

論文・報告

キーワード

男神橋
FCC工法
SK式深礎杭
TV自動計測
ひずみ計測

男神橋の設計と施工

Design and Construction of OGAMI Bridge

尾 藤 喜久雄*
Kikuo BITO

野 田 行 衛**
Yukie NODA

石 原 英 夫***
Hideo ISHIHARA

山下 龍 哉****
Tatsuya MANZANKA

1. まえがき

男神橋は、秋田県雄物川水系玉川の玉川ダム築造に伴い水没する町道小和瀬線付け替え工事の一環として架設するもので、ダム貯水池のほぼ中央を横断する橋長430 m(最長スパン130 m)、総幅員6.7 m(有効幅員5.5 m)の4径間連続ラーメン橋である。図-1に全体一般図を示す。

架設工法は、架橋位置が50 m~65 mと高いことから、ケーブルシステムを用いた片持ち張出し工法(FCC工

法)と、わが社が開発したSK式(スライド式鋼製ケーシング土留め棒)深礎杭を基礎としたパネル支保工により施工を行った。

以下、本橋の設計概要と施工について述べるとともに、施工管理を兼ねて行われたTV自動計測システムによるたわみ管理およびひずみ測定での計測結果について報告する。

2. 設計

(1) 設計条件

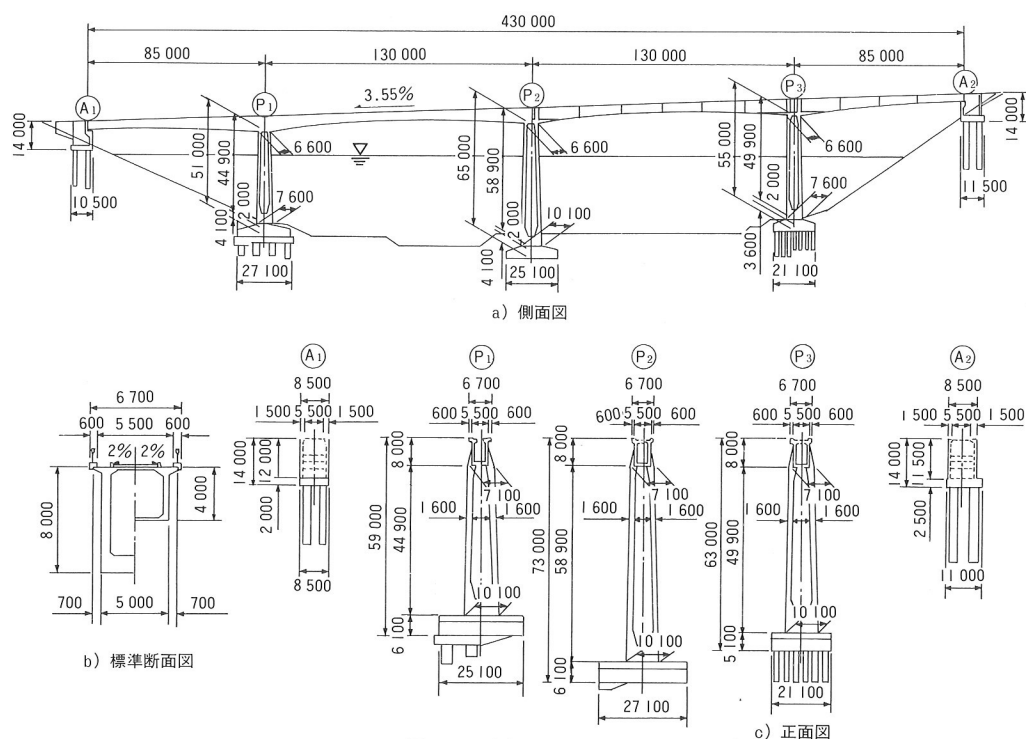


図-1 全体一般図

*川田建設(株)東京支店工務部工務課課長 **川田建設(株)工事本部開発部技術開発課課長 ***川田建設(株)東京支店工務部工務二課
****川田建設(株)工事本部技術部技術二課

橋 種：プレストレストコンクリート橋
 構造形式：4 径間連続ラーメン箱桁橋
 橋 長：430 m
 支 間：83.5 m+130.0 m+130.0 m+83.5 m
 幅 員：0.6 m+5.5 m+0.6 m=6.7 m
 活 荷 重：TL-14
 衝撃係数： $i=20/(50+l)$, $i=10/(25+l)$
 縦断勾配：3.55%~0.3%
 平面線形： $R=\infty$
 架設工法：片持ち張出し工法(FCC工法)

(2) 設計概要

本橋では、構造系が施工段階とともに変化し、各施工ブロックでコンクリート材令が異なるため、クリープや乾燥収縮により不静定力が発生する。またプレストレスについても、上記の原因の他にPC鋼材を各施工段階ごとに緊張することにより、PC鋼材のロス計算およびプレストレスによる不静定力は、全支保工の場合と異なる。これらの不静定力を正確に把握するために、FCCプログラムにより解析を行った。

