

橋梁と基礎

BRIDGE AND FOUNDATION ENGINEERING

10

1989
Vol.23
No.10



池間大橋（沖縄県 宮古土木事務所）

ビー・エス・コンクリート株
オリエンタルコンクリート株
株大米建設
共和産業株
先嶋建設株

共同企業体
(標準部)

富士ビー・エス・コンクリート株
株安部工業所
先嶋建設株
新構造技術株
株大富建設コンサルタント

共同企業体
(航路部)

設計・施工管理

いけま 池間大橋の施工

—プレキャストブロック工法—

池間大橋は、沖縄県本島の南西300kmに位置する宮古島と、その北西に浮かぶ池間島を結ぶ橋長1425mの海上橋であり、現在施工途中の橋である。

構造形式は、本橋のおかれた地理的・気象的条件、すなわち台風常襲地帯で冬季の季節風が強いことなどを考慮して、現場作業を極力少なくし、しかも塩害対策上有利で維持管理が容易なプレキャストブロック工法によるPC連続箱桁を採用した。

支承条件は、ゴム沓による多径間反力分散方式を採用し、沖縄地方独特のバラツキの大きな地質条件(琉球石灰岩)に影響されないように考慮するとともに、橋脚断面の統一化を図り、景観性にも配慮した。

その他、各種の塩害対策やアウトケーブルによる逆張出し架設なども実施している。

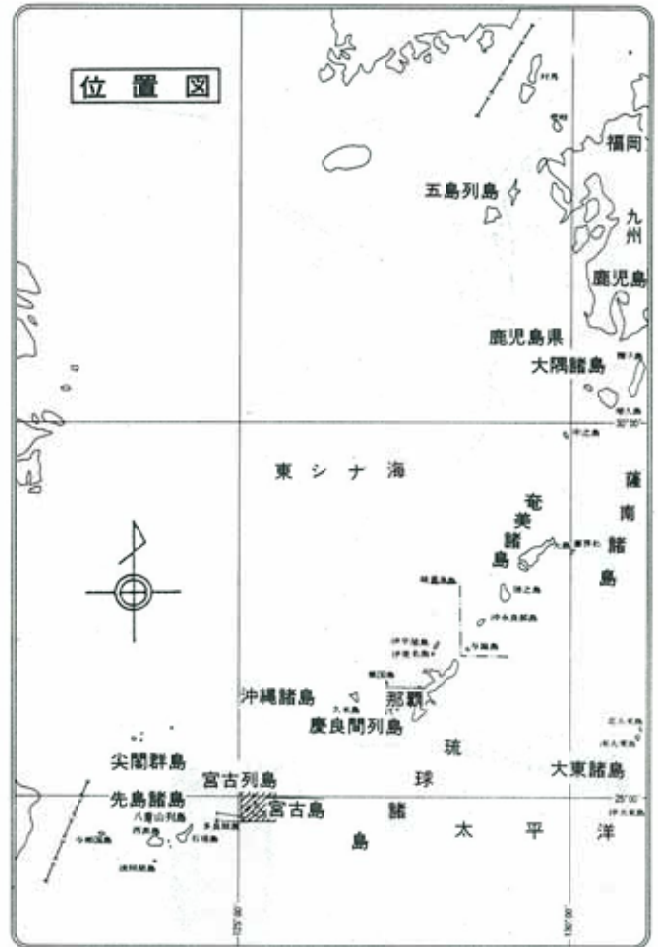
完成すれば、プレキャストブロック工法によるPC橋としては我が国最大級となる。

路線名：一般県道池間大浦線

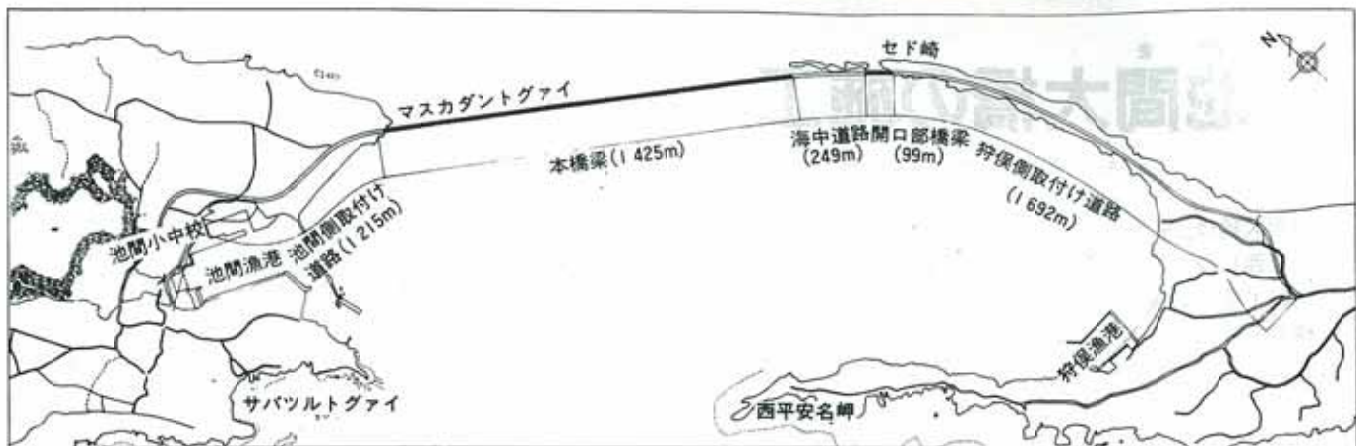
橋長：1425m、有効幅員：7.750m

形式：PC4、5径間連続箱桁橋(標準部)

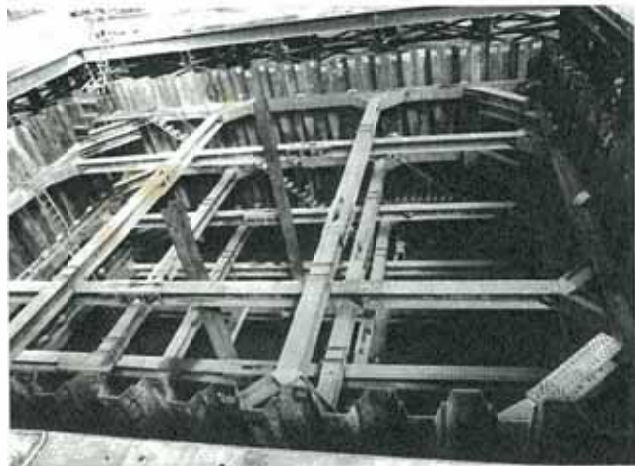
架設工法：プレキャストブロック張出し架設工法()



