

3.4 航路しゅんせつ工事

瀬戸内海航路の施工を中心として

財 木 良 文*
中 村 龍 二**

1. はじめに

地球の3/4を占める海洋は、人間の手はまだほとんどおよんでいないままである。しかしながら、近年、未開発資源の豊庫として大陸棚の開発に端を発して、海洋全般に多くの人々の目が向けられてきている。このような情勢の中で、土木部門においてもこの海洋という未知の世界にいどむべき時期がきたようである。現在われわれが行なっている海の工事は、その取り巻く自然環境、具体的にいえば、水深、陸岸よりの距離、これにともなう気象海象の特性の面において“海洋”なるイメージからすると、著しく小規模でほど遠いものである。しかし将来の海洋土木工事へのアプローチを模索する上で、現在のものを論ずることは決して無意味ではあるまい。かかる観点から陸地より遠い、自然の影響を直接受けやすくしかも深い(せいぜい20mどまりであるが)海中の工事である航路しゅんせつ工事にまつわる、いくつかの問題を概観し、その“海洋性”の一端をのぞき見ることにしよう。

本稿では、まず現在の航路しゅんせつ工事の概要を紹介し、ついで現在行なわれている大規模航路しゅんせつ工事である瀬戸内海航路(備讃瀬戸)の施工にあたって直面している問題点のうち、水深と位置の測定について述べることにする。

2. 航路しゅんせつ工事の現況

わが国における航路しゅんせつ工事は、泊地しゅんせつも含めて、昭和41年度に公共事業で実施された土量は約5600万 m^3 であり、港湾整備事業費の約25%を占めるに至っている。わが国における航路数は港湾調査原簿に記載されているものを拾ってみると、約820航路

にも達している。これらの航路のうちとくに主要港湾に至る航路は、オイルタンカーをはじめとする近年の船型の著しい大型化や、地域開発を反映した新しい港湾の建設や、既存港湾の拡張にともなって、大水深、長大化が進んでおり、これの建設のための航路しゅんせつ量も年々大幅に増加しており、港湾整備5ヵ年計画(案)によると、昭和43年から47年の5ヵ年間にしゅんせつされる土量は、昭和41年度の約7倍に達する4億 m^3 が見込まれており、水深も瀬戸内海航路では-19mが計画されている。

図-1 タンカーの大型化の傾向
(最大船型)

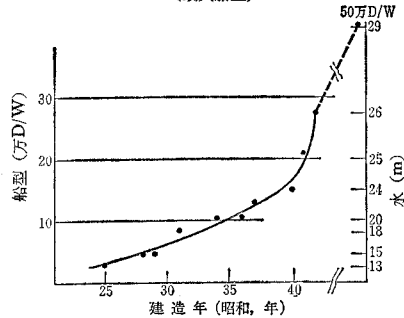
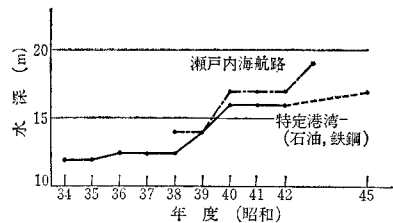


図-2 航路水深の変化
(着工ベース)



これら航路のしゅんせつにたざざるしゅんせつ船は昭和42年3月末で、グラブしゅんせつ船の607隻を筆頭に、1143隻が稼働しており、この他に岩盤しゅんせつ用の砕岩船や削岩船が41隻稼働している。このしゅんせつ船の能力も、前

述したしゅんせつ土量の増大に対応して、ポンプしゅんせつ船においては、昭和35年以降1000~2000PS級のものから4000PS級の出現を見、現在では8000PS級、公称能力2000 m^3/h 、しゅんせつ深度30mと飛躍的な能力の増加を見ている。また一方グラブしゅんせつ船においても、昭和40年以降、在来の3 m^3 以下のグラブ容量に対して10 m^3 の容量を持つ公称能力

表-1 しゅんせつ船一覧表

船種	隻数
ポンプしゅんせつ船	465
バケットしゅんせつ船	27
ディッパーしゅんせつ船	46
グラブしゅんせつ船	607
しゅんせつ船合計	1143
砕岩船	30
削岩船	11
合計	41

