

なぎ大橋の設計と施工

白井敏進*
 平井井忠明**
 西田一夫***
 寺下貢†
 樋上登志夫††

1. はじめに

なぎ大橋は、和歌山県有田郡広川河口に架設された湯浅、広川両町のシーサイドラインを結ぶ橋梁で、昭和63年6月に竣工した(写真-1, 図-1)。広川河口は湯浅湾への出入口となるため港湾指定区域となり、船舶の通行を考慮し縦断勾配上り下り10%の急勾配となった。また道路線形上、橋梁区間にも $R=500\text{m}$ の平面曲線が挿入されている。施工は河川上および側径間の約1/2スパンを場所打ち張出し工法とし、側径間の残り部分を支保工施工する変則的な架設工法を採用した。

ここに、なぎ大橋上部工工事の設計(主に施工時設計を中心)と施工について概要の一部を紹介する。

2. 工事概要

2.1 構造概要

本橋の構造概要および主要材料は次のとおりである(図-2)。

種別：プレストレストコンクリート道路橋

構造形式：3径間連続箱桁

架設工法：移動作業車による張出し架設工法

定着工法：ディビダグ工法

橋格：1等橋

橋長：255.750 m

支間：69.0+115.0+69.0 m

有効幅員：2.00+6.00 m

縦断勾配： $\swarrow \searrow$ 10.0%, VCL=140.0 m

平面曲線： $R=500\text{m}$

横断勾配：2.0%

主要材料：

コンクリート ($\sigma_{ck}=400\text{ kg/cm}^2$) 2315 m³

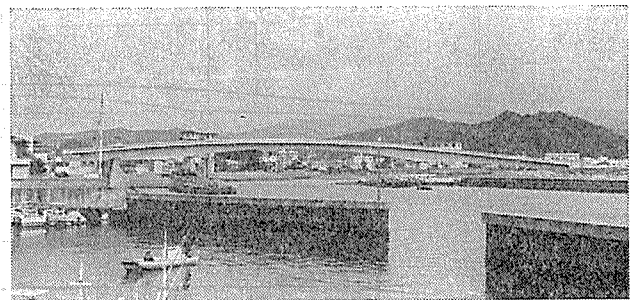


写真-1

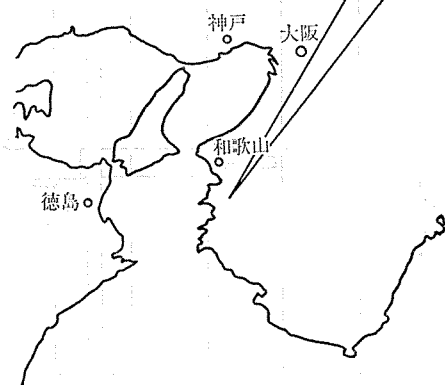
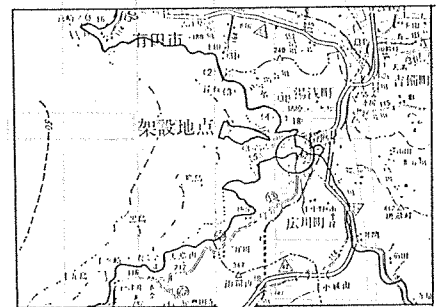


