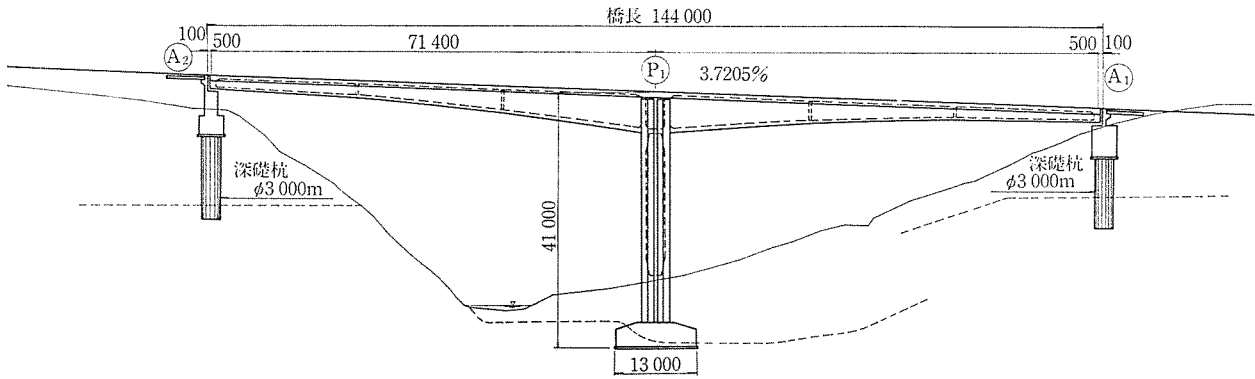
橋長：144.0m

支間：2@71.400m

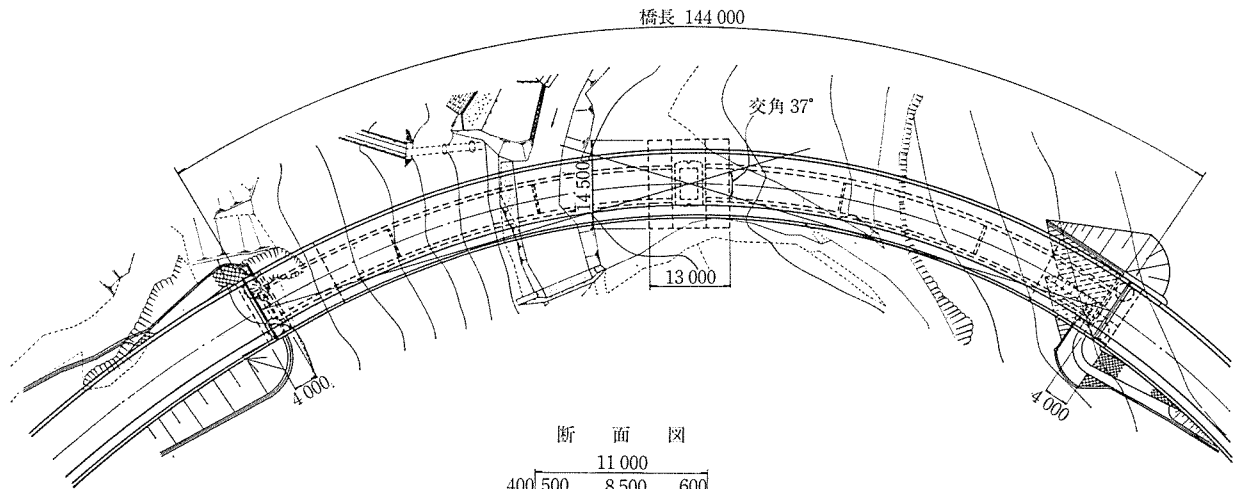
有効幅員：10.0m(車道8.5m+歩道1.5m)