施工方法は、基本設計で橋台斜面が兩岸とも急傾斜のため、中央径間閉合後、側径間2ブロック(ブロック長4 m)片張出しを行い吊り支保工による側径間施工方法を取っていたが、斜面上での支保工が可能であると判断し、その結果、施主の了解を得て、側径間施工を深礎杭を基礎としたパネル支保工による施工とした。この方法による長所は以下のとおりである。

① 縦締PC鋼材の張力解放の必要がなくなった(基本設計では、中央閉合後、側径間側片張出しをするために架設用PC鋼材が必要であり、構造完成後にはこのPC鋼材が不用になるため、PC鋼材の張力解放が必要である)。

② ボックス内のPC鋼材定着用の突起(上床版、ウェブ)がなくなり、施工性が向上する。

緊張は、PC鋼材セット量の影響を考慮して4ブロックまで交互の片引きとし、鋼材定着方式はVSL(EC 5-12)工法とした。

また、本橋はダム貯水池の中央を横断すること、冬期作業休止を考慮して、地震時動水圧の検討、架設途中(12ブロック張出し時)での地震、風、雪荷重についての検討も行った。

図-2、3に設計のフロー、不静定力解析フローを示す。

3. 施工

(1) 工事概要

工 事 名：玉川ダム町道小和瀬線付け替え男神橋工事

路 線 名：町道小和瀬線

工事場所：秋田県仙北郡田沢湖町田沢～玉川地内

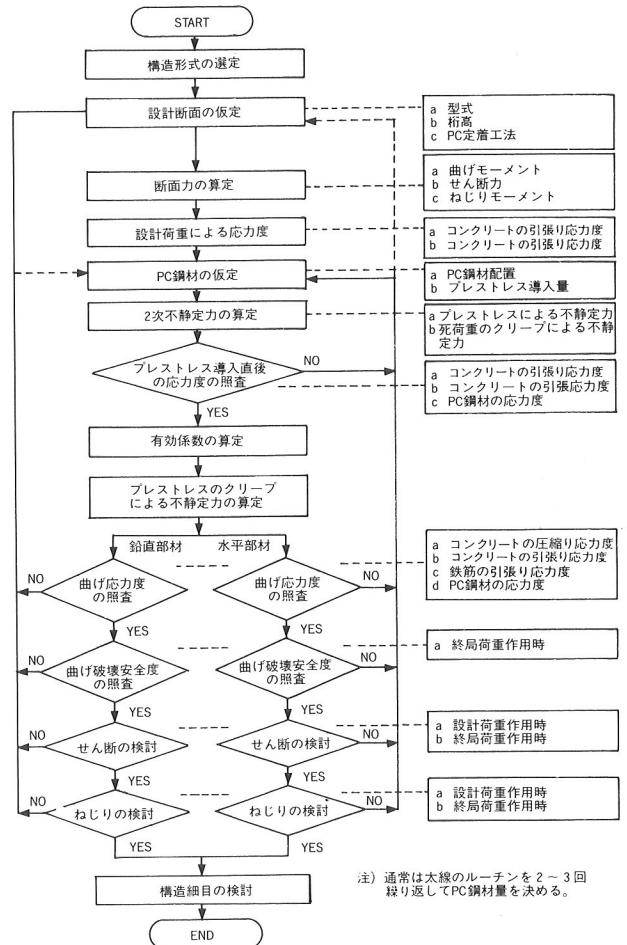


図-2 設計フロー図

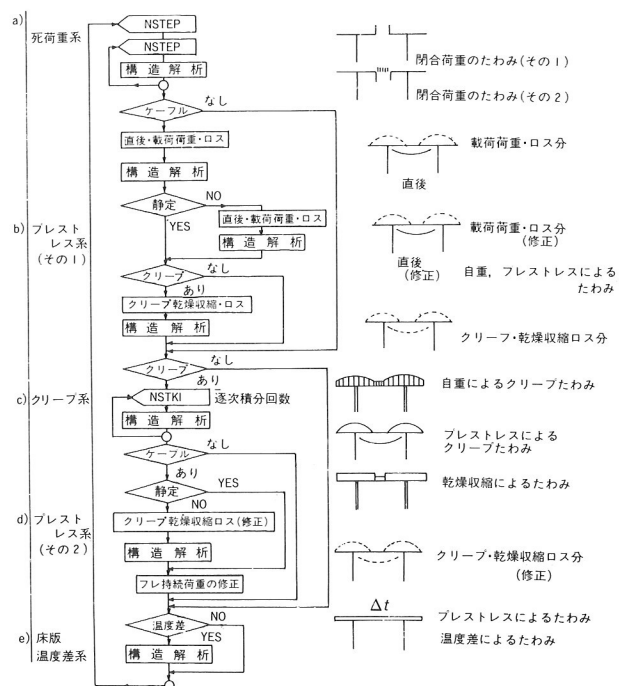


図-3 不静定力解析フロー図

工 期：(自)昭和62年4月1日

(至)昭和63年9月30日

施 主：東北地方建設局玉川ダム工事事務所

施 工 者：鴻池組・川田建設共同企業体

施工方法：FCC工法

(2) 主要材料概略数量

コンクリート： $\sigma_{ck}=400 \text{ kg/cm}^2$ 4 755.4 m^3

鉄 筋：SD30A 704.4 t

PC 鋼 線：VSL(EC 5-12) 246.8 t

PC 鋼 棒：SBPR80/95 36.1 t

支 承：高硬度ローラー支承 6.9 t

伸 縮 継 手：マウラージョイント 4.5 t

(3) 柱頭部の施工

柱頭部の施工は、工期の関係から3橋脚ほぼ同時に施工を始めた。

