

## 本四連絡橋における新技術開発と海洋試験工事

池田哲夫\*

### まえがき

昭和30年から開始された本州四国連絡のための調査は最終段階となり、いよいよ今秋には3ルートそれぞれに着工することが確定した。

約20年間にわたる調査期間中に投入された調査費は莫大なもので、これによって開発された新技術は多方面にわたっており、これが道路、鉄道、橋の技術に貢献することの大きいのはもちろんであるが、他の技術部門に対しても相当の影響があるものと考えられる。

ここでは、調査期間中、調査が本格化しはじめた昭和41年ころからのおもな技術開発について、あらましを紹介するとともに、着工をひかえて現在実施中の海洋試験工事のあらましを紹介する。

### 1. 本州四国連絡橋の調査

本州と四国とを連絡するための調査は、昭和30年度から日本国有鉄道で鉄道施設について、また昭和34年度から建設省で道路について開始された。

昭和37年度に建設省と日本国有鉄道が共同で土木学会に本州四国連絡橋調査の技術的検討を委託し、土木学会に「本州四国連絡橋技術調査委員会」が設けられ、昭和41年度まで検討が続けられてきた。

昭和38年度には建設省の「本州四国連絡道路調査事務所」が神戸市に設けられ、本格的な現地調査が開始された。

昭和39年度には日本鉄道建設公団が設立され、それまで日本国有鉄道が行ってきた調査が引き継がれた。

昭和42年6月には、土木学会から技術調査報告書が出され、昭和43年2月には建設省と運輸省から工費・工期が発表された。これによって、事業計画とその技術的可能性などを決定するための予備的技術調査は終了した。こうして昭和43年度からは、いわゆる実施のための調査の段階に入ったのである。

日本鉄道建設公団では昭和43年6月に「本四連絡橋調査所」を倉敷市に設置し、現地での本格的調査を開始

した。また昭和44年度には、日本道路公団に「本州四国連絡橋調査事務所」(神戸市)が設けられ、調査が開始され、これに伴って建設省の調査事務所は昭和44年度の調査終了後、閉鎖された。

昭和45年7月には本州四国連絡橋公団が設立され、それまで日本道路公団と日本鉄道建設公団が行ってきた調査が引き継がれた。本州四国連絡橋公団は、計画に従い、鋭意調査を推進してきたが、その調査結果をとりまとめ、昭和47年11月に建設・運輸両大臣に調査報告書を提出した。昭和30年から始まった調査は昭和48年度でほぼ完了し、今秋にはいよいよ着工することとなった。

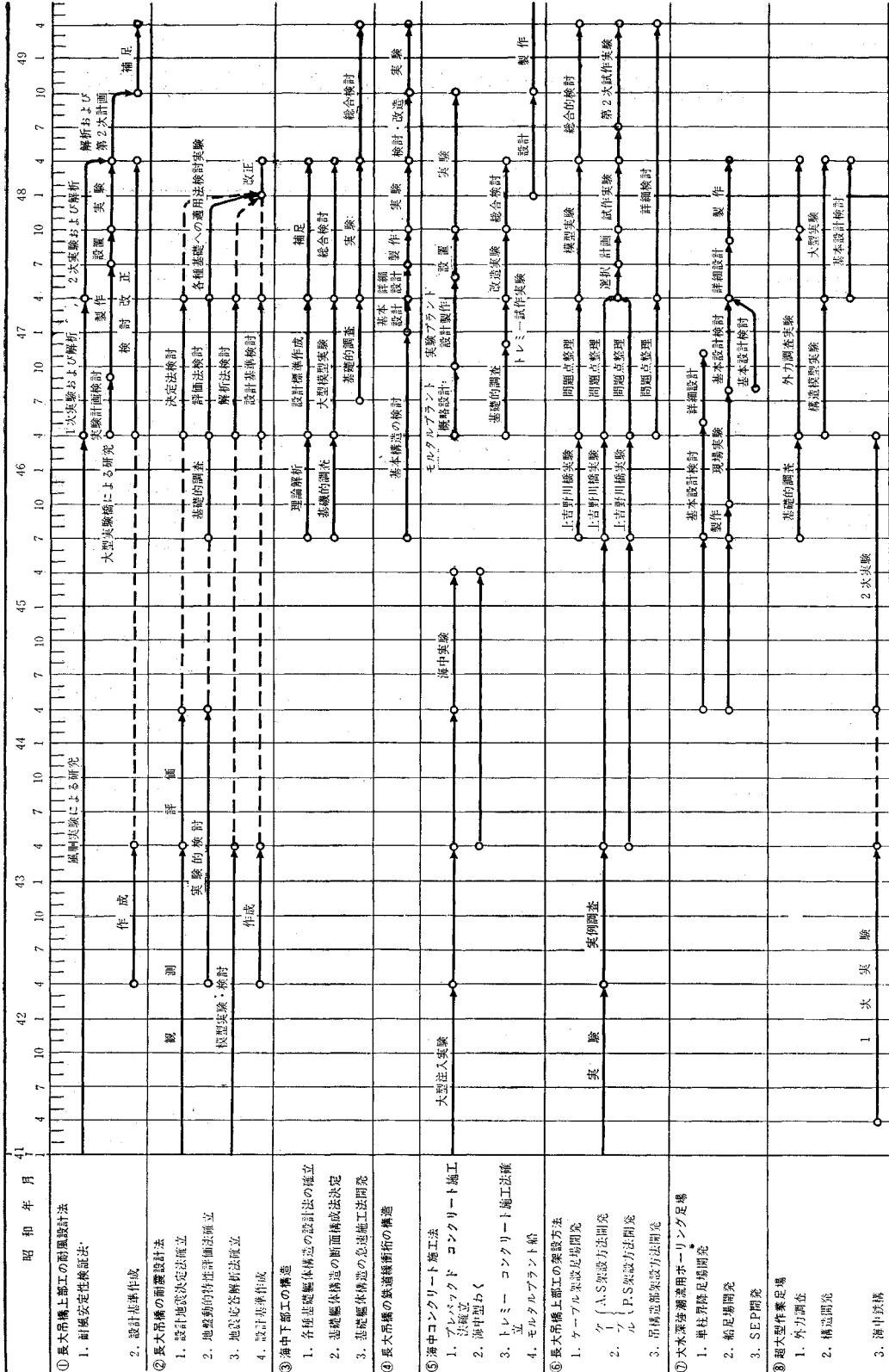
本四連絡についての調査は、上述してきたように昭和30年度から昭和42年度までが予備調査、昭和43年度以降が実施調査ということになる。また、実施調査は本州四国連絡橋公団の設立を境として2期に分け、設立以前のもの(建設省、日本道路公団、日本鉄道建設公団の調査)を前期の実施調査、設立以後のもの(本四公団の調査)を後期の実施調査と考えることができる。なお、これらの調査に要した費用は、予備調査で約39億円、実施調査(前期)で約29億円、実施調査(後期)で約213億円(昭和48年度分を含む)で、総額約281億円となっている。

