

## 本四連絡橋下部工の施工計画

吉田 巖\*・六車 真一\*\*

### 1. はじめに

本州四国連絡橋の下部工には、神戸ー鳴門、児島ー坂出、尾道ー今治の3ルートあわせて約50基の海中橋脚がある。その施工水深は数mから50m以上までさまざまである。

水深が小さい場合は陸上工事の延長とみることできるが、水深が20m以上ともなると、まったく別の施工形態を考えなければならない。

水深の大きい箇所での海中橋脚の施工は、ほとんどの場合海上で行なわれるので、潮流、波浪、風などの影響を受けやすく、陸上での土木工事に比べて、作業能率や稼働率の低下が著しい。

また、水深の大きい海底では、正確な作業を行なうことがきわめて困難となる。しかも、海上作業には気象海象の急変による危険が常に存在する。

このような海上作業の特性から、海中橋脚の施工計画では、海上作業の能率化、施工の確実性、および安全の確保がその基本であり、これがひいては工費の節減にもつながるといえる。

これまでに国内外で実施された多数の海中橋脚の建設の歴史においても、このような目的のために、あらゆる努力がなされてきた。

本四連絡橋の下部工施工計画は、今年度に予定されている着工にそなえて現在検討中であるが、そのうちの代表的な数例について、その概要を述べることにしたい。

### 2. 下部工の構造形式と施工法

海中に設けられる下部工には外力として潮流、波浪、地震等による自然力と上部工からの荷重とが加わる。吊橋の場合は主塔を支える主塔基礎とケーブルを大地に定着するアンカーリッジがあり、上部工からの荷重は主塔基礎については鉛直方向に、アンカーリッジに対しては

主として水平方向に作用する。

これらの荷重を安全に支持するため、下部工は適当な剛度を持ち、かつ確実な支持地盤まで達することが必要である。その構造形式としては、地盤条件その他によって直接基礎と杭基礎がある。長大吊橋のアンカーリッジには一般に前者が用いられ、主塔基礎にはいずれの工法も用いられている。

本四連絡橋で計画している海中橋脚には、直接基礎形式に相当するものとして、海中締切直接基礎およびケーソン工法があり、杭基礎形式としては多柱基礎工法がある。

海中締切直接基礎工法は水深が10m程度までの比較的浅い海中に設けられる基礎工に多く用いる工法で、締切りには鋼管矢板、コンクリートブロック等が用いられる。

外海に面する箇所では強大な波浪圧を受け、大規模な締切工を必要とすることもある。しかし、施工形態としては陸岸からの接近も容易であって、陸上の土木工事と本質的な差異はない。

ケーソン工法は古くから海中橋脚の基礎工に最も多く用いられてきた工法で、その種類も多い。

本四連絡橋調査の過程で考え出されたものに、設置ケーソン工法、遮水枠オープンケーソン工法、脚つきケーソン工法その他多数の工法がある。

設置ケーソン工法は、海中に根入れの少ない剛体基礎を建設するもので、あらかじめ海底を支持地盤まで掘削整形し、この上に鋼製ケーソンを据付け、ケーソン内に中詰めコンクリートを打設して基礎とする工法である。

遮水枠オープンケーソン工法は、ケーソンの掘削沈下作業中、潮流や波浪の影響を遮断するため船形の鋼製枠を海中に設置し、その内部に静水域を確保してケーソン工事を行なう工法で、主として大水深・高潮流速箇所での工事を対象とするものである。

脚つきケーソン工法は、根入れの深いオープンケーソン基礎が掘削沈下に困難を生じた場合、または困難が予想される場合に採用する工法で、ケーソンを根入れ層の中間に止め、必要な支持層まで削孔杭または打込み杭を施工してケーソンを支持する工法である。堅い地盤中を掘削沈下させなければならない大型海中橋脚の施工に有

\* 正会員 工博 本州四国連絡橋公団設計第二部 設計第三課長

\*\* 正会員 本州四国連絡橋公団設計第二部 設計第三課 課長代理

力な一工法である。

多柱基礎工は径の大きい数本の柱を海底の支持地盤から海上まで立ち上げ、柱の頂部を版状の構造体で連結して基礎工とするもので、本四連絡橋調査の過程において出現した工法である。

この工法は、構造上施工誤差を小さくおさえることが必要で、そのため現場での施工管理が複雑となるなどの欠点はあるが、施工上取り扱う資材量が少なくすむほか、複雑な海底地形にも適応性があり、また、段階施工が可能であるなど、いくつかの利点を有する。