柱頭部支保工は、橋脚が高いためブラケット式の支保工を採用し、トラベラー(移動作業車)の下段作業台および柱頭部の材料を仮置きするためのスペースを確保するため、長さ10mの大型ブラケットとした。柱頭部支保工の組立は、地組みしたブラケットを4t吊りタワークレーンにより吊り揚げ、PC鋼棒により橋脚に固定した後、枠組支保工および作業足場の組立を行った(図-4参照)。

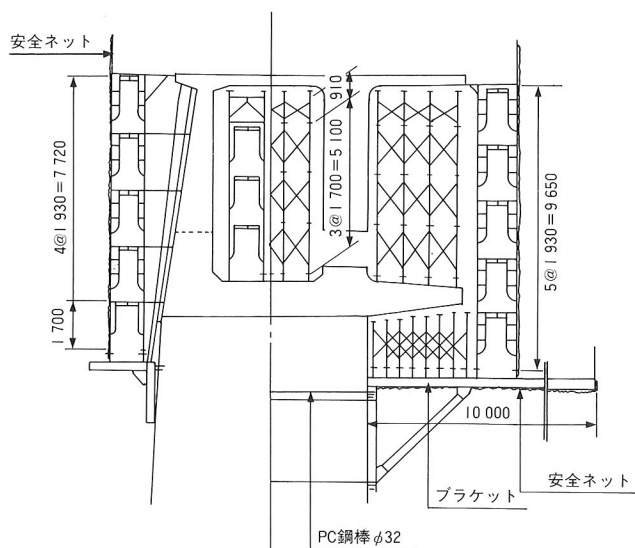


図-4 柱頭部支保工図

コンクリート打設は、タワークレーンそしてバケットによる方法と、コンクリートポンプ車圧送による方法が考えられたが、打設個所が高所であることとタワークレーン能力の関係上、時間当たりの打設能力が減少し打設回数を細かく分割施工する必要があるため、本橋では、流動化剤によりスランプを8cmから12cmに上げて、ポンプ車により圧送、打設を行った。

(4) 主桁張出し施工

柱頭部施工後、FCC工法による主桁の張出し施工を行った。

各柱頭部上で2基ずつのトラベラー、計6基をタワークレーンにて組み立て、鋼製型枠によっておのおの17ブロック(1ブロック長2.5m~4.0m)、計127mの張出し施工を行った(写真-1参照)。

張出し施工のフロー図およびサイクル工程を図-5、6に示す。

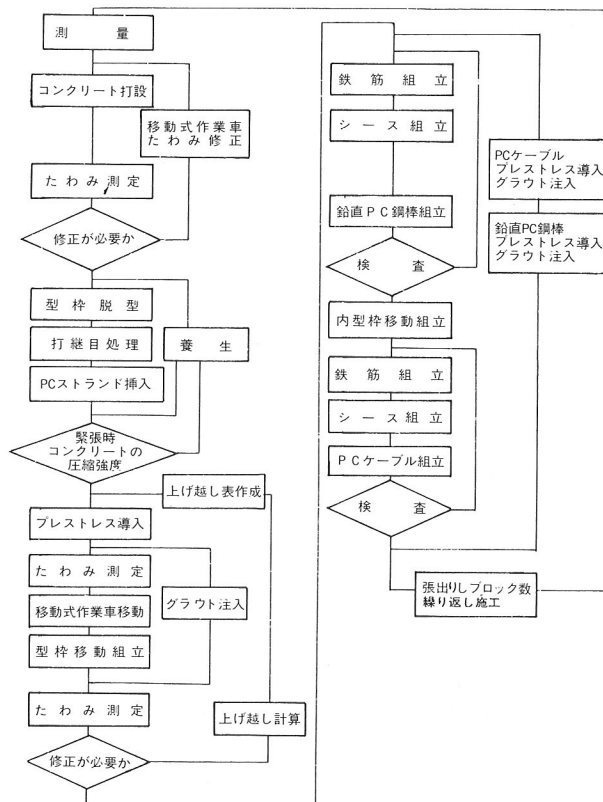


図-5 張出し施工フロー図

工程	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
プレストレスリンク										
移動式作業車移動据付け										
下床版、ウェブ配筋										
シーす組立										
内型枠組立										
上床版配筋										
小口型枠設置										
コンクリート打設										
養生										
PC鋼棒挿入										
緊張準備										

(注) 上表は稼働率を考慮した工程である。

図-6 サイクル工程

主桁張出し施工中は、従来のレベルによるたわみ管理だけでなく、TV自動計測システムにより管理のホローアップを行った。また、桁内にひずみゲージを埋め込み、応力のチェック、クリープ・乾燥収縮の計測を行った。