〈池間大橋の施工〉



1) 作業用栈橋



2) 鋼矢板締切り



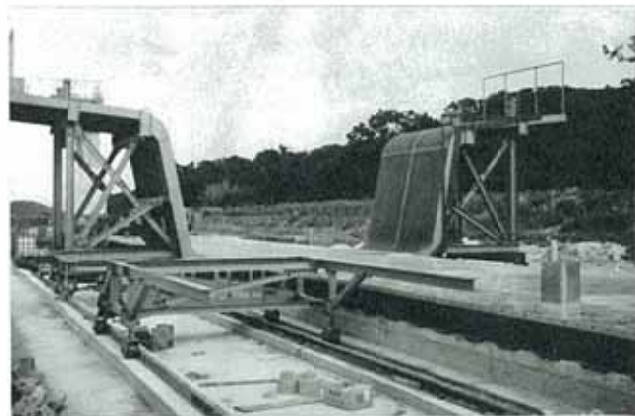
3) 鋼管杭打設完了



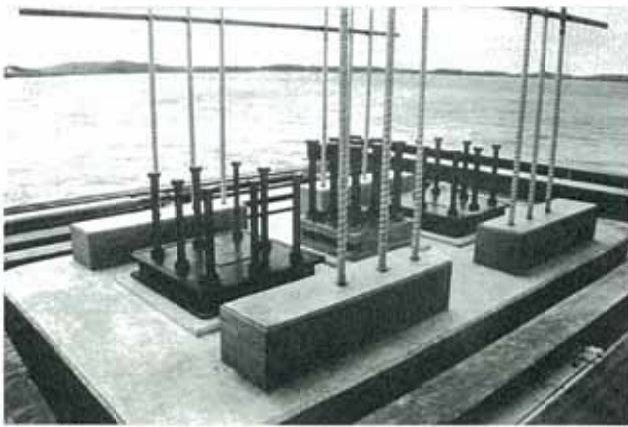
4) 艦体構築



5) ブロック製作ヤード施工中



6) 鋼製型枠



7) 沓座部



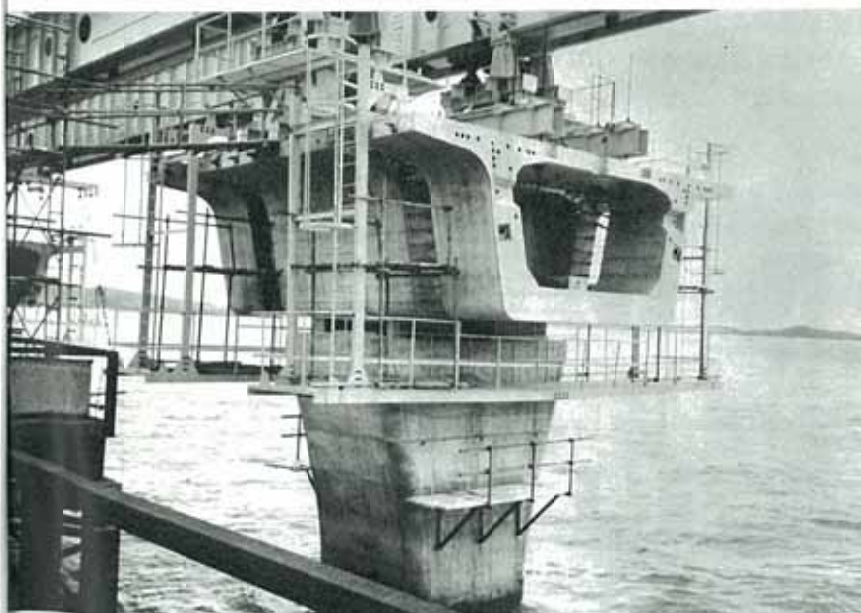
8) 柱頭部施工



9) エレクションガーダーの架設



10) ブロック運搬

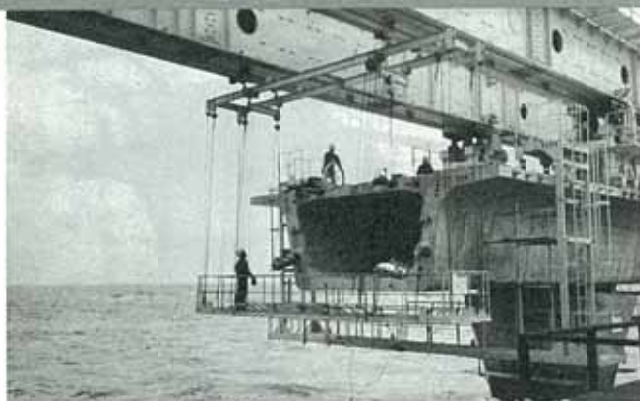


11) 基準ブロックの据付け

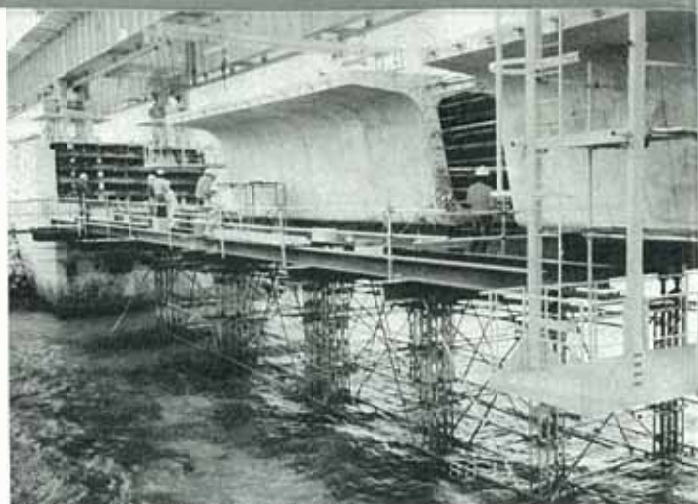


12) ボックス内引寄せ鋼棒

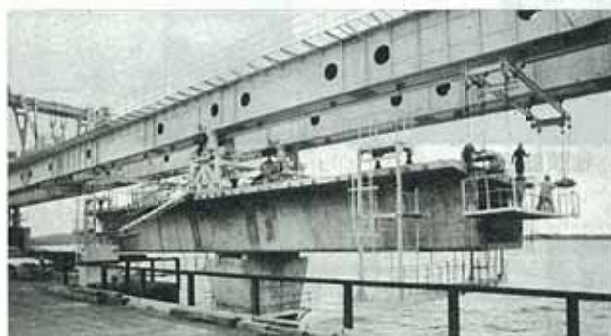
〈池間大橋の施工〉



13) 架設ケーブルの緊張



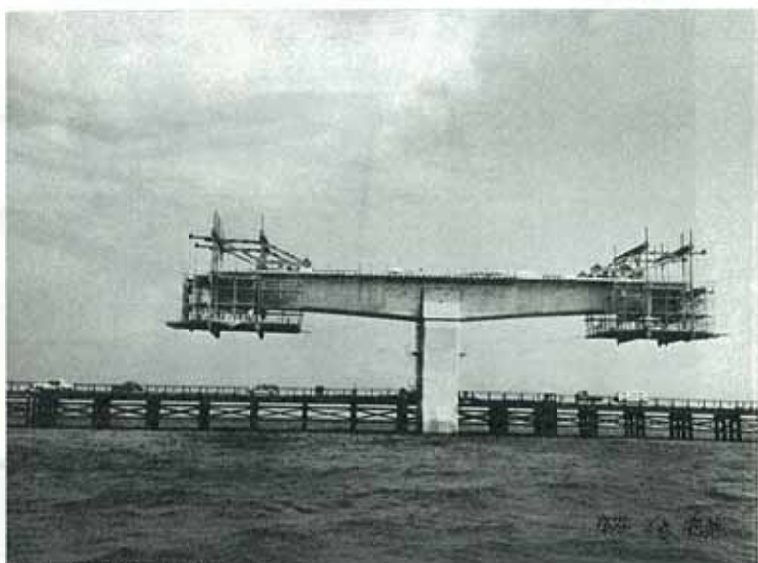
14) 側径間支保工施工部(A側)



15) 中間支点上からの張出し架設



16) 端支点上からの張出し架設(アウトケーブル)



17) 航路部の張出し架設(現場打ち)

18) 航路部完成



いけま 池間大橋 (仮称) の設計と施工

—海上部に建設中のプレキャストブロック工法長大橋—

や 屋 良 朝 ひろ とう ま きよ かつ
 な 中 宗 根 朝 朝 雄 岡 戸 三 夫
 仲 宗 根 朝 朝 雄 岡 戸 三 夫

まえがき

昭和56年度に建設省所管地方道改修費補助で採択された池間大橋（一般県道池間大浦線）は、沖縄県那覇市の南西330km離れた宮古島と、その北西約1.8kmに位置する池間島を結ぶ橋長1425mのプレキャストブロック工法による道路橋である（図-1）。

