

## 岸和田大橋の基本設計

大阪第一建設部	設計課	杉山 功
	同	松永 正行
	同	安田 扶律

### 要 約

岸和田大橋は、大阪府道高速湾岸線（南伸部2期）に建設が予定されている中央径間255m、橋長445mの3径間連続中跨式アーチ橋であり、アーチ橋として世界的な規模となるうえ、岸和田旧港再開発地区シンボルとしても期待されている。

また、その橋脚は、新設埋立地や施工水深の深い海上部にも橋脚が設置されることになっている。

このため、景観に十分配慮した設計が必要になるほか、若齢埋立地の影響についての検討や海上部の水中基礎施工法など検討する課題も多い。

本報告では、岸和田大橋の基本構造系、下部工設計の概要および鋼施工法締切り枠を用いた新しい水中基礎施工法（鋼殻工法）について述べる。

### まえがき

大阪府道高速湾岸線（南伸部2期）に建設が予定されている岸和田大橋は、岸和田旧港を渡る中

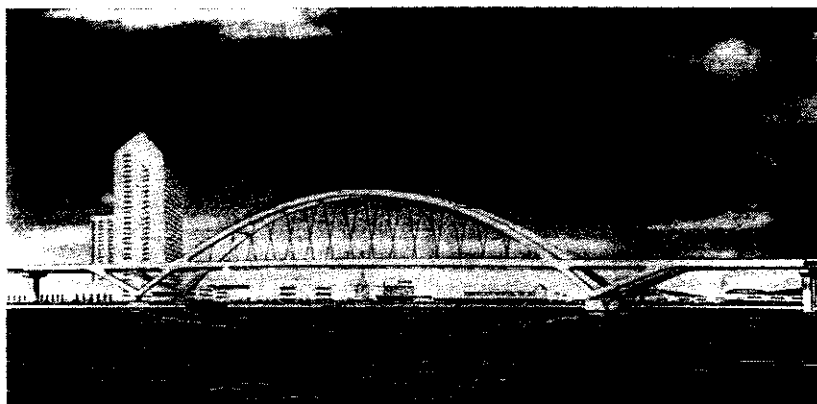


図-1 岸和田大橋全景（完成予想図）

中央径間255m、橋長445mの世界的な規模の3径間連続中路式アーチ橋である。

本橋が通る岸和田旧港地区では、湾岸線の建設に合わせて旧港を埋め立てて旧湾再開発事業が計画されており、再開発により新たに都市機能の集積が期待される当該地区からの景観とそのランドマークとしての位置付けを十分考慮して本橋の形式を決定する必要があった。

また、本橋の橋脚のうち2橋脚は、若齢埋立地にあり、他の2橋脚は海上部にある。特に固定支点橋脚のP147は、岸和田旧港内の最深部（水深約15m）に位置している。このため、本橋の下部工設計については若齢埋立地の影響検討や水中基礎工法の検討が特に必要となる。

本橋では、こうした検討内容を中心に橋深の基本構造、下部工詳細設計概要特に新しく考案した

水中基礎工法について報告する。

## 1 橋梁の概要

本橋梁の基本構造諸元は以下のとおりであり、橋梁一般図を図-2に示す。

- (1) 路線名：大阪府道高速湾岸線
- (2) 道路構造規格：第2種第1級
- (3) 設計速度：80km/h
- (4) 橋の等級：1等橋
- (5) 構造形式：3径間連続中路式アーチ橋
- (6) 上部工：バスケットハンドル型ローゼ桁
- (7) 下部工：PC単柱 1基、沓受台1基RC単柱1基、銅製橋脚1基
- (8) 径間長：95.0m+255.0m+95.0m
- (9) 幅員：21.93m~27.86m