図-1 位置図

型 枠		7 523 m ²
鉄 筋		248 t
PC 鋼棒	φ32A種 2号	181 t
	φ26A種 2号	20 t
	φ32B種 2号	4 t

2.2 工事工程

本橋の工事工程を 図-3 に示す。

* 和歌山県広川町同和対策室長

** 和歌山県広川町同和対策室

*** ドーピー建設工業(株)大阪支店工事部主査

† ドーピー建設工業(株)技術本部工事部主査

†† ドーピー建設工業(株)大阪支店設計部主任

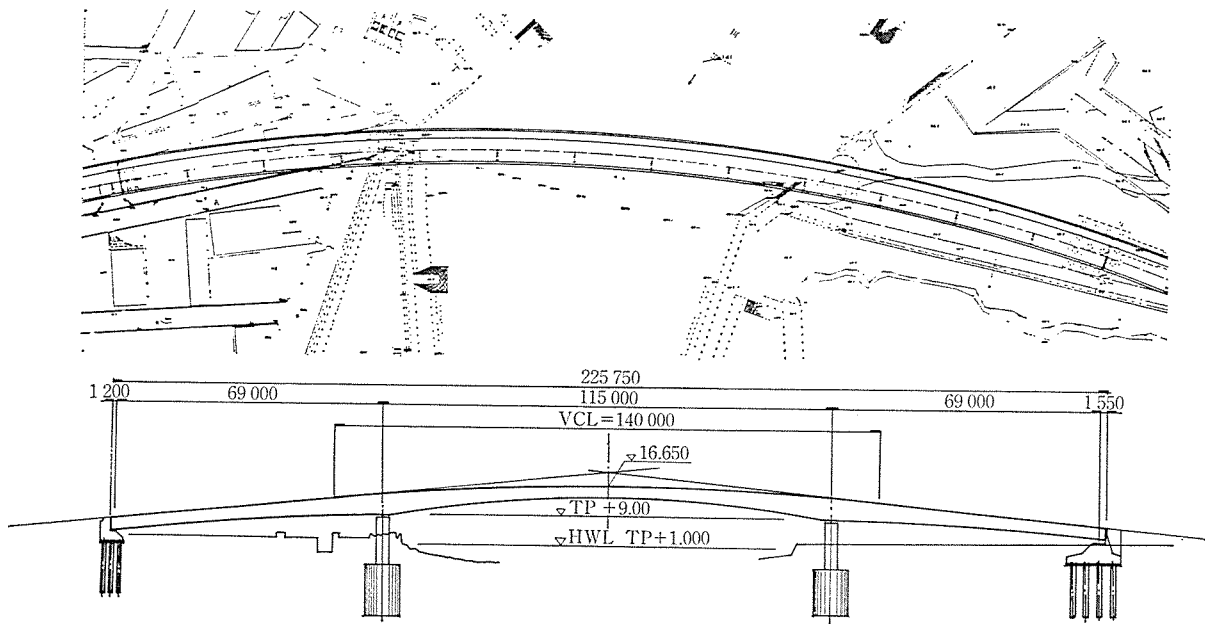


図-2 一般図

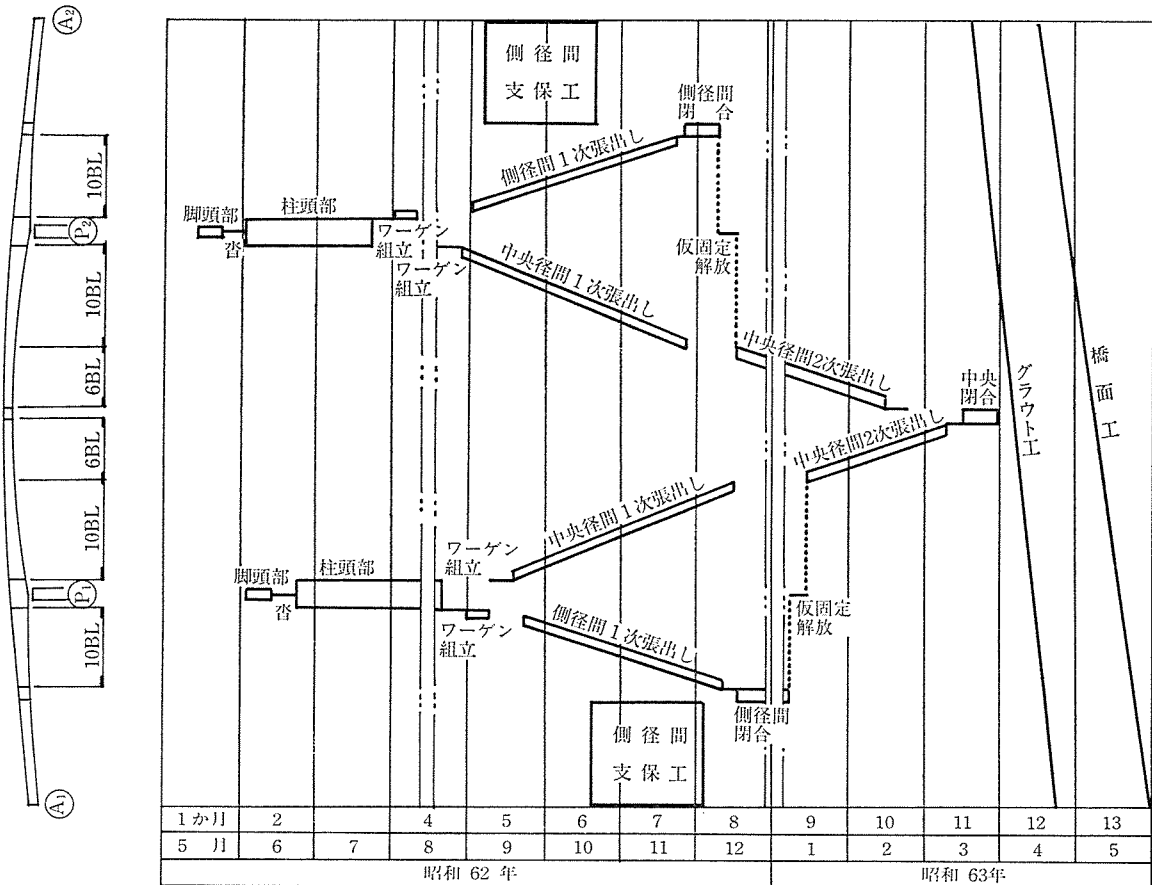


図-3 工事工程

3. 設計

3.1 設計条件

活荷重: TL-20

設計震度: 設計時 $k_k=0.2$, 施工時 $k_k=0.1$

温度変化: $\pm 20^\circ\text{C}$

温度差: 5°C

クリープ係数: 移行量計算用 $\phi=1.646$

応力度計算用 $\phi=1.748$

乾燥収縮: $\varepsilon=16.38 \times 10^{-5}$

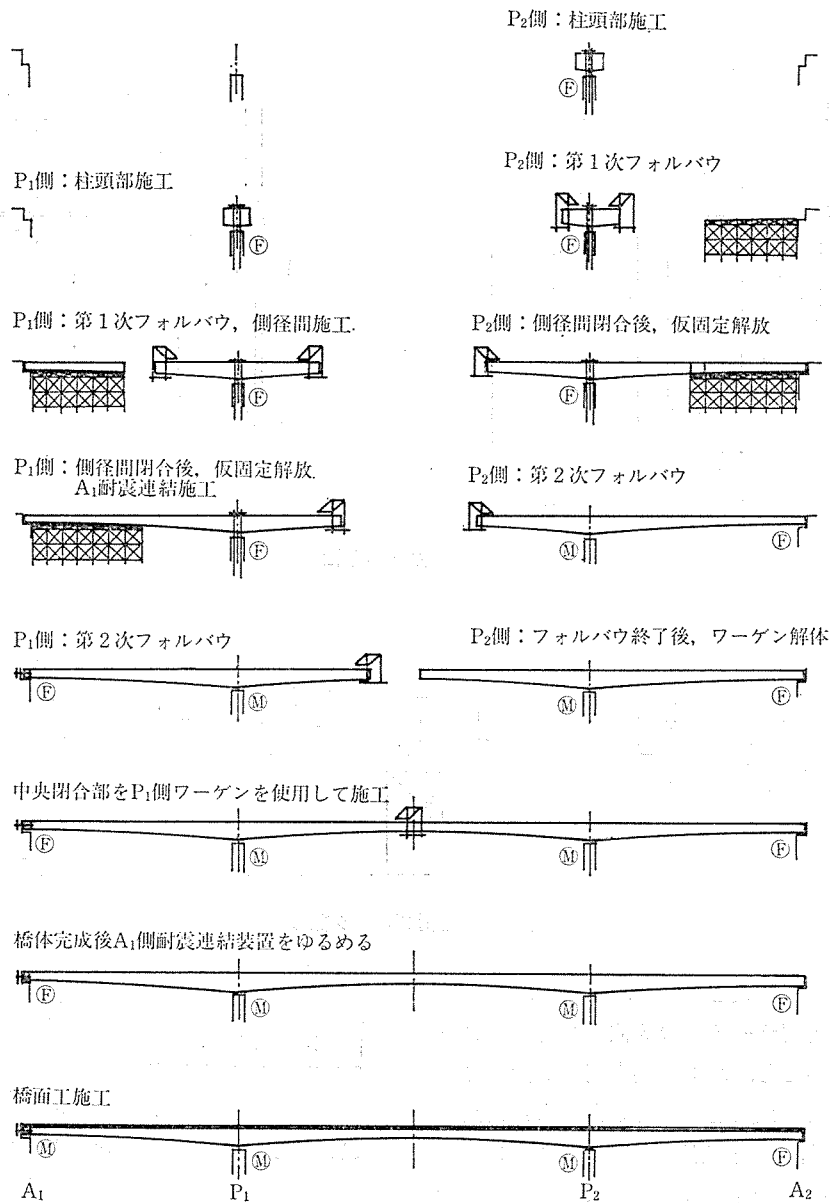


図-4 施工順序

PC 鋼材レラクゼーション：床版，主桁とも $r=3\%$
材料強度および許容応力度：

コンクリート； $\sigma_{ck}=400 \text{ kg/cm}^2$

鉄筋；SD 30

許容応力度 主桁 $\sigma_{sa}=1800 \text{ kg/cm}^2$

床版 $\sigma_{sa}=1400 \text{ kg/cm}^2$

PC 鋼棒；主鋼棒 $\phi 32$ A種 2号

横締め鋼棒 $\phi 26$ A種 2号

