

橋梁と基礎 5

1989

Vol.23

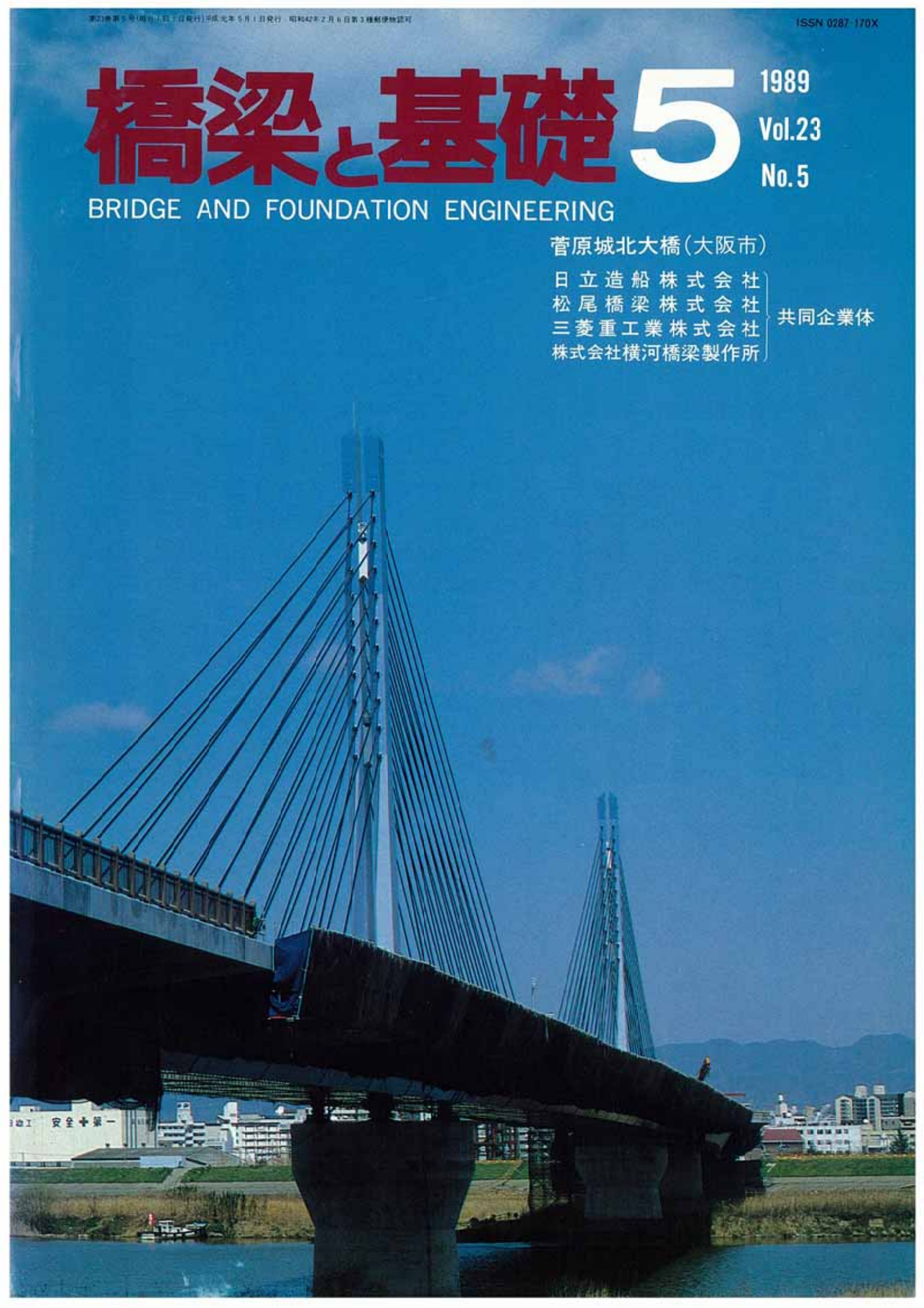
No.5

BRIDGE AND FOUNDATION ENGINEERING

菅原城北大橋(大阪市)

日立造船株式会社
松尾橋梁株式会社
三菱重工業株式会社
株式会社横河橋梁製作所

共同企業体



みやがせ
宮ヶ瀬大橋 (仮称) の設計と施工

西田 博* 城浦 貞佳***
岡戸 三夫** 伊奈 義直****

まえがき

本橋は宮ヶ瀬ダム建設に伴い水没する県道伊勢原・津久井線の付替け道路の一環として、貯水池をまたぐように架橋される張出し架設工法によるPC 3径間連続有鉸ラーメン箱桁橋である(写真-1)。

宮ヶ瀬ダムは、洪水調節、都市用水の開発等の目的をもって相模川支川中津川に建設される重力式コンクリートダム(堤高155m, 堤体積200万 m^3 , 総貯水量2億t)で、完成すると日本最大級のダムとなる(図-1)。

架橋地点は急峻なV字峡谷であり、最深部で橋面下100mにも達するため、橋脚を設ける位置に限られ、これが橋梁形式を決定する大きな要因となった。

本橋の特徴は、このような地形上の特質を考慮した上部工の架設方法(特に側径間)、ならびにダム湛水後に大きな地震時動水圧が高橋脚に作用することに対する合理的な構造系の選定と解析方法にある。

以下、本文では宮ヶ瀬大橋(仮称)の設計と施工についての概要を紹介する(図-2)。

1. 工事概要

1-1 橋梁概要

位置: 神奈川県愛甲郡清川村宮ヶ瀬
道路規格: 3種3級
橋種: プレストレストコンクリート道路橋
橋格: 一等橋(TL-20)