現在平成3年度完成を目途に施工中であり、完成すれば同工法としては我が国最大規模のPC橋となる（写真-1）。

本橋の計画区間は全長1773mにわたり、宮古島狩俣から開口部橋梁（99m）、岩礁部の海中道路（249m）、本橋部（1425m）の3区間を通過し池間島に至る（図-2）。

架橋地点は干潮時の水深が0.5～3.0mと浅い海で、海底は珊瑚を含んだ白砂に覆われており、平常時は極めて風光明媚な光景である。しかしながら台風常襲地帯としても知られており、台風時の海上の荒々しさは想像を絶する所でもある。橋梁の形式や施工方法を選定するうえで、この気象条件が大きな要因となった。

橋の規模は、図-2に示すとおりである。支間長は経済性により60mを基本にしており、4および5径間連続桁を標準部と称し5連計画した。また中央部は航路部と称し、中央スパン80mの3径間連続箱桁とした。

以下、本文では池間大橋本橋部（1425m）の設計と施工について大要を報告する。

1. 工事概要

1-1 橋梁概要

- 路線名：一般県道 池間大浦線
- 位置：沖縄県平良市狩俣～池間
- 道路規格：3種4級（V=50km/h）
- 橋種：プレストレストコンクリート道路橋
- 橋格：二等橋（T-20、L-14）
- 構造形式：（標準部）PC4、5径間連続箱桁橋
（航路部）PC3径間連続箱桁橋
- 基礎形式：先掘り鋼管杭基礎（P₃、P₅橋脚を除く全基）
直接基礎（P₃、P₅橋脚）
- 架設工法：（標準部）架設桁によるプレキャストブロック張出し架設工法
（航路部）移動式作業車による現場打ち張出し架設工法



図-1 池間大橋の位置



写真-1 架設中の池間大橋

- PC工法：SEEE工法、フレッシュ工法
- 橋長：1425m
- 支間：図-2参照
- 有効幅員：7.750m（片側歩道1.5m）
- 発注者：沖縄県宮古土木事務所
- 設計者：新構造技術㈱、(株)大富建設コンサルタント