せん断鋼棒 $\phi 32$ A種 2号

柱頭部鉛直鋼棒 $\phi 32$ B種 2号

3.2 施工方法および断面，ブロック割り

(1) 施工方法

本橋の施工順序を 図-4 に示す。

本橋は中央径間部のみ河川上に架設するため張出し架

設工法が必要となるが，側径間部は桁下高さも低く支保工による架設が可能である。特に A₂ 側（広川町側）は支保工施工に何の障害もない。しかし側径間を支保工施工の後，支保工を撤去すると，約 70 m 近くの単純桁構造が誕生する。施工中に 70 m の単純桁として成立する断面および鋼材を側径間に配置することは非常に不経済となるため（かつ，この鋼材はその一部が完成系に対して不利に作用する）側径間の約 1/2 を支保工施工とし，側径間閉合後中央径間の残りの部分を再度張出し施工とした。また施工途中の仮固定は側径間閉合までとし，閉合後仮固定は解放しそれ以降の施工中の地震水平力は両橋台で対応した。

(2) 構造形式および主桁断面，ブロック割り

本橋は平面線形 $R=500 \text{ m}$ であり，橋脚高さは 10 m

◇工事報告◇

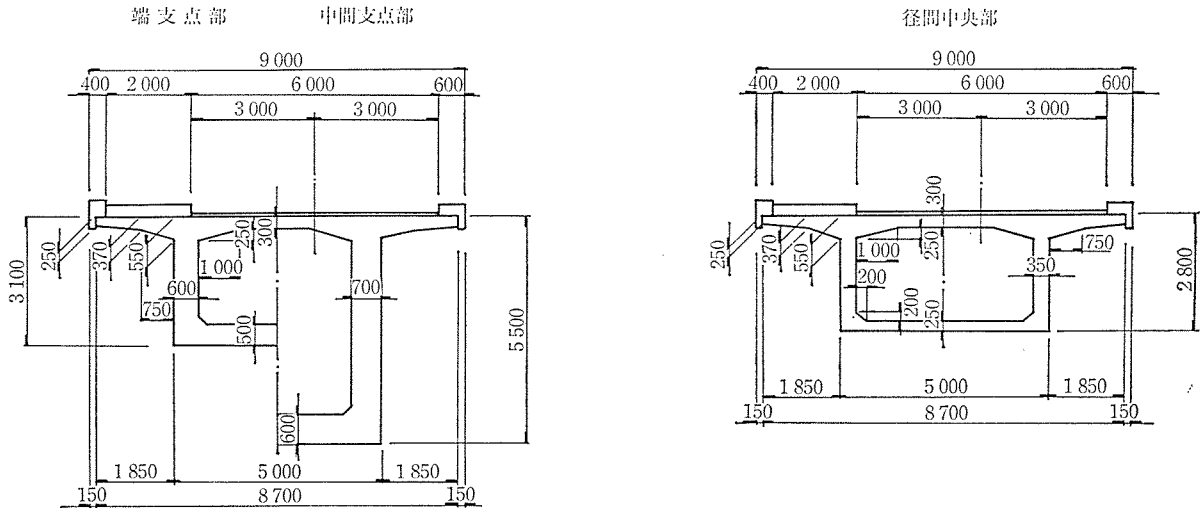


図-5 主桁断面

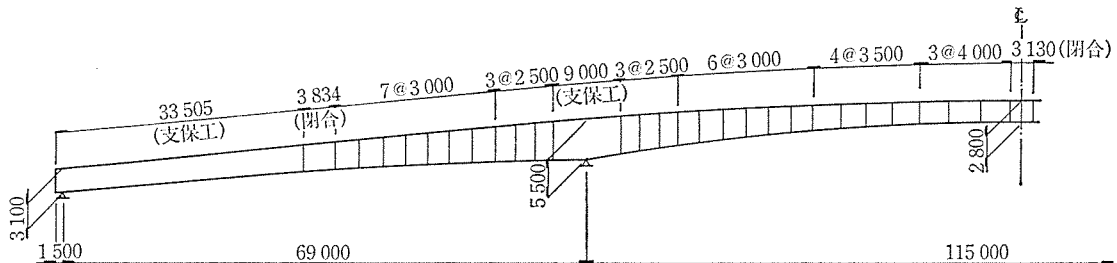


図-6 主桁ブロック割り

程度と比較的低い。構造形式としては、連続桁、中央ヒンジ付きラーメン、連続ラーメンの3種類が考えられるが、平面曲線が小さいこと、および橋脚高さが低いことを考慮し、比較の結果3径間連続桁とした。また桁高は航路限界の影響を受け、中間支点上5.5 m (スパン桁高比 1/21)、支点部2.8 m (同 1/41) と比較的低桁高となった。上床版厚は30 cm一定、ウェブ60~35~70 cm、下床版厚50~25~70 cmに変化させた(図-5)。