注: ① 昭和42年3月末日現在
② 現有作業船一覧表(昭和42年版)運輸省港湾局

* 正会員 運輸省第3港湾建設局高松港工事事務所長

** 正会員 運輸省第3港湾建設局企画課長

750 m³/h に達する大型グラブしゅんせつ船の出現を見、しゅんせつ深度も 40 m にまで達するものも現われた。さらに航路しゅんせつ場所が陸岸より遠く沖合に延びてきたため、大型の自航ポンプしゅんせつ船（ドラグサクシヨ）も出現し、昭和 39 年運輸省によって建造された海鵬丸は、その主機馬力は 4800 PS、公称しゅんせつ能力 10000 m³/h で、-17 m までのしゅんせつ能力を有し、現在関門海峡航路しゅんせつ工事に従事している。

3. 航路しゅんせつの問題点

航路しゅんせつ工事は、一般的な土木工事と異なり、構造設計は不要であり、かつ実施面においてもその地域の海象、土質に適合したしゅんせつ船を選定すれば（これは相当にむずかしいことであるが）、その後については、黒部ダムや霞が関ビルの工事のように複雑な工種の組合せはなく、工程管理の面でも、PERT や CPM 等の導入の余地は少なく工事の流れは単調である。

しかし計画された場所を規定の法線で、所定の水深に正しく掘り下げることが、茫漠とした海の工事だけに予想外の準備と工事途上の厳しい管理が必要である。つまり掘削跡を正しく把握することであるが、これは大別して二つのことがらに帰着する。その第一は水深の測定であり、第二は位置の測定である。以下この二つの項目に

表-2 大型しゅんせつ船の例

(1) ポンプしゅんせつ船

船名	総トン数	主機馬力	公称能力 (m ³ /h)	しゅんせつ深度 (m)	製造年 (昭和年)	摘要
海鵬丸	3212	2400×2	5000×2	17	39	ドラグサクシヨ 速力 13.2 kt ドラグサクシヨ 速力 10.5 kt
海竜丸	2686	1800×2	4100×2	18	36	
第5東関丸	3100	8600	1600	32	39	
第2国栄号	3600	8000	2000	30	39	
日進丸	2900	8000	2000	31	38	

(2) グラブしゅんせつ船

船名	総トン数	主機馬力	グラブ容量	公称能力	しゅんせつ深度	製造年月 (昭和年)
上総丸	2034	900×2	13	360	24	39
第3関門号	950	750×2	12	720	30	自航 8 kt 42
第21山陽	550	620	10	750	35	41
深興1号	208	200	9.5	200	20	39
第11大和	550	620	8	750	40	41
第17愛媛	320	400	6	250	40	40