1-2 工事数量

本橋部の主要数量は表-1に示すとおりである。

2. 設計概要

2-1 設計一般

2-1-1 支承条件

本橋は連続桁構造であり、橋軸方向の常時および地震時の上部工水平反力を各橋脚へ分散を図り、できるだけ均等

・ 沖縄県 土木建築部 宮古土木事務所 主幹
 .. " " " 主任技師
 ... " " " 道路建設課 主任
 ****新構造技術㈱ 土木設計部 次長

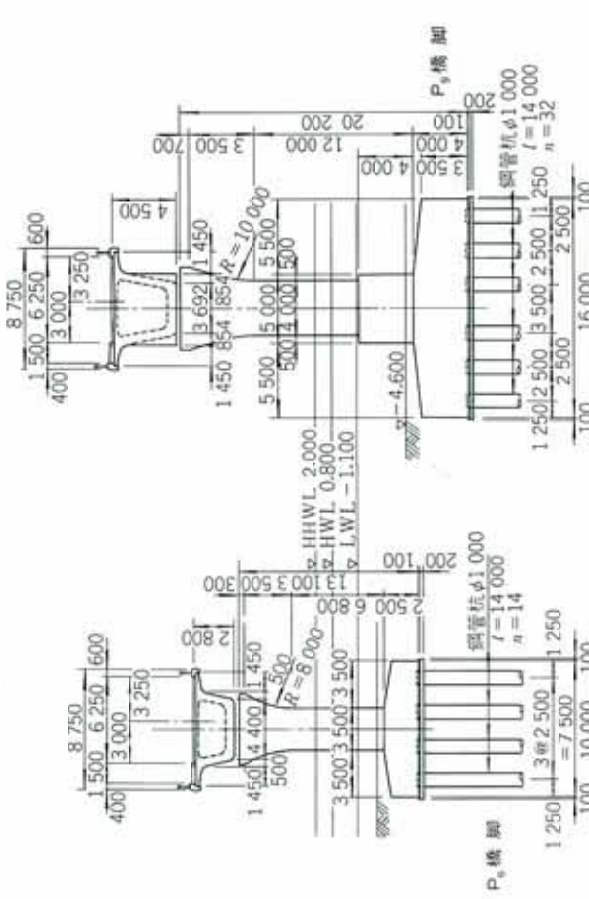
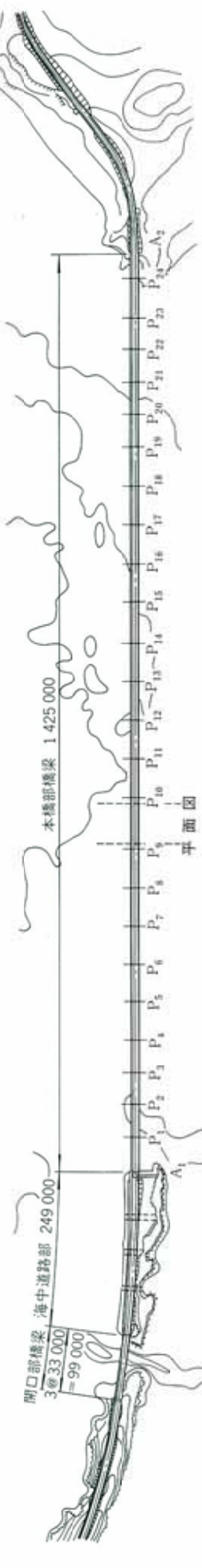
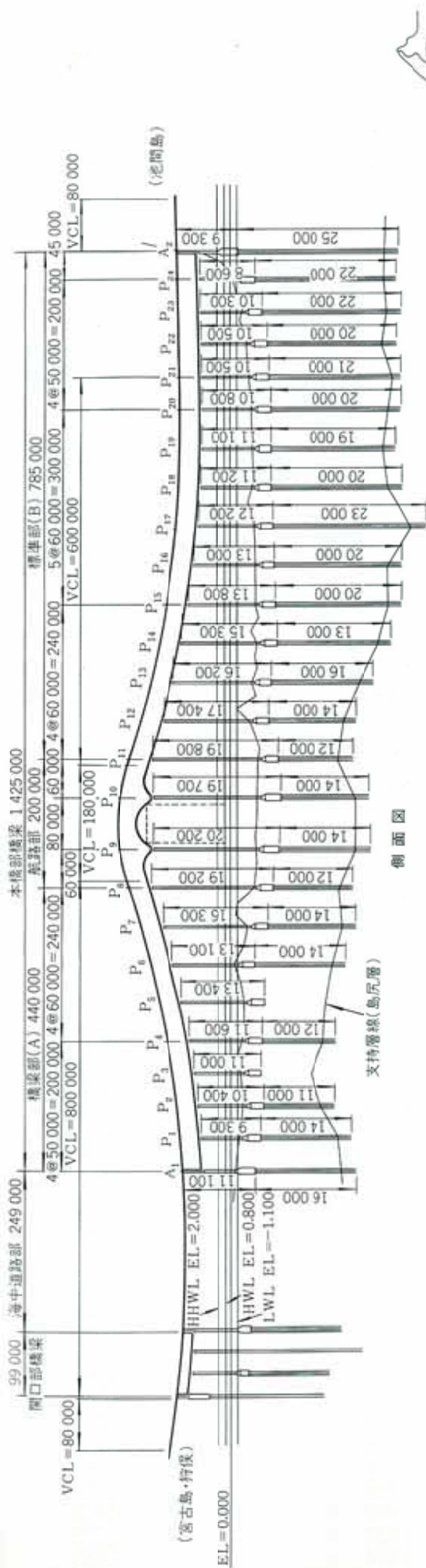


図-2 池間大橋の一般図

表-1 上部工の主要材料 (橋体工)

		数量	摘要
コンクリート		10 127m ³	$\sigma_{c,t}=400\text{kgf/cm}^2$
鉄筋		1 102 t	SD30
P C 鋼材	架設ケーブル	170 t	8T12.7
	連続ケーブル	167 t	12T12.7
	床版ケーブル	51 t	1T21.8
	鉛直、横桁鋼棒	25 t	$\phi 32$, SBPR95/110

な橋脚構造となるように設計されている。これは可動橋脚と固定橋脚の寸法が大きく異なるという多径間連続桁固有の問題を解決し、更に地震時における耐震効果の増大にも寄与するものである。

反力分散機構は主桁と橋脚との結合をゴム支承 (リング沓) を使用することにより、地震時の上部工水平力はゴム支承のせん断力として各橋脚に伝達される。また常時のクリープ・乾燥収縮ならびに温度変化による主桁の長期変形をゴムのせん断変形で吸収し、下部構造への伝達水平力を減少させている (表-2)。

各橋脚に作用する水平力はこのゴム支承の厚さ (ばね定数) を変化させることにより、任意に調整することができる。また橋軸直角方向の水平力についてはストッパー装置によって分担させる構造としている (図-3)。

2-1-2 塩害対策

本橋は沖縄県に架かる海上橋であるため“道路橋の塩害対策指針 (案)・同解説”で定めるところの対策区分 (I) に該当し、最も厳しい環境下での塩害対策が要求された。以下にその具体策を列記する。