コンクリート打設は柱頭部と同様、流動化剤を添加してスランプを8cmから12cmに上げた後、コンクリートポンプ車により圧送した。垂直配管については高圧圧送管

を配管し、橋面部分左右に配管した車線下り部分にコンクリートを充填し、次に上り部分に切り替えハンチ少し上まで打設した状態で下り部分に切り替え、以後左右バランスをとりながら交互に打設を行った。

PC鋼線挿入はすべてコンクリート養生中に行い、1～2ブロックを人力挿入、3～12ブロックをウインチ挿入、13～17ブロックをプッシングマシン挿入により施工したい。緊張はVSLジャッキ、ポンプを使用して行った。ジャッキストロークは緊張によるケーブル伸び量を考慮して、15ブロックまでを400ストロークジャッキ、16、17ブロックを500ストロークジャッキを使用し緊張作業を行った。



写真-1 張出し施工風景

(5) トラベラーの解体

張出し施工後、トラベラーを後退、柱頭部付近で解体した。

解体は、まず側型枠の撤去、作業足場の解体、底版型枠受梁をパワーリーチで撤去する。次に、主構梁にチェーンブロック(5t吊り4台、揚程50m)をセットし、下段作業台を降下後、トラッククレーンで解体する(写真-2)。その後、主構をパワーリーチで解体した。

(6) 支間中央閉合部

支間中央閉合部の支保工は、トラベラーの底版横梁を鋼棒で主桁に固定する吊り支保工構造とし(写真-3)、作業足場は単管で支保工梁に取り付けることとした。コンクリート打設は張出し施工と同様に行った。

(7) 側径間閉合部

側径間閉合部は当初、斜面が急峻であるために吊り支保工形式を考えていたが、斜面上での支保工組立が可能であると考えて以下の3案について支保工の検討を行った。

- ① 深礎杭とパネル支保工による工法
- ② 支柱式支保工と型枠支保工による工法
- ③ H鋼を主体とした支柱式支保工による工法

図-7に示すように種々の検討を行った結果、特にA₂

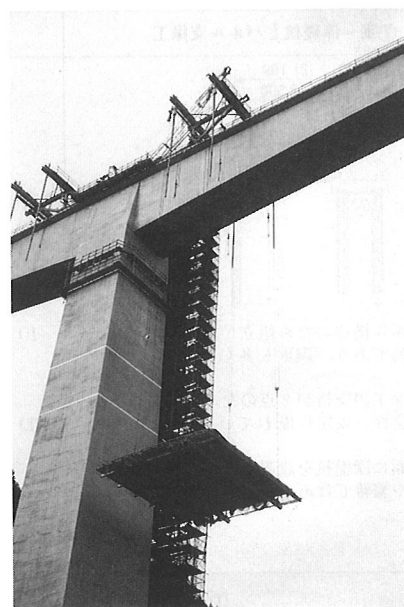


写真-2 下段作業台解体風景

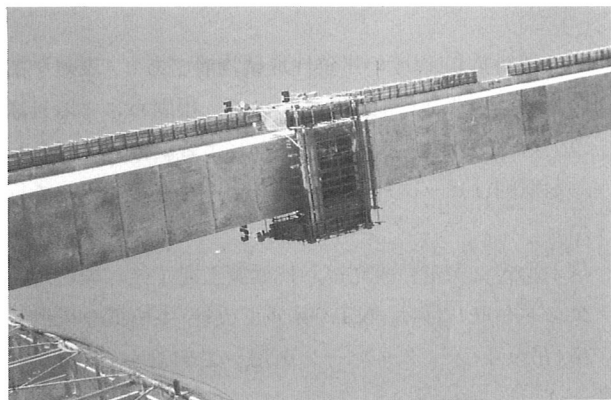


写真-3 中央径間吊り支保工

側において、傾斜角30°～40°の急斜面からなる崖錐性堆積物の崩壊地形であり、地山の安定という観点から、①案の深礎杭とパネル支保工による方法を選定した。

深礎杭の施工は、SK式深礎杭により行った。SK式深礎杭の特徴は以下のとおりである。

- ① 通常ライナープレート、リングビームより成り立っている円筒型枠と異なり、工場製作一体形のスライド式円筒型枠であり(写真-4参照)、杭施工時に円筒型枠が撤去されて、杭本体のコンクリートが周囲地盤と密着するためグラウトが不用で、杭の横方向抵抗力を確実に発揮できる。
- ② 掘削の進行に伴い、円筒型枠を漸次降下させ孔壁を保護するので、崩壊がなく安全である。
- ③ コンクリート打設とともに、円筒型枠を引き上げ、回収も容易で経済的である。
- ④ 掘削孔内での土留め枠の組立作業がなく、掘削が連続して行えるので作業効率が良い。