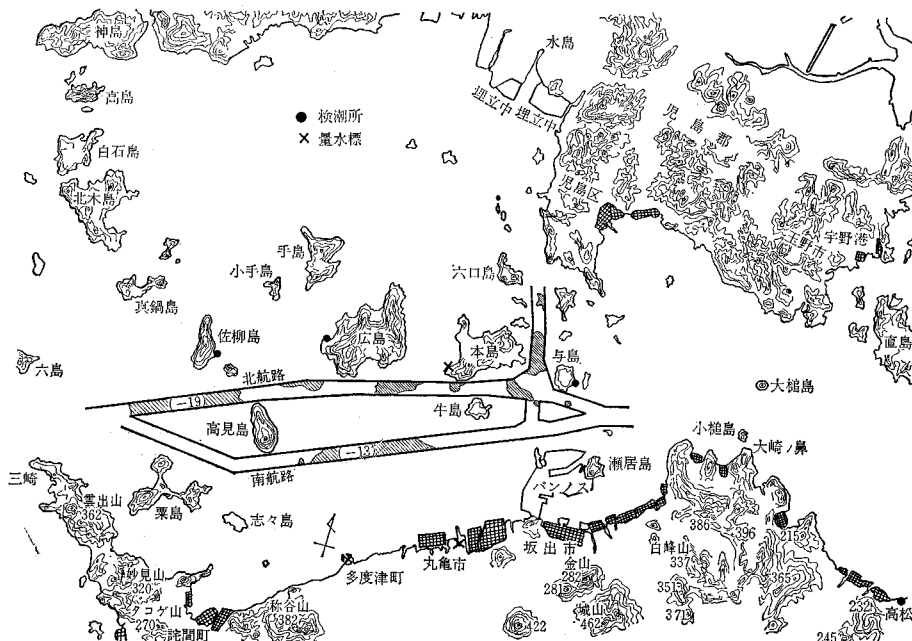
注：現有作業船一覧表（昭和 42 年版）運輸省港湾局

主眼を置いて、瀬戸内海航路のしゅんせつ工事を例にとって述べてみることにしよう。

4. 瀬戸内海航路しゅんせつ工事の概要

瀬戸内海航路の備讃瀬戸のしゅんせつ工事は、瀬戸内海地域工業開発に対応して、昭和 38 年に着手され、10 万 D/W の船舶の航行を目標に現在工事が進められている。この航路の計画は、備讃瀬戸において南北 2 つの航路に分け、北航路 -19 m、南航路 13 m 幅員それぞれ

図-3 備讃瀬戸航路



700 m にしゅんせつするもので（航路は一方通行を考えて、南航路は空船で航行するため水深は浅く計画されている）、しゅんせつ総土量約 3400 万 m³、総事業費は約 120 億円と見込まれている。このしゅんせつ工事のうち南航路については昭和 42 年度末をもって概成し、北航路については、昭和 44 年度には -19 m の最終目標に向かって工事が進められる予定である。しゅんせつ場所は図-3 に示すとおりであり、これの海底地質は大半が土砂であり、一部に岩盤が存在する。

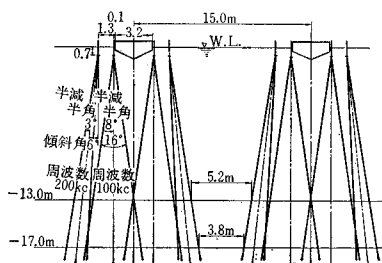
(1) 水深の測定

物を観測したり、製品の管理をする場合、一般的には光を利用する場合が大半である。海底工事の場合にもこの光をもとに、潜水夫による実測やスケッチ、水中カメラの利用などが行なわれることはしばしばある。

しかし、海水中には、コロイド性の物質や、微細な生物・無生物が多数浮遊しているのが常で、透視距離が短かいとか、ハレーションを起こすとか、いろいろと光の利用には都合の悪い面が多い。それでは赤外線の利用はどうであろうか。海水の光エネルギー吸収能は赤外線部においても非常に強く、すぐに強度が減衰するので、これの利用もなかなか困難である。そこでしゅんせつ工事の場合における掘削跡の測定には、サイクル数の高いパルス音の反射を利用して深度測定を行なっている。これが音響測深器である。この原理は船より発信したパルス波が海底によって反射されて船にもどってくる時間差を計測し水深を定めるものであるが、水温の変化による音速の変化等に対して、慎重な補正を行ないながら使用されている。

図-4 は測量船に 4 台の音響測深器を取付けて、船を 15 m 間隔に走らせた場合の音波の伝達状況である。これを平面的に見ると 1 本の航跡にしたがって水深 -17 m の場合には、約 11 m 幅の走査が行なわれることになるが、風、潮流、波の影響や、船位測定の誤差のため、正確に走査することはきわめて困難である。また 1 本のビームに含まれる海底の起伏は厳密にはわからないが、最も浅い水深は判断できるので、しゅんせつ工事の場合には支障はきたさないものの、さらに物の形状を細かく測