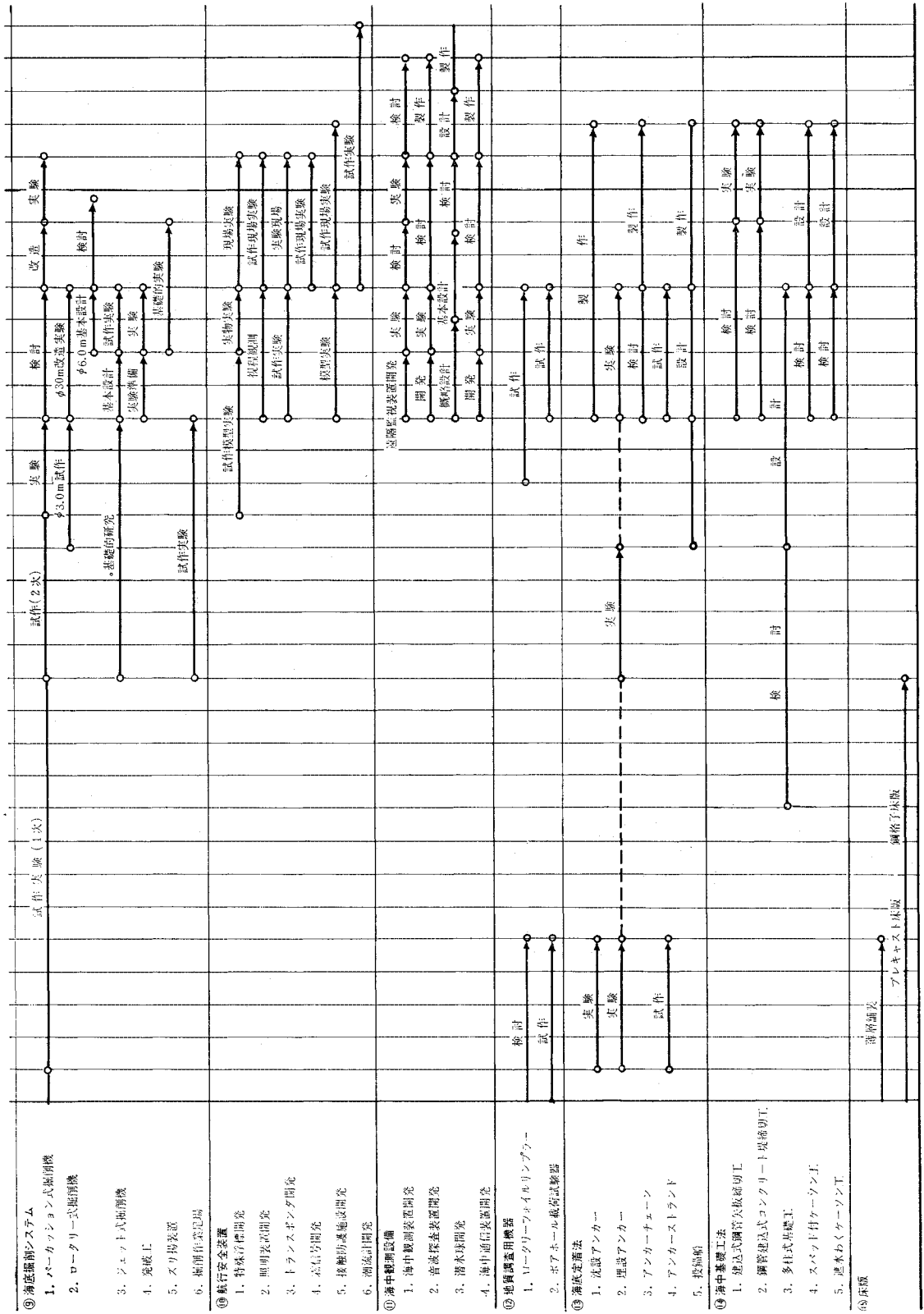
### 2. 新技術の開発

さて、これらの調査では、まず事業の概略計画とその実現の可能性を調べ、次に事業の詳細な計画と工事実施のための設計・施工調査を行ない、また、工事に必要な特殊な機械や作業船などの開発を行ってきた。この調査のうち、とくに技術開発についてみると、予備調査では長大橋についての設計手法の開発、基礎工事の工法開発、施工法の開発などが行なわれ、実施調査では調査用機器の開発、工専用施設・機械・作業船の開発、航行安全施設の開発、特殊施工法の開発などが行なわれている。この技術開発の概略を一覧図にまとめると図-1のようになる。これらのうち、一般にまだ知られていないおもなものについて次に紹介しよう。

\* 正会員 工博 本州四国連絡橋公団 調査部長

図一 本四架橋関係技術開発一覽





### (1) 海中コンクリート施工法

海中に大量のコンクリートを打設するので、その施工法について、プレパックド コンクリート工法とトレミー コンクリート工法および前工法の場合の海中型枠とモルタル プラント船の開発が行なわれている。昭和 40 年からプレパックド コンクリートについての打継目の性状や施工性など基礎的なものについて実験が開始され昭和 43 年には製造能力 400 l/min のモルタル プラントが試作され、大型陸上実験が行なわれて施工管理方法や海中施工時のモルタル漏洩防止方法などについて検討された。