① 主桁形式

コンクリート橋の塩害による損傷は、一般に床版橋や箱桁橋に比べ、表面露出面積の大きい T 桁橋や I 桁橋に多く発生している。本橋ではスパン長および架設方法にも適合し、かつ塩害対策上有利な“箱桁形式”を採用した。

② 円形ハンチと円形隅切り

主桁および橋脚形状に円形ハンチと円形隅切りを採用し

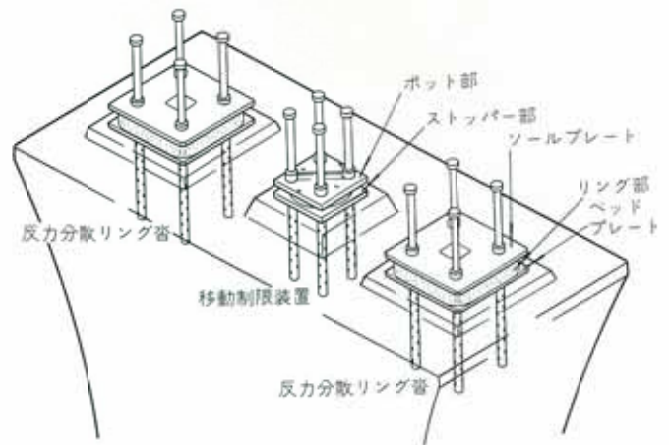


図-3 支承部の構造

柔らか味を表現するという景観の意味と、コンクリートを回り込みやすくし、締固め効果が高められる形状とすることにより、ジャンカなどが生じないように施工性と品質の向上を図った。

③ 鉄筋のかぶり

直接外気に接する主桁および橋脚の外周鉄筋のかぶりは“塩害対策指針 (案)”に従って最小かぶり 7 cm を確保し防食上の配慮を行った。

④ エポキシ樹脂塗装鉄筋

長期間にわたり露出させておく鉄筋については、エポキシ樹脂塗装鉄筋を使用した。

⑤ 橋面防水工

本橋は海面と桁下とのクリアランスが小さく、荒天時には橋面に海水の飛沫がかかるため、床版上面には防水工を施すこととした。

⑥ 橋梁付属物

- ・ 支承…ゴム支承の上下金属プレートにはゴムコーティング
- ・ ストッパー…溶融亜鉛めっき

表-2 水平反力の分担比 (橋脚天端)

		主桁					
		ゴム沓					
橋脚 No.		P ₁₅	P ₁₆	P ₁₇	P ₁₈	P ₁₉	P ₂₀
ゴム沓の形状		800×1 400×260	1 100×1 100×143	1 050×1 050×100	1 050×1 050×100	1 100×1 100×143	800×1 400×260
ゴム沓のせん断ばね定数: k_t (t/cm)		8.90	17.26	22.44	22.44	17.26	8.90
ゴム沓の変形量 Δl (cm)	◇	12.08	6.46	1.87	2.46	6.44	10.62
	◇	12.30	12.36	12.30	12.30	12.30	12.30
	◇◇	24.38	18.76	14.17	14.76	18.74	22.92
橋脚へ作用する水平力 H_r (tf)	◇	108	111	42	55	111	95
	◇◇	109	212	276	276	212	109
	◇◇◇	217	323	318	331	323	204
	比率	1.06	1.58	1.56	1.62	1.58	1.00

ここに、 $k_t = \frac{G_0 \cdot A}{\sum t}$ G_0 : ゴムの静的せん断弾性係数 (10.5kgf/cm²)
 A : 支承面積 (cm²)
 $\sum t$: ゴム沓厚 (cm)

$H_r = \Delta l \cdot k_t$

- ◇: 常時 (弾性収縮 + クリープ + 乾燥収縮 + 温度収縮)
- ◇◇: 地震時 ($k_r=0.19$)

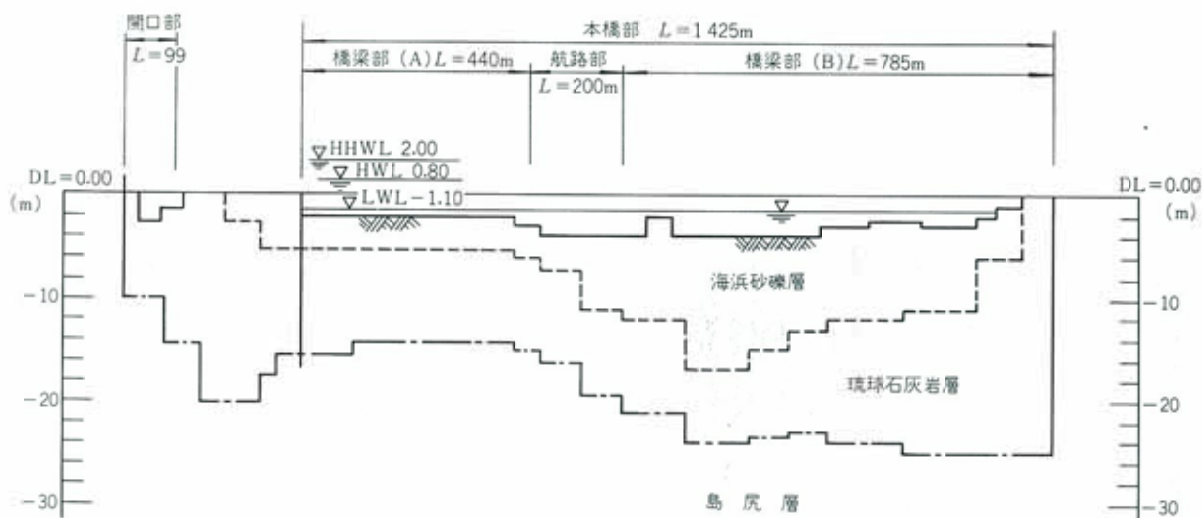


図-4 地質縦断模式図

- 伸縮継手…ゴムジョイント
- 高欄…アルミ合金製
- 排水管取付け金具…ステンレススチール製

2-2 下部工の設計

2-2-1 地質構成

架橋地点の地質は宮古島特有の海浜砂礫層、琉球石灰岩層、島尻層群で構成されている(図-4)。GL-11~-25m以下にほぼ平坦に島尻層群(基盤岩)が分布し、その上に琉球石灰岩層が7~14mの厚さで覆って分布している。この琉球石灰岩層は海上部で薄く陸上部で厚く分布しており、海上部ではこの上に2~12mの厚さで海浜砂礫層が分布している。