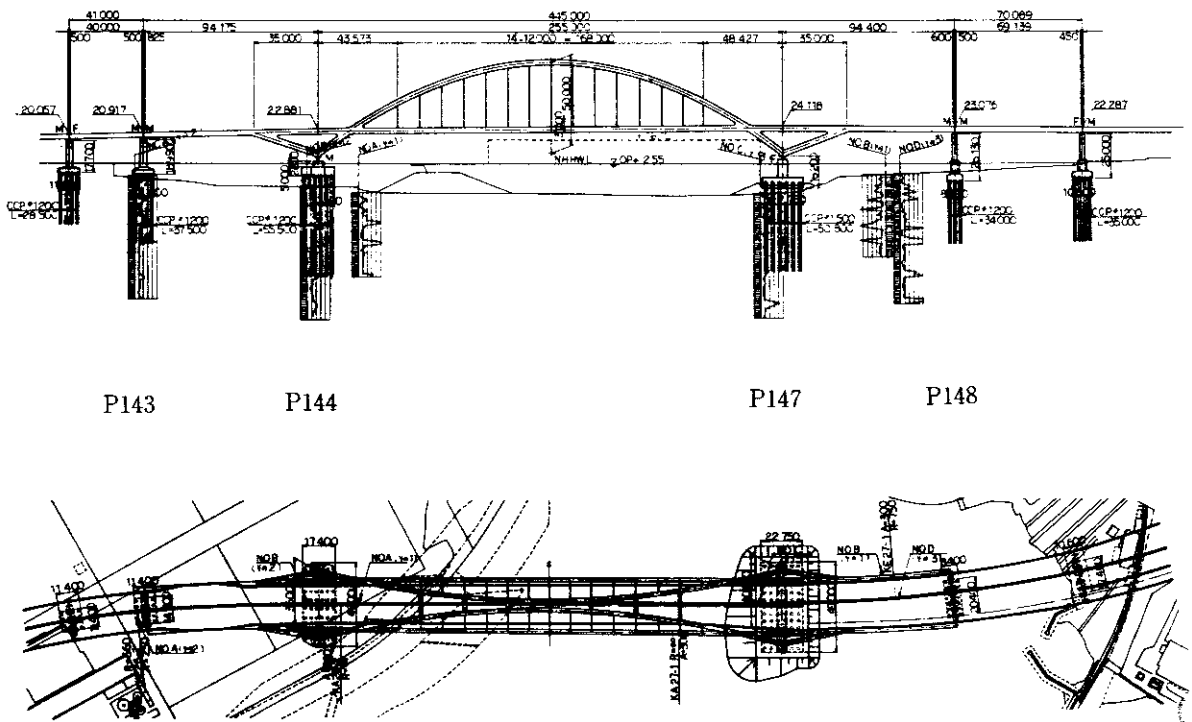


図-2 岸和田大橋橋梁一般図

(10) 地盤条件：4種地盤（耐震設計上の地盤種別）

上部工形式としては、景観への配慮から3径間連続中路式アーチを採用した。アーチ部材は傾斜させてバスケットハンドル型として優美さと軽快感を出し、面外方向の剛性も高めるようにした。

また、部材の煩雑感を避けるために吊材はケーブルを用いた鉛直吊りとし、上横構は設けず、支材とアーチリブで構成されるラーメン構造にして横荷重に抵抗するようにした。床組みについては、長支間アーチであることなどから軽量の鋼床版形式とし、経済性と全体剛性の向上のため補剛桁と一体に働く合成床版構造とした。

2橋脚が若齢埋立地に位置するため、埋立による沈下等の変状に対応しやすいように1点集中固定とし、埋立地上の橋脚は可動橋脚とした。

## 2 景観上の特性

岸和田旧港地区は、ショッピングセンター、カルチャーセンター、病院等が立地する都市設計の集積地として再開発されることになっている。したがって、地元からはこの地区の整備の方向を踏まえて地区のシンボルとなるような構造物を建設してほしいとの要望が公団に寄せられている。また、湾岸線（南伸部2期）が海外からわが国を訪問する旅客を迎える玄関としての位置にあたるた

め、わが国の歴史、風土および今後の発展の方向等を感じさせる印象的な構造物を設計する必要がある。

これらを考慮して、本橋梁に求められる景観上の特性をまとめると次のようになる。

- ①再開発地区と既存市街地を一体化するうえから、歩行者や買物客を誘導するランドマークとなるような構造物であること。
- ②橋梁が再開発地の直近に建設されることから、上部工がスリムであり、下から見て桁等が煩雑でないこと。
- ③道路利用者にとっても岸和田に到達したことがわかるような構造物であること。

以上のような特性を踏まえて、橋梁形式の比較を行った。トラス橋、吊橋は構造的に利点が少ないので除外し、鋼箱桁橋、鋼アーチ橋および鋼斜張橋について景観を主とした概略比較を行った。

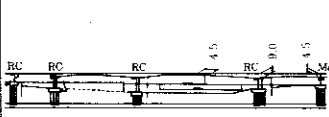

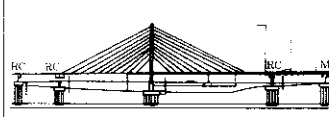
その結果、アーチとV脚で岸和田名物の「だんじり」の屋根のイメージを表現し、ランドマークとしても優れている「3径間連続中路式アーチ橋」を採用した。