昭和 44 年には水深 25m、潮流 5 ノットの海中で鉛直型枠と水平型枠を使用しての施工実験が行なわれ実用上の問題点が検討された。この調査によって海中型枠について新構造が開発され、また、試作モルタル プラントについても改善点が検討された。昭和 46~47 年には製造能力 2000 l/min の大型モルタル プラントが試作され、陸上で大規模注入実験によってプラントの改善や施工法の検討が行なわれている。

また、能力 240 m<sup>3</sup>/h のモルタル プラント船の設計検討が行なわれており、昭和 48 年にはその製造が予定されている。写真-1 は、実験中の大型モルタル プラントである。

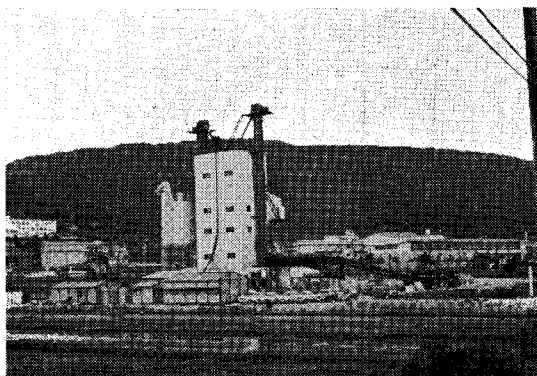


写真-1 モルタルプラント

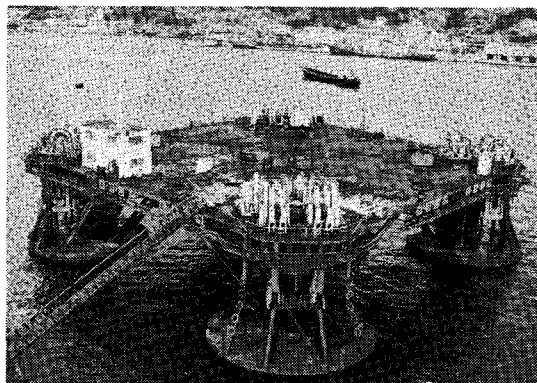


写真-2 創成 2 号

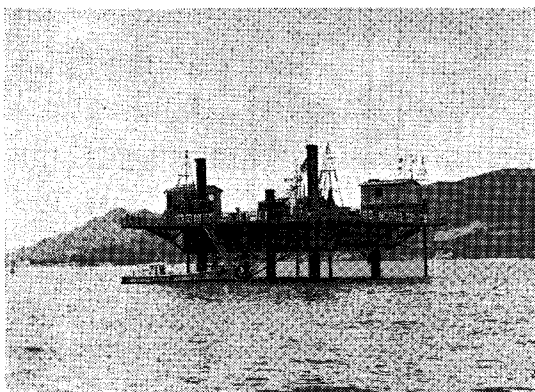


写真-3 躍進 1 号

### (2) 大水深強潮流用ボーリング足場

水深が約 60m 潮流が 8 ノットのところで、地質調査用ボーリング作業などを行なうための作業足場を開発した。この足場のほかに、これに関連して開発し、実用に供している作業足場は表-1 のとおりである。写真-2 は大水深強潮流用作業足場である創成 2 号であり、写真-3 は躍進 1 号である。