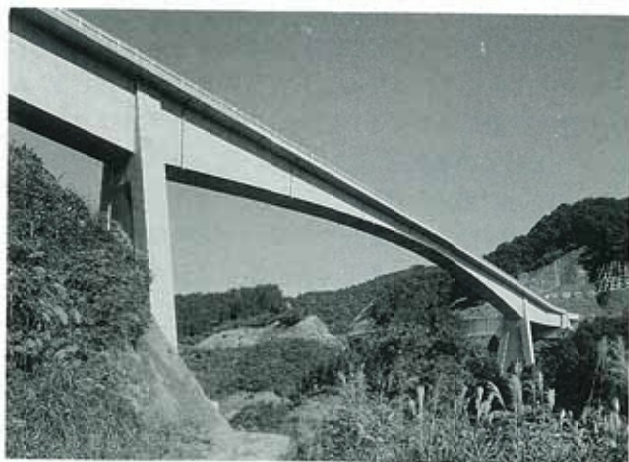


写真-1 完成した宮ヶ瀬大橋

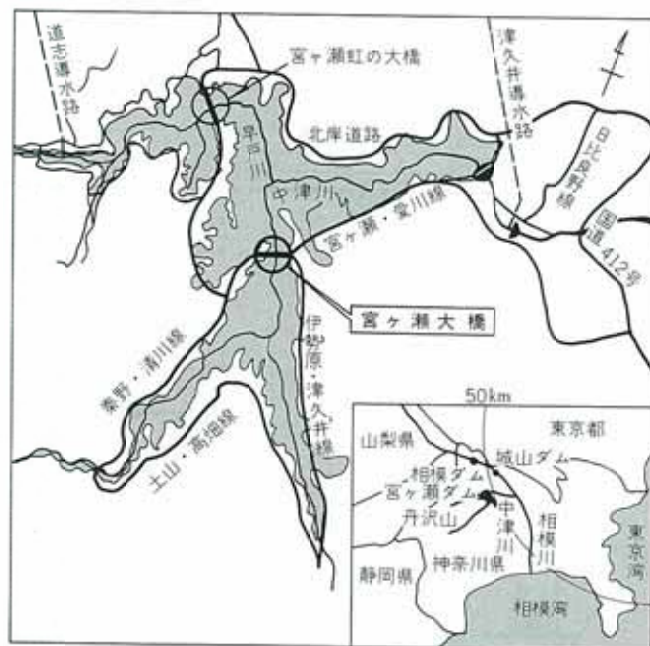


図-1 宮ヶ瀬大橋の位置

構造形式: PC 3径間連続有鉸ラーメン箱桁橋

(主桁) 1室箱桁(拡幅部は3室箱桁)
(橋台) 多室箱形橋台
(橋脚) I形断面フレキシブル橋脚
(基礎) 深礎杭($\phi 3.5m$, $\phi 4.5m$)

架設工法: (側径間) 支柱式支保工
(中央径間) 移動式作業車による張出し架設

PC工法: SEEE工法

橋長: 245.0m
支間: 45.3+150.0+48.3m
有効幅員: 8.750m(片側歩道1.5m)

発注者: 建設省関東地方建設局宮ヶ瀬ダム工事事務所
施工: 上部工………(株)大林組

下部工………(株)白石, (株)不動建設
設計: 新構造技術(株)

1-2 工事数量

上部工: コンクリート ($\sigma_{ck} = 400\text{kgf/cm}^2$) 4 270 m^3
鉄筋(SD30) 433 t
PC鋼より線(橋体工) 197 t
(SEEE工法 FC130, F100, F200)
PC鋼棒(鉛直締め, 横桁横締め) 14 t
(SBPR95/120, $\phi 32$)

* 建設省 宮ヶ瀬ダム工事事務所 工務課長
** 新構造技術(株) 土木設計部 次長
*** (株)大林組 横浜支店 宮ヶ瀬ダム工事事務所長
**** // 東京本社 土木本部 課長代理

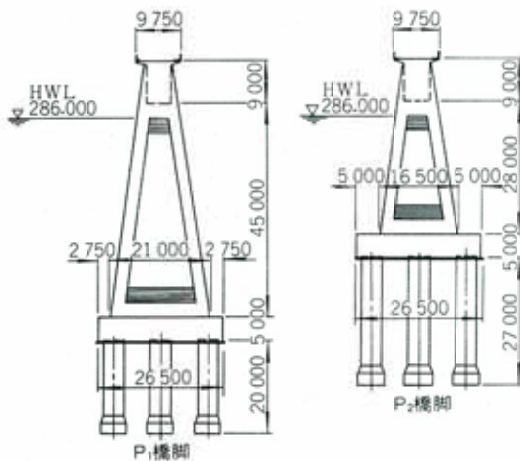
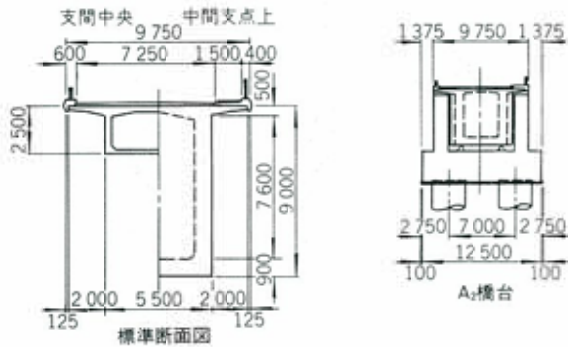
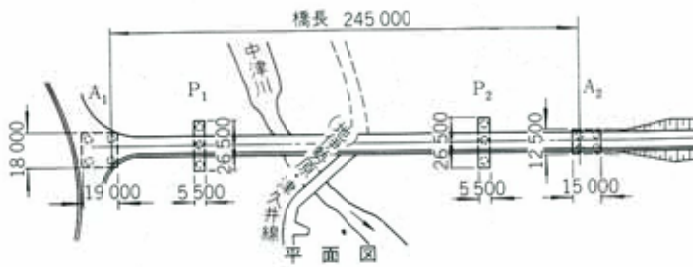
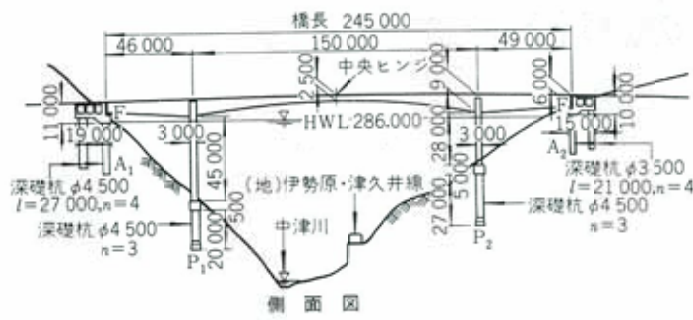


