

海洋における工事の現状とその展開

3.1 本四架橋の問題点

相 良 正 次*

1. はじめに

わが国で、今までに海上に架けられた橋梁や港湾・海岸・埋立などの工事は、どちらかという陸岸から手をさしのべての仕事という感じであるが、本四連絡架橋の基礎工の場合には、施工箇所の水深とか岸からの距離という点で、完全に海に孤立した姿で作業をしなければならず、このことは一般に考えられるよりも、はるかに大きな影響をもたらすものである。

実施してきた予備調査の内容は多岐にわたり広範囲なものであるが、地形・地質や風・潮流などのように事業計画を進めるうえでの諸条件となる自然現象や社会現象を調べる基本条件調査、どのような構造形式とすることが合理的なのか、そして台風や地震などに耐えるにはどうしたらよいかという設計調査、また与えられた諸条件に適応させながら安全かつ確実に構造物をつくるにはどうすべきかという施工調査に大別することができる。

主要な調査事項ごとにその概要と残されている問題点について述べ、若干の考察を加えることにしたい。

2. 地形・地質の調査

海底の地形調査には、一般に音響測深機が使われている。これは音波を発して海底から反射される性質を利用したもので、海底のある幅の最も高い位置をとらえるこ

* 正会員 建設省近畿地建本州四国連絡調査事務所長

とになり、航海用には十分であるが、その海底に土木工事をしようとするには不十分で、たとえ改良して精度を上げたとしても転石の様子や溝のようなものは知ることができない。

また船による測量の場合には、船の動揺があったり、潮流の強い場合には常に船が流動しているため、船の位置が不正確になるので測量精度が低下する。この対策として、陸岸にハイドロジェストを設置して音響測深とシンクロさせて三角測量の要領で水深測点を求める方法を採用して、昭和 38~39 年にかけて橋脚予定位置のうちに海底地形の急峻な区域の測量を実施し、やや詳細な地形図を得ることができた。

昭和 37 年には東海サルベージ(株)の潜水艇「白鯨号」で明石海峡と備讃瀬戸の底質調査を実施したが、昭和 40 年には明石海峡の基礎施工法を検討するために深海作業船「よみうり号」に乗組んで海底の肉眼観察を行った。その結果、海釜縁の急斜面は予想以上に複雑で母岩からはく離れた巨石が積み重なっており、深い溝もいくつもあることが判明したし、岸から水深 40~50 m までのゆるやかな斜面は中流部河川の河原のように礫が敷き並べたようになっていることがわかった。

潜水作業で最も注意したのは、浮上時に他の航行船舶に衝突されないようにすることであった。また瀬戸内海はオホーツク海や、日本海に比べてはるかに透明度が悪く、水深 10 m 程度で暗くなり、投光しても 3 m ぐらいしか視界がきかない、光を強くするとマリンスノウやほこりのため、かえって乱反射して見えにくい。そのため局部しか見えないので、全体的な様相を知ることができないことなどがあげられる。このことは潜水作業や水中テレビについても同じであって、海底の土木工事を手さぐりの盲作業から一般土木なみに引き上げるためには、潜ることよりも、むしろよく見えるようにすることに努力を払わなければならないと痛感した。

電子式の超音波映像テレビなどの開発が進められているが、まだ実用的域には達しておらず、今後の研究が期待される。

次に海底の地質調査であるが、もともと海峡と名の付いているところは、地質構造的に複雑にもまれた場所であり、施工された構造物が、地震でゆすられるわが国で

は、諸外国とはちがった立場で綿密に調べなければならないことになる。

深い海でのボーリング作業は、海底油田調査により発達してきたと言ってもよく、ボーリング作業用足場もドラック社やルターナー社の昇降式バージ、あるいはマッククレインランド社の海上固定式バージなどが有名で、最近の海洋調査の時流に対応して開発されたハニーウェル社の深海用自動制御式ボーリング船などもある。

土木工事の場合には、50~100 m の深度のボーリングを数多く、しかも点々と実施しなければならないので、上記のように、長期間にわたって深いボーリングを行ない、場合によってはそのまま採油施設としても利用できるように大規模な装置を使用することには問題がある。