### (3) 海底掘削システム

本四連絡橋の下部工では、相当の硬質岩盤まで掘削す

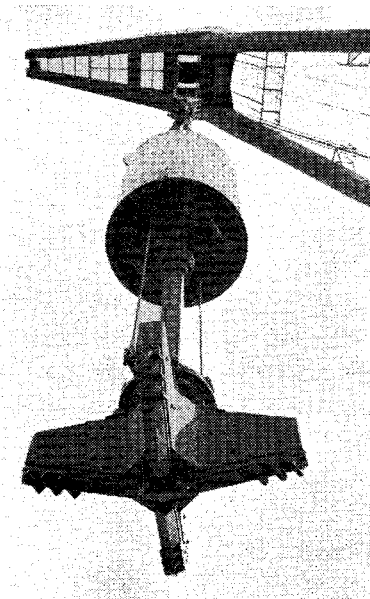
表-1 作業足場一覧

種類	船足場	大型船足場	自己昇降式足場	可搬式足場	小型足場	海上固定足場
名称	創成 1 号	創成 2 号	躍進 1 号	躍進 2 号	躍進 3 号	—
本体主要目						
長さ×幅×深さ (m)	19×19×8	43×43×15	28×28×3	22×28	10×6.4×1.4	10×20×8
重量 (t)	280	1900	515	250	28	116
脚			φ1.0m×27m ×4本	φ0.8m×20m ×4本	φ0.5m×11.5m ×4本	22m×4本
使用目的	水深 20m 以下	水深 60m 以下	水深約 15m 以下	水深約 10m 以下	水深 2~5m	水深 5~10m
設計条件	作業時 荒天時	作業時 台風時	作業時 台風時	作業時		
波高 (m)	1.2 2.0	5.5 7.0	2.5 5.5	3.0	3.0	5.5
潮流 (m/sec)	2.0 2.0	4.0 4.0	3.0 3.0	2.0	3.0	3.0
風速 (m/sec)	20 30	40 60	30 60	30	30	55

ることとなる。現地の地盤は節理が非常に多く、また、掘削壁面の崩壊が起こりやすいので、掘削機には硬軟さまざまな地質に適應できる性能が要求される。大水深強潮流の箇所では海中にある掘削機に非常に大きい潮流力が作用するので、正しい位置と深さの掘削を大量に行なうことは、きわめてむずかしい作業である。これを解決する掘削機の開発が行なわれており、そのおもなものは次のとおりである。

a) パーカッション式掘削機

刃先のついた重錘を落下させて岩盤を破碎する方式の掘削機が考案された。構造が簡単で故障が少なく、設備費が安価であることが利点とされた。まず、最初に幅が約 1 m の一文字型重錘から研究が開始され、昭和 41 年には径 3.5 m の十文字型のもが試作された。径が約 30 cm の先行ボーリングをしておき、これに中心管を入れ、これをガイドとして重錘を落下させる方式である。次いで深海底掘削用として落錘機構を水中に入れる形式のもが昭和 45 年に開発された。これは、写真—4 に示すようなもので、重錘は落下するごとに 6~12° 回転し、90° の回転で径約 3.2 m の孔が掘れ、ずりはずり揚管の先端からエアリフトポンプで吸い上げられるようになっている。この装置で水深約 30 m の海底を 10 m ばかり掘削してみたところ、構造が複雑すぎるため、故障が起こりやすく、落錘機構は海面上に出しておくのがよいことがわかった。また、この形式の掘削機に適應する地質は相当軟かい岩盤とか、硬くてもクラックの多い岩であり、クラックの少ない粘ばい岩には、不適當であることがわかった。そこで和泉砂岩のような節理の多い硬質



写真—4 重錘式掘削機

岩盤をほぐしながら砕岩する効果をねらった径 1 m のものと 3.5 m のものを試作しており、これの実用試験を準備中である。

b) ロータリー式掘削機

ロータリー式掘削機で一番問題となるカッターの研究から開始し、岩盤に対する削孔性を把握するとともに、大水深の海底掘削に適應するように駆動装置を水中に入れる形式の掘削機が昭和 46 年に開発された。この掘削機は径が 3 m で、ローラーカッターとバイトカッターのどちらでも取付け可能である。試験結果から十分実用できることが確認された(写真—5 参照)。その後、この形式による径 3.6 m のものが昭和 47 年に試作され、試験も終り、実用段階になっている。