図-2 宮ヶ瀬大橋の一般図

下部工：コンクリート

橋脚 ($\sigma_{ck} = 350 \text{ kgf/cm}^2$)	2 050 m ³
橋脚フーチング ($\sigma_{ck} = 300 \text{ kgf/cm}^2$)	1 450 m ³
橋台・深礎杭 ($\sigma_{ck} = 240 \text{ kgf/cm}^2$)	7 800 m ³
鉄筋 (SD30)	1 450 t

2. 計画 (橋梁形式の選定)

形式選定にあたっては、種々の計画条件に留意し、まず最初に架設可能な案を選出し、構造的・施工的・工費・美

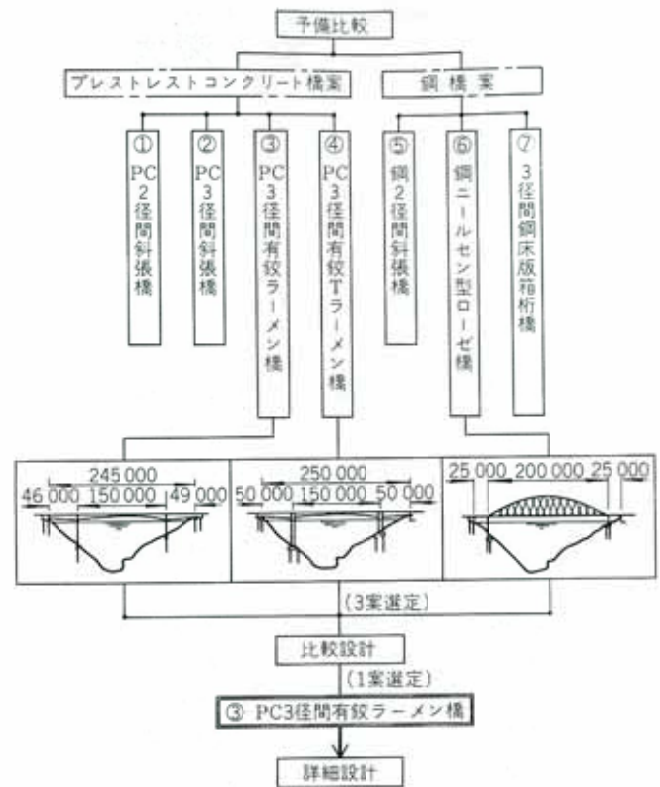


図-3 橋梁形式選定の流れ

観等の検討 (予備比較) を行った。それらのうち適切と考えられる3案を抽出し、この3案についてさらに詳細な検討を加え、最適案として“PC 3径間連続有絞ラーメン橋”を採用した。

検討対象となった橋梁形式は図-3のとおりである。

選定理由としては、全案中最も経済性に優れること、ならびに構造的・施工的が当地形条件に最も適合することが挙げられる。すなわち橋脚をフレキシブル構造とし、主桁に中央ヒンジを設けることにより、橋脚は主桁からの軸力が卓越した軸力部材とすることができ、動水圧が作用してもそれほど大きな基礎形状にならず、斜面上の基礎の小規模化が図れた。また主桁の地震時慣性力および動水圧による水平力は、橋台と主桁端部をPC鋼より線で緊結することにより橋台に伝達させる構造とした。

3. 設計

3-1 上部工の設計

3-1-1 主桁形状

桁高は中央径間の橋脚上で9.0m (桁高/スパン=1/17)、中央で2.5m (同1/60) とし sin 曲線にて変化させた。

$$H_x = H_1 - (H_1 - H_2) \cdot \sin \pi x / 2l$$

側径間は橋脚上で9.0m、端部で6.0mの直線変化とした。

上床版厚は応力度およびPC鋼線の配置を考慮し30cm等厚とし、下床版厚は側径間を反力のバランス上90cm等厚とし、中央径間は柱頭部で90cm厚、支間中央で20cm厚とし、その間は直線変化とした。

ウェブ厚は主ケーブルの配置、および柱頭部付近でのケーブルの定着およびせん断鋼棒配置も考慮し、側径間・柱

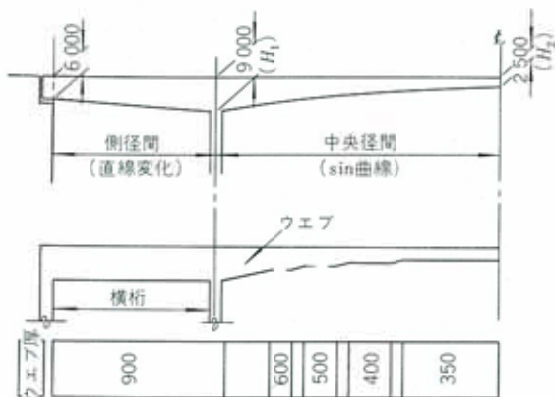


図-4 桁高変化とウェブ厚

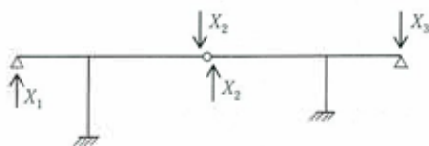


図-5 構造系

頭部は90cmとし、支間中央で35cmとした(図-4)。

3-1-2 設計計算

上部工の設計に用いる断面力の算出は図-5に示すような3次不静定構造で、不静定反力を X_1 、 X_2 、 X_3 とし、この基本系に対して弾性方程式により解析した。

