

長大橋の話題

本州四国連絡橋

1. はじめに

昭和 34 年から続けられた本州四国連絡橋の基本調査も大詰めを迎え、昭和 45 年には新公団が発足し、架橋調査はまた新しい段階を迎えようとしている。

昨年 5 月から建設省の調査を日本道路公団が引き継ぎ、44 年度は建設省 1 億 2 200 万円、道路公団 4 億 5 000 万円で調査を進めてきた。

本州四国連絡橋は、その設計施工の諸条件が非常に厳しく、まだ世界的にみても未経験の分野を開発していかなければならない。特に海上作業の確実性、耐震設計の合理化、長大吊橋の耐風性と架設法、および船舶航行対策と安全施設等が問題点であり、調査の対象である。従来の調査に引き続いて、44 年調査を行なった項目について簡単にふれる。

2. アクアラング ダイバーによる海底測量

ヘリウムガス使用のアクアラングダイバー（水深 100 m 以上の経験者 4 名）による海底測量の調査を、備讃瀬戸（水深 25~30 m）および明石海峡高機（主橋脚予定地水深 40~50 m）で行なった。

測量標識の海底設置、水中撮影、海底基線測量、簡単な海底ポール測量などを行なったが、備讃瀬戸は明石海峡より透明度は低く、日光の感受限度は潮流方向、水温などによって多少変化するが、水面下 10~15 m、投光機を使用しても視界は 3~5 m であり、水中写真による測量解析はきわめて局部的なものしかできなかった。

3. 航行対策に関する調査

従来の調査に引き続き、架橋工事中の作業船、作業現場での繫留法、作業灯と夜間標識、明石海峡の斜航および横断船の実態について検討し、作業船運行の問題と工事中の航行規制について研究を進めている。

また、海上保安庁の練習船小島丸によって、橋下通過時のレーダー性能や橋が操船に与える影響をも調査している。

4. 設計上の諸問題

吊橋の体系的な耐風性の研究を目的として、建設省土木研究所において基本的、体系的な二次元風洞実験を継続実施中である。また、気流の状態を観察できる煙風洞を建設省土木研究所で建設中である。

耐震に関する点については、下部工と上部工（主塔アンカーおよびケーブル）との連成振動に着目して振動解析を行なっている。

また、プレハブパラレルワイヤーの端定着法の開発調査を実施している。29 本ストランドについて種々の密閉形式のソケットを用いて引張り、疲労、クリープの試験を実施した。鑄込み金属には純亜鉛と溶点の低い錫を使用し、ソケット外筒各部の応力測定を行ない、設計合理化を調査している。第 2 次海上実験用のアンカーワイヤーとして、80 本のストランドソケットを密閉式で製作中である。

5. 新しい作業用船舶および機械に関する開発

海上での調査、工事を円滑に進めるため、各調査および工事を対象とする新しい作業基地港、船舶および機械が必要となる。そのため、次のような作業船および機械の概略設計を行ない検討を加えた。

(1) 投錨船概略設計

重量 200 t アンカー 4 点を載せ、水深 5~80 m 迅速に投錨、巻上げができ、速力 8 ノット、4 点のアンカー

で自定でき、潮流8ノット 波高0.6m, 10分平均風速10m/sec 底質軟岩の条件で停船できるものとした結果、船長57m, 幅16m, 深さ5m, 吃水3.5mで4000総t級の船となった。

(2) 船足場概略設計

水深15~30mのボーリング作業足場用として、アンカーで海上に固定した船足場を使用し、同時に4本程度のボーリングを実施し、橋脚1基分の範囲はアンカーを調整することにより容易に移動できるようにする。当初バージ型、双胴型、半水没型などについて比較したが、半水没型が最も安定がよいことが判明したので、概略設計を行なって、現在安定性について模型実験を行なっている。