地山の掘削は、A₁側は機械掘削で行ったが、A₂側につ

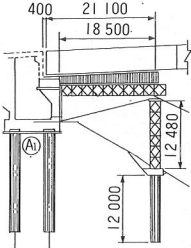
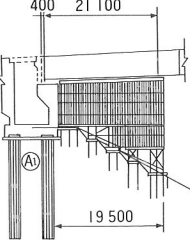
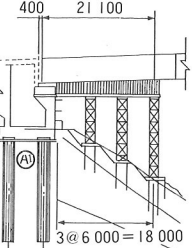
	①案—深礎杭とパネル支保工	②案—支柱式支保工と枠組支保工	③案—H鋼を主体とした支柱式支保工
概略図			
特徴	I) パネル構造のため組立・解体が容易であり、鋼重も多くない。 II) 支保工の支持が2点のため管理、安全性、安定に優れている。 III) 斜面に深礎杭を設置するため、やや複雑ではあるが、最も確実である。	I) 支柱式支保工と枠組支保工の組合せでは、橋幅が狭いこと、支保工の高さが高いことなどにより安定が非常に悪い。 II) 斜面のカット基礎コンクリート、法面保護、地盤の支持力など十分な対策を要するが、いずれにしても斜面安定に不安がある。 III) 不安定な斜面で支持するため、たわみの管理が困難となる。	I) H鋼を主体とした支柱式支保工で、支保工高が高いことにより、鋼重が増え組立・解体が複雑となる。 II) 斜面のカット杭打ち、基礎法面保護などの対策を必要とする。 III) 工事用進入路の確保が難しく、斜面の杭打ちが困難である。
評価	①～③案の検討(経済性、施工性、安全性、斜面の安定)の結果、①案で施工することとした。		

図-7 側径間支保工比較検討図

いては傾斜角40°程度の崖錐性堆積物層であり、表層を掘削した時点で非常に崩れやすいので、根固めによるH鋼での土留め、および土のう・シートによる斜面の保護を行い、本掘削はピック・削岩機・パッカーなどを使用して行った。

パネル式支保工の組立は、枕梁施工完了後、橋台にブラケットを取り付け、NTパネルで支柱・主桁梁を橋台から35t吊りトラッククレーンを用いて架設を行った(写真-5)。

コンクリート打設は、ブロック長が20mと長いため、下床版・ウェブと上床版の2回に分けてポンプ車により行った。

4. 施工管理

(1) たわみ管理

張出し施工によるコンクリート橋は、構造完成後のクリープ・乾燥収縮終了後に標高が計画路線標高になるように、架設時あらかじめ高さを計画的に決めて施工を行う。

施工順序に従って施工時の高さを決めるのが上げ越し計算であり、架設段階で上部工の線形を計測しながら計画上げ越し量を管理するのがたわみ管理である。したがって、たわみ管理は、架設中の上部工高さに影響を与える個々の重量、剛性などをチェックしながら上げ越し計画値の修正を行うことを目的として実施するものである。

たわみ管理においては、計画値と実測値の誤差を常時観測し、施工向上に反映させる必要がある。たわみの誤差は種々の要因があり、その誤差の発生する時期と原因

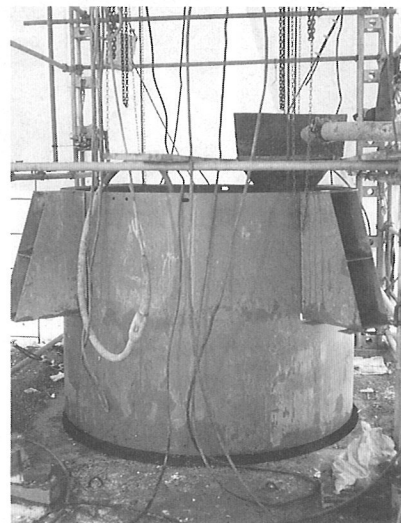


写真-4 円筒型枠据付け状況



写真-5 パネル式支保工

表-1 管理項目

項 目	対 処 方 法	管 理 時 期
荷重に関する項目	移動式作業車重量	・図面より部材、型枠重量を算出 ・初期にチェック
	コンクリート重量	・コンクリートの単位重量チェック ・型枠検査による寸法チェック ・初期にチェック ・各ブロックごと
	プレストレス力	・緊張管理 ・各ブロックごと
変形に関する項目	移動式作業車変形	・計算によるたわみ量算出および実測 ・初期数ブロック
	型 枠 の 変 形	・約5mm程度と仮定する(打設初期で消失) ・初期にチェック
	上部工弾性変形	・供試体による測定(弾性係数) ・材令・7日、28日についてチェック ・変形測定 ・各ブロックごと
	橋脚の弾性変形	・偏心外力による柱頭部の変形量測定 ・初期数ブロック
その他	クリープ・乾燥収縮	・架設中のひずみ計測 ・長期、毎日計測
	上下床版温度差	・温度差の小さい時間帯に測定する ・各ブロックごと
	下部工の沈下	・柱頭部および橋脚の変位測定 ・常時
	型枠セットミス	・現場担当者へ確実に伝達する(表を手渡す) ・各ブロックごと
	測 量 誤 差	・自動計測対比 ・各ブロックごと