このように多様な施工法のどれを採用するかは、それぞれの下部工の荷重条件、自然条件その他によって決定される。

参考として代表的な海中橋脚の施工諸元を表一に示す。

表一 海中大型基礎の施工諸元表

区分	対象橋梁基礎	明石海峡大橋		大鳴門橋	南備讃瀬戸大橋	因島大橋
		4-A	5-P	3-P	7-A	3-P
最大水深 (m)		-38	-55	-4	-23	-3
最小根入長 (m)		5	21	6	27	8
寸法 (m)	橋軸方向	80	35	23	60	17
	橋軸直角	66	70	60	55	40
	高さ	115	83	21	128	18
地質	根入部 支持層	沖積層 明石層	明石層 明石層	和泉層 和泉層	花崗岩 花崗岩	花崗岩 花崗岩
工法		設置ケーソン	遮水枠オープンケーソン	多柱基礎	設置ケーソン	海中締切直接基礎
掘削土量 (m <sup>3</sup> )		102 400	49 000	700	625 800	7 300
鋼材 (t)		31 300	14 700	1 000	18 800	360
コンクリート (m <sup>3</sup> )		453 600	203 400	10 300	328 800	12 400
潮流 (m/sec)	枠設置時	1.0	2.0	—	1.0	—
	施工時および完成時	2.0	4.0	3.0	2.0	3.0
波浪	波高 (m)	7.5	7.5	11.0	5.0	6.0
	周期 (sec)	8.0	8.0	10.0	6.0	7.0
潮流力 (t)	枠設置時	400	1 200	—	300	—
	施工時	1 500	3 400	—	1 300	—
	完成時	1 500	3 400	200	1 300	40
概算工期 (月)		60	40	21	54	18

### 3. 下部工の施工計画

次に、代表的な海峡部基礎工の施工計画の概要および工事実施にあたって予想される問題点などについて述べる。

#### (1) 明石海峡大橋下部工 5-P (神戸—鳴門ルート)

明石海峡大橋は中央径間約 1 600~1 800 m の吊橋である。神戸側の主塔基礎 5-P は明石側海岸から約 1.3 km の沖合にある。

海底地質は新第三紀中新世の砂岩泥岩からなる神戸層

を基岩とし、その上に明石層と呼ばれる固結した砂礫層が約 50 m の厚さでかぶさっている。ケーソン基礎とする場合において、20 m の根入れによって安定した支持条件を確保している。

基礎位置での水深は約 55 m、最大潮流速は約 4 m/sec である。

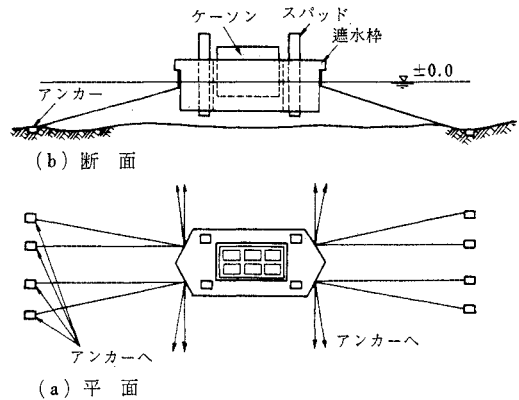
このようなきびしい施工条件での施工例はこれまでになく、まったく新しい経験となる。しかも、明石海峡は瀬戸内海の主航路になっているため、海上は船舶の航行が激しい。

このような条件から、基礎形式としては、海上での作業が単純なオープンケーソン工法が有利と考えられる。

ケーソン工事の実施に際しては、海象条件がきびしいことから、掘削・沈下作業中のケーソンの姿勢制御の方法がとくに問題となる。姿勢制御方法としては、鋼杭を用いてケーソンを支持する方法や遮水枠による方法などが考えられるが、どの方法をとるかは未定である。

図一は遮水枠オープンケーソン工法による場合について説明したものである。

工事はまず造船ドックで鋼製遮水枠と鋼製ケーソンを製作する。ケーソンをあらかじめ遮水枠の中にはめこんで所定位置へ曳航し、海底に設置する。遮水枠は長期にわたる工事期間中移動や不等沈下が生じないよう十分根固めを行なう。次に、ケーソンを遮水枠内で所定の支持地盤まで掘削沈下させ、中詰めコンクリートを打設して基礎工を完成する。



図一 遮水枠オープンケーソン工法

#### (2) 大鳴門橋下部工 3-P (神戸—鳴門ルート)

大鳴門橋は中央径間 870 m の吊橋である。淡路島側の主塔基礎 3-P は淡路島の先端門崎から約 300 m の沖合にある。

基礎位置での水深は約 4 m、最大潮流速は約 5 m/sec である。外海に面するため、波浪の影響が大きい。海底地質は、和泉層の砂岩頁岩の傾斜した互層からなってい