2-2-2 基礎形式の選定

本橋の基礎形式としては表-3に示す5形式が比較検討案として選出された。これらの形式のうちから最適な基礎形式を選定するには、土質状況、荷重規模、施工性および工期等に問題がなく、かつ工費面でも有利なものを選定する必要がある。

架橋地点の土質状況は、前述の図-4からもわかるように琉球石灰岩層が広く分布している。この層は標準貫入試験の結果からみてもN値のバラツキが著しく、硬軟混在した多孔質な土質であり、N値のバラツキは垂直方向(深さ方向)にも水平方向にも不連続で複雑な状況を呈しているのが特徴である。したがって基礎形式の選定にあたっては、この琉球石灰岩の特徴を十分に考慮することがポイントとなった。

これらを踏まえ、また開口部橋梁の試験施工を基に標準部においては鋼管杭基礎とPCウエル基礎を、航路部においては鋼管杭基礎とニューマチックケーソン基礎とを最終的な比較検討の対象として工法を選択した。

表-3 基礎形式の検討

形式	区間	標準部(A)	航路部	標準部(B)	備考
鋼管杭形式		○	○	○	支間40~80m
PCウエル形式		○	×	○	支間50m以下
直接基礎形式		○	×	×	支間50~60m
ケーソン基礎形式		×	○	×	支間50~80m
鋼管ウエル形式		○	○	○	支間50~80m



写真-2 PCウエルの沈設

① 標準部の基礎形式

開口部橋梁の基礎形式としてPCウエル基礎と鋼管杭基礎を各々2基ずつ試験的に施工した。PCウエルについては当初、締切りが要らずPCウエルそのものが基礎と躯体を兼用できるということで海上部の施工に有利であると考えた(写真-2)。しかしながら琉球石灰岩のバラツキのためにセンタービットの自転による反力が遊星ビットにうまく伝わらず、掘進速度が当初計画より極端に遅かった。それで2基目の橋脚において遊星ビットの回転を強制回転に切り替えたが、それでも掘進速度は当初計画の60%以下であった。したがって工期および工費の面で当工法は適当でない判断した。

鋼管杭工法については従来から広く採用されている工法であり、構造特性も比較的明確であり施工が容易で工費も比較的安価であることから当工法が適切であると判断し選定した。ただし当架橋地点の地質状況が複雑であり、また中間層のN値が50以上となる層もあることから直接打ち込むことは試験施工の結果からも不可能と判断されたため、ここではオーガにてプレボーリングを行い、支持層である島尻層へ2D(ここでは2m)打ち込む“先掘り鋼管杭基礎”を採用した。

ただし、P₃、P₅橋脚については、施工前の各々2本のボーリング調査の結果、比較的浅い位置にバラツキの少ない

安定した琉球石灰岩の層がみられたことから、P₃、P₅橋脚については直接基礎を採用することにした。ただし前述のとおり琉球石灰岩の特徴は深さ方向にも水平方向にも不連続であるため、実施にあたっては追加ボーリングや平板載荷試験等で支持力を確認しながら施工することとした。

② 航路部の基礎形式

航路部のスパンは80m あるためニューマチックケーソン基礎を検討したが、当地の土質が多孔質の琉球石灰岩であるため空気圧の調整および効果に問題があるとともに、経済性からも不利となるため適当でない判断した。したがって航路部についても標準部と同様“先掘り鋼管杭基礎”を採用した。

2-3 上部工の設計

2-3-1 ブロックの分割

ブロックの分割は運搬、架設用ガーダーの能力、PC鋼線の効果的定着を考慮し最大重量を50tとし、ブロック長は1.35、2.0、2.5mの3種類とした(図-5)。

橋脚頭部の4.0mは橋脚施工と同時期に先行して現場打ち施工し、架設用ガーダーを支持する脚を載せられるように配慮した。幅1.35mのブロックは基準ブロックと称し、方向を調整する重要なブロックであり、方向が定まった後、幅0.65mの部分に現場打ちコンクリートを打設する。またスパン中央の閉合部も現場打ちコンクリートである。

2-3-2 目地構造

ブロック目地にはエポキシ樹脂接着材を塗付し、ブロック相互をPC鋼棒により引き寄せ圧着した。接合を正確に



図-5 ブロック割り

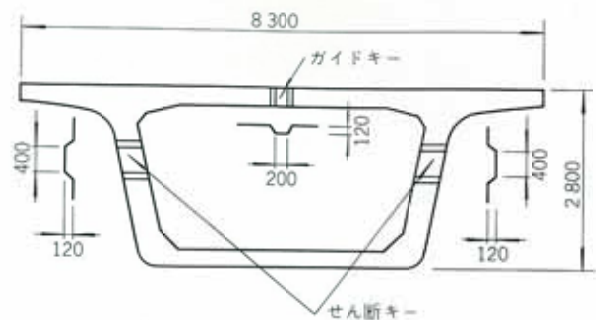


図-6 ブロック接合部のキー

行うために上下床版にはガイドキー、ウェブにはせん断キーを設けた(図-6)。

2-3-3 PCケーブルの配置

主桁縦方向のPCケーブルは、架設用ケーブル(SEE-PAC工法, 8T12.7)と連続用ケーブル(フレシネー工法12T12.7)を使用している。架設用ケーブルは上床版とウェブに配置し断面内に定着している。また連続用ケーブルはウェブと下床版に配置しているが、定着は箱桁内部に突起を設けて定着している。

3. 施工概要

3-1 下部工の施工

下部工(鋼管杭基礎)の施工順序は以下のとおりである。

- ① 主栈橋・作業用栈橋構築
- ② 鋼矢板締切り
- ③ オーガ削孔・鋼管杭打設
- ④ 電気防食
- ⑤ 外周グラウト
- ⑥ 躯体構築
- ⑦ 仮設物撤去