図-4 測量船と測深間隔



定する場合には不向きであり、この方面の機器の開発が望まれる。

この音響測深器によって、海面から（厳密には船からの）海底までの深さは、密に走査を行なうことによりかなりの精度（水深 20 m 程度では 20~30 cm の誤差）の測定ができるが、一方海面は潮の干満に応じ、刻々と変化しており、これに対する補正が必要となってくる。海面の基準点としては、おのおの場所における春秋の大潮の干潮面（厳密には平均水面より潮汐の調和分解より得られた主要 4 分潮の和を引いた水面）を基本水準面としており、海図上ではこの面を水深 0 m とし、これより上を +、下を - で表示しており港湾工事事業基準面（以下基準面という）もこれに合致させている。ある 1 ヲ所での基準面の設定や、時間ごとの潮位の変化は、その地点における潮位観測の結果を分析することによって（調和分解）、比較的容易に決定できる。しかるに、この備瀬戸航路のように、しゅんせつ工事区間が約 21 km にも達するような場合には、地形の複雑さとあいまって基

図-5 高松港と与島港潮候曲線比較
(昭和 43 年 5 月 27 日・0.00h~24.00h)

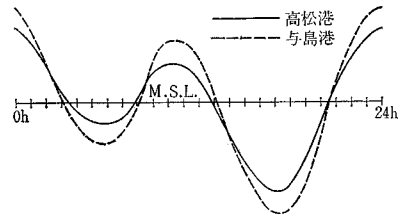


図-6 (a) 昭和 24 年~同 42 年高松港年平均潮位折線
(検潮跳取基準面より)

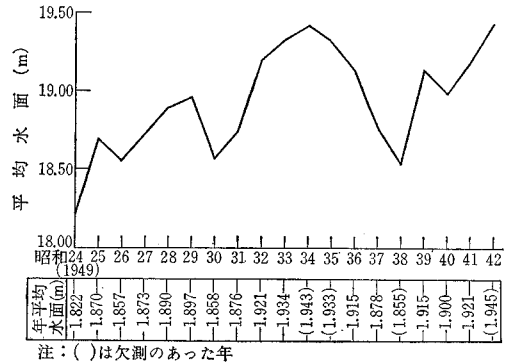
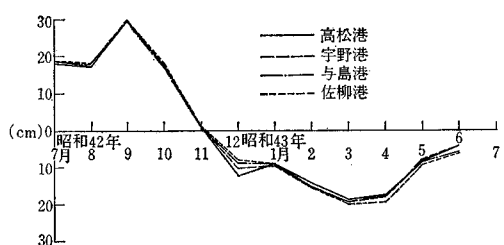


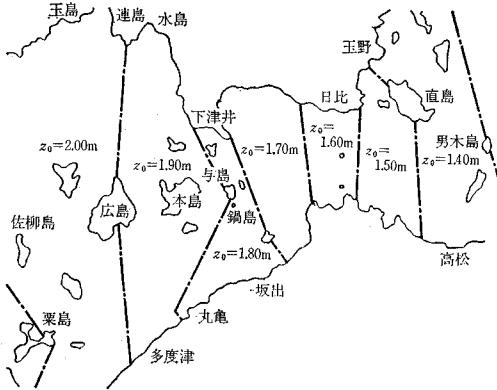
図-6 (b) 昭和 42 年 7 月~同 43 年 7 月間の月別相関関数



準面をはじめとして、各時間の潮位も当然各地点によって変化し、たとえば高松港と与島港の約 20 km の間で潮汐の振幅は約 60 cm、ピークの到着時は 10 分のずれを生じている。

また同一地点における基準面を定めるもととなる平均水面も年平均、月平均で変動しており、たとえば高松港では昭和 24 年と昭和 42 年の 18 年間で約 12 cm の差があり、また 3 月と 9 月ではそれぞれ年平均水面より

図-7 Z₀区分帯



-20 cm, +30 cm の変化を示している。

このような状態で精度のよい水深の測定をするためには、数多くの検潮所あるいは量水標を必要とするか、現実には実用的な精度を考慮して図-3 に示すごとく、7カ所の検潮所と量水標を設置し、また全区間を7カ所に分けて基準面を設定している。