る。

基礎形式としては、海底地形が複雑であること、潮流その他の関係から海上輸送に大きな制約があることなどから、多柱基礎工法を採用する予定である。

多柱基礎の構造寸法は柱の径 3.5 m、柱の中心間隔 8 m、柱本数 18 本程度で RC または SRC 構造となるが、現在設計作業をすすめている。

施工の概要は 図-2 に示すとおりである。

まず、基礎位置の海上に鋼製足場を設置し、これを作業台として径 4 m 程度のガイドパイプを海底まで建て込んで固定する。次に、その内部を径 3.6 m 程度の大型回転式掘削機等を用いて支持層まで掘削する。

掘削完了後、孔内に径 3.5 m の鋼管を建て込んで固定し、その底部に底詰コンクリートを打設する。コンクリートの養生期間をおいたのち管内をドライアップして鉄筋等をそう入し、柱頂部まで気中コンクリートを打設する。柱がすべて完成したのち、作業台のデッキ上に頂版鉄筋を組み立て、コンクリートを打設して完成する。

多柱基礎の施工は構造上ケーソン工法などに比べて高い精度を要求される。実際の工事では、掘削機の掘付け誤差によって生ずる偏心、あるいは地層の変化や傾斜等に起因する削孔の孔曲がりなどが予想される。これについては現地で試験工事を行ない、施工性その他について調査する予定である。

### (3) 南備讃瀬戸大橋下部工 7-A

(児島～坂出ルート)

南備讃瀬戸大橋は中央径間 1100 m の吊橋である。坂出側アンカーリッジ 7-A は、坂出市番の州から約 200 m の沖合にある。

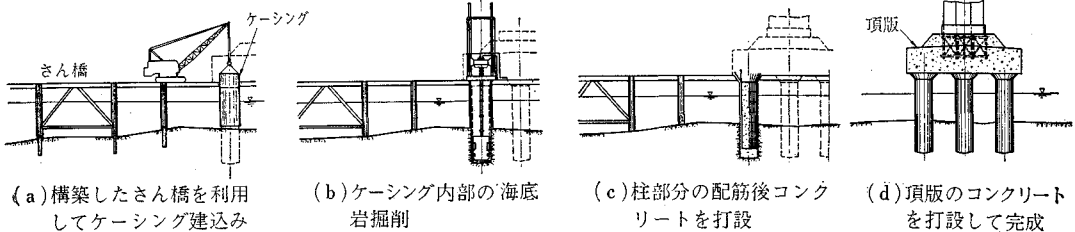


図-2 多柱基礎工法

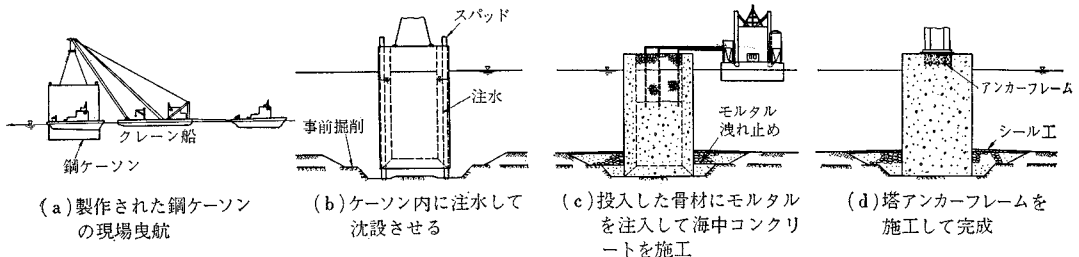


図-3 設置ケーソン工法

海底地質は花崗岩類を基岩とし、この上に新第三紀の三豊層、洪積層、沖積層等が厚く堆積しており、支持岩盤まで約 25 m の掘削が必要である。

基礎位置での水深は約 23 m、最大潮流速は 2 m/sec 程度であり、海象条件は比較のおだやかである。

このような条件から、基礎形式としては設置ケーソン工法を採用する予定で検討を進めている。

施工の概要は 図-3 のとおりである。

工事は、まず海底を所定の支持層まで掘削する。次に造船ドックにおいて製作した鋼製ケーソンをクレーン船等により現地に曳航して海底に設置する。最後に、ケーソン内に中詰めコンクリートを打設して完成する。

7-A の工程は、主として海底掘削とコンクリート打設に要する作業期間によって支配される。そのため、海底掘削については本工事で予定されている掘削の一部を試験工事として行ない、具体的な掘削工法その他について調査する予定である。