斜角：90°

側面図



平面図



断面図

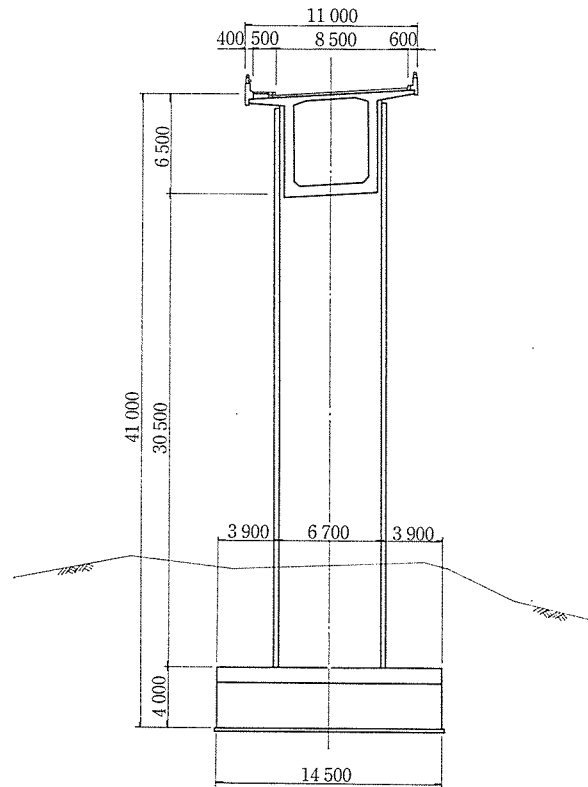


図-3 一般図

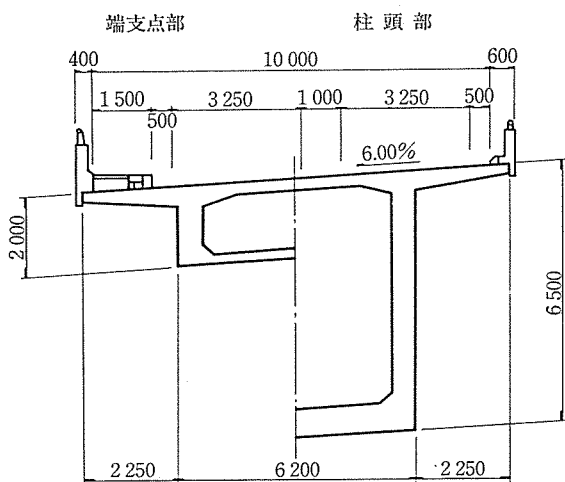


図-4 主桁断面図

平面曲線半径：120 m

縦断勾配：3.7205%

横断勾配：6.0%（片勾配）

2.3 主要材料

(1) コンクリート

上部工	$\sigma_{ck} = 400 \text{ kgf/cm}^2$
下部工 橋台、橋脚フーチング	$\sigma_{ck} = 210 \text{ kgf/cm}^2$
橋脚柱、深礎杭	$\sigma_{ck} = 240 \text{ kgf/cm}^2$

(2) PC 鋼材

主鋼材、せん断鋼材	SBPR 95/120 $\phi 32 \text{ mm}$
床版横締め鋼材	SBPR 95/120 $\phi 26 \text{ mm}$

(3) 鉄筋

SD 30 A

3. 設計概要

本橋は片持ち張出し架設される平面曲線半径 $R=120 \text{ m}$ を有する曲線橋である。このため、主桁には大きなねじりモーメントが作用し、橋脚には橋軸直角方向に大きな曲げモーメントが作用する。設計では、このような平面曲線の影響を正確に把握することに努めた。

3.1 全体構造解析

本橋の平面曲線は $R=120 \text{ m}$ 、交角 37° である。これは道示 III 14.1 の解説に示される平面曲線 200 m 程度、交角 30° を超えるものであり、コンクリート道路橋設計便覧 12.1.1 に示される立体薄肉構造解析が必要な場合（交角 45° ）よりは小さいものである。したがって、構造解析は平面曲線を考慮した立体骨組解析によることとした。

また、断面力は各施工段階での構造系の変化を追って計算し、Dishinger の理論によりクリープによる移行量を計算した。図-5、6 に解析骨組図、張出し架設時および完成時の断面力（曲げモーメント、ねじりモーメント）を示す。