(3) 単柱昇降デッキ式作業足場概略設計

水深75mまでの潮流の激しい場所でのボーリング調査および埋設アンカー築造用の足場で、中央支柱とこれに上下滑動できるようになっていて、アンカー索を固定する中間筒、そしてこの中間筒の外周に沿って昇降するデッキの3つの主要部からなっている。

曳航してきてアンカーを中間筒に固定してから、中央支柱を海底に下げて中間筒と固結する。次に、デッキを海面上に上げて潮流、波浪の作用力を減じ、デッキを作業台として同時4本程度のボーリングを行なうほか埋設アンカー築造用に使用する。

(4) 掘削機械の概略設計検討

掘削機械の概略設計については、下記の諸件を検討した。

- ① $\phi 1.0\text{ m}$ ロータリー削孔機の概略検討
- ② $\phi 10.0\text{ m}$ ロータリー削孔機の概略検討
- ③ $\phi 3.5\text{ m}$ 重錘削孔機の改良
- ④ $\phi 10.0\text{ m}$ 重錘掘孔機の検討

写真-1 ジェット水掘削機によるコンクリートブロックの掘削状況



- $\phi 3.5\text{ m} \sim \phi 10.0\text{ m}$ に掘孔する方式の検討
⑤ ジェット水掘削機の開発(写真-1参照)。

(5) コンクリート プラント船概略設計

自航式でコンクリート打設能力 $200\text{ m}^3/\text{h}$, 10時間分積載, その他は材料運搬船から補給, 速力10ノット, 12000総t, 船長100m, 幅26m, 深さ7m, 吃水4.2mである。

(6) モルタル プラント船概略設計

自航式でモルタル打設能力 $140\text{ m}^3/\text{h}$, 10時間分積載, その他は補給, 速力8ノット, 8000総t, 船長68m, 幅22m, 深さ7.3m, 吃水5mである。

(7) 双胴クレーン船概略設計

基礎工の海上鉄骨作業を短期間少人員で実施することを目的としたもので、支間60m, 揚程60m, 吊能力1000t, 自航8ノット, 11000総t, 船長72m, 幅15m \times 2, 深さ10m, 吃水6mである。

6. 鳴門海峡における第2次海上実験

本州四国連絡架橋の問題は何といても海面下の基礎工事である。ことに強風, 強潮流, 航行の輻輳, 複雑な海底の地形, 地質など多くの悪条件下で実施しなければならないので、採用すべき施工法, これに関連する施工用仮設物や船舶機械類も新たな工夫開発を求められている。また本工事前に裏付けのための予備実験を必要としている。

明石海峡岩屋港沖の第1次海上実験に引き続き、水深30~40mを目標として第2次海上実験を鳴門海峡において実施し、児島~坂出, および尾道~今治の各ルートの問題点の大部分の解決への糸口をつかまうとしている。

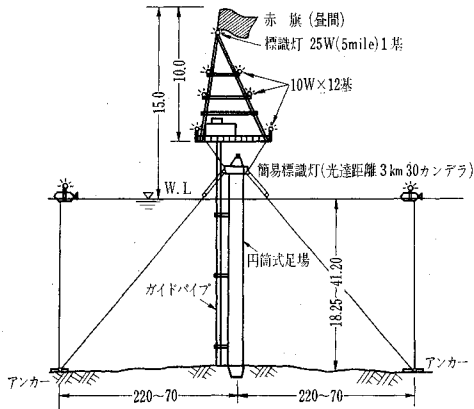
調査内容は次のごときものである。

(1) 埋設アンカーの築造

水深, 潮流, 底質がどのような場所であっても、張力100~1000tの埋設アンカーが確実に施工できることが前提であり、支持わく類の据付けばかりではなく、航行安全対策上必要な浮標識や緩衝材の固定などにも欠かすことができない。

水深20~40m, 潮流5~7ノットの海底に、浮標識実験用に張力100tのアンカー2点, 作業足場固定のための200tアンカー8点を築造中である。さらに、1000tのアンカー2点をつくり、引張り試験を実施する予定である。100tと200tアンカーには1段水圧パッカー