写真—5 ロータリー式掘削機

なお、径 3.6 m 級のロータリー式掘削機としては、上記の開発研究と平行して民間企業でも研究が進められ現在数種類のもが実用段階に達している。

また、径が約 6 m および 10 m の掘削機についても設計検討が行なわれている。

c) ジェット式掘削機

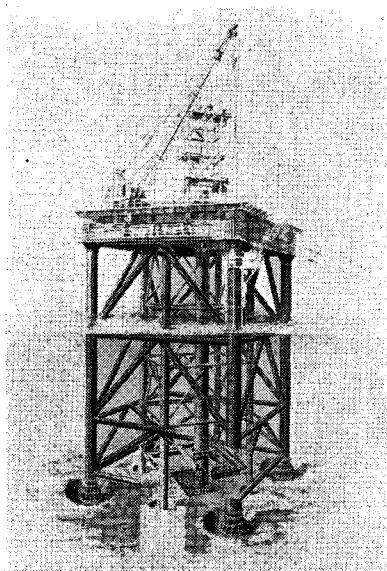
高速の水ジェットを岩に衝突させて衝撃力で岩を掘削しようとするもので、水力採炭やダム工事の浮石除去などの応用例があり、この掘削方式は、多室ケーソン刃口の掘削や、軟岩の掘削、コンクリートのレイタンス除去などに有効と考えられた。そこで、200 kg/cm<sup>2</sup> の圧力の得られる試験装置が昭和 46 年に試作され、掘削実験が行なわれた。その結果、使用目的に応じたポンプの圧力や容量など、設備の規模が明らかとなったので、ノズル制御装置、ずり処理方法などの開発を検討中である。

#### d) 発破工

海底岩の水中発破工法について昭和 46 年に海中で大規模実験を行ない、装薬孔の掘削法、装薬法、火薬、エアバブルカーテン工法などについて検討が行なわれた。これによって、魚類を保護しながら、効率のよい海底岩の発破工法ができるようになった。

#### e) 掘削作業足場

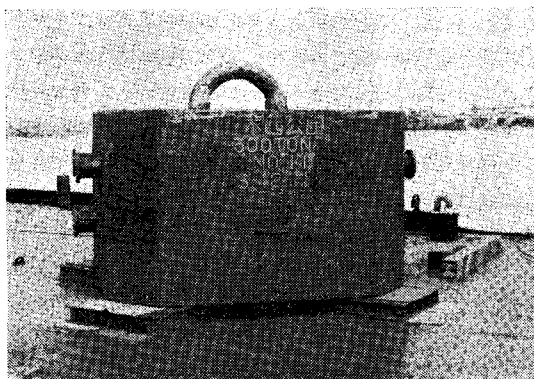
水深、潮流などのきびしい施工条件を克服して、掘削機の保持と能率的移動を目的として写真—6 のような作業足場が昭和 45 年に開発された。この足場は実験用のものであるが、水深 25 m・潮流 5 ノットに耐えられるようになっている。この装置に砕岩機やロータリー式掘削機などを取り付けて掘削試験した結果、十分実用できることがわかった。この足場を大型化し、移動装置の駆動部の高速化をはかれば、大型ケーソン設置面の掘削などにも実用できる見通しが得られた。



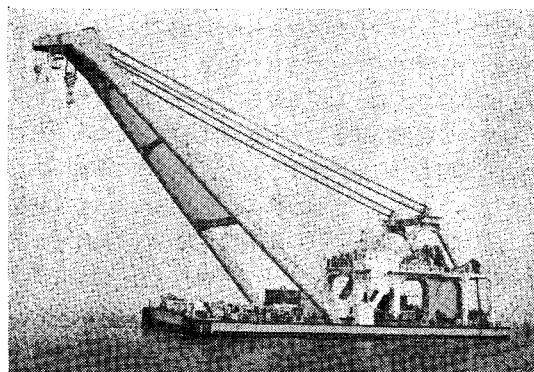
写真—6 掘削システム用作業足場

#### (4) 海底定着法

海上での調査や工事用として構造物、作業足場などの固定のために海底定着が必要となるが、この定着力は船舶のアンカーにくらべて格段に大きいので、特別なものが開発された。アンカーとしては沈設式と埋設式の 2 種がある。沈設式アンカーとしては 50~300 t のもの数種を開発したが写真—7 は 1 個の重量が約 300 t ある铸铁製のものであり、これに付けてあるチェーンは 100 kg/cm<sup>2</sup> 級高張力鋼を用いた  $\phi 95$  mm の電気溶接アンカーチェーンで、これも新しく開発したものである。埋設アンカーとしては、海底岩盤中に埋め込み、グラウトで固定した鋼管構造のものが開発されており、定着力は 1 か



写真—7 300 t アンカー



写真—8 投錨船・金剛

所 1000 t のものまで海中実験し、十分実用できることを確認している。

1 個の重量が 300 t までの沈設アンカーを効率的に投設し、また撤去するため、特殊作業船が開発された。これが投錨船で、全長約 52 m・幅 25 m で、300 t アンカー 4 個を格納・運搬・投錨・撤去することができ、なお、320 t 吊りのクレーンが装置してある(写真—8 参照)。