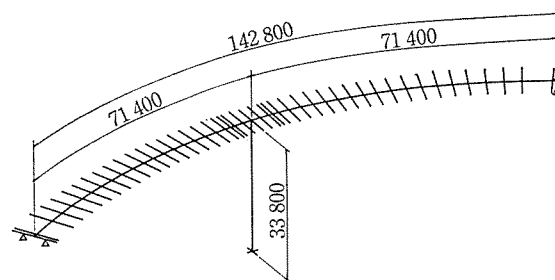


図-5 解析骨組図

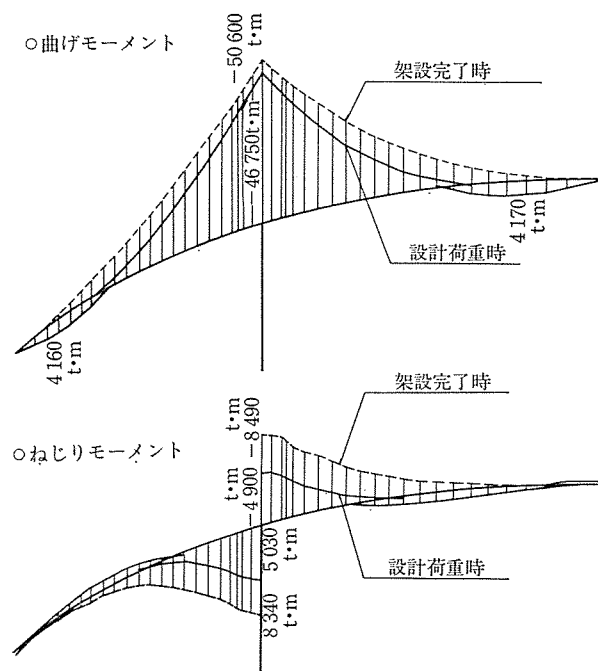


図-6 断面力図

3.2 耐震設計

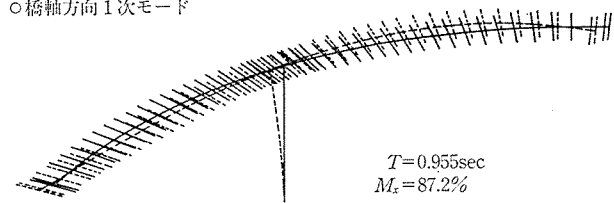
本橋の耐震設計は、道示の応答を考慮した修正震度法によることとした。固有周期は橋梁全体の構造を橋脚とそれが支持している上部構造部分を単位とする構造系に分割して計算し、その値は橋軸方向で 1.26 sec 、橋軸直角方向で 0.81 sec となった。これより設計水平震度を橋軸方向 0.17 、橋軸直角方向 0.19 とした。

また、これを補う目的で応答スペクトルを利用したモーダルアナリシス法による動的解析を行った。入力スペクトルには建設省土木研究所による岩盤の平均応答スペクトル曲線を用い、入力加速度は 170 gal とした。減衰定数は、上部工・下部工とも 5% とし、橋脚下端は直接基礎であることから剛支点とした。

解析の結果、特に高次のモードが卓越することはなく、橋軸方向、橋軸直角方向とも1次のモードが支配的であり（図-7）、性的に直橋と同様の結果が得られた。しかし、これにより求められた固有周期は先の値より小さく、断面力は動的解析によるほうが静的解析による場合より 15% 程度大きくなった。また、この断面力に対しても照査を行った。

◇工事報告◇

○橋軸方向1次モード



○橋軸直角方向1次モード

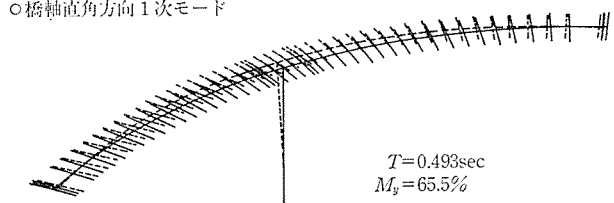


図-7 振動モード図

3.3 下部工の設計

橋脚付近は比較的平坦な谷部であり、埋土、表土が2m程度、その下にN値20の砂礫層が2~6m堆積し、強風化岩を挟む礫岩が分布している。橋台付近は30°~40°の急斜面で、その表層土は埋土、崩積土が2m程度の深さで堆積し、それ以深には砂状になった強風化岩などが分布し、さらにその下に支持地盤とした礫岩が平坦な堆積面で分布している。

支持層とした礫岩層は新第三紀中新世のもので、径2~20cm程度の花崗岩系、流紋岩系の硬質玉石を30~50%含み、厚さ50cm~1mの砂岩層を挟んでいるが、

全体としては比較的硬質なものである。また、橋脚フーチング掘削時に、簡易弾性波探査、一軸圧縮強度試験により支持力の確認を行ったが、その結果は3.0~3.5km/sec、および228kgf/cm²であり、中硬岩程度と判断できるものであった。

橋脚は直接基礎とし、脚柱は景観に配慮し断面を小さくするとともに、縦の溝型スリットとなだらかな曲線を組み合わせることにより、よりスレンダーに見えるよう工夫した。両橋台は、ともに支持層が深く斜面上に位置するためφ3.0mの深礎杭基礎とした。

橋脚には常時においても橋軸直角方向に大きな曲げモーメントが作用するため、2方向の曲げモーメントが作用する部材として照査した。

3.4 上部工の設計

桁高は柱頭部でH=6.5m、端支点上でH=2.0mとした。柱頭部での桁高/支間の比は1/11である。これは、橋脚から両橋台部にかけて急な傾斜面であり、橋台付近の主桁は吊支保工にて施工でき、しかも張出し施工は仮支柱、アウトケーブルなどの補助工法を必要としない桁高としたものである。また、主桁柱頭部には大きなねじりモーメントが作用するため、ここの桁高を大きくすることは、応力に余裕をもたせることとなる。