(2) 位置の測定

海底の地形は、海図などでみられるように水深と位置とが対応して表わされる。海上では測量のために杭を打ったり、スタッフやポールをたてたりすることは事実上不可能な場合が多い。そこで沿岸においては陸上の3つの目標物を船上でセキスタントを2台使って同時に測角し、三杆分度器を用いて三点両角法の原理によって位置の決定を行なっていることが多い。備讃瀬戸航路の位置の測定にあたっては、瀬戸内海に幸いに多くの島があるので、これらの島に基準点を設置し、3つの基準点を1組として三杆分度器を使用する複雑さを逃れるため、あらかじめ円形の座標を作成し(2点をとる円周上においてその夾角は同一である原理を利用し)、セキスタントを用いて2角を測定することによって、ただちにその位置が決定される円座法を用いている。図-8 に基準点と被覆円座標の関係の一例を示すが、この図において、たとえば面Bの部分は F₂~R_{Lt}~F₁ が基準点となり面Dは下真島~R_{Lt}~F₃ が基準点となる。 図-9 は円座標の一部である。しかし、この方法による測定は、霧の日

や夜間は測定不能であり、瀬戸内海は見とおしの良い晴天時は風波が比較的強くて水深の測量に適さなかったり海上の静穏な日は霧が発生して見とおしが悪いなど、大変皮肉な気象であり、測量に多くの支障をきたしている。また、測定精度も測定上の誤差を中心として、10m程度の誤差が生じている。

そこで現在のこの光学機器による測定を、電波による測定に改めるべく準備を進めており、これによって測位の精度は備讃瀬戸航路においては、2 m 程度の誤差におさまり、また若干の悪天候時にも支配されずに測定ができるものと考えられる。

この電波による位置の測定は、定められた2点より発する電波の位相を用いて2点よりの距離を出し、位置を定めるもので、具体的には主局(M)1局と従局(S_A,

図-8 瀬戸内海航路平面図

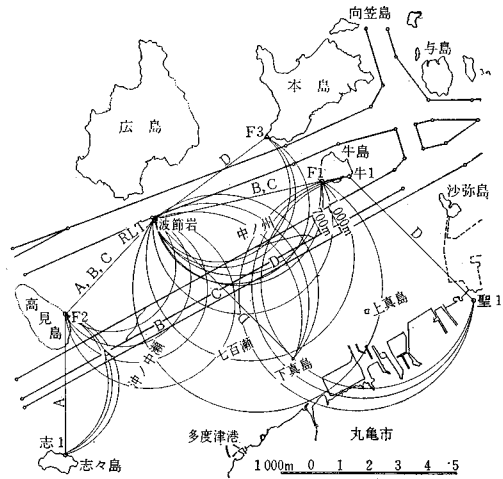
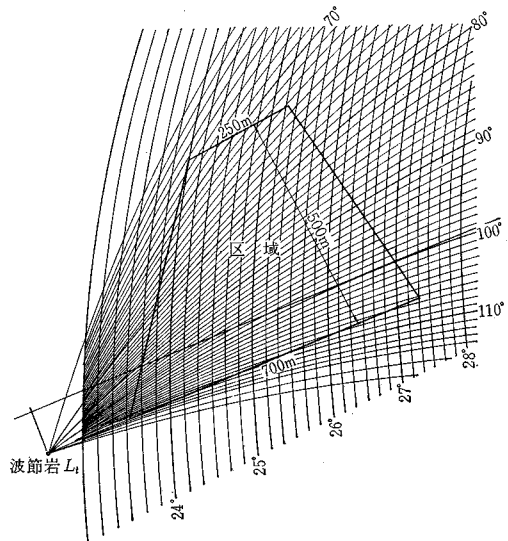
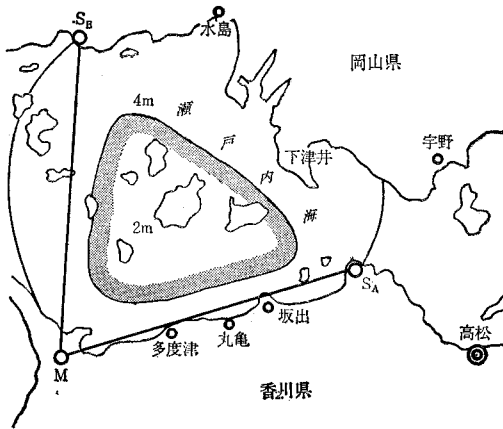