## 3 基本構造系の検討

### 3-1 支間割り

支間割り決定の主な制約条件は次のとおりである。

表1 景観比較

形式	3径間連続鋼箱桁橋	3径間連続鋼アーチ橋	3径間連続鋼斜張橋
一般図			
工費比較	1.00	1.05	1.10
景観	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 桁高が他家より大きく威圧感を与える。</li> <li>2. 景観におけるインパクトが少なく、背景と調和しやすい反面、ランドマークとなりにくい。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. アーチの優美さが強調され、吊材もケーブル又は小断面部材で構成されるので、軽快な外観を呈する。</li> <li>2. 仰視した時は、部材が錯綜して若干煩雑な印象を与える。</li> <li>3. 背後の水門に対し、曲線の優雅さで凌駕。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 主塔がシンボリックな外観を呈し、軽快な印象を与える。</li> <li>2. 関西国際空港へのゲートのイメージを与え、ランドマークとなりやすい。</li> <li>3. ケーブルが一面であるので煩雑さは少ない。</li> </ol>
施工性	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. フローティングクレーンによる大ブロック架設が可能。現場工期は最も短い。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. フローティングクレーンによる大ブロック架設が可能。現場工期は①案に次いで短い。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 副径間はベントを設けてフローティングクレーンで架設し、中央径間はケーブルを専用した片持ち施工が可能。</li> </ol>

- ①岸和田旧港は避難港になっているため、大阪府港湾計画による150m幅員（水深O. P. - 4.15m以上）の航路を確保しなければならない。
- ②埋立護岸の捨石ライン内には橋脚基礎を設置できない。

中間橋脚のうちP-144は、橋脚基礎と埋立護岸の離隔の条件からできるだけ護岸の捨石ラインに接近させて設置することとした。

P-147橋脚については、航路確保の条件から平面線形上クロソイド曲線途中に位置することになり、さらに陸側に動かすと曲線線形の影響が強まりアーチ構造上好ましくない。したがってP-147は海上部で海底斜面上を避けた位置に設置することとした。

こうしたことから、本橋の支間割りは、中央径間255m、側径間95mとした。

### 3-2 アーチ形状の検討

一般にアーチ系橋では、アーチのライズ（ $f$ ）と中央支間長（ $L$ ）の比率、すなわちライズ比（ $f/L$ ）を $1/5 \sim 1/7$ としている例が多いことから、 $f/L = 1/5$ 、 $1/6$ 、 $1/7$ の3ケースを対象に、力学特製、経済性、景観の各項目について比較検討した。その結果、 $f/L = 1/5$ （ $f = 50m$ ）のケースが力学的バランスがよく、断面力も小さいうえ概算鋼重も小さくなり経済的であり、さらにランドマークとしての美観に優れることなどからアーチライズは50mとした。

本橋の平面線形は緩やかなS字型であり、海上部については入路による拡巾を有しているため、補剛箱桁を平行配置とすると鋼床版には広範囲にわたり無駄な部分が生じる。したがって、アーチの平面配置は微小なバチ形状とした。

また、アーチ面外の安定および景観面からバスケットハンドル形式を採用した。アーチ傾斜角の設定には、建築限界との余裕、支材の落とし込みおよび景観などを考慮した。

### 3-3 吊り材配置の検討

一般にニールセン形式の場合、鉛直吊り形式に

比べて力学特性、特にたわみ特性に優れる反面、ケーブル張力の変動巾が大きくケーブルの疲労やプレストレスの導入等が問題となる。

本橋は3径間連続中路式アーチ橋であり、下路橋で一般に評価されている利点をそのまま適用できない。すなわち、ニールセン形式ではアーチ部のみ着目すればかなり有利な面が考えられるが、側径間からの条件（桁高等）により逆にニールセン形式として必要以上の剛性を有しているため、一般のニールセンアーチ橋よりもバランスが悪くなる。そのため、経済性においてもニールセン形式とする効果は見られず、むしろプレストレス導入に伴う諸問題が生じ、力学的特性の長所を相殺する結果となっている。

一方、鉛直吊り形式の場合は、側径間からの条件が全体の剛性を高め、力学特性および経済性において有利な方向に影響しており、ニールセン形式と比較して特に遜色がない。施工性では、ケーブル張力調整を特に必要とせず、工期も短い。したがって、本橋では、景観面でもすっきりした鉛直吊り形式を採用した。