このような立場から、土木工事の調査の性格に合うように、軽便で取扱いや移動の容易なものはないだろうかということで、建設省が協力し開発したものに円筒足場があり、昭和 39 年には水深 54 m・潮流 7.5 ノットの地点でのボーリングに成功した。この工法は、壁間を中空にした二重円筒を海上に浮かべて現場に曳航し、あらかじめ打設してあるアンカーワイヤーを先端と頭部にそれぞれ 2 本ずつ所定の長さに結び付け、潮流の転流時をねらって静かに流しながら遠隔操作で管壁に注水すると、次第に沈みながら所定位置に直立する。すぐに流れの下手のアンカーワイヤーを頭部に連結し、四方のアンカーワイヤーを締めると、円筒は海底におしつけられて固定するので、頭部にボーリング用やぐらを乗せれば準備が終り、円筒の内管をガイドパイプとしてボーリングを行なう。

海峡部は底質が砂礫や軟岩の場合が多く、港内と比較するときわめてアンカーの効率が悪いので、前述の水深 54 m の場合には、50 t の鉄製アンカー 4 点と補助として 7 t のストックレスアンカー 4 点を使用した。なお、アンカーについて 2 つのことを申し添えたい。それは、クレーン船の揚程は大きいものでも 30 m 程度であるから、主索で吊り下げたものを副索に吊り替えないと、水深 30 m 以上のアンカーは打てないことと、打ち終ったアンカーは計画張力をかけて、あらかじめ固定性を確認しなければならないことである。前者は現在の防波堤工事やサルバージなど、水深 20 m 前後を限度としていることを物語っており、後者の場合 1 t の張力あたり曳船 100 馬力を必要とすることを考えると作業船などで引くことは不可能なことで、アンカー中央部にバージを置いて一対のアンカーワイヤーを友引きする方法を用いてきた。

3. 潮流・波浪の調査

昭和 35・36 年に海上保安庁に委託して、明石海峡お

よび備讃瀬戸の潮流観測を実施し、その成果はすでに潮汐表の修正となって役立っている。

流速計として市販されているものは、5~6 ノット用で、これ以上になると特別に製作しなければならないことを知って、潮流 7~10 ノットというような海域は工事の対象にならなかったことをつくづく感じさせられた。

架橋工事に大きい影響を与える航行対策を検討したり、ケーソンの曳航など工事計画を立てるためには、海域全般の潮流の動向が知りたい。そこで航空写真測量の原理を応用して、昭和 39・40 年に明石海峡および備讃瀬戸について前後 10 回にわたって潮流飛行観測を実施した。これは風のない潮の強い日時を選んで、20~30 隻の船で発泡ポリスチレンペーパーを 2500~3000 枚海面に撒布し、これらの標識紙の移動を航空写真により追跡するもので、ベクトル解析とカメロン効果を用いたコンター解析とを併用した。工実施の際は季節別・時刻別に詳細な調査をしなければならない。

波高の測定方法としては、目視・圧力計・電気抵抗など種々のものがあるが、いずれも長所と短所とがあって完全ではない。そのため海上沖合での波を正確に測定した資料は皆無に近い。しかし、船による観測記録や、おおよその見当を付けるための資料はある。

また、深い海に構造物を築造する場合の工事途中および完成後の構造物に作用する波浪圧・潮流圧・うずの発生など、世界的にも研究はあまり行なわれていない。そして、航行対策や工事中の基礎への接岸などを考えると発生する重複波やうずなどの消滅方法も検討しておかなければならないし、今まで設置したことのないような水深も大きく潮流も強い場所には、どのような標識をどんな構造としたらよいかも調査しなければならない。このような一連の問題については、大阪市立大学の永井研究室の協力を得て、水槽実験などを行なってきており、近くその一部を海上で実験する計画である。

潮流の変動は場所によっても異なるが、海底に近づいてもあまり流速は減少せず、海底地形によっては深いところに潮流最大値があったり、鳴門のうず潮のように湧き潮のところもある、干満による潮の変化は直線波型に近い。

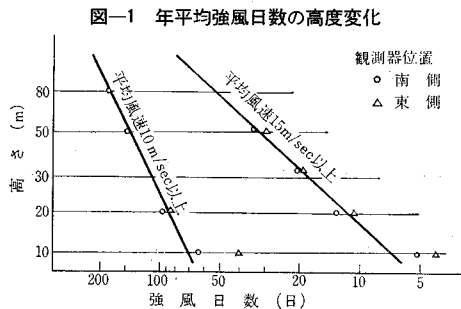
4. 気象と稼働率

風は設計の面でも施工にとっても、最も影響度の大きい要素である。陸上部の風については詳細な調査研究がなされているが、海上の風についてはほとんど調査されておらないので、気象庁に委託して瀬戸内海に補足的観測網を設置して全体的な把握に努めると同時に、地形模型を使つての風洞実験や打上花火・発煙飛行機を使用し