$$\delta_{11}X_1 + \delta_{12}X_2 + \delta_{13}X_3 + \delta_{10} = 0$$

$$\delta_{21}X_1 + \delta_{22}X_2 + \delta_{23}X_3 + \delta_{20} = 0$$

$$\delta_{31}X_1 + \delta_{32}X_2 + \delta_{33}X_3 + \delta_{30} = 0$$

ここに、

δ_{ij} : j 点に $X_j = 1$ t を作用させたときの i 点のたわみ

δ_{i0} : 荷重による i 点のたわみ

主桁に発生する曲げモーメントは図-6に示すとおりであり、プレストレスは最大曲げモーメントが発生する P_1 、 P_2 橋脚上で、PC鋼より線(SEE FC-130)を224本配置して導入した(図-7)。

3-1-3 橋台部の構造

橋台部には地震時に大きな水平反力と上揚力が生じる。このため水平力と鉛直力を別々の支承機構で橋台に伝達させる必要があり、図-8に示すような構造とした。

すなわち、橋軸方向水平力($H=2135$ t)に対しては、桁端部とパラペットの間にゴム沓(リング沓)を介して桁端横桁と橋台背面をPC鋼より線で緊結し、水平力を橋台に伝達させ、橋軸直角方向水平力($H=139$ t)に対しては主桁側面を挟み込むように橋台からのサイドブロック(RC構造)により受け持たせた。また、鉛直反力のうち負の反力($R_v=1444$ t)に対しては、鉛直方向に入れたPC鋼より線により主桁と橋台を緊結し橋台に伝達させる構造とした。

3-2 下部工の設計

3-2-1 土質定数

本橋は地形地質条件から深礎杭基礎を採用しており、土

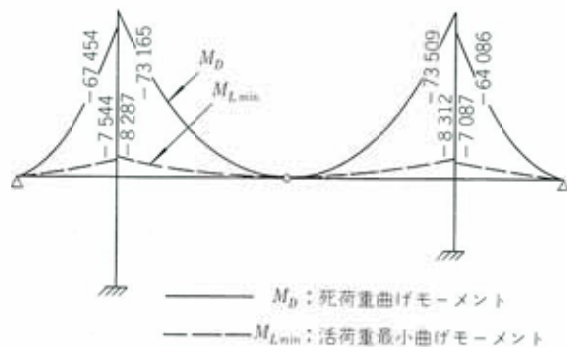


図-6 主桁の曲げモーメント

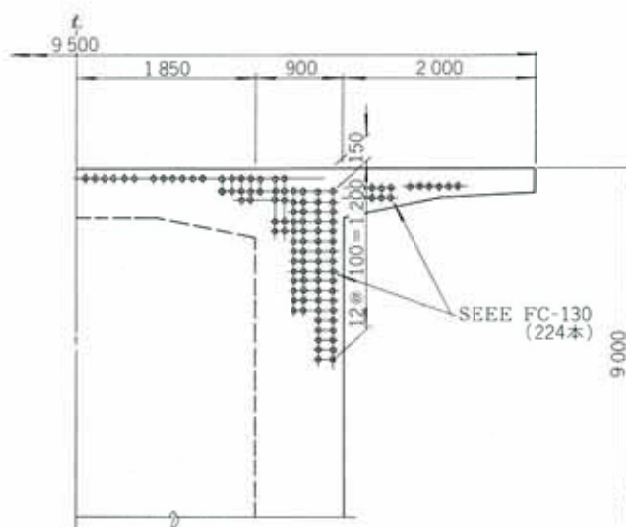


図-7 主ケーブルの配置(柱頭部)

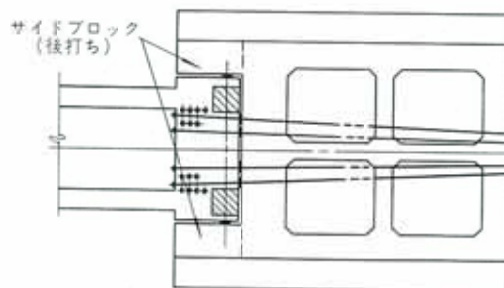
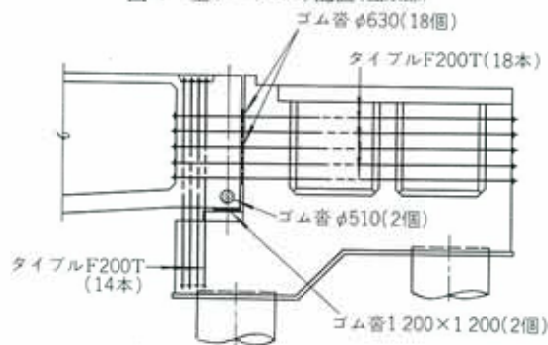


図-8 橋台部の連結構造

質定数の設定が杭の安定計算および基礎をばね支持とした橋脚の設計において大きな要因となる。したがって安全かつ経済的な設計となるよう、弾性波探査、コア硬度、コア形状、岩盤区分、過去の実測値などを総合的に検討し、表-1のように土質定数を設定した。なお、変形係数について