3-1-1 主栈橋・作業用栈橋構築

下部工26基を施工するために主栈橋(図-7)、作業用栈橋(図-8)を構築した。主栈橋は狩俣側から約730mを施

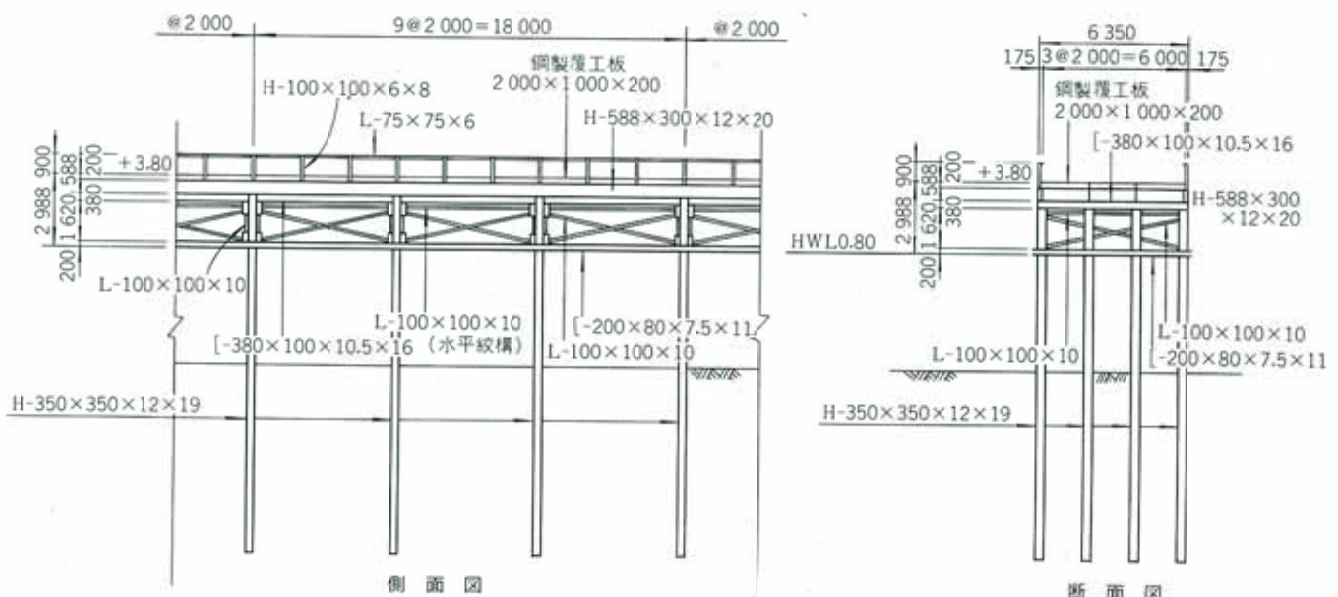


図-7 主栈橋の標準区

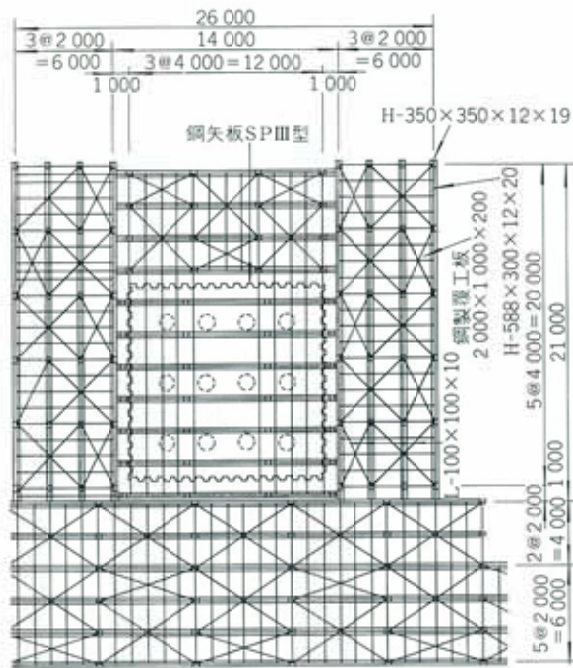


図-8 仮締切りと作業用栈橋の平面図

工し、 $A_1 \sim P_{12}$ 間が完成すると撤去し池間側に転用した。支持杭 (H350) の打設は琉球石灰岩が硬軟入り混じった土質のため、打撃貫入は困難であると判断し、ウォータージェット併用のパイロハンマにて施工した。ただし $P_8 \sim P_{22}$ 付近は N 値の低い海浜砂礫層が厚く分布するので、パイロハンマのみで施工した。

3-1-2 鋼矢板締切り

鋼矢板は一重締切りとし、打込みは琉球石灰岩の特質を考慮に入れ、栈橋施工と同様の施工方法とした。また切り梁、腹起こしは杭打設、脚柱構築に支障とならないように配置した。

3-1-3 オーガ削孔、鋼管打設

オーガ削孔のために、ここでは栈橋方式を採用した。杭打ち栈橋構築後、 $\phi 1160\text{mm}$ のオーガにて支持層である島尻層の上面まで削孔し $\phi 1000\text{mm}$ の鋼管杭を建て込み、ジーゼルハンマにて島尻層へ杭径の2倍程度打撃貫入し、リバウンド量により所定の支持力を確認して打込みを完了す



写真-3
作業用栈橋上からの杭施工



写真-4 完成した橋脚

る (写真-3)。

3-1-4 電気防食

土中の腐食環境調査の結果、土壌抵抗率は約 $200 \sim 400 \Omega \cdot \text{cm}$ と極めて低い値を示し、強腐食環境下にあることがわかった。そのため鋼管杭は腐食代のみで対応せず、電気防食によっても保護し、構造物の耐久性の向上を図った。

3-1-5 外周グラウト

オーガにて先行掘りして鋼管杭を打ち込んでいるので、杭外周の土砂はゆるんだ状態となっている。したがって横方向に対する抵抗力が低下しているため杭周面にグラウトを注入し、ゆるんだ地盤の強度を復元する。グラウトの効果については、杭の水平載荷試験を実施し確認する。

3-1-6 躯体構築、仮設物撤去

鉄筋、型枠を組んでコンクリートを打設して躯体を構築する。躯体の形状は宮古島の花ブーゲンビリアの開花を想わせ、島民の「やさしさ」、「あかるさ」を表す Y 形とした (写真-4)。躯体構築後、埋め戻して締切り鋼矢板、作業用栈橋を撤去して下部工工事は終わる。主栈橋については上部工柱頭部、上部工航路部の完了後、撤去する。