また、吊り材としてはケーブル材とビルトアップ構造の部材が考えられるが、本橋の吊り材には圧縮力は生じないこと、経済性が優れること、路面からの視線ではビルトアップ構造の部材の場合煩雑間を与えやすいことなどからケーブル材を採用する。

### 3-4 弾性座屈解析

支材配置を変えて立体弾性座屈解析を行い、支材配置の影響を考察するとともに全体座屈に対する安全性を確認した。座屈時の荷重係数  $\alpha_c$  は（死荷重+活荷重）に対して算出したが、活荷重については、偏心載荷の影響、線荷重および衝撃は考慮せず、等分布荷重のみとした。解析の結果をとりまとめると次のとおりとなる。

- ①解析を行ったいずれの支材配置ともアーチ面外の1次モードが最小荷重倍率となるが、その値は7.8以上と高い倍率であり全体座屈に対して安全である。
- ②支材本数を増しても、アーチ面内の耐荷力は

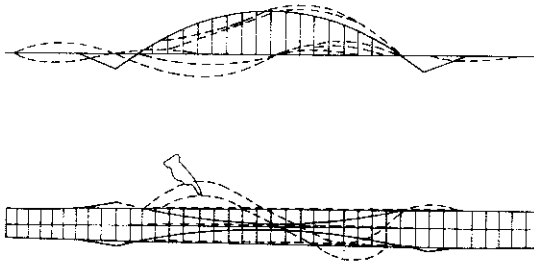


図-3 弾性座屈解析結果例

ほとんど変らない。アーチ面内に対しては、活荷重をアーチ部満載として場合は支材本数を増す効果が現れるが、半載とした場合はあまり効果はない。

- ③面内、面外の1次モードはいずれも  $L/4$  ( $L$ : 中央支間) 近傍で変形が大きくなる2半波形の座屈波形である。
- ④活荷重アーチ部半載時に面内1次モードは側径間のたわみが最大となるモードであるが、 $\alpha_{cr} < 6.0$  と十分に大きい数値となった。

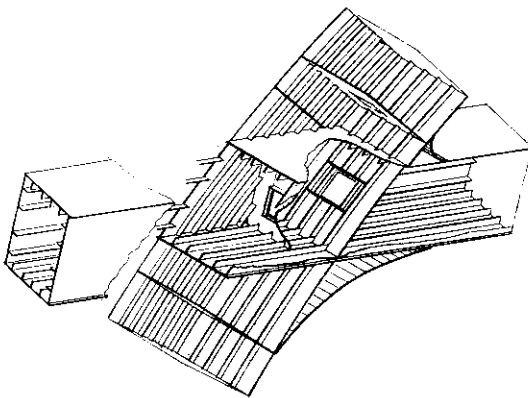


図-4 隅角部構造図

### 3-5 補剛桁配置の検討

1箱桁案は鋼重が大きく不経済となることから2箱桁案、3箱桁案を対象に補剛桁配置を検討した。その結果、経済性に優れること、応力伝達のための移行区間はあるものの構造的に無理がないこと等からランプの拡巾がある側径間は3箱桁、中央径間は2箱桁とした。

また、桁高は側径間とアーチ部とで変化させず同桁高で通し、景観面の配慮をした。

### 3-6 隅角部の検討

本橋は中路式ローゼ桁橋であり、下路式における桁端部と同様に隅角部の構造が重要な問題となる。本橋では補剛桁とアーチリブの断面寸法が同じであり、応力伝達の明確な構造が容易にできること、補剛桁とアーチリブに作用する力が同等であること等から、引張材である補剛桁フランジを通した構造を考えている。

また、FEM解析結果を考慮し応力集中を極力避ける構造とし、アーチリブのフランジはダイヤフラムにより連続性を保つこととしている。

## 4 基礎工の検討

### 4-1 基礎形式の選定

まず、本橋施工箇所の地質は大別して沖積層、中位段丘准積層、大阪層群上部洪積層で構成され、岸和田旧港内は沖積層、中位段丘准積層が浚渫され大阪層群上部洪積層のみの構成となっている。大阪層群上部洪積層は、粘土、砂、砂礫の互層となっており、支持層としてはO. P. -40m、O. P. -60m付近に薄層の砂礫層が確認されている。

このような支持地盤の状態および本橋施工箇所が民家に接近しているため生じる環境問題への配慮などから、陸上もしくは施工水深の比較的浅い海上施工となるP-143、P-144、P-148は場所打ち杭基礎とした。