表-1 土質定数および許容鉛直支持力

地盤定数			岩盤	D	C _L	C _M
変形係数	E ₀	kgf/cm ²		800~2300	1500~4900	3200~9000
粘着力	C	*		—	2.0	5.0
内部摩擦角	φ	度		25°	30°	35°
単位体積重量	γ	t/m ³		2.0	2.3	2.5
許容鉛直支持力	q _a	tf/m ²		—	—	350 (常) 525 (地)

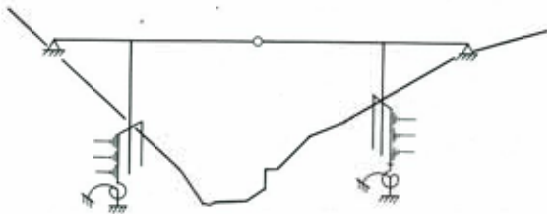


図-9 解析モデル

は、最小値と最大値を設定し、この中で包括できるように安全設計を試みた。

3-2-2 設計計算

本橋は主桁と橋脚が剛結合され、深礎杭が地中に弾性支持された構造となっているため、図-9に示すようなモデルで地盤の傾斜と塑性化を考慮した解析を行い、脚柱と深礎杭の断面力を求めた。

橋脚に作用する荷重の種類としては、動水圧、脚自重、土圧、施工誤差によるもの、ならびに上部構造からの荷重として、桁自重、アンバランスモーメント、クリープ、乾燥収縮、温度変化などである。これらの荷重のうち水平力については、作用方向を左右両方向にかけた。また地盤のばね定数も最小値と最大値について断面力を算出し、これらの組み合わせにより各設計断面に発生する断面力の最大値を抽出し、応力照査を行った。

橋脚と深礎杭はRC構造とし、大きな断面力に対処するために鉄筋はD51-2段を最大とし配筋した。

3-3 動的解析

本橋は中央径間が長く、橋脚はフレキシブル構造であり、かつ左右の高さが異なる非対象構造となる。このため、全体構造系としての振動特性を把握し、静的解析の安全性を照査する目的で動的解析を行った。

3-3-1 解析上の仮定

入力地震波は平均応答スペクトル曲線を用い、「道路橋示方書・同解説・V耐震設計編」の中の「IV設計地震入力に関する資料」（昭和55年5月）に基づいて、以下のように条件を設定した。

表-2 固有周期(単位 sec)

	動的解析	静的解析	
		P ₁ 橋脚	P ₂ 橋脚
橋軸方向	0.65 (2次)	0.48	0.67
直角方向	1.45 (1次)	0.53	0.68
	0.45 (3次)		
鉛直方向	0.12 (13次)	—	—

- 1) 減衰定数……上下部工とも $h = 0.05$
- 2) 地盤条件……一種地盤 (岩盤)
- 3) 震央距離…… $\Delta l = 40\text{km}$
- 4) マグニチュード…… $M = 7.9$
- 5) 最大入力加速度……180Gal
- 6) 有効質量……95%まで

3-3-2 解析結果

1) 固有周期

固有周期は表-2に示すとおりであり、水平方向については1次~3次モードが卓越し、鉛直方向については13次モードが卓越した (図-10)。

2) 主桁・橋脚に発生する断面力

主桁については鉛直方向で動的解析値の方が曲げモーメントで3.8倍大きくなったが、応力的には設計荷重時のプレストレス量で十分であった。

また橋脚の曲げモーメントは中間部で部分的に動的解析値の方が大きくなったが、特に補強は必要としなかった。橋台に作用する反力も静的解析値以下であった。

4. 施工

4-1 全体工程

本橋の建設工事は昭和57年度に着工し、途中法面補強工事で中断したものの、図-11に示すような工程で昭和63年10月に無事竣工した。

4-2 下部工の施工

4-2-1 深礎杭工

岩盤部の掘削は火薬を用いて行い、所要の地耐力を有するC_M級岩盤であることを目視などにより確認した。

配筋は、一部分仮組みした鉄筋籠を杭内の所定の位置に吊り下げ、残りの主鉄筋、フープ筋を取り付ける方法とした。なお、主鉄筋D51の杭内継手は、太径のためカブラー継手とした (写真-2)。

4-2-2 橋脚工

橋脚の施工精度向上および主鉄筋のガイドを目的として、橋脚中に鉄骨を先行して組んで施工した (写真-3)。橋脚のコンクリート打設高さは3.0~4.5m割りとした。

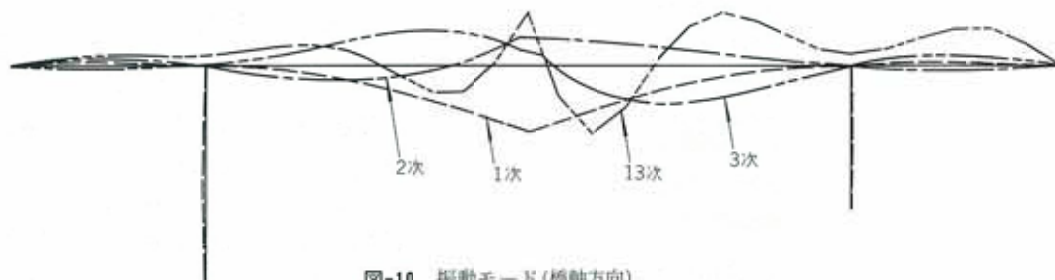


図-10 振動モード(橋軸方向)