図一 埋設アンカーの築造



を、1,000 t アンカーに 2 段水圧パッカーを工夫して使用する。

(2) 浮標識

航行対策として浮標識が重要な役目をするが、大水深で強潮流の箇所に設置された例はほとんどないといつてよい。水深 30~40 m で潮流 5~7 ノットの海底に 3 点の埋設アンカーを設けてこれで浮標識を海上に固定し、干満、潮流、波浪などによりどの程度傾斜移動を起こすか調査する。2 個の浮標識のうち 1 個にはアンカーワイヤーの中間部に別のシンカーと呼ばれる重錘を取り付け比較検討する。

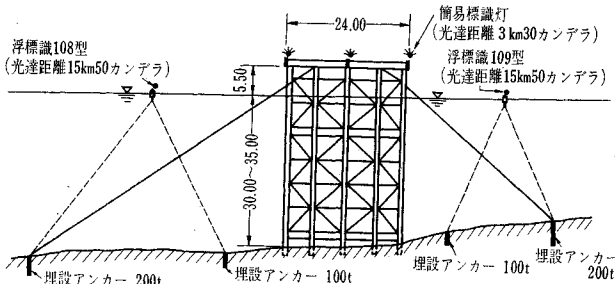
(3) 実験用海上支持わく

実験用海上足場は重量約 600 t、22×22×35 m (高さ) の骨組寸法を予定しており、上下 2 層に分けて組み立てられるようにしておき、水深 10 m 程度の海底に下層をまず仮置きし、これに上層を接合する方式により全体を組み立て、現地の所定の位置に据え付ける。

(4) 昭和 45 年度以降の実験

昭和 45 年度以降として、引き続いて海底の各種掘削比較実験に重点をおき、ほかに φ10.5 のケーシングウエル内壁のコンクリート打設や内部排水試験やしゅ水壁

図二 支持わく設置側面図



試験、および大型部材を用いての潮流圧・波浪圧・カルマン渦振動などの測定も実施する予定である。

7. その他

本四架橋のような大規模工事を実施遂行するには、さらに工事の現場体制、工事管理、労務対策、交通対策、航行問題等の幾多の問題点を有し、現在の調査に引き続いて検討・検証すると同時に、これらの諸問題をも調査し、工事実施計画を万全なものにして行くことを考えている。

(筆者・宮本 深/日本道路公団本州四国連絡道路調査事務所計画課)

関 門 橋

1. はじめに

本州と九州を結ぶ高速自動車国道の一部として関門海峡の「早瀬の瀬戸」に架設される関門橋は昭和 43 年に着工され、昭和 43 年 12 月の門司側下部工事に引き続いて、昭和 44 年 3 月に下関側下部工工事、9 月に下関、門司両側の塔工事の発注を終え、現在鋭意建設を進めている。

残りのケーブル工事については 44 年度中に、補剛桁工事は 45 年度中に発注する予定である。

関門橋の概要は次の通りである。

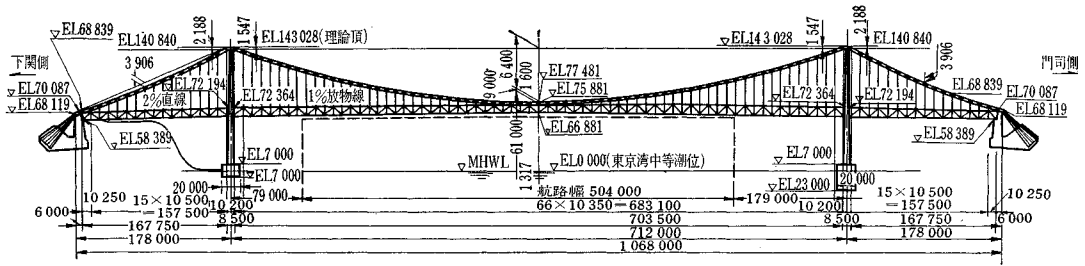
- ① 位置：山口県下関市壇之浦町から福岡県北九州市門司区和布刈まで
- ② 橋の等級：1 等橋 (A-3 級, 80 km/h)
- ③ 橋の形式：3 径間 2 ヒンジ補剛吊橋
- ④ 橋 長：1 068 m (178+712+178 m)
- ⑤ 桁下高：朔望平均満潮位から 61 m
- ⑥ 車線数：完成 6 車線、暫定 4 車線
- ⑦ 事業費：285 億円