さて技術開発についての個々の説明はこの程度にとどめるが、図—1 にも示されている技術開発は、建設省、国鉄、公団が直接実施したものであり、このほかに、本四架橋関連で民間企業などで実施された技術開発のあることを付言しておく。また、開発された技術は、すでに国内各地で(関門橋その他の長大橋や海洋土木工事)、また、外国(ボスポラス橋など)においても実用されており、本四架橋関連の技術開発の波及効果は、相当なものと考えられる。

#### 3. 海洋試験工事

昭和 47 年度から施工調査の一つとして試験工事が行

なわれているが、この調査は架橋現地で、実際の工事方法による海洋工事を実験的に体験し、施工上の問題を解決するとともに、歩掛り、稼働率など作業効率を調べることを目的とし、対象工法には、鳴門海峡での鋼管建込工、海底掘削工、備讃瀬戸での海底掘削工、布刈瀬戸での鋼管矢板締切工を取り上げている。

この試験工事は未経験な新工法であるため、いろいろな問題点をもっているが、この成果は本工事の実施に大きく役立つものと期待されている。

試験工事は行なわれる現地では、調査中に 2.5~5.0 m ぐらいの波浪を考慮しておくことが必要であり、とくに鳴門海峡は外海に面しているため、さらにきびしい海象・気象の影響を受けることを覚悟しておかなければならない。また、環境保全のための、工事方法の選定や漁業補償の交渉などが非常にむずかしく、なお航行安全についても十分に考慮することが必要である。こういうわけで、今年夏ころまでと予定されている試験工事は、予想以上に困難なものになりそうである。

次に、試験工事のあらましを調査場所ごとに紹介しよう。

### (1) 鳴門海峡での試験工事

ここでの試験工事は鋼管建込工と海底掘削工とでありそのあらまは次のとおりである(図-2 参照)。

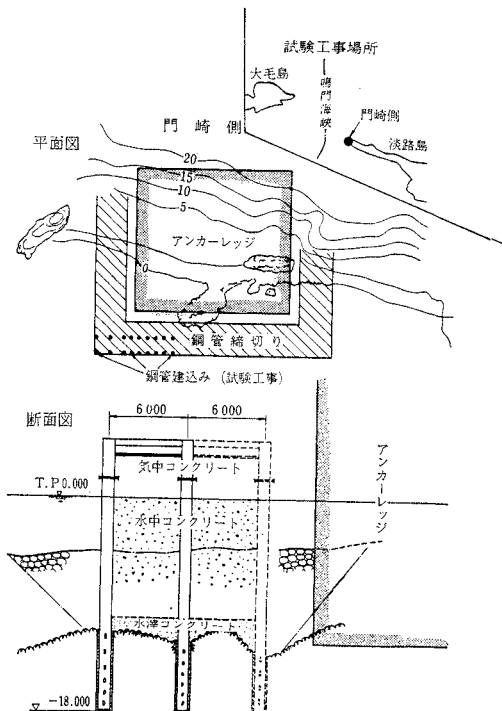


図-2 (a) 鳴門海峡試験工事

### a) 鋼管建込工

大鳴門橋のアンカーレッジや橋脚の工事に必要となる棧橋工や締切工に用いる鋼管建込みを実験的に施工する。施工現場は水深約 4 m・潮流約 2 ノット・予想最大波高 7.3 cm で直径約 90 cm の鋼管を和泉砂岩である海底に建て込むが、そのため海上にあらかじめ鉄構足場を据え付け、これを基点として移動作業台を使用しながら(図

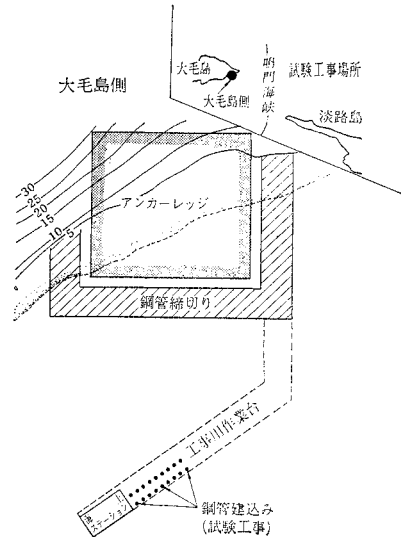
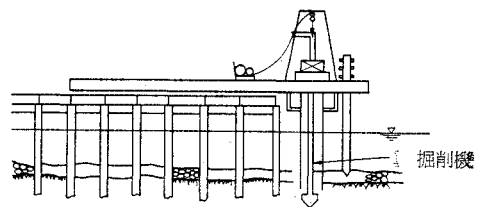
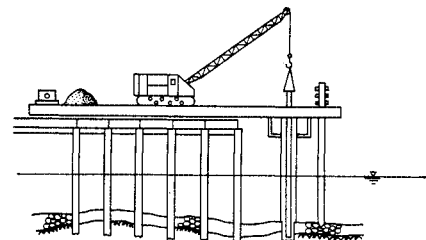