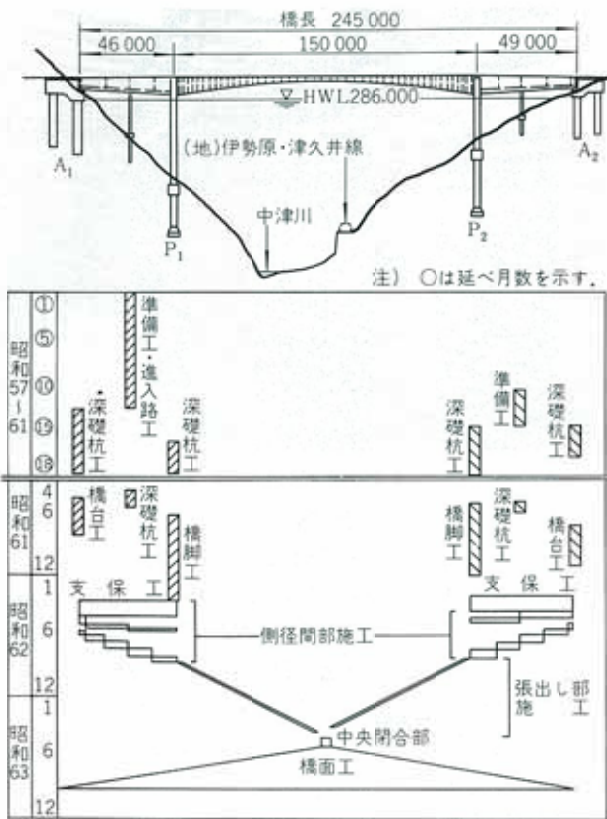


図-11 工事工程

4-3 上部工の施工

4-3-1 架設概要

上部工は、まず側径間部を支柱式の2径間支保工架設し、次に中央径間部を移動式作業車を用いて張出し架設した。図-12に架設順序を示す。

4-3-2 側径間部の施工

側径間部を一括して支保工で施工するには大規模な支保工が必要となるため、経済的規模の支保工で支持可能な下方2m分(1次施工部)を仮設ケーブルを用いたプレストレストコンクリート構造として先行施工し、残り(2次施工部)を当該部分に支持させる分割施工とした。なお1次施工部の導入プレストレスは、完成後の応力状態を考慮しても問題が生じないので、解放はしなかった。施工上の主な留意点、実施項目を以下に述べる。



写真-2 深礎杭内の鉄筋継手

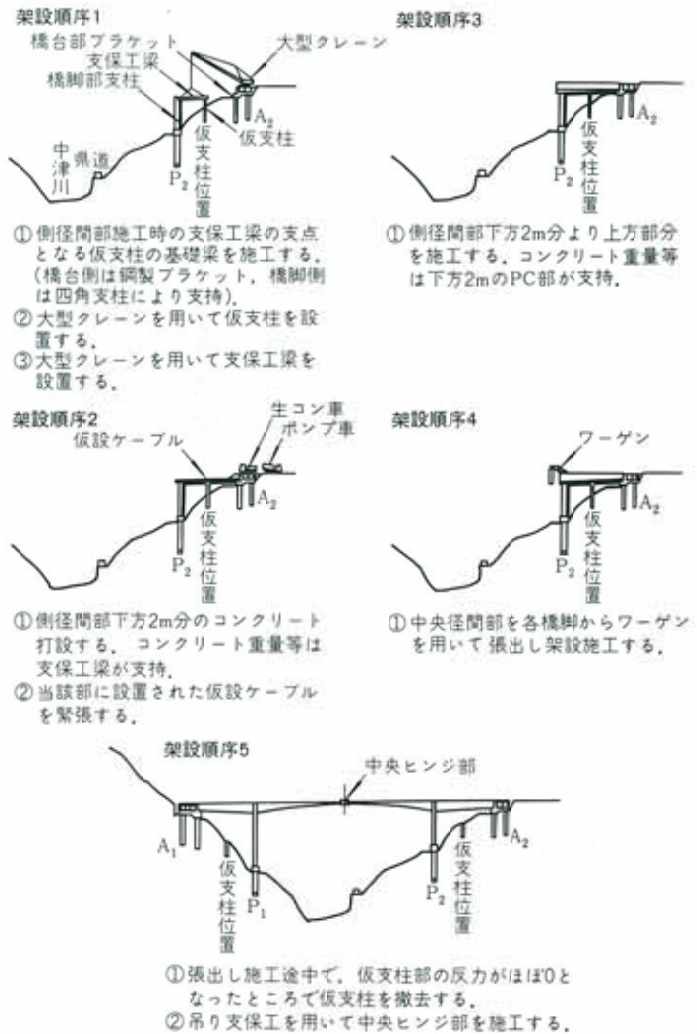


図-12 架設順序

1) 支保工の選定と安全性確保

支保工梁は経済性、施工性、安全性、市場性を考慮してガーダータイプとした。支保工梁は桁下面勾配に沿って傾斜して設置するため、橋台部、橋脚部および梁同士を緊結し、施工途中の移動防止、安全確保を図った。支保工梁の支持は、橋台部を鋼製ブラケット方式、橋脚部を四角支柱方式、仮支柱部を鋼管柱(右岸)、H形鋼(左岸)を用いた支柱方式とした(図-13)。また、コンクリート打設時には、



