

自揚式水上作業台 “MSEP-1 せと”

矢 村 家 利*

1. ま え が き

現在、北九州の洞海湾において、湾口部に近い海底を横断する沈埋トンネル工事が行なわれている。全長 1400 m 余、沈埋函 18 基を海底に沈設する本トンネルは、沈埋トンネルとしてわが国最長のものであるが、これの施工上最大の特長は、トンネル基層として碎石を海底に敷きならすスクリード作業と、沈埋函を沈設する作業とを 1 台の自揚式作業台を使用して、施工していることである。長さ 80 m の沈埋函 1 基につき自揚式作業台を 3 回移動し、スクリード作業 2 回、沈設作業 1 回を 2 週間の短期間で施工しうる成果が得られており、本工事は沈埋

トンネル工事に新しい施工法を開発したのとして世界に誇りうるものである。図-1 に施工地点の概要を、図-2 に沈埋トンネル縦断面図を、図-3 に沈埋トンネル沈設標準断面図を、写真-1 に沈埋函沈設作業中の自揚式作業台を示す。

本自揚式作業台は三井造船（株）が独自の技術で開発したもので、その上に 2 台のトラベラー・クレーンと 1 台の門型