図-8に主桁配筋断面図を示す。柱頭部付近での上下床版の鉄筋量(D19@125)は主にねじりモーメントに対し配置している。ウェブの補強鋼材はスターラップ筋

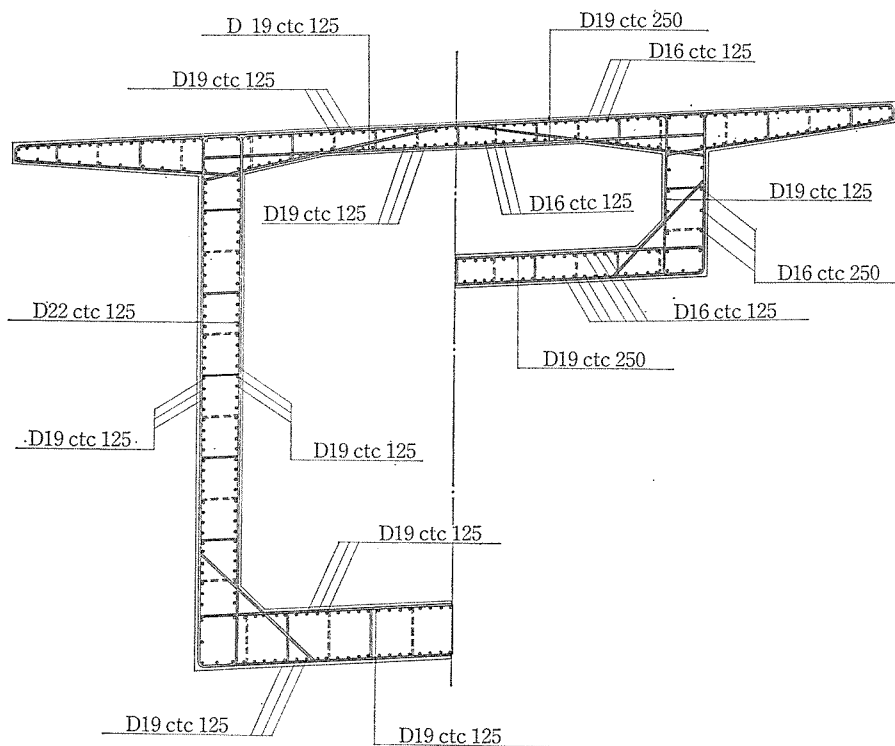


図-8 主桁配筋断面図

(D 22 @ 125) に加え、せん断鋼棒 (SBPR 95/120 φ 32 @ 250) を配置している。このように主桁の配筋量は、ねじりモーメントの影響により直橋の場合に比べかなり多くなっている。また、橋軸直角方向の鉄筋、PC 鋼材はすべて法線方向に配置した。

橋台上の支承は移動方向を特定する必要がない円形のリング沓 (全反力 290 t) を 4 個使用した。

4. 上部工の施工

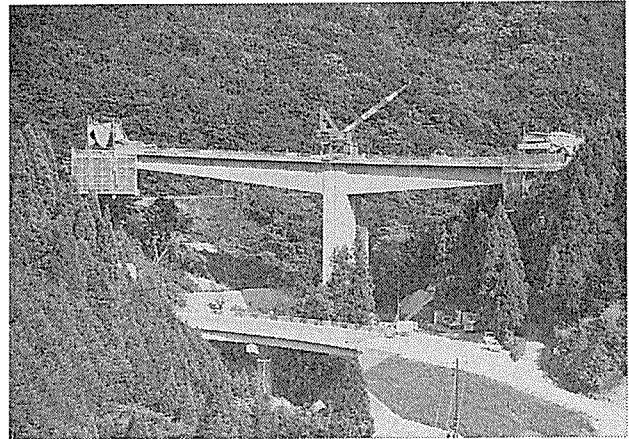
4.1 施工概要

柱頭部の施工はブラケット式支保工にて行った。コンクリートは下スラブ・ウェブと上スラブの 2 回に分けて打設した。主桁の張出し施工は、2 主桁一般型ワーゲンを使用し、コンクリート打設は橋脚下に設置したポンプ車を使用した。張出し施工終了後、橋台までの 8.4 m の区間は吊支保工にて施工した。

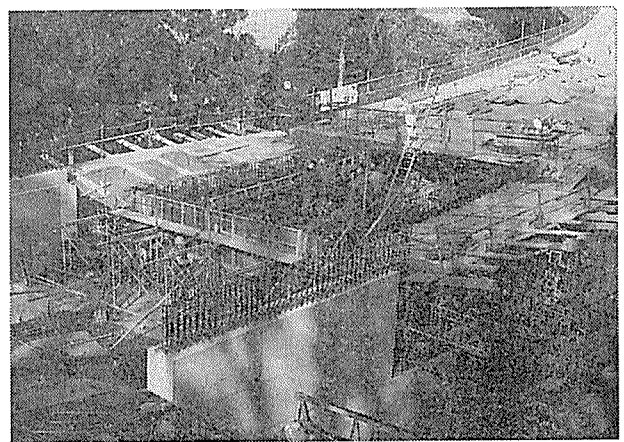
揚重設備として橋脚頭部、柱頭部の施工に必要な資材の吊上げおよびワーゲン組立てのため 50 t 吊クローラークレーンを設置した。張出し施工中は、柱頭部に固定設置したパワーリーチ E-60 を使用し、橋面上の資材の移動には、フォークリフト、パワーリーチ E-24 を使用した。また、昇降設備として人荷用エレベータを設置した (写真—2~4)。