写真-3 橋脚の施工

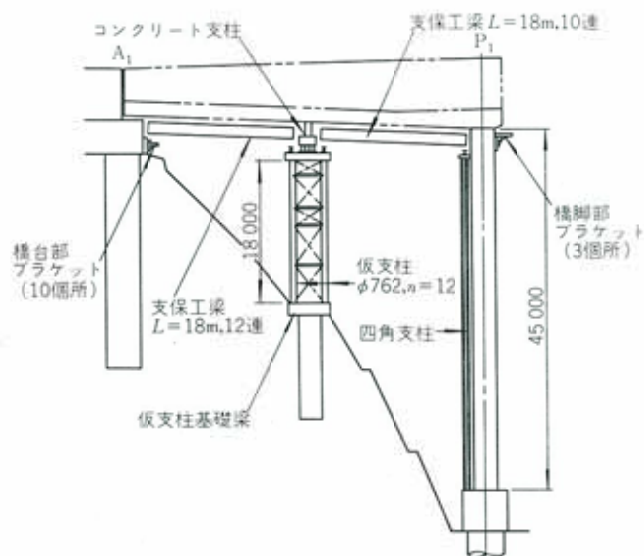


図-13 支保工

- ① 鋼製ブラケット，四角支柱，支保工梁の変形
- ② 仮支柱の変形および軸力
- ③ 仮支柱基礎の変状

等を計測しながら安全施工を実施した。なお仮支柱の軸力は、計算上の反力推移との対応をみるため、撤去時まで計測した。

2) コンクリートの分割施工に伴う補強の追加

2次施工部は、コンクリートの1日の打設量を良好な施工管理量等から200m³程度と設定し、施工性を考え橋台側から橋脚側へ順次打設するブロック割りとした。これに伴い、温度応力に対するひび割れ制御用鉄筋を打ち継目付近に配置するとともに、打設途中の1次施工部上縁側に発生する過大な引張り応力度に抵抗する仮設ケーブルを追加した(写真-4、図-14)。なお、温度応力によるひび割れ発生を抑制するために、2次施工部は早強コンクリートから普通コンクリートに変更した。

3) 大型支保工材の解体を考慮した支保工の構造と組立て

側径間部完了後は、仮支柱部のコンクリート支柱による支持により、支保工梁撤去が可能なため、支保工梁とコン

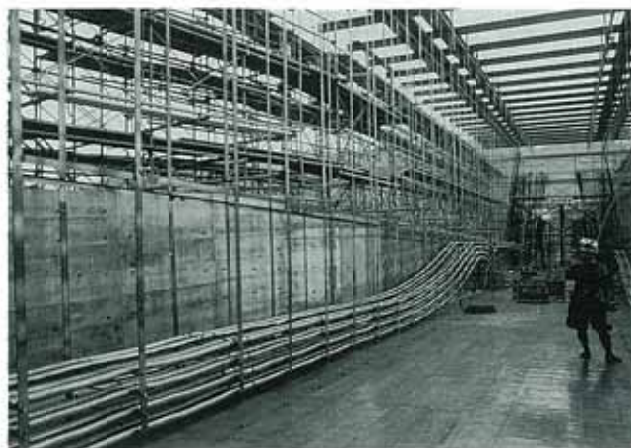


写真-4 側径間部の鋼材配置

クリート支柱は別の支持機構とした。能力150t吊りクローラークレーンを用いる支保工組立ては施工上特に問題はないが、支保工解体は支保工上方の完成した橋体自体が障害となるため安全でかつ効率のよい解体が可能な支保工構造を計画する必要があった(図-15)。実際に支保工梁解体作業は片岸2径間分を約5日間で行え、当初計画以上の成果が上げられた。他の支保工材も同様に安全でかつ効率よく解体作業が行えた。

4) 仮支柱の撤去時期

仮支柱撤去に伴って、各断面に発生するコンクリート引張り応力度が過大にならず、断面に配置されている鉄筋だけでこの引張り応力度に抵抗でき、側径間部の桁自重による仮支柱反力が0となる中央径間部張出し15ブロック目施工後に撤去した。

4-3-3 中央径間部の施工

中央径間部は、中型移動式作業車を各橋脚に1基ずつ据え付けて、長さ2.5~4.0mで各22ブロックを順次張出し施工し、中央ヒンジ部は吊り支保工を用いて施工した。第1ブロック施工時の橋脚面からの上部工張出し長は、移動式作業車の作業床組据付け最小長確保のため90cmとした。

張出し施工の時期がほぼ冬季にかかるため、作業環境の改善およびコンクリート初期強度発現促進を目的として、

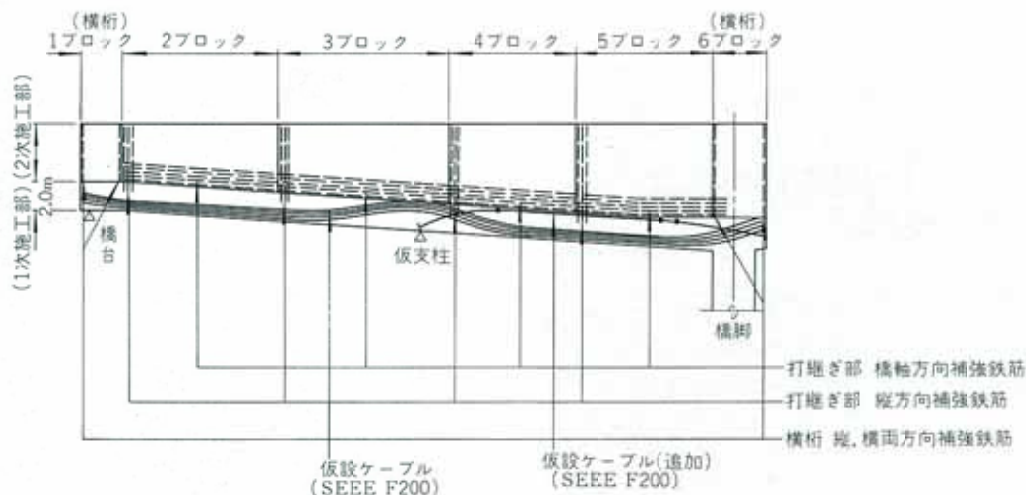
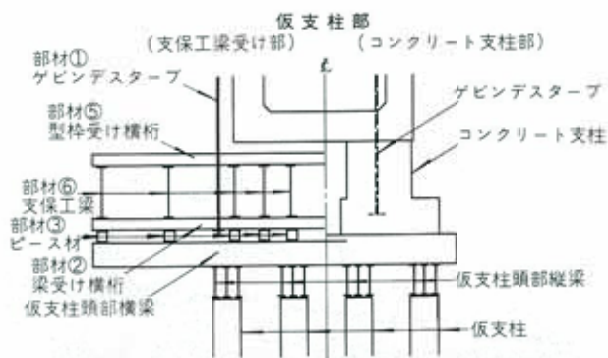
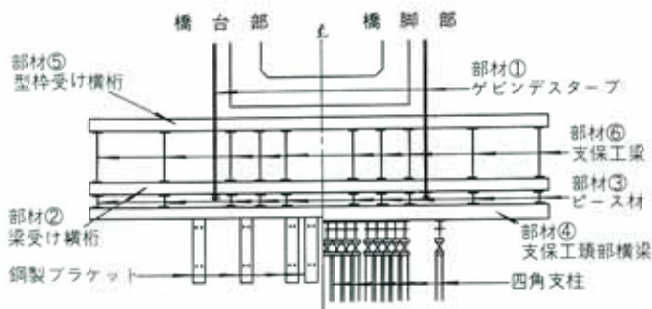