施工ブロックは図-6に示すように柱頭部を9 mブロックとし、ワーゲンの能力を考えて張出し施工部を2.5~4.0 mブロックとした。

3.3 断面力

(1) 曲げモーメント

本橋は前掲のように順次構造系が変化していく。したがって主桁の断面力は、任意平面骨組解析プログラムを使用し架設ステップを追って算出した。また架設時と完成後では構造系が変化するため、主桁自重およびプレストレスによる断面力はクリープの進行により変化してゆくが、この量はDishingerの理論により求めた。架設中の主要段階と完成後の曲げモーメント図を図-7に示す。

(2) ねじりモーメント

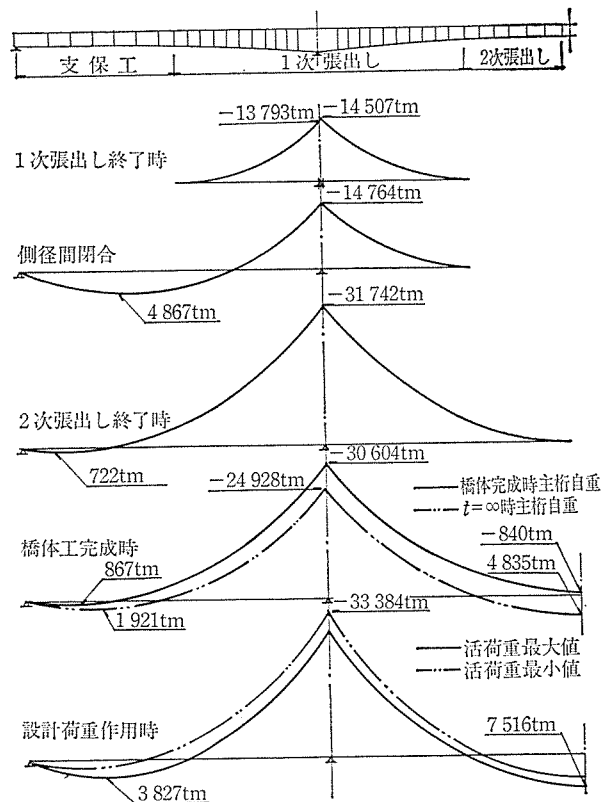


図-7 施工段階ごとの曲げモーメント図

表-1 主要点の鋼棒本数および合成応力度

側 径 間		中 間 支 点				中 央 径 間	
鋼 材	38本	鋼 材	200本		鋼 材	96本	
	上縁(kg/cm ²) 下縁(kg/cm ²)		上縁(kg/cm ²)	下縁(kg/cm ²)		上縁(kg/cm ²)	下縁(kg/cm ²)
設計荷重時	41.4 -5.3	設計荷重時	5.9	130.4	設計荷重時	104.0	-8.2
設+温度差	44.2 -4.9	設+温度差	16.1	129.8	設+温度差	115.3	-19.7

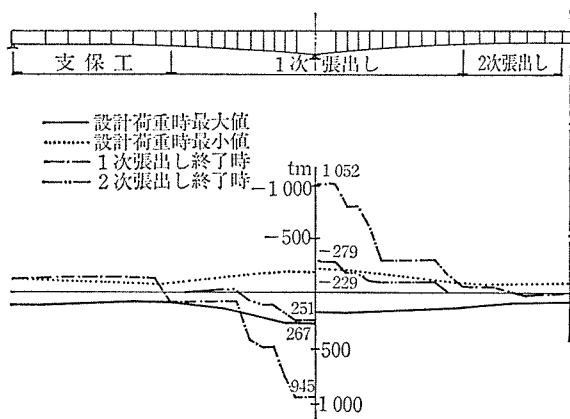


図-8 施工中のねじりモーメント

本橋は何度も書くように平面曲線 $R=500$ m をもつ曲線橋である。完成後の解析では1主桁モデルの平面格子桁理論によりねじりモーメントについても解析を行っているが、施工中のねじりモーメントについても1次張出し終了時、最大張出し時の2ケースについて1主桁モデルの平面格子理論によりねじりモーメントの解析を行った。ねじりモーメントのグラフを図-8に示す。図に示すように、中間支点上で設計荷重作用時に比べ大きなねじりモーメントが発生するが、照査の結果、許容値を満足することがわかった。

3.4 PC 鋼材配置および曲げ応力度

PC 鋼材の配置状況を図-9に示す。なお第1次張出し終了までは左右交互緊張できるが、側径間閉合後は完全な交互緊張は不可能となる。ゆえに側径間側はボックス内部に配置されている架設鋼棒に突起を設けることによりAアンカーとし、張出し床版部は側径間側をBアンカーとして中央径間側より緊張した。また架設時の主要ステップでの曲げ合成応力度を図-10に示し、各主要点での鋼棒配置および設計荷重時合成応力度を表-1に示す。