の関連ならびにその対処方法について整理し、管理項目との対応づけを行った。

表-1に管理(対処)項目の一覧表を示す。

たわみ管理に関する計測内容は以下のとおりである。

- ① たわみ測定
- ② コンクリートの弾性係数の測定
- ③ 架設機械の変形
- ④ 橋脚基礎の沈下と回転

以下に①、③、④の概要について示す。

a) たわみ測定

たわみ計測は、通常用いられるレベル測定にて高さの管理を行い、橋脚柱頭部に基準点を設置し、各ブロックごとの高さを計測管理した。また、TV自動計測により、橋脚の沈下と回転の計測を実施した。

b) 架設機材の変形

コンクリートの重量によってトラベラーのフレーム・型枠・吊り鋼棒が変形し、同時に型枠のなじみが合成される。トラベラーのフレームなどは当初の計算により変形量が推定されるが、なじみ等の変形は推測し難いものである。ただし、初期段階(第1、2ブロック施工時)でなじみ量を把握できることから、以後の高さは初期変形量に基づき調整することとした。

c) 橋脚基礎の沈下と回転

橋脚には張出し架設重量により弾性変形が生じるが、特に基礎工に沈下・回転が生じることがあると、たわみ管理はもちろんのこと全体構造に問題が発生する。したがって、基礎工事の確実性を確認するために、橋脚柱頭部の高さ変化の経時測定により沈下の有無を管理した。

また、回転については、張出し先端部左右の高さ変化の経時測定により判断した。

(2) TV自動計測システムの概要

TV自動計測システムは、望遠鏡付きCCDカメラ、画像

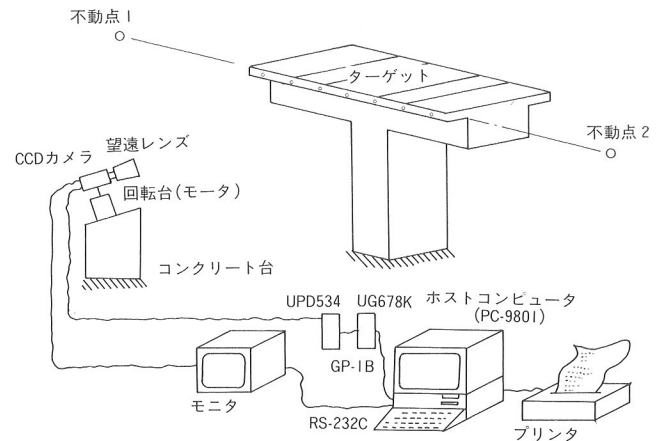


図-8 テレビ自動計測システム概要図

処理機、コンピュータから構成されており、橋体に取り付けたターゲットの重心位置を常時計測するものである。カメラの回転、解析はコンピュータで集中管理され、計画値と測定値との比較も同時に処理される。図-8にシステム概要図を示す。

(3) 計測結果

図-9～11に計測結果を示す。

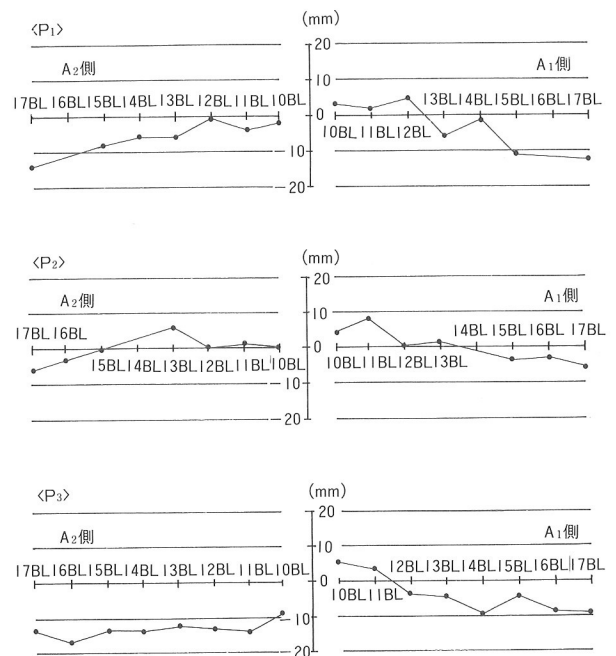
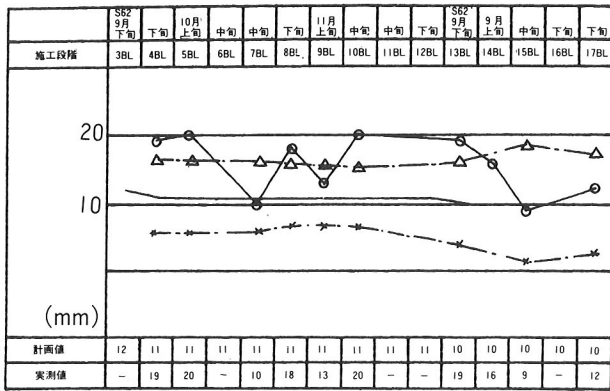
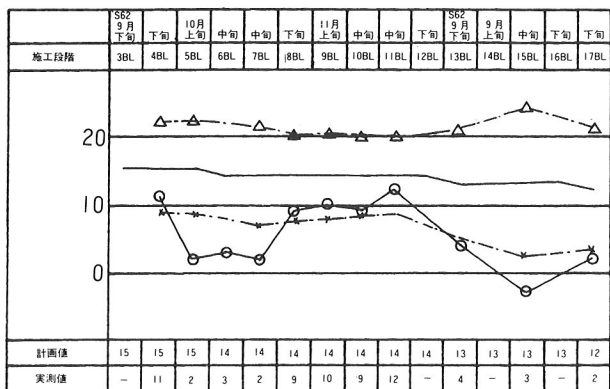
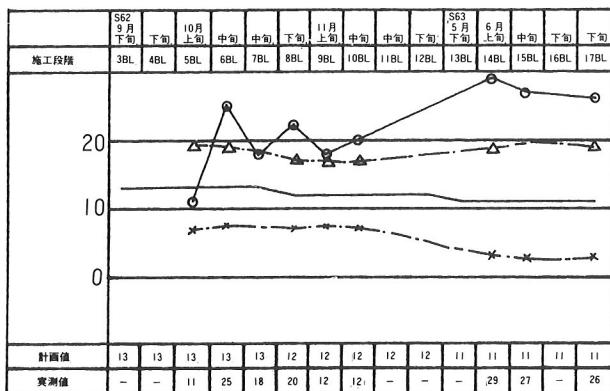