図-14 補強鉄筋と仮設ケーブルの配置



(支保工梁の解体手順)

- i) 部材①をセンターホールジャッキを用いて緊張して、主桁本体から部材②を仮吊りする。
- ii) 部材②の下の部材③をガス切断する。
- iii) 部材④を橋面上よりクレーン車を用いて引きずり出し撤去する。
- iv) センターホールジャッキを用いて部材②を下げ、底型枠撤去のための作業空間を確保する。
- v) 底型枠、型枠縦桁等を撤去する。
- vi) 部材⑤を橋面上よりクレーン車を用いて撤去する。桁下に設置された部材⑥は、部材②上を横引きする。

(仮支柱の解体手順)

- i) コンクリート支柱をはつり、支点反力を除去する。
- ii) コンクリート支柱をゲビンデスタープを用いて、主桁本体から仮吊りする。
- iii) 部材②を主桁本体に仮固定し、トロリを取り付ける。
- iv) トロリを用いて、支保工頭部横梁、縦梁、仮支柱を横取りし、橋面よりクレーン車にて撤去する。
- v) 部材②を橋面よりクレーン車にて撤去する。

図-15 支保工の解体

移動式作業車全体をシートで覆い(写真-5)、シート内でジェットヒータ3台を使用して養生し、所要のプレストレスリング時のコンクリート強度を確保した。図-16に養生状況例、図-17に温度履歴と強度発現状況の一例を示す。

中央ヒンジを有する橋梁であるため、中央部の垂れ下がりは橋梁美観および支承、伸縮装置へ悪影響を及ぼす。コンクリートのクリープ・乾燥収縮などによる計算上の上げ越し量に、活荷重満載、床版部との温度差による影響、その他を考慮して150mm付加し、将来の垂れ下がりに対処させた。竣工時には、ほぼ計画どおりのたわみ管理状態であった。

あとがき

本報告では、張出し架設工法によるPC3径間連続有絞ラーメン箱桁橋の計画、設計および施工についての概要を述べたが、今後の橋梁計画の参考になれば幸いである。



写真-5 シートで覆った移動式作業車

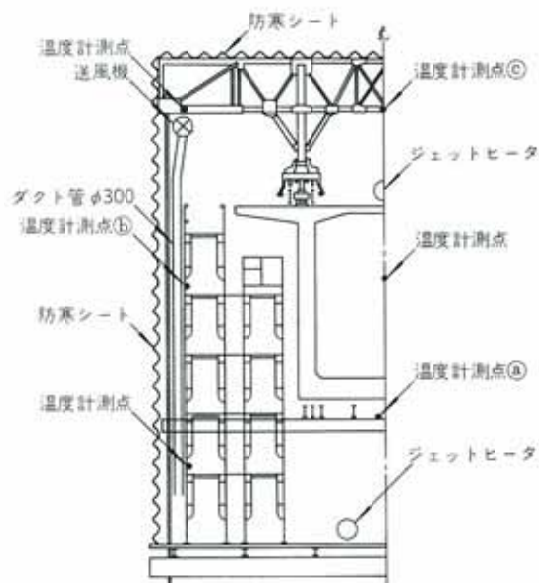


図-16 移動式作業車内の養生

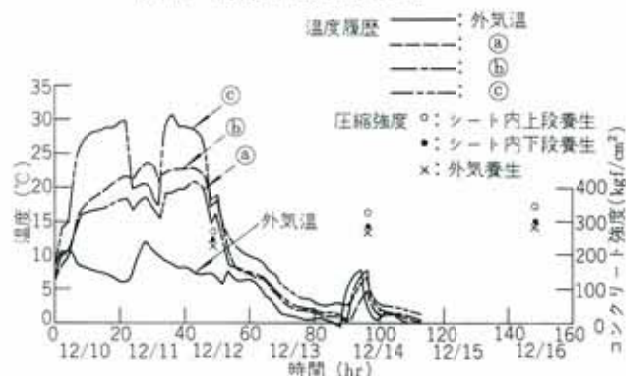


図-17 養生効果

宮ヶ瀬大橋は、同様に貯水池を横断する宮ヶ瀬虹の大橋(逆ローゼ桁+単純箱桁、 $L=330m$)とともに宮ヶ瀬ダムの顔であり、将来の観光ルートにもなることから、今後、光ファイバーを利用した照明を行って宮ヶ瀬ダムのシンボルにしたい。

本橋が事故もなく予定どおり完成できたことは、計画・設計段階から綿密な施工計画と、高度な技術力および関係技術者の熱意と努力によるものと思われる。

最後に、本橋の計画・設計・施工に際し、ご指導、ご協力をいただいた方々に感謝の意を表します。