なお、特に固定橋脚で施工水深の深い海上施工となるP-147については、長大橋梁としての荷重規模、施工実績等から場所打ち杭基礎、ニューマ

チックケーソン基礎および鋼管矢板式基礎をとりあげ比較検討を行った。その結果、施工性、経済性、工期いずれからみても最も適当な場所打杭基礎を採用した。

表一 2 周面摩擦力度の算定

	本橋算定法	道路橋示方書
粘性土	T層: $f_s = N$ 値 O層: $f_s = \frac{1}{2} \cdot N$ 値	$f_s = N$ 値 or $f_s = C_s$
砂質土	$f_c = \frac{1}{3} N$ 値	$F = \frac{1}{2} N$ 値

#### 4-2 許容支持力の考え方

杭先端は薄層の砂礫層に位置させ、いわゆる薄層支持杭と考えた。先端支持力 $q_d$ については、支持層である砂礫層が薄層であるため砂礫層による反力の分散や強度を評価せず、支持層下の粘土層の支持力度 $q_u$ を用いることとし、

$$q_d = 3 q_u \quad q_u: \text{一軸圧縮強度}$$

とした。

周面摩擦力度も考慮しているが、表一 2 に示すように道路橋示方書の算定法よりも低減させて評価している。

#### 4-3 若齢埋立地の沈下の影響の検討

P-143、P-144の施工は埋立完了直後からとりかかることになっている。ここでは、この埋立による圧密沈下量を算出し、上部工への影響を考察した。なお、圧密沈下としてテルツァギーの圧密理論に基づく一次圧密沈下とこの一次圧密沈下の終り頃から認められる圧縮クリープ現象の二次圧

密沈下を考え、これらの時間経緯を踏えた沈下量から残留沈下量を推定した。

#### (1) 残留沈下量

残留沈下量は、埋立完了時、下部工完成時、上部工架設をどのように時間設定するかによって異なる。そこで、P-143、P-144の施工は施工箇所の埋立が完了し次第とりかかり、埋立全体が完成後90日目に完成すると仮定した。

また、上部工架設はP-143、P-144橋脚完成1年後に行うとし、その間に生ずる沈下量(1次圧密による残留沈下)は沓座部の補正で対応することとしている。さらに、上部工架設後の沈下量は2次圧密による残留沈下量として上部工の設計計算上 $L/1000$ (L:中央支間)程度見込むものとし、それを超えるものについてはP-143、P-144での上部工ジャッキアップによる沓座補正で対処することとしている。具体的には、上で述べたような時間的な仮定に基づくと、50年後の沈下量はP-143で31cm、P-144で28cmとなり、不等沈下を $L/1000$ で設計した場合のジャッキアップによる沓座補修時期は35年後と考えられる。

#### (2) ネガティブフリクションについて

基礎施工時点(90日)での支持層以上の残留沈下は、P-143で0.0cm、P-144で1.0cmとなるうえ、約1年で終息とすると考えられる。したがって、ネガティブフリクションについては特に問題はないと考えられる。

#### 4-4 側方流動について

P-143、P-144の橋脚基礎は埋立完了後に施工するので、埋立地縁部に位置するものの側方流動圧という地中内応力の問題は生じないと考えた。

ただし、二次圧密沈下によって生じる沈下の傾きが橋脚の傾き(水平変位)となってあらわれる。

この変位を正確に予測するのは困難であるので、P-144を可動橋脚とし支承にはジャッキアップ装置がセットできる余裕を設けるなどの設計上の配慮を行っているとともに、長期的な変位測定を行って変状に対応していくこととしている。