ての風の追跡などを行ってきた。また神戸市垂水区の福田川河口に高さ 80 m の自立式観測塔を建てて、昭和 39 年 4 月から建設省の直営で風の 5 層観測を実施中である。本観測により、土木工事の立場から、次の事項に重点を置いて整理解析している。

- ① 台風時の風の変動特性
- ② 吹上げ吹下げの上下変動
- ③ 高さの相違による変化
- ④ 風速別・吹送継続時間別・吹送時刻別の状況
- ⑤ 海峡・水道各部と観測塔記録との相関性

観測塔での 10 分平均風速が 10 m/sec (瞬間最大で約 14 m/sec) および 15 m/sec (瞬間最大で約 20 m/sec) 以上の年間平均強風日数を海面上の高さ別に示したものを図-1 に示す。



長大吊橋の設計では、風の上下変動と台風の上下・左右のひろがりにおける変化と進行方向の強弱の波形などが問題となる。また、工事面での風の影響も重要で、台風ばかりでなく、アジア大陸の東海岸に位置するわが国の気象特徴の一つである西からの強い季節風が問題である。特に高所作業とか船を使つての重量物取扱いなどは平均風速が 10 m/sec 以上になると困難で、しかも、20 m/sec 以上になると相当の被害なり手戻りを覚悟しなければならない。

海上ボーリングや、海上での各種実験でも風速を記録しており、その結果と観測塔とを比較してみると、一般的傾向として明石海峡中央部での海上 10 m の風が観測塔での高さ 30 m の風に近い。また、備讃瀬戸の海上風は明石海峡と比べて、数パーセント大きい結果となったが、同等程度と考えてよいようである。

基礎工事で陸上工事と全く異なるのは、施工機械の交換修理でも資材の運搬でも、すべて船に頼らなければならないことで、しかも、防護のない沖合での作業となると、接岸と水切りが問題になる。港湾内での沖仲仕作業が瞬間最大 15 m/sec の風になると禁止されており、コンテナ船の荷卸しにうねりによる船の動揺が問題になっていることを考えてみれば容易でないことがわかっていただけたらと思う。

このように、工種別に気象や海象や航行船舶などの諸条件によって左右されることと、台風や季節風によって被害や手戻りの生じないような配慮のもとに、各施工段階ごとに安全性と確実性とで検討しながら、工事計画を立てなければならぬので、陸上工事からは予想できないような工事期間と費用とを必要とする場合も少なくない。

5. アンカーと作業足場

海上の工事は、まずアンカー打ちで始められる。最初は普通のアンカーでクレーン船や作業船を固定して、大きいアンカーを投設し、これで特殊な作業足場を安定させ、500~2000 t の埋設アンカーを築造し、ようやく本工事用足場を海底に設置することができるもので、陸上工事と比較にならないほどの手数がかかる。

アメリカではショットガン方式のアンカーが実用化されているが、底質が軟質の場合で、繫留力も 10 t 以下のものが多く、大型の開発研究が進められてはいるが、土木工事用の特殊なものとして適切な形式と思われるのは、海底を削孔して鉄骨を挿入してセメントモルタルで地盤に固定するといった埋設アンカーであろう。

昭和 41 年春に明石海峡の水深 11~22 m のところに許容力 60 t の埋設アンカー 4 点を試験的に築造し、このワイヤーにわが国はじめての工場製作のプレファブ・パラレル・ワイヤー・ストランドを試作使用した。この築造作業で問題となるのは、取扱いや移動の容易な作業足場と定着のための注入工で、現在繫留力 2000 t 級の埋設アンカーを目標とした作業バージを研究中であり、注入工については袋詰めモルタル材料を挿入して後で水和させるドライグラウト工法なども検討したいと考えている。

前述の石油関係で用いられている種々の作業足場を土木工事向きに改良して使用することをまず考え、建調式足場などを工夫して、工事全体の検討をしてみたが、結局は中途半端な使い方ができないことがわかり、このような規模の工事では既成品の利用は不経済であり、工事諸条件や着手から完成後までの全行程で最も効果的なものを新たに工夫しなければならない。

水深 10 m 程度までは、打込みや建込みの棧橋式足場が最適で、岸からも離れており水深も大きくなるとわく状の作業足場を海底に固定するやりかたが一番よいようである。アメリカでの長大橋基礎工事例をみても、その工事ごとに果たす役割に相違はあるが、コラル、モーリングケージ、ジャケットなどと呼び名も異なっているが、皆支持わく形式のものが採用されている。