2. 工事の概要と現況

(1) 下 部 工

地質調査の結果から、門司側の一部を除いては

図-1 関門橋一般図



比較的良質な支持層であるため、下部構造の形式は門司側橋脚のみがケーソン基礎で、両側橋台および下関側橋脚は直接基礎としている。

設計にあたっては「本州四国連絡橋技術調査報告書」の耐震設計指針をもとに、安定計算には2自由度の振動系で表わされる力学モデルによる方法と、吊橋全体の動的解析によるものから算出した。また、内部応力は地盤の変形をも考慮した有限要素法による平面解析と、三次元光弾性から求めている。

橋台工事は昭和43年12月に両側とも掘削を完了し、コンクリート打設が開始された。1基当りのコンクリート量は約50 000 m³（橋台面積44×55 m）で、中庸熱高炉セメントを用いたコンクリート（単位セメント量260 kg、強度 $\sigma_{91}=240$ kg/cm²、スランプ3~5 cm、最大骨材寸法50 mm）であるが、昭和45年3月までに完了するには1日約300 m³を打設しなければならず、特に、後部には約1 400 tのケーブルアンカーフレームを組みながらの工事となる。

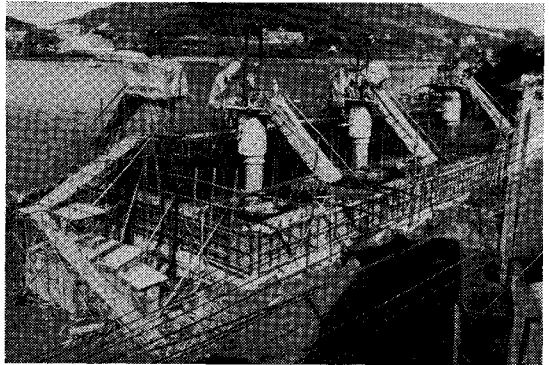
下関側橋脚の大きさは20×40×14 m（高さ）で、セラーブロックによる締切堤を築造後掘削を行ない、昭和45年1月から橋台と同配合のコンクリート（11 000 m³）を打設する。

門司側橋脚の大きさは20×40 mで、現在-23 mまで空気ケーソン工法により沈下させる予定で、昭和45年2月末には掘削を完了する。

写真-1 施工中の下関側橋脚部



写真-2 施工中の門司側橋脚部



(2) 塔

塔は高さ134 mのトラス形、基部固定のフレキシブルタワー（柱の断面は基部で7.2×3.2 m、塔頂で4.2×3.2 m）で、鋼材にはSH 53鋼材を用い、鋼重は1基当り約2 900 tである。

塔柱の継手は、高力ボルト摩擦接合となるが、メタルタッチによる応力伝達を考慮し、全強の50%で設計している。

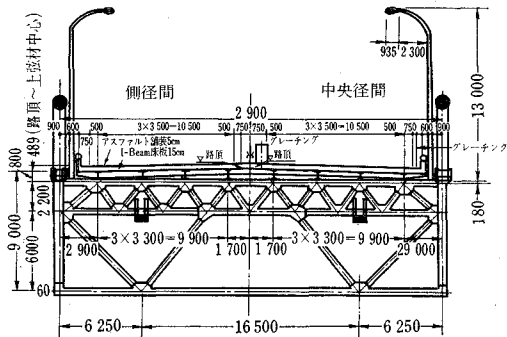
工事は2ブロック（1ブロックの長さ12.5 m）ずつの仮組みを終えると、昭和45年9月より架設予定であり、特に、架設中の耐風対策、架設精度の測定などについて検討中である。