4.2 施工上の特色

本橋の上部工施工は、小さな平面曲線、急な縦横断勾配など、厳しい条件下での張出し施工である。しかも、冬期には降雪による工事休止期間があり、工程上も厳しいものがあつた (図—9)。これに対し、張出し施工を安全にかつ効率よく進めるため、次のような改善、工夫を



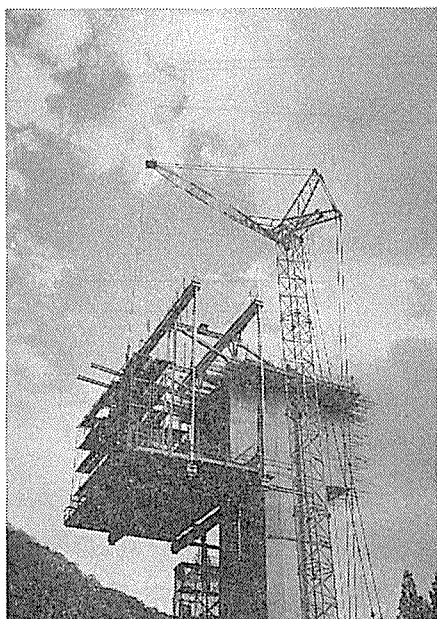
写真—3 張出し施工状況



写真—4 吊支保工の施工

行った。

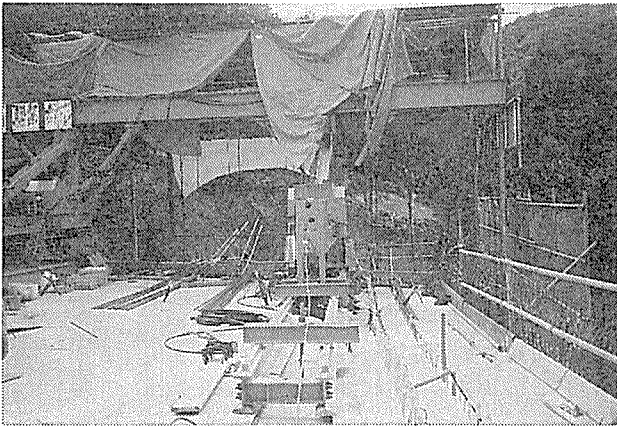
一般的な張出し施工は曲線橋の場合であっても、ワーゲンレールは直線のものを使用し、側型枠は 1 ブロック間で直線としこれを各ブロックごとに折れるような形で施工している。本橋の場合 1 ブロック ($L=4.0\text{ m}$) での



写真—2 ワーゲン組立

S 62	8	掘削	
	9	フーチング	
	10	P ₁ 橋脚	
	11		
	12		
S 63	1	(冬期積雪による休止期間)	
	2		
	3		
	4	柱頭部	
	5	ワーゲン組立	
	6	A ₂ 橋台	A ₁ 橋台
	7	張出し施工	張出し施工
	8	ワーゲン解体	ワーゲン解体
	9	吊支保工施工	吊支保工施工
	10	クラウト	クラウト
	11	吊支保工施工	吊支保工施工
	12	片付け工	橋面工
H 1	1		

図—9 工程表



写真—5 ワーゲンの曲線レール

シフト量が 7 cm と大きく、これに対し平面曲線が曲率一定の単円であることに着目し、曲線加工したワーゲンレールを使用した。レールを曲線としたことによる剛性の低下に対して、レールアンカーを中間に 1 箇所追加した。この曲線レールの使用により、施工効率は直線橋の場合と同程度となり、かつ安全に施工することができた(写真—5)。

型枠は景観に配慮し桁側面の仕上がりを向上させ、鋼材の組立・かぶりの確保を容易にするため、横梁を曲線に加工し曲面型枠を組み立て使用することとした。張出し施工では型枠を転用していくため、最初の型枠製作には手間どったものの、その後はかえって施工効率はよかった。