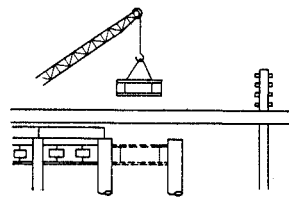
図-2 (b) 鳴門海峡試験工事



(a) 海底岩の掘削



(b) 鋼管の建込みおよび根固め



(c) 鋼管の頭部継ぎ

図-3 実験要領

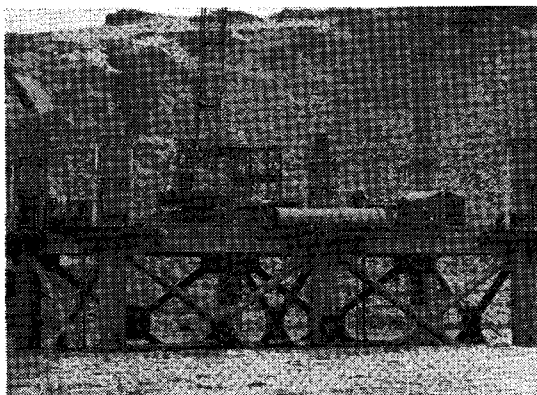


写真-9 鳴門海峡試験工事現場

—3 参照) 直径 1.0 m の重錘式掘削機とロータリー式掘削機で海底に孔を掘り、この孔に鋼管を建て込み、次にこれをコンクリートで根固めし、さらに頭部をH形鋼などで連結して直立鋼管列をつくる。建て込む鋼管は門崎側、大毛島側でそれぞれ20本程度が予定されている。なお、試験工事中には最適掘削機の種類、掘削要領も調査しているが、それと同時に、掘削に伴う泥水の処理と海水汚濁状況、工事の航行船舶への影響なども調査している(写真-9 参照)。

b) 海底掘削工

橋脚の多柱基礎部分の掘削を実験的に施工する。そのため、和泉砂岩である海底に直径 3.6 m の孔を重錘式掘削機とロータリー式掘削機で掘り、最適掘削機の種類、掘削要領、海中コンクリート打設時の海水汚濁防止対策などを調査する。

(2) 備讃瀬戸での試験工事

児島一坂出ルートの海峡部橋梁の下部工には設置ケーソン工法が計画されているが、この工法で問題となる海底掘削を工事現場付近で実験的に行ない、掘削用作業船の掘削能力、掘削要領、海水汚濁防止対策などを調査する。試験工事の実施場所は図-4のとおりであるが、現地条件は表-2のとおりである。

表-2 現地の条件

地点	潮(ノット)	地質	掘削深度(T.P.) (m)
2P	1.5	風化花崗岩	-8
5P	5.8	ホルンフェルスと風化花崗岩	-32
7A	2.8	三豊層(沖積層)と花崗岩	-45

おもな掘削用作業船は、大型グラブ船(グラブの容量 10 m<sup>3</sup>・重量 90 t)と、砕岩船(砕岩棒重量 30 t)である。なお、施工中には作業船の平面位置の連続測定、プロファイラー音響測深機による掘削断面の測定、濁度計による海水の濁度なども調査する(図-5 参照)。

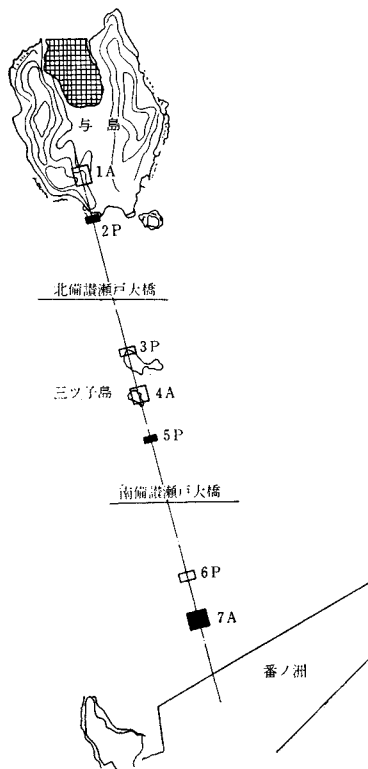


図-4 備讃瀬戸試験工事場所

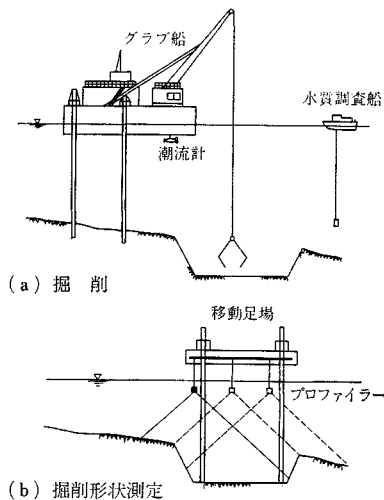


図-5 実験要領

(3) 布刈瀬戸での試験工事

尾道・今治ルートの橋梁下部工で計画されている鋼管矢板締切工を実験的に施工し、締切工法の施工要領を調査する。そのため、因島大橋のアンカレッジの締切現場(図-6)で移動足場(SEP)を用いて、直径 1.0 m のロータリー式掘削機で海底に孔を掘削し、鋼管(直径約