3.5 施工中の耐震設計

(1) 橋軸方向水平力

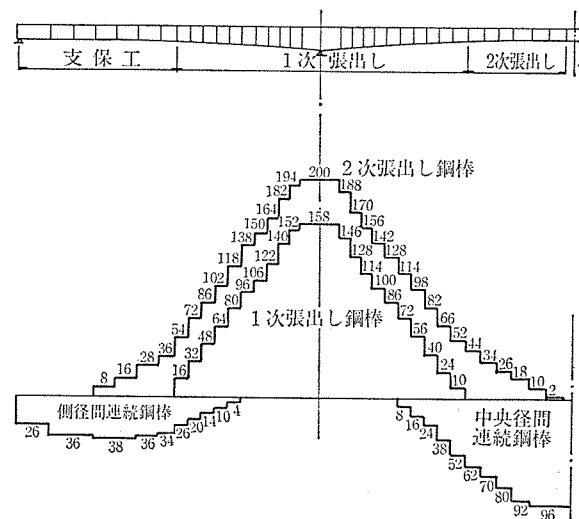


図-9 PC 鋼棒の配置

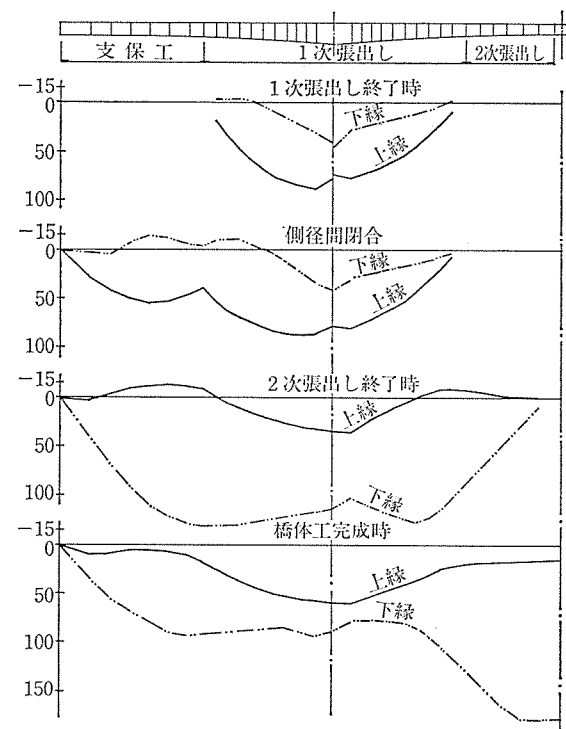
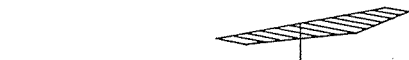


図-10 架設時の合成曲げ応力度

◇工事報告◇

① 1次フォルパウ終了 その1



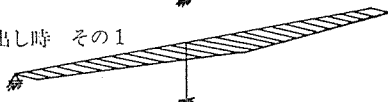
② 1次フォルパウ終了 その2



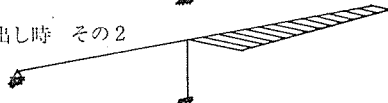
③ 側径間閉合時



④ 最大張出し時 その1



⑤ 最大張出し時 その2



⑥ 最大張出し時 その3

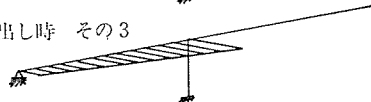


図-11 横方向荷重検討ケース

本橋は側径間閉合時に中間支点仮固定を解放するため、閉合後は中間支点のH鋼でなく端支点にて地震時水平力に対抗させる必要がある。A₂側は固定沓であるため問題はなく、A₁側は落橋防止装置によりこの水平力に対応した(PC鋼棒φ32A種1号4本配置する)。

(2) 橋軸直角方向水平力

施工中の直角方向力としては地震時慣性力と風荷重が考えられる。地震慣性力は $k_h' = 1/2 \times k_h = 0.1$ 、風荷重は $w = 0.45 \text{ t/m}^2$ として 図-11 に示す6ケースのうち最大の断面力に対して各支承について検討した。面外荷重に対しては $Z = \theta_x = \theta_y = \text{固定}$ として解析し、

F_Z (Z軸方向反力) : アンカーボルト等のせん断耐力

R_Y (Y軸周り回転反力) : 作用中心についての(アンカーボルトのせん断耐力)×(腕長)として算出した隅力

R_X (X軸周り回転反力) : サイドブロックの負反力に対するストッパー(微小であるので省略した)

をもって抵抗力とした。表-2に各ケースでの F_Z , R_Y の値を示す。

4. 施工

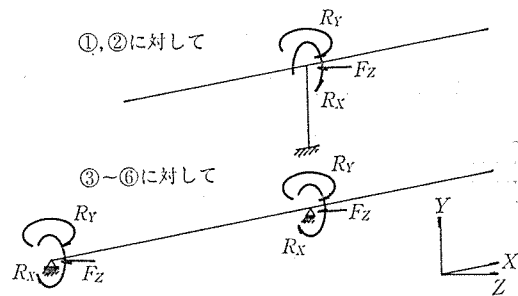
4.1 柱頭部の施工

P₁, P₂ 橋脚とも中央径間側が河川内に位置するため、H鋼ブラケット式支保工と高さ調整用の建枠を組み合わせて施工した(図-12)。

1組のブラケットは2本のフォームコネクターで橋脚

表-2 各反力発生値

		F_Z (t)		R_Y (t·m)	
		風荷重	地震	風荷重	地震
橋台	③	47.2	57.0	-553.3	-556.9
	④	24.5	27.3	-68.8	76.6
	⑤	-40.9	-53.4	865.6	1128.1
	⑥	64.0	80.9	-903.0	-1054.7
橋脚	①	-132.1	-194.7	-12.5	-24.5
	②	-65.4	-104.5	1000.2	1412.0
	③	-137.5	-197.3	-61.5	-120.3
	④	-190.2	-263.3	-313.8	-450.5
	⑤	-139.5	-197.8	-466.3	-612.6
	⑥	-54.0	-83.2	136.3	159.6



に仮取付けを行い、さらに4本のφ26ゲビンデスターブを40t/本で緊張し橋脚に取り付けた。

型枠は内、外型枠とも塗装合板をパネル枠に加工して使用した。場所打ち部標準型枠図を 図-13 に示す。

コンクリートは下床版、腹部(横桁含む)のU断面と上床版の2回に分けて、ブーム付きポンプ車で圧送し打設した。コンクリート打設時に下り方向(側径間側)で緊張する鋼棒がパイプレーターの振動により緊張方向に移動する懸念があり防止処置をした。

4.2 張出し部の施工

柱頭部施工終了後、P₁, P₂ 橋脚に2主桁ワーゲン(200t·m)を側径間側から組立てを行い、それぞれの橋脚で2基ずつ使用した。ワーゲンの組立てクレーンは側径間側が45t、中央径間側が80tトラッククレーンで行った。10%縦断勾配にワーゲンを対応させるため、上り方向はアンカージャッキ部分を、下り方向はメインジャッキ部分を 図-14 に示すように改造を行った。張出し施工中の障害物となる波がえし、フェンス、道路建築限界を避けるため、P₁ 側径間側は低床ワーゲンに改造し、P₁ 中央径間側は数回の下段作業台の吊上げ(クライミング工)を行い航路限界を避けた。移動時は駆動装置のマグネットブレーキを開放して、下り側ワーゲンは10tチェーンブロック2台を惜しみとして使用し、上り方向ワーゲンは10tチェーンブロックと5tチルホールをそれぞれ2台ずつ使用して移動させ、上り縦断勾配が5%程度のブロックからワーゲンを自走させた。