本橋における PC 鋼棒は、主桁断面で左右対称に配置された鋼棒であっても平面曲線の内外で長さにかんがりの

差が生じる。施工上できるだけ煩雑なものとならず、かつ鋼棒長を適切に調整するため、全体を断面的にグループ分けし加工長を計算した。

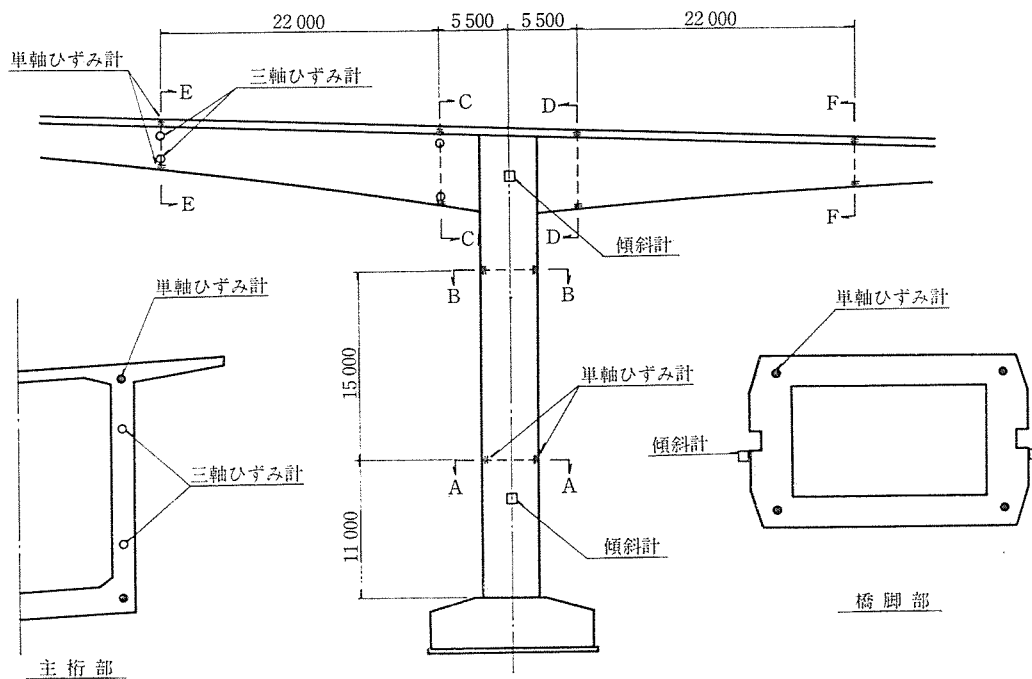
5. 施工管理

5.1 上げ越し管理・緊張管理

本橋の主桁には張出し施工中に主桁に大きなねじりモーメントが作用し、橋脚には左右の施工段階の差によるアンバランスモーメントが作用するほかに、橋軸直角方向にこれよりもはるかに大きな曲げモーメントが作用する。したがって、上げ越し計算は、ワーゲン移動、コンクリート打設、PC 鋼材緊張および吊支保工施工の各施工段階に対し立体解析を行い、主桁の鉛直変位、橋軸直角方向の回転角、橋脚天端の水平変位などを求めた。

主桁の上げ越し計算結果は実際とよく一致し、主桁計画高さは許容値内におさめることができた。しかし後述する橋脚傾斜角の計測において、計算結果より大きな傾きが計測された。この原因は支持地盤の弾性変形であると考えられる。上げ越し計算は橋脚下端を固定として解析していたが、支持層を中硬岩と考えフーチング下面での変形をバネ支点として考慮して解析したところ、計算結果は実際とよく一致した。橋脚傾斜量の違いは主桁の鉛直変位に影響するほどではなく、また完成後の主要点での応力は設計値を下回る傾向にあったため特に問題とはならなかった。本橋のように施工中下部工に大きなモーメントが作用する場合は、十分な注意が必要である。