昭和 40 年に、明石海峡の水深 15 m の箇所 10 m

角で、高さ 20 m の支持柵のすえ付試験を行なって成功した。この試験では実橋での諸条件を想定して、潜水夫は検査以外には使用しない。また、重量も大きくクレーン船では吊れないという仮定で、海上に浮かべて曳航沈設した。すえ付精度は 20~30 cm の誤差で、水深が 50 m、重量が数千トンの場合でも、位置決めのためのガイド用バージの固定用ワイヤーを三角形にさえすれば、この程度の精度の設置が可能である見通しが得られた。

6. 海底の掘削

水中掘削の代表的な例に、しゅんせつ作業がある。クラムシェルを装備したグラブ船、バケットラダーのついたバケット船、ショベル方式のデッパー船、カッターつきのポンプ船、重錘で削る砕岩船などがあり、グラブ船では容量 15 m³ とか 20~30 t の重錘を持った砕岩船など大型のものもあるが、適用水深は 20 m 程度が限界である。

水中の基礎掘削などに用いられているものに、ブレーカー方式のマキナンテリー社のハンマーや、デルマック社のロックブレーカーがあるが、深い水中では平坦に切りとることは困難で、地質に硬軟変化のある場合には、ますます凹凸がはげしくなる傾向があり、能率面からも問題が残されている。

水中発破は効果的であるが、水深が大きくなると装てんや作業足場との関係がでてくるし、船舶が輻輳したり、種々の施設が近くにある場合には面倒なこともあり、瀬戸内海の場合には、ウェルやケーソンの内での小発破程度しか使われないのではないかと思われる。

またジェット利用も考えられ、水力採炭では、40~80 kg/cm² のものが用いられており、相当した砂礫層で 25 kg/cm² 以上の圧力が必要と思われる。この方法は、今後の研究次第では有力な掘削手段となるかもしれない。特に、ケーソンの隅とか壁下などには最適であろう。

水中ブルドーザーなどもあるが、水深が 20 m 以上となると機構的には排気の問題があり、また海の透明度が悪いため盲作業となるので、操作にも問題が残されている。

大口径の削孔機にはいろいろなものがあり、蜂の巣形に孔をあけて残りをたたきつぶす方法で、広い面積の掘削も可能である。ボーリング機械の大型のもの、軟土用のリバスサーキュレーションドリル、硬土用のビルト社やヒューズ社のドリル、あるいは 7~9 本の衝撃式ドリルを 1 組にセットしたインガソル社のマグナムドリルな

どが有名であり、リバスサーキュレーションドリルのほか、数種の機械を用いて砂礫および軟岩で削孔試験を実施してみた。

海上の足場で仕事をする場合に重要な点は、次のようなことではないかと考えている。

- ① 掘削面積あるいは体積に対して機械全装備ができるだけコンパクトであること。
- ② 故障が少なく、燃料消費が少ないこと。
- ③ 地質が変化しても好き嫌いなく作業が続けられること。

以上の点から掘削には、グラブ方式とパーカッション方式に重点をおいて調査を進めており、昭和 41 年試作したものは、刃先長 3.16 m の重錘に回転を与え、エアリフトを組み合わせた機械で、陸上部および海面下 48 m までの砂礫層と軟岩の掘削試験を済ませ、昭和 43 年には花崗岩での試験を行なった。

7. その他

瀬戸内海は、世界一といっても過言でないほど航行船舶数が多いので、この安全を確保することは事故を起こさず工事を進めるためにも必要なことである。そのためには航行障害を最小限にするような基礎施工法、工事順序、資材運搬の方法を検討しなければならないし、また無理のない航行規制のあり方や、各種標識類やコントロールタワーなどの諸施設などの検討なども重要課題であり、神戸商船大学などの協力を得て調査を進めている。

深い海での土木工事は、陸上での高所鉄構作業や港湾しゅんせつ工事、サルベージ作業なども異なったものというより、それらを総合したようなもので、特別に訓練された統制ある技能陣を必要とする。このような作業隊は急造することはできないから、どのような方法でこのような現場体制をつくるかが大きな問題である。

ちょっとした工程の狂いが、気象の関係で大きな遅延となり、それが台風期になって、とんでもない被害を受ける原因となる恐れもあり、海での手戻りや失敗は元に戻らないことが多いから、特に気を付けなければならない。

今までは、その必要がなかったからであろうが、港湾区域を除くと、海そのものの責任管理者はおらず、漁業とか航行など海水の利用面で個々の法規があるだけである。しかし、海水の汚濁とか各種の海洋開発が叫ばれるようになった現在では、一日も早く内海や沿岸部の管理の法制化を急がないと調整も收拾もつかなくなるのではないかと心配になる。