3-2 上部工の施工

3-2-1 架設順序

架設順序は図-9 ならびに以下に述べるとおりである。

- ① 標準部 (A) をエレクションガーダーにより架設する。
- ② 標準部 (A) の完成前に航路部 (場所打ち部) を仮栈橋を利用して架設しておく。
- ③ 標準部 (A) と航路部が連結後、標準部 (B) をエレク

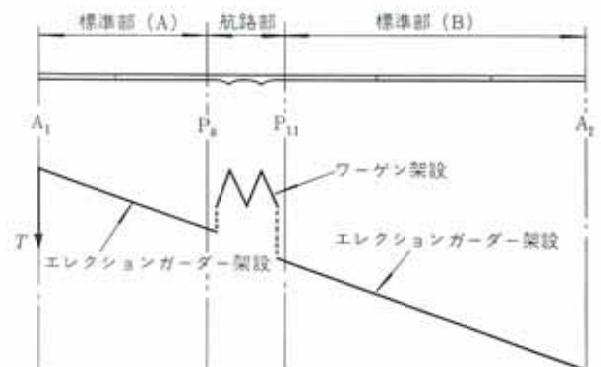


図-9 架設全体工程



図-10 ブロック製作ヤードの平面図

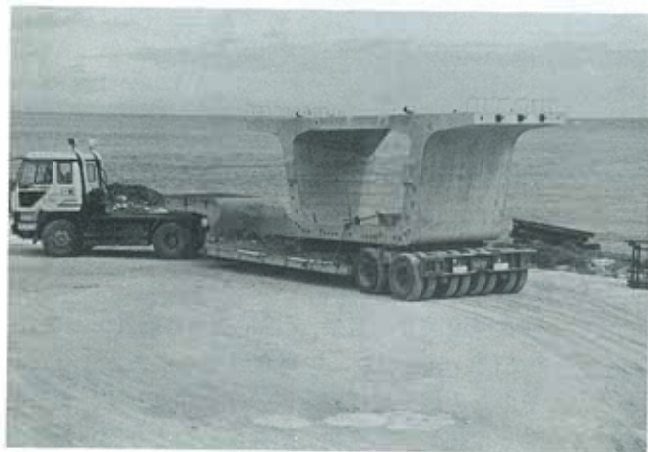


写真-5 トレーラによるブロック運搬

ションガーダーにより架設し、全体の完成となる。

なお、ブロックの搬入および架設方向は、すべて A₁側から A₂側にかけて行う。

3-2-2 ブロック製作ヤード

ブロック製作ヤードは狩俣側の農地を借地して設置した。ヤード内の諸設備の配置は図-10のとおりである。

3-2-3 架設方法

① ブロックの運搬

ブロックの製作は橋梁部より約2.0km離れた陸上部のヤード上で行っているため、トレーラによりエレクションガーダー後方まで搬入する(写真-5)。次にブロック設置個所までの運搬は、エレクションガーダー上の自走式門形クレーンによって吊り下げて行う。

② 架設要領

ブロックの架設は桁上方からのエレクションガーダー架設であり、各橋脚からの張出し架設にて行う。1径間分の架設が終了したらエレクションガーダーを次の径間に移動し、同様の作業を繰り返す(図-11、写真-6)。

3-2-4 架違い部の施工

等径間の連続桁を張出し架設で行う場合、側径間の約1/2は通常支保工施工となるが、本橋は海上施工となるため支保工の設置が困難である。したがって一時的に両桁端をPC鋼棒により仮連結し連続構造にしておき、両側に張出し架設を行った(図-12)。架設時の負の曲げモーメントに対しては桁上面に配置したアウトケーブル(SEE-F270T)によって対処した。

3-2-5 航路部の施工

航路部はスパン80mの変断面構造であること、全体工程が早まること、仮橋が利用可能であることなどの理由により、移動式作業車による現場打ち張出し架設工法によって施工した(写真-7)。

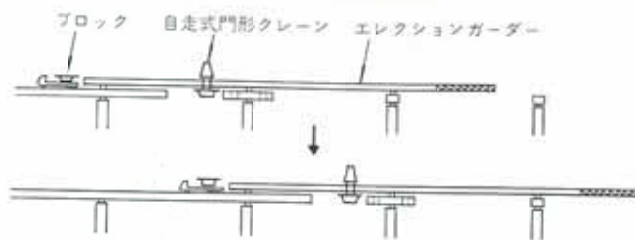


図-11 ブロックの架設要領



写真-6 エレクションガーダーによるブロック架設



図-12 架違い部の施工

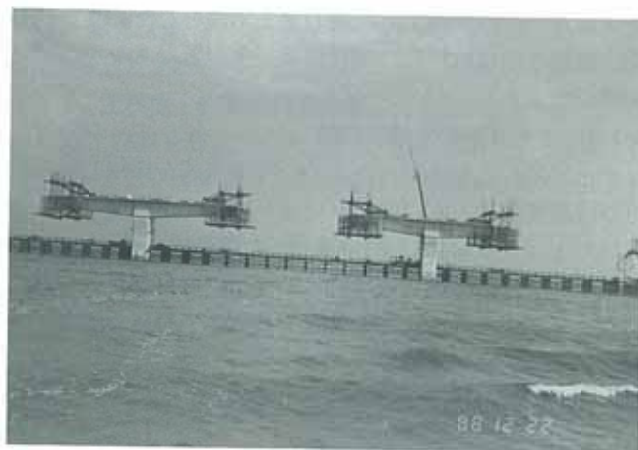


写真-7 移動式作業車による航路部の架設

あとがき

池間大橋は現在施工途中であるが、今までのところ大きな台風の襲来も受けず、予定どおりの工程で順調に進行している。これは計画当初のねらいであった工程管理の容易さ、省力化が図れ、急速施工が可能な構造形式を選定した結果と思われる。

今回の架橋計画にあたっては、数年にわたる技術検討委員会(委員長:浅間達雄氏)により、種々の問題点について審議した結果が生かされており、委員長ならびに委員各位に謝意を表する次第である。