図-9 円座標の一部



S_B) 2局によって構成され、図-10 に示すように配置されている。また図上には理論的に計算された測定精度が示されており、備讃瀬戸においては、ほぼ 2m 程度の精度が考えられている。

図-10 備讃瀬戸基本水準面 (C.D.L.) 関係図



この電波測位器は商品名 HI-FIX と呼ばれ、すでに第5港湾建設局名古屋港工事事務所をはじめとして実用化が進められており、今後の航路しゅんせつ工事、特に陸地より離れたあるいは長大航路のしゅんせつ工事においては、これの威力が発揮できるものと期待している。

表-3 に参考のためにこの HI-FIX の主要性能を示しておくが、備讃瀬戸の航路しゅんせつにおいては、こ

表-3 HI-FIXI (デッカ社製) 諸元

項目	性能
位相決定方式	位相比較形質問答式
有効範囲	70 km まで
測定精度	○ベースライン上にて双曲線法 約 0.75 m ○ベースライン上にて円 約 1.10 m
周波数	約 2 MC/sec
装備局数	主局 1, 従局 2
測定法	双曲線法または円弧法
測定および記録	連続自動式測定 (航跡自動記録)

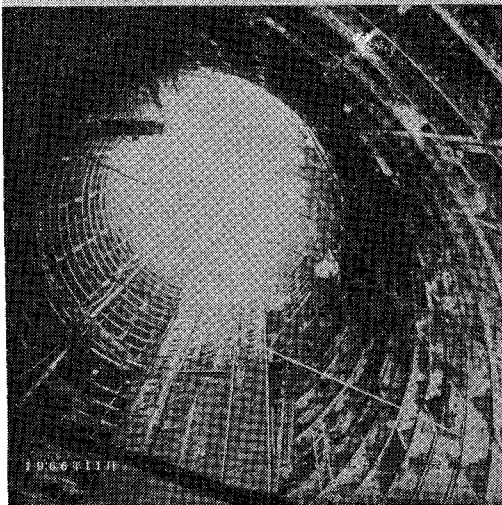
の HI-FIX の受信装置と、音響測深器とを同時に設置した測量船の建造を始めており、水位の補正をも含めて測位、測深の自動化を計画している。

5. おわりに

瀬戸内海という静穏な内海でまた数多くの島に恵まれた好条件の場所においても、このように測量の面で悩まされている。これに比べて島影さえなく水深 100~200 m に達する本格的な外洋における海中工事を考えた場合施工面は当然のことながら、これに先立つ調査や、また施工にともなう測量について、さまざまな困難な問題に当面することであろう。これらに対しては、われわれが当面実施している沿岸部におけるさまざまな試みが、沖合へ歩み出す一つのステップとなりうるものであることを確信している。

トンネル工学シリーズ4

わが国シールド工法の実施例・第1集



トンネル工学シリーズ 4

わが国シールド工法の実施例・第1集

最近のシールド工事にはめざましい進歩があります。日本における最も古いシールド工事は大正 6 年 5 月から大正 13 年 4 月にかけて国鉄折渡トンネルにおいて行なわれました。それから約半世紀を経た今日まで日本では 158 件のシールド工事が実施されております。

本書では、この 158 件の工事例を、まず項目別に第 I 部から第 VI 部までをそれぞれ「工事概要」、「設計および実績」、「セグメント」、「シールドおよび附属機械」、「工事用機械その他」、「主要な図表類」とわけて分類し、つづいてこれらを企業別に「鉄道および道路 (計 19 件)」、「下水道 (計 53 件)」、「上水道 (計 49 件)」、「電力および通信 (計 30 件)」、「地下道その他 (計 7 件)」に分け、これらを施工年次の古いものから配列し、巻末に付図として各データの相関関係がわかるように適宜プロットしたグラフを掲載してありますので非常に便利なデータベースであるとともに、シールド工事の歴史が一目で歴然とわかります。ぜひご覧の上活用下さるようおすすめします。

体 裁 : B 5 判 338 ページ・表 117・図 218
定 価 : 2 200 円 (〒 100 円)
会員特価 : 1 800 円 (")