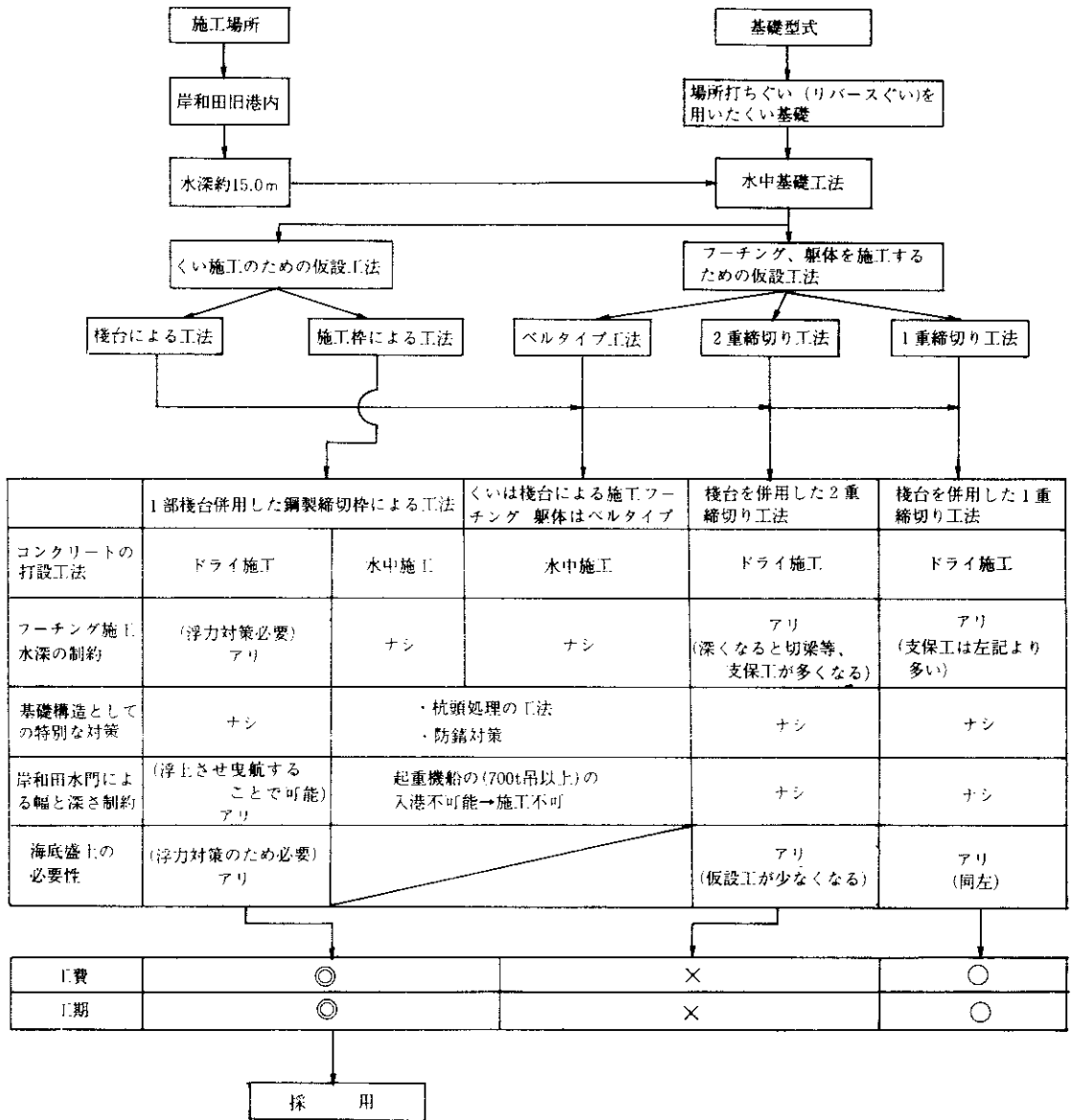
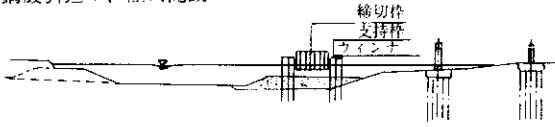
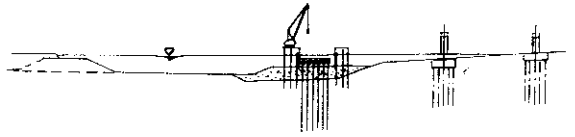