一般に、海上での作業は海象気象の影響を強く受け稼働率の低下が著しい。したがって、海上工事ではできるだけ短期間に終了させることが有利であり、そのためには大ブロック工法の応用、大型機械の開発、あるいは海上固定作業足場の活用など、あらゆる手段を考慮することが必要となる。

海中コンクリートの施工は、急速施工に適したプレハックドコンクリート工法によるが、そのモルタル注入は本四公団が開発した 240 m<sup>3</sup>/h の大能力を備えたモルタルプラント船を用いて行なう計画である。

### (4) 因島大橋下部工 3-P (尾道～今治ルート)

因島大橋は中央径間 770 m の吊橋である。因島側の

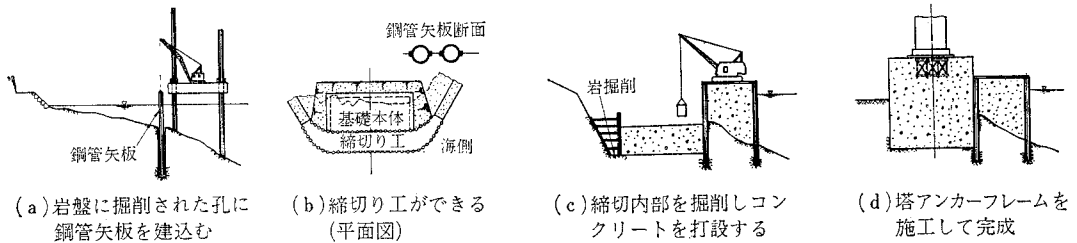


図-4 鋼管矢板締切工法

主塔基礎 3-P は海岸付近に位置する。

地質は花崗岩類からなり、地表付近では著しく風化が進んでいる。

基礎形式は、支持地盤までの水深が約 10 m であり、締切りが容易であるので、海中締切直接基礎で計画している。

締切工の構造は、地形上波浪等の外力が小さいため主として経済性と施工性によって定まり、地質が花崗岩であることから、削孔式の鋼管矢板締切工法の採用を予定している。

施工の概要は 図-4 のとおりである。

鋼管の建込みは海中に設置した鋼製足場から、径 1 m の回転式掘削機を用いて風化花崗岩を削孔し、その中に径 0.8 m の鋼管を建て込む。次に鋼管相互の継手部に止水グラウトを施し、2 列の鋼管の間にコンクリートを打設して締切りが完了する。基礎の本体工は締切内で所定の支持地盤まで掘削したのちコンクリートを打設して完成する。

風化花崗岩の削孔は、作業中の孔壁のくずれや孔曲がりなどが問題となるが、これについては本工事で予定されている締切工の一部を試験工事として行ない、その施

工性を確かめ、問題点を摘出し、対策をたてる予定である。

#### 4. ま と め

今年度着工する橋梁を中心として本四連絡橋の下部工の施工計画を説明した。本四連絡橋に関する調査は多年にわたり行なわれてきたが、建設路線の路線計画が中心であったため、工事着工のための実施調査は現在も進行中であり、完了していない。

したがって、試験工事を中心とする一連の調査から、施工計画に修正が加えられることは当然予想される。

本文は、その意味から現状における最大公約数的な意味あいをもつものとして理解されたい。

本四架橋工事では多数の大規模工事が併行して行なわれるので、個々の計画は全体計画に基づき他工事との関連性を十分考慮することが必要である。

また、架橋地点が瀬戸内海を横断するという立地条件から、工事中における航行船舶の安全の確保や環境の保全等についても、施工計画上十分配慮する必要があると考えている。

日本鉄道建設公団・本州四国連絡橋公団編

## 本州四国連絡橋鉄道吊橋技術調査委員会 中間報告書

軌道専門部会報告・橋梁専門部会報告 A 4・576 6 500 円 (〒 500 円)

## 本州四国連絡橋基礎工調査実験報告書・併用橋

A 4・968 1 000 円 (〒 600 円)

残部 40 セットのみです。至急お申込み下さい。2 冊 1 組の場合の送料は 600 円です。

建設省よりの委託研究成果を特別に公表

## 下水汚泥の処理・処分および利用に関する研究

- 昭和 43 年度報告書 B 5・232 ページ 1200 円 (〒 140 円) 3 冊 合計
- 昭和 44 年度報告書 B 5・160 ページ 1300 円 (〒 140 円) 4 0 0 0 円
- 昭和 45 年度報告書 B 5・200 ページ 1500 円 (〒 140 円) (〒 200 円)