(3) ケーブル

ケーブルは昭和44年に完成したアメリカのニューポート橋で話題になったプレハブワイヤー Strand工法により平行線ケーブルの架設を行なう。ケーブル1本当りの最大張力は15 759 tで、その構成は素線（許容応力度5 600 kg/cm²、弾性係数2 000 000 kg/cm²）91本からなるストランドを154本束ねたものとなる。

工事は、45年度中に製作、架設に関する種々の実験、試験を行なって、45年度末からケーブルの本製作に着手する。架設は気象の一番安定している昭和46年9月~11月を予定しているが、着手にあたっては、渡海作業、キャットウォークの架設方法と耐風対策、ケーブ

図-2 補剛桁断面図



ルのサグ調整の方法など、まだ今後研究しなければならない。

(4) 補剛桁

補剛桁は詳細設計がほぼ完了したが、設計にあたっては風洞試験の結果を重要視し、現在の断面形状(図-2参照)では、迎角 $\pm 5^\circ$ の範囲で 65 m/sec 以下では発振しないことが確かめられた。

補剛桁の鋼重は約 7 000 t で、SS 41, SM 50 Y, SM 58 鋼材をその応力に応じて使い分け、継手にはすべて高力ボルトを用いる。

床版には、最近軽量化するため使用され始めた軽量コンクリートを用いた I ビーム床版(厚さ 15 cm)とするが、その詳細については検討中である。

3. 結 び

本橋の完成までには、まだ 3 年余の期日があるが、それまでには架設上の問題ばかりでなく、本橋を高速自動車道として利用する面から、① 強風、濃霧、積雪時の交通制限とその処理方法、② 高欄の構造、③ 橋梁上の道路標識などについての検討、また維持、補修の面から④ 塗料の選定と塗替え方法、⑤ 点検用の検査部、検査車の構造と規模などの検討を行なって、本橋を最大限に利用し長い将来にわたって維持していくことを考えている。

(筆者・仁木理夫/正会員 日本道路公団関門建設所工務課)

教材に適當 **技 報 堂** 東京都港区赤坂1-9-4(〒107)
電 585-0166 呈図書目録

土 木 工 学 通 論

八十島義之助・奥村敏恵他著
A 5・540頁・定価900円

土木の各部門を専門ごとに執筆されたもので、広汎な土木工学に対する知識を一冊に簡潔、平易に解説し、最新の理論と応用を盛りこんだ全面改訂新版

応 用 力 学

名工大教授 荒井利一郎著
A 5・380頁・定価950円

土木工学の学習の基礎としての応用力学の課程を修めるときの手引になるように要点を材料として並び、講義の時間と演習を考えて最適に配列した。

土 木 材 料 実 験

東大教授 国分正胤編
A 5・536頁・定価1,100円

セメント・骨材・コンクリートの配合、強度、鋼材、木材、アスファルトの試験など学生、技術者が実験項目のすべて網羅、試験の目的方法資料を詳説

土 質 力 学 講 義 と 演 習

東工大教授 山口柏樹著
A 5・368頁・定価1,300円

土質力学の知識を整理し、理解を深めるために編まれたものである。現場技術者、学生の教材として演習問題を豊富に採り入れ解説、解答を付けた。

建 設 機 械 概 要

河野正吉他著
A 5・142頁・定価400円

土木・建築を専攻する大学、高校生を対象として最新の機種を含めて建設機械の構造、性質、用法等を簡潔に説明した、現場技術者にも好適の本である。

交 通 工 学 総 論

日大教授 谷藤正三著
A 5・400頁・定価1,500円

土木工学の中の輸送の学問を修める人のために著者が関係した建設省、首都圏整備委員会、経企庁、運輸省など各種委員会の審議課程の資料による解説