図-5 施行法検討の流れ

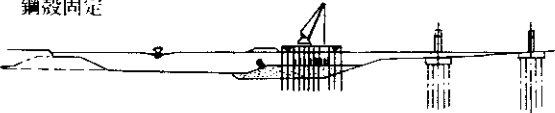
①海底面盛土、支持棒施工  
鋼殻引込み、注入沈設



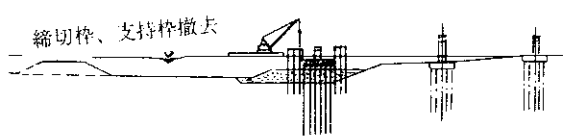
④ドライアップ、杭頭処理  
フォーチングコンクリート打設



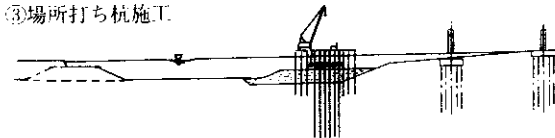
②スタンドパイプ挿入  
鋼殻固定



⑤躯体コンクリート打設



③場所打ち杭施工



⑥根固め工、完成

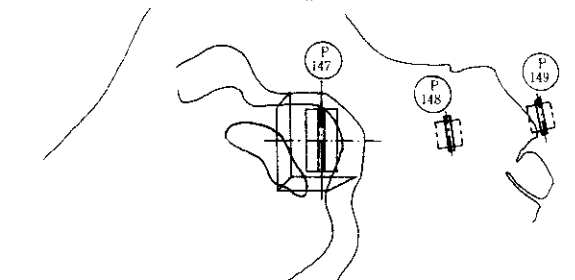
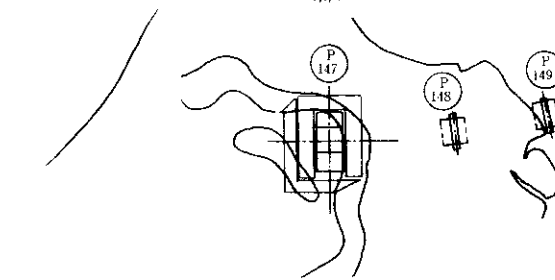
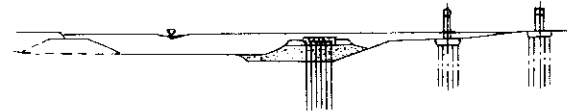


図-6 施行要領



## 5 鋼製締切り枠を用いた水中基礎工

### 5-1 施工法の検討

岸和田大橋各橋脚の基礎施工について、P-143、P-144およびP-148は、従来の仮締切工法で特に問題はない。しかし、P-147の基礎施工については、次のような施工条件を十分考慮した合理的な施工法を検討する必要がある。

- ①施工水深約15mの海上部での場所打杭施工である。
- ②岸和田水門（敷高0 P-4.15m、巾員30m）が岸和田旧港入口にあるため、施工に用いる船舶、資材が制約をうける。

こうした条件下での施工事例はほとんどないため、鋼製締切り枠（鋼殻）を用いた新しい施工法（鋼殻工法）を考案し、従来の工法との比較検討を行った。まず、仮締切り工法では規模が大きくなり、経済性、現場工期面で鋼殻工法よりも劣る。また、岸和田水門の制約もあって吊能力の大きなフローティングクレーンの進入が不可能であるので、鋼製のフーチングと橋脚とを一体として工場で作成一気にフローリングクレーンで設置する工法

も採用できない。そこで、現場工期が短縮できる鋼殻を製作後、現場まで曳航、沈設し、杭施工後にドライワークで杭頭処理および橋脚の施工を行うという鋼殻工法が工期的にも工費的にも有利であるとして採用した。

### 5-2 鋼殻工法の概要

鋼殻工法の施工要領を図-6に示す。

鋼殻は、本来の締切りの役割りの他に杭施工のための栈台およびフーチングの型枠を兼ねたもので、場所打ち杭（リバース杭）施工用のスタンドパイプを枠内に突き立てた形で製作し、進水させる。吊り能力の大きなフローティングクレーンでの搬入は岸和田水門の制約のため不可能なので、鋼殻を浮かせて曳航し、現場へ搬入する。あらかじめコの字状に組まれた栈台内に鋼殻を引き入れて係留し、沈設させる。鋼殻上の床を利用してスタンドパイプをパワージャッキにて圧入し、杭を打設する。なお、この時のスタンドパイプは埋設しとなる。その後、鋼殻内をドライアップして杭頭処理、配筋、コンクリートの打設を行ってフーチング、躯体と施工し、最後に鋼殻内に再注水してフーチング上方の鋼殻を水中切断して撤去し、橋