図-9 10ブロックの計画値との差変化

たわみについては、管理値内での挙動であり、沈下に対しても測定値が常に下側に計測されるという傾向がなかった。回転に対しても、張出し先端の高さの変化が、片側が上がり反対側が下がるような回転と考えられる計測結果はどの橋脚に対しても見られなかった。

(4) ひずみ測定

コンクリート内部ひずみの測定は、主に架設中の応力

(a) P₁(b) P₂(c) P₃

——計 画 値, ○—○実 測 値
 △—△最高気温時計画値, ×—×最低気温時計画値

図-10 柱頭部高さ経時変化(補正値を含む)

チェックを目的として行うものであり、さらに、長期的なひずみ変化からコンクリートのクリープや乾燥収縮性状を把握し、たわみ管理に反映させることができる。

本橋では、P₂橋脚の第2, 8ブロックにひずみ計を埋め込み、長期にわたり計測を行った。また、越冬期間中に大きな荷重変動がないことを利用して、コンクリートのクリープ性状の検討を実施した。

(5) 計測結果

本橋のひずみ計測結果を表-2, 図-12に示す。

冬期クリープひずみについては、複雑な要素により影響を受け不確定因子が多いなかで、ウェブ・下床版に生じたクリープひずみの値は、計算値とよく一致していると思われ、計算に用いたクリープ係数は妥当であったと考えられる。しかし、上床版のクリープひずみについては大きな違いがあった。そこで、上床版の乾燥収縮が進行しなかったものとして計算すると、クリープひずみの値は49 μm となり、計算値36.3 μm にかなり近い値となる。この原因としては、上床版が冬期の間、積雪状態で乾燥収縮が抑えられたとも考えられる。

図-12に示した全ひずみについては、第3, 4ブロック施工中に上下床版に引張りひずみが生じており、上床版で20~70 μm の引張りひずみが、また下床版では40 μm 程度の引張りひずみが発生した。この原因については、コンクリート硬化過程での乾燥収縮や温度差などが複雑に影響しているものと推測されるが、コンクリートにはひび割れ発生も認められず、その後、施工が進行するに従って圧縮応力に推移していることから問題とはならなかった。

表-2 クリープひずみ

	計 算 値	測 定 値
上 床 版	-36.3 μm	+2 (-49)* μm
ウ ェ ブ	-44.2 μm	-33.0 μm
下 床 版	-50.9 μm	-62.0 μm