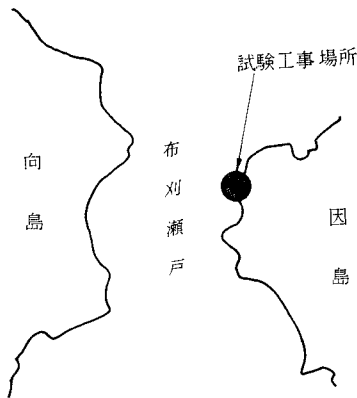


図-6 布刈瀬戸試験工事場所

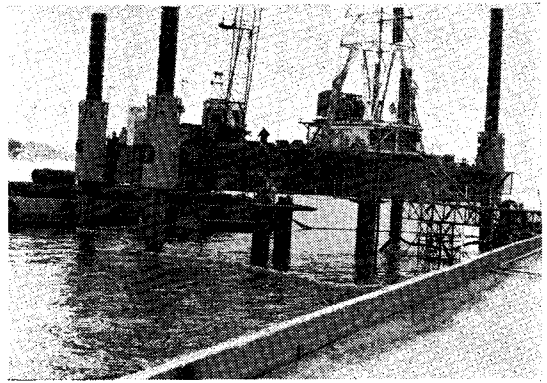


写真-10 布刈瀬戸試験工事現場

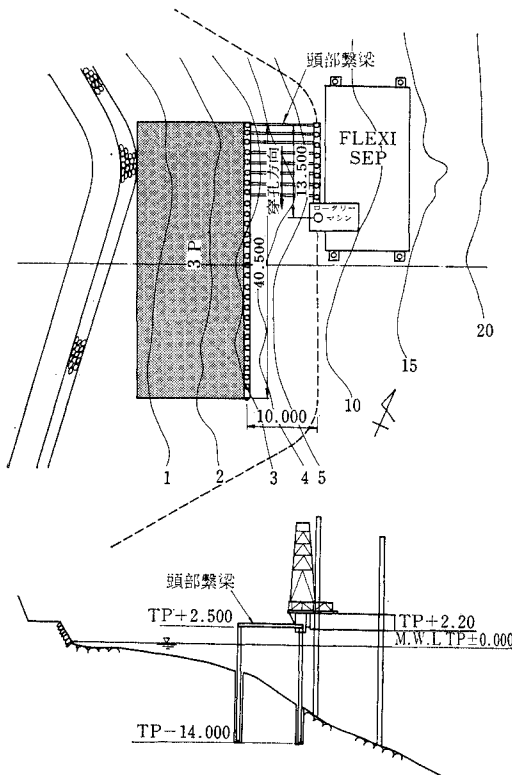


図-7 実験要領

80 cm) を建て込み、次に隣接鋼管間に継手用 I 型鋼を落とし込み、さらにセメント グラウトで根固めして鋼管矢板締切工を施工する(図-7 参照)。現場は水深 3~10 m、潮流 3 ノットで、海底には風化花崗岩が露出しており、また、締切施工延長は約 80 m を予定している。施工中には、最適掘削機の種類、掘削要領、鋼管に生ずる応力を調査するとともに、海上作業の安全管理要領、工事の水質など自然環境への影響についても調査している(写真-10)。

### あとがき

本四架橋に関連する新技術開発のうち、おもなものいくつかと海洋での試験工事について、ごくあらましを紹介した。これらの技術開発は本四架橋についての調査の直接の担当機関はもとより、関係学会、関係業界の方々のご協力によって進められているものであり、ここで紹介できなかった多くの成果を含めて、わが国の技術の進展に大きく寄与するものと考えている。昭和 60 年までには、全事業を完成させる予定であるが、工事の過程でも、多くの新しい技術が開発されるものと期待されている。今後とも関係各位のいっそうのご協力をお願いしたい。

## コンクリートライブラリー 34 鉄筋コンクリート終局強度理論の参考

B5・158 1600 円 並製  
 会員特価 1450 円 (〒 140 円)

●構造物設計の概念/河野通之 ●鉄筋コンクリート部材の諸性状 1. 曲げおよび曲げ圧縮/角田与史雄 2. 短柱/田辺忠顕 3. 長柱/岡村 甫 4. せん断一般/桧貝 勇 5. アメリカにおけるせん断の研究/桧貝 勇

6. 西ドイツおよびソ連におけるせん断の研究/青柳征夫 7. ねじり/宮崎修輔 8. ひびわれ/角田与史雄 9. 回転限界/田辺忠顕 ●コンクリートの破壊/小柳治 ●コンクリート構造物の限界状態設計方法について/尾坂芳夫 ●部材の実用設計方法 1. スラブおよびはり/安本修一 2. アーチ/池田康平 3. ラーメン/池田尚治 ●一般構造細目 1. 道路橋の構造細目/池田尚治 2. 鉄道橋の構造細目/池田康平