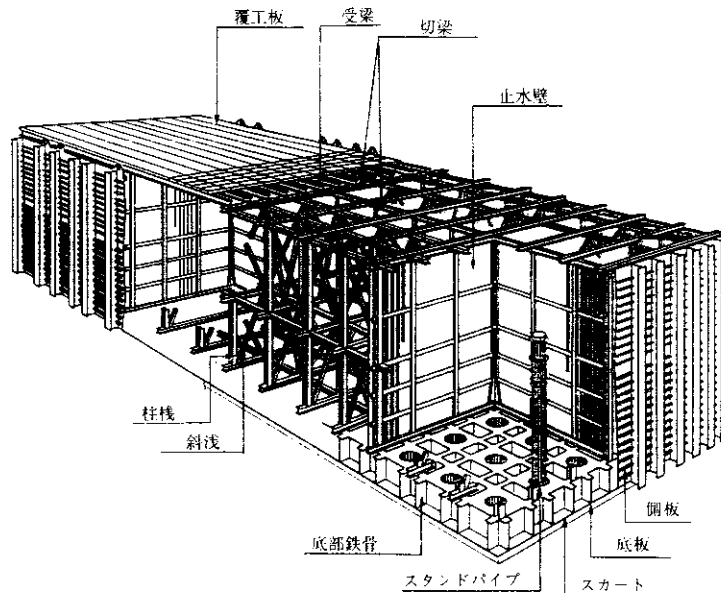


図-7 鋼殻の概略図

脚を完成させる。

### 5-3 鋼殻の止水構造

鋼殻の止水が必要なのは曳航時とドライアップ時である。

曳航時、鋼殻を水に浮かせるためには鋼殻底版と建て込まれたスタンドパイプとの間の空隙を止水しなければならない、止水材としてはゴムパッキンを考え、鋼殻底版の円筒状の開孔部の内側に圧着することとしている。なお、曳航時の吃水高は約3mであるので約 $0.3\text{kg}/\text{cm}^2$ の水圧が作用するが、現在実験による確認されているゴムパッキンの止水能力は $3.0\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上であり、十分安全であると考えられる。

ドライアップ時の止水には、鋼殻底版とスタンドパイプとの空隙に次のような止水機構を考えている。

- ①上に述べた鋼殻底版の下面のゴムパッキンによる止水
- ②鋼殻底版の上面とスタンドパイプに設けている浮上防止ストッパーとの間に挿入しているゴムパッキンによる止水
- ③鋼殻とスタンドパイプとの間に生じている空隙へのグラウト注入による止水

①では曳航時に使用したゴムパッキンでスタンドパイプ圧入時の摩擦に耐えた後の止水効果を期待した。②は杭施工のスタンドパイプ圧入完了時から止水効果が生じ、鋼殻に浮力が生じることで止水効果が高められると考えた。③のグラウトは、①、②の止水効果をさらに高めるバックアップ材として考えた。

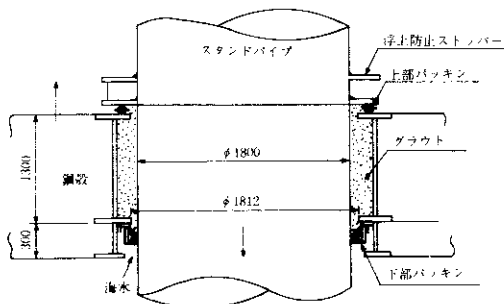


図-8 鋼殻の止水構造

### 5-4 鋼殻のドライアップ時の安定

鋼殻工法のメリットの1つは、施工水深が深いにもかかわらず、杭頭処理、フーチング工がドライワークで確実にに行えることである。

ドライアップ時には、潮位による変化はあるものの、全浮力で約14100t、杭1本当たりで約120tの引き抜き力が作用する。ただし、杭1本当たりの水中重量が138tであるので、地盤と杭との摩擦力を無視しても鋼殻自体が浮き上がることはないと考えられる。

しかし、ドライアップ時からフーチングコンクリート打設完了までの数か月間には常時引き抜き力が杭に作用するので、次のような工夫を施すこととした。

- ①スタンドパイプ上端にリング状の突起(ストッパー)を設け、鋼殻の浮き上りを機械的に拘束し、引き抜き力が確実にスタンドパイプに伝わる構造とした。
- ②スタンドパイプには内面リブ付き鋼管を用い、場所打杭とスタンドパイプの付着を高め、鋼殻の浮力を確実に杭に伝達させるように考えた。

### あとがき

岸和田大橋の基本構造および下部工設計の概要について報告した。この橋梁は世界有数の規模であるとともに岸和田旧港地区の再開発計画と合わせて地元のシンボルとなることが期待されている。そのため、計画から構造検討を通して景観的に特徴あるフォルムを形成するよう配慮されている。

また、基礎施工法として鋼殻工法という他に例を見ない新しい工法を考案しており、この報告が今後の基礎施工法検討の一助になれば幸いである。現在、下部工の詳細設計が完了した段階であり、今後は上部工詳細設計をはじめとして、アーチ部材と補剛桁との取合部の応力解析なども課題として残されている。

## 参考文献

- 1) 馬場、坂下：港湾再開発とマッチした橋梁の景観設計について、第19回技術研究発表会、昭和62年
- 2) 馬場、坂下：港湾再開発とマッチした橋梁の景観設計について、第20回技術研究発表会、昭和63年

図－1 岸和田旧港工区位置図→修正予定→岸和田大橋全景（完成予想図）