*乾燥収縮を除かない場合、-: 圧縮, +: 引張り

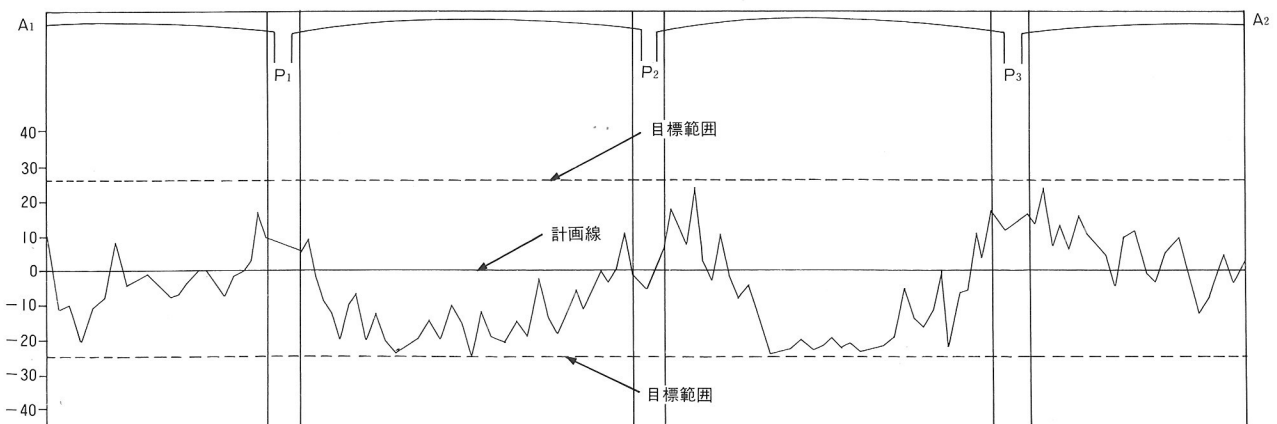


図-11 構造完成時の計画値との差

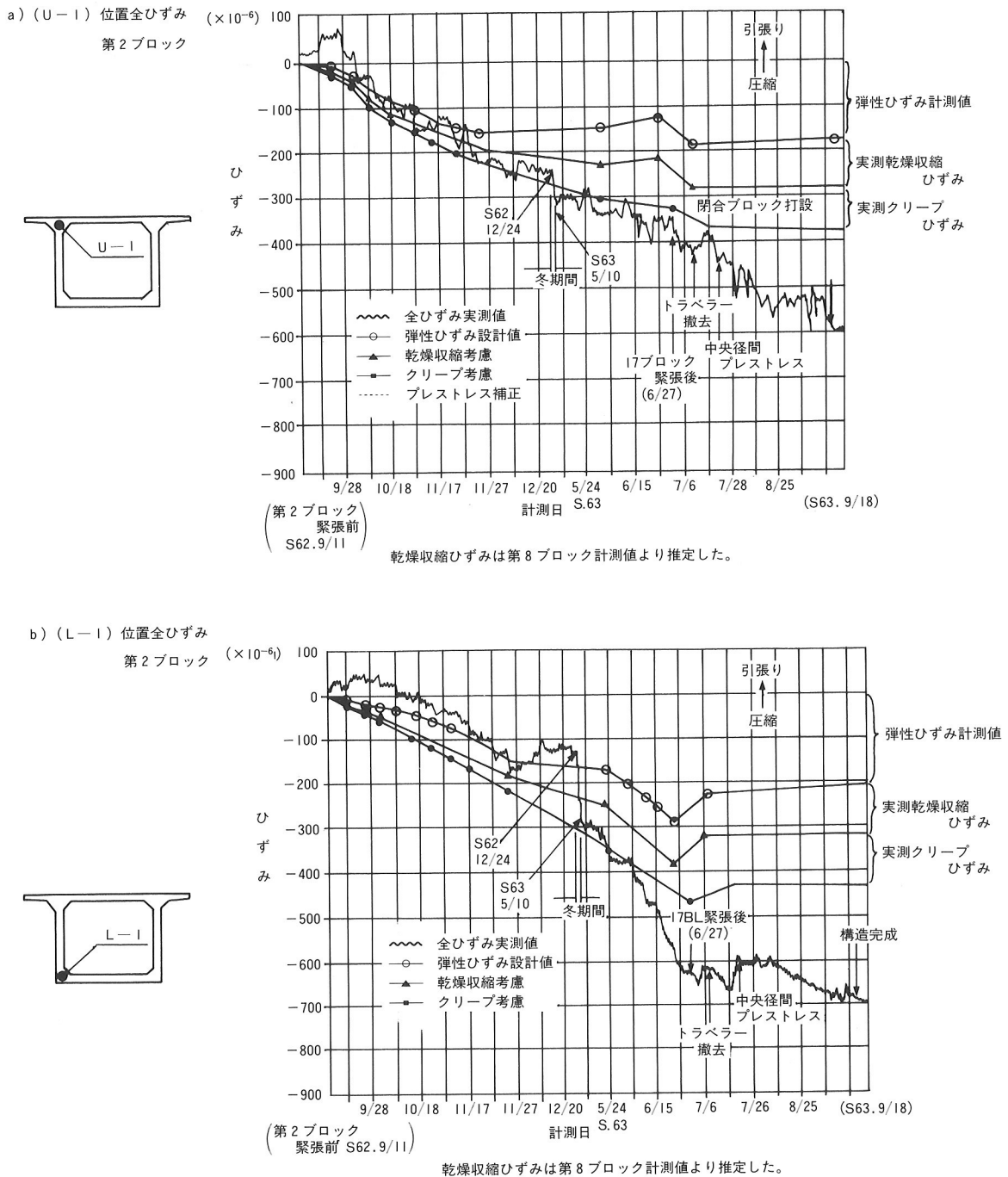


図-12 全ひずみ計測結果

以上の結果を総合的に判断すると、施工によるたわみ、ひずみ、ひび割れについては問題が認められず、十分な施工管理の下で行われたものと判断された。

5. あとがき

男神橋は、あしかけ1年半にわたる高所工事であったが、工事関係者の努力により無災害で完成することができた。

本橋で使用したTV自動計測システムは、若干の改良が必要であるものの、長大化していくコンクリート橋の施工管理には必要不可欠のものとなるであろう。

最後に本工事の施工に当たりご指導いただいた東北地方建設局玉川ダム工事事務所の方々に深く感謝の意を表したい。

参考文献

- 1) 加藤敏治：男神橋(FCC工法)の設計と施工, 橋梁, Vol.24, No. 5, pp.2~6, 1988年5月。
- 2) 尾藤喜久雄：深礎杭(SK式)の施工報告, 川田技報, Vol. 8, 1989年1月。
- 3) 建設省東北地方建設局玉川ダム工事事務所：玉川ダム男神橋工事誌(上部工編)。