緊張計算は平面曲線による PC 鋼棒の角度変化を考慮



図—10 計測位置図

して行い、設計計算における各断面の平均導入緊張力が導入されることを確認した。この結果により緊張作業を行い、ディビダーク指針の規定に従って管理した。

5.2 施工中の応力、変位の計測

本橋の平面曲線半径はこれまでの施工実績を越えるものであり、不測の事態に備えるため、橋梁の主要箇所計測器を配置し、施工中の応力、変形の変化を確認することとした。

(1) 計測項目、計測方法

1) 橋脚部材軸方向のコンクリートひずみ

施工中、橋脚に作用する曲げモーメントによる応力を把握するため、橋脚四隅の軸方向コンクリートひずみを計測する。

2) 主桁部材軸方向のコンクリートひずみ

曲線橋であることから、主桁断面の左右の応力差、主桁に作用するねじりモーメントによる影響を把握するため、左右ウェブの上下縁のコンクリートひずみを計測する。

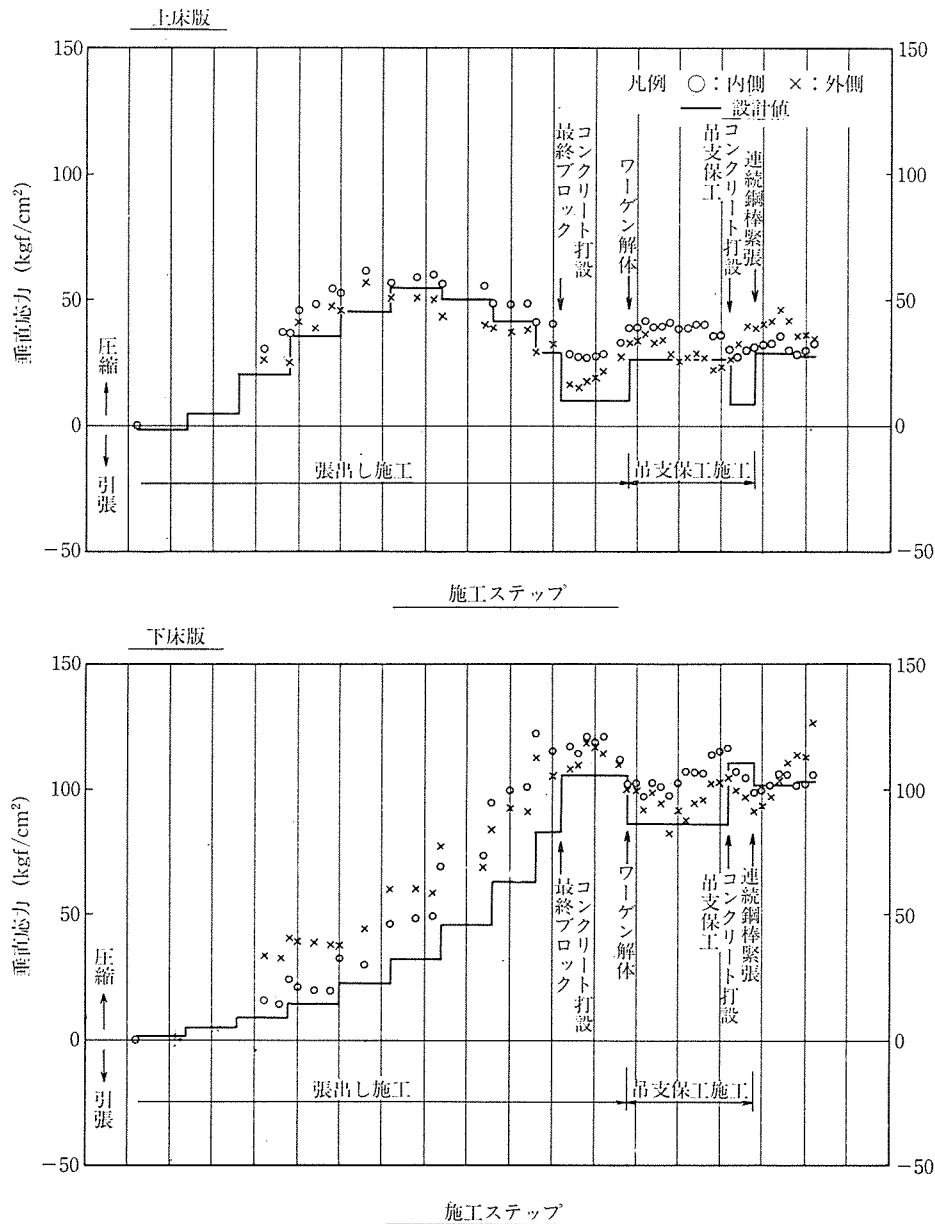
3) 橋脚、柱頭部の傾斜角

中間橋脚基礎地盤は岩盤であるが、その強度は一様ではなく、施工中に作用する橋軸直角方向モーメントにより基礎の不同沈下を生じる恐れがある。このことから、橋脚上下端の傾斜を計測する。