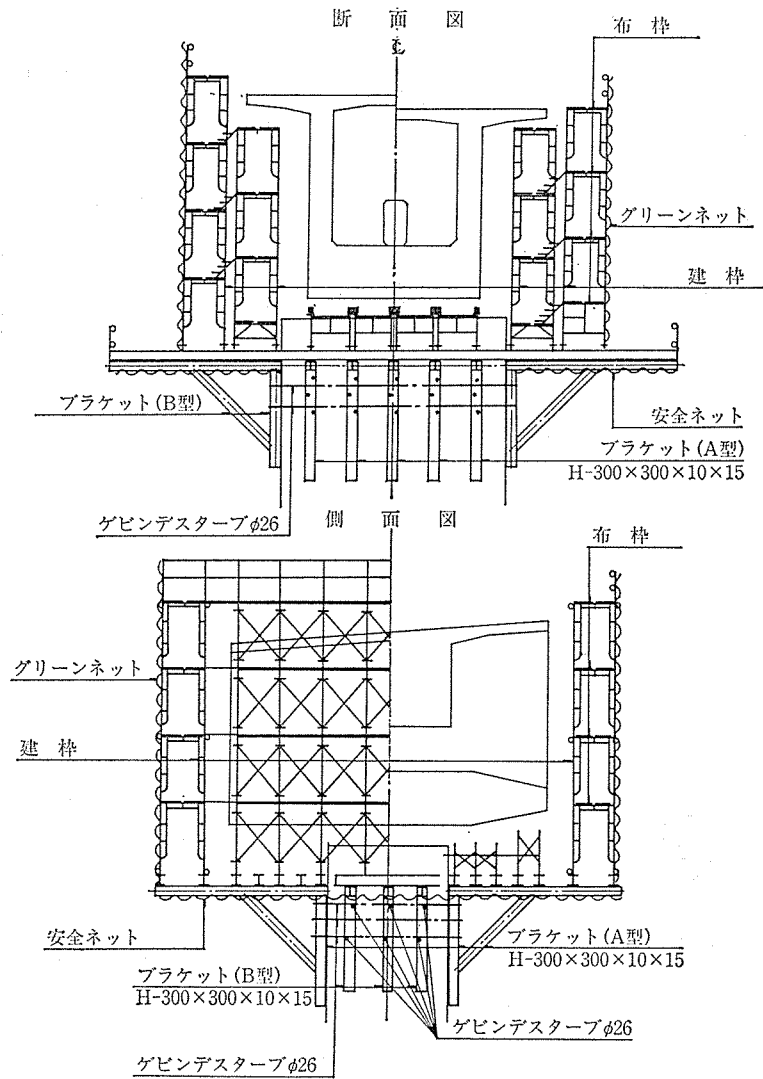


図-12 柱頭部支保工図

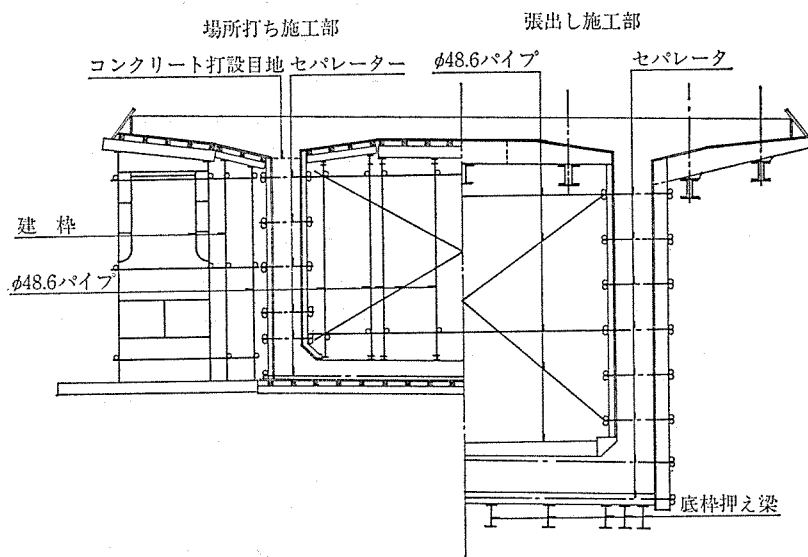
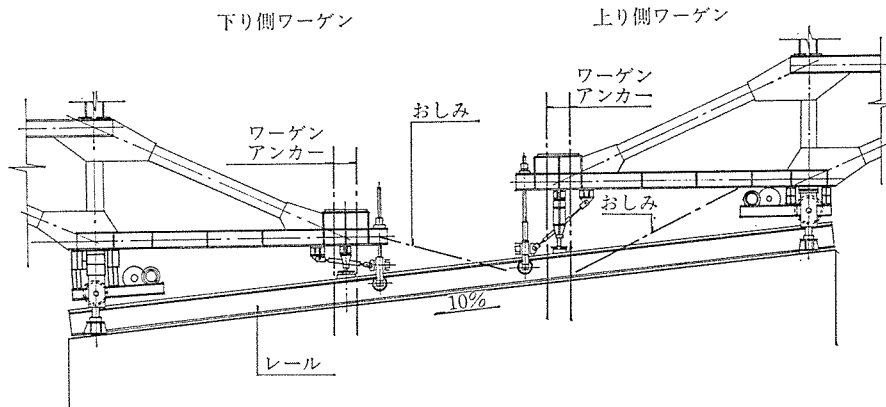
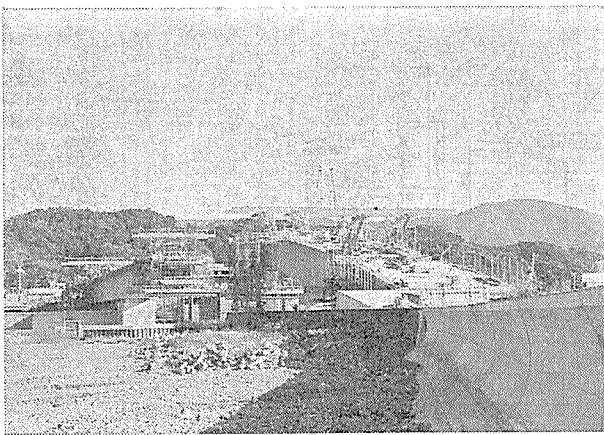