4) 橋脚、主桁のコンクリート温度

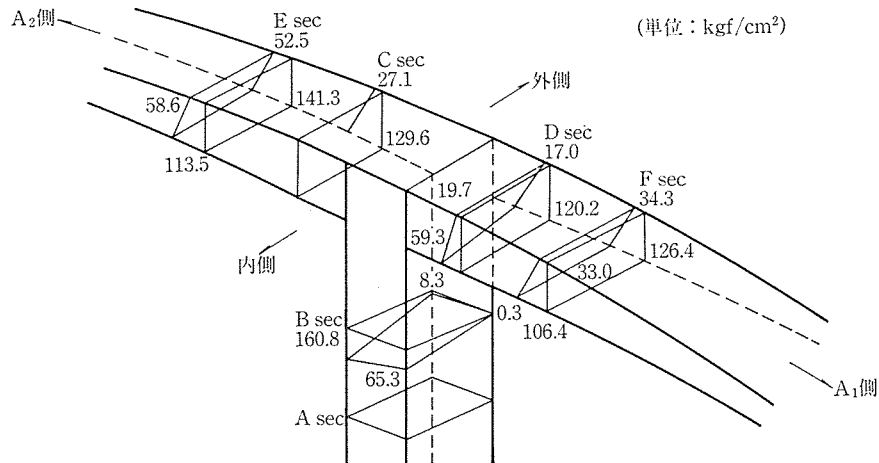
コンクリートひずみ量の温度補正の資料とする。

計測位置は断面力、部材寸法などを考慮して、図—10に示す A sec~F sec の6断面とした。計測器は一軸ひずみ計、三軸ひずみ計、傾斜計を使用した。



図—11 応力経時変化図 (F sec)

橋梁完成時（地覆コンクリート打設後）
(1989.1.16)



図—12 応力分布図

(2) 計測結果

張出し施工中は次のような基準を定め、計測結果を監視し構造物の安全性を確認した。

1) 橋脚の傾斜量

主要施工段階毎に求めた計算値を比較の対象とし、コンクリート打設中の急激な変化がなく、打設後も安定した状態にあるかどうかを確認した。

2) 橋脚、主桁の応力度

主要施工段階ごとに求めた計算値を比較の対象とし、特に応力経時変化図(図—11)によって確認した。また主桁の主応力に関しては、次のような目安を設定した。

最大主応力(圧縮)..... $\sigma_c = 162.5 \text{ kgf/cm}^2$

最小主応力(引張)..... $\sigma_t = 16.3 \text{ kgf/cm}^2$

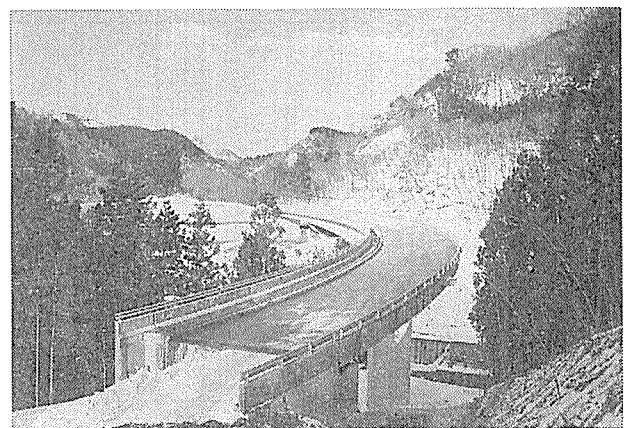
計測の結果を要約すれば以下のようなものである。

- ① 橋脚の応力は、張出し施工に伴う断面力の増加により変化したが、その値は設計値によく一致した。
- ② 橋脚の変位は地盤の変形を考慮して計算した結果とよく一致した。
- ③ 主桁の曲げ応力は、張出し施工に伴い増加し、吊支保工の施工により減少傾向を示し、この挙動は設計値とよく一致した。主桁左右の曲げ応力の差は顕著には現れず、設計で仮定したような棒構造による構造解析で充分である。
- ④ 主桁の主応力は、張出し施工に伴うねじりモーメントの増加により左右ウェブの応力差が明確に現れたが、許容値を上回ることにはなかった。

以上の計測により、本橋の施工が異常なく安全に進められることが確認された(図—12)。

6. あとがき

本橋は張出し架設されるPC橋としては、我が国最小



写真—6 完成写真

の平面曲線 $R=120 \text{ m}$ を有する曲線橋である。施工上の改善により工期内に無事竣工することができ、応力、変形の計測により本橋の施工が異常なく安全に進められたことが確認された(写真—6)。 $R=120 \text{ m}$ までの曲線橋の張出し施工が効率よく確実に行えることが実証され、さらに小さな平面曲線であっても施工上の障害とはならないと考えられる。本橋の施工実績により、張出し架設されるPC橋の適用範囲がより一層広がるものと考えられる。

最後にループ6号橋の設計と施工において、多大の御指導と御援助をいただいた関係各位に誌面をかりて謝意を申し上げる。本報告がこの種の橋梁の計画、建設の参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 土嶋知己, 長棟良紀: 一般国道 314 号板根道路ループ 6 号橋の施工, 土木施工, Vol. 30, No. 3, 1989, pp. 67-73
- 2) 高田嘉洋, 板木栄一, 川浦順一: 三井野原ループ 6 号橋の施工, (社)プレストレストコンクリート技術協会, 第 29 回研究発表会, pp. 75-78

【1989年12月25日受付】