図-13 標準型枠図



図—14 ワーゲン改造部



写真—2

ワーゲンの解体は側径間は最終ブロック地点で、中央径間側は柱頭部まで引戻しを行い、組立て時と同規格のトラッククレーンを使用して解体した。

コンクリートは、側径間ブロックはブーム付きポンプ車により、また中央径間側ブロックは柱頭部付近から配管式ポンプ車により圧送、打設した。水平配管長は60 m程度であった。桁の養生方法は、温暖期は被膜養生剤を散布し、養生マットに散水を行いさらにシートで覆って水分の蒸発を防いだ。寒冷期はさらに桁小口を防風シートで覆い、桁内空部に2台のジェットヒーターで加温を行った。

型枠は 図—13 に示す木製型枠で数回の合板の張換えを行った。

橋面への荷役は、柱頭部橋面にスペースができるまで20 tトラッククレーンを使用し、4ブロック施工終了後、それぞれの柱頭部付近の橋面に脚部台座勾配調整コンクリートを打設して、パワーリーチ1基ずつを設置した。張出し施工状況を 写真—2 に示す。

4.3 側径間の施工

側径間のほぼ1/2の長さが支保工施工部分となっており、総枠組支保工によった。型枠、コンクリート打設は

表—3 主な塩害対策

対象	事項	対策
かぶり	桁の外側(上床版除く)	5.5 cm
	桁の内側	3.5 cm
	地覆	4.0 cm
生コンクリート	塩化物量	目標 100 g/m ³ <300g/m ³
	杏	溶隔亜鉛メッキ
高	欄	ステンレス
インサート		かぶり以上、 コンクリート内迫込み
コンクリート天端定規		
コンクリート打設用足場		
型枠組立用金具		
ワーゲン、レールアンカー		
上床版切欠き部		シーリング材塗布
シース、グロッケ等の鋼材保管		倉庫
意識の高揚		繰返し教育

柱頭部とほぼ同様の施工方法であったので省略する。

4.4 閉合部の施工

側径間閉合部は枠組支保工により、中央径間閉合部はワーゲンによって施工した。中央閉合はワーゲンの前方を四角支柱で受け、さらにカウンターウェイトの使用により左右の張出し桁先端にかかる反力およびタワミを調整した。側径間閉合は側径間の施工とほぼ同様であるので省略する。

4.5 塩害対策

この地区は「道路橋の塩害対策指針(案)・同解説」によれば地域区分Cに該当し、架設場所より対策区分IIにあたる。これに対する設計上の配慮として鉄筋の最小かぶりを5.5 cm(前記指針では5.0 cm)とした。また現場での主な対策内容は従業員の繰返し教育による意識の高揚、材質の選択、かぶり内異物の排除、入念な施工等で、その対策内容を表—3に示す。

4.6 コンクリートの品質管理

コンクリートの打設方法は前記したとおりであるが、

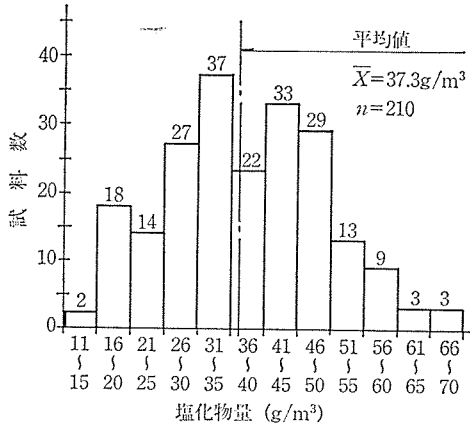


図-15 塩化物量ヒストグラム

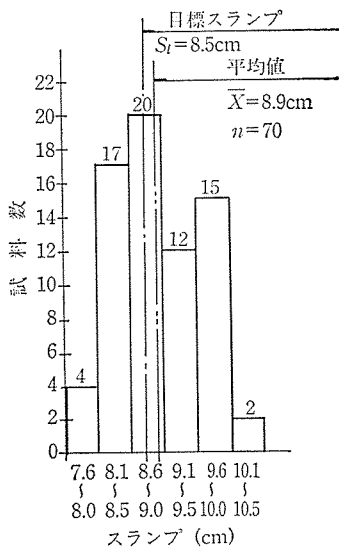


図-16 スラブヒストグラム

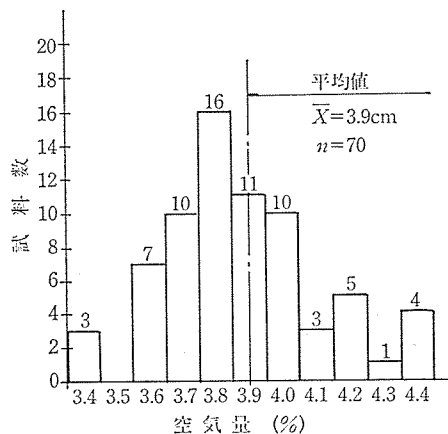


図-17 空気量ヒストグラム

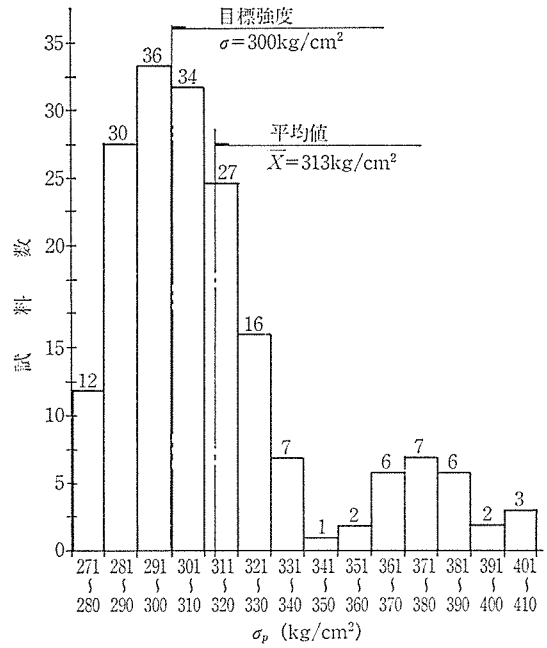


図-18 導入時圧縮強度ヒストグラム

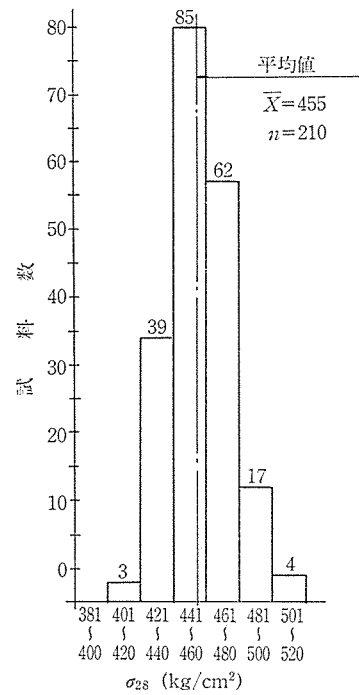


図-19 設計基準強度ヒストグラム

打設ごとに実施したレデーミクストコンクリートの各種試験結果およびコンクリートの圧縮強度試験結果を温度を除き 図-15~図-19 までのヒストグラムに示す。な

おコンクリートの圧縮試験用供試体の養生方法は、28 日用が標準養生で、プレストレス導入時が打設桁内空部での現場養生を行った。その結果、導入時の目標平均圧縮強度の 300 kg/cm² に達した材令は温暖期で 2 日、寒冷期で 3 日であった。上記の試験結果をまとめると表-4 のとおりで、塩化物量をはじめとして若干のバラツキはあるが規格値範囲内に納まり、かつ初期の目標をほぼ満足しているものと考えられる。

表-4

試験名	規格	目標	試料数	平均値	標準偏差	変動係数
スランプ	8.0±1 cm	8.5 cm	70	8.9 cm	0.627	7.0%
空気量	4.0±1%	4.0%	70	3.9%	0.231	6.0%
塩化物量	300 g/cm ³ 以下	100 g/m ³ 以下	210	37.3 g/m ³	11.8	31.7%
圧縮強度	プレストレス導入時	300 kg/cm ²	189	313 kg/cm ²	30.0	9.5%
	σ_{28}	400 kg/cm ² 以上	210	455 kg/cm ²	18.0	4.0%

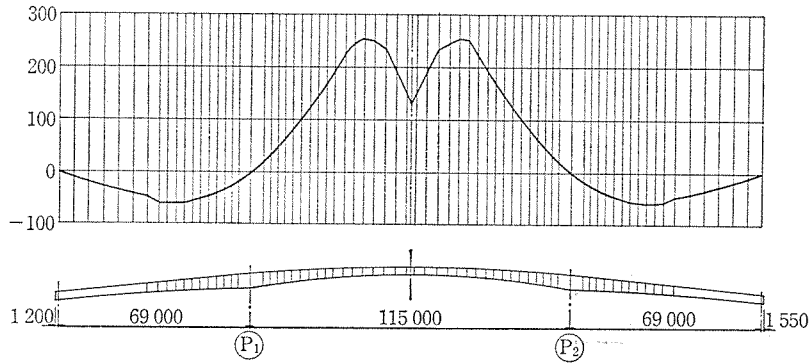


図-20 上げ越し計画図

4.7 上げ越し量の管理

張出し架設工法の管理の中で上げ越し量は重要で、かつ難しい管理の一つで、施工中、完成後に生ずる下記タワミについて計算を行った。タワミ計画を 図-20 に示す。

- ① ワーゲンの据付け、移動、撤去によるタワミ
- ② コンクリート打設によるタワミ
- ③ プレストレスによるタワミ
- ④ 支保工沈下によるタワミ
- ⑤ ワーゲンの弾性変形によるタワミ
- ⑥ クリープ、乾燥収縮によるタワミ
- ⑦ 橋面工によるタワミ
- ⑧ 下部工沈下および変形によるタワミ
- ⑨ 橋脚アンバランスモーメント開放によるタワミ
- ⑩ カウンターウェイトによるタワミ

タワミ管理の結果の一例を 図-21 に示すが、側径間が高めに中央径間が低めに仕上がっている。タワミ計画高との誤差発生原因は次に示す計算上と実際の係数の差と考えられる。

- ① コンクリートのクリープ係数、乾燥収縮
- ② コンクリートの弾性係数
- ③ コンクリートの単位重量
- ④ プレストレス量のバラツキ
- ⑤ 温度変化差

等であるが、このうち大きく起因しているものは単位セメント量、水セメント比および骨材の性質、養生状態に左右される①と②であると考えられる。また本橋は航路建築限界および道路用地と周辺取付け道路事情によって、縦

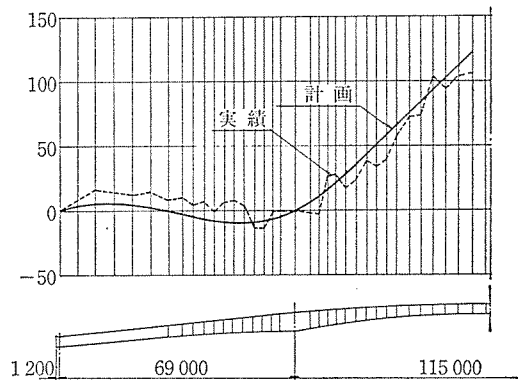


図-21 上げ越し管理図 (30 BL 打設時)

断勾配、桁高を決定したが、中央スパンに対する柱頭部桁高比が 1/21 と小さく、断面二次モーメントも小さい。よって①、②の少しの誤差が敏感にタワミに影響してくるものと思われる。

5. おわりに

本橋は構造的には 3 径間連続桁であり大きな問題点はないが、線形的に縦断勾配 10%、平面曲線 $R=500$ m と大変ユニークな橋梁である。このため施工中の応力関係および施工精度には大いに配慮した。またこの地域にとっては本橋梁は生活基盤を確立する幹線道路としての役割をはたすこととなる。

最後に設計、施工に際し関係各位の御指導に感謝するとともに、去る 63 年 7 月本橋が無事開通式を終えたことを報告する。

【1988 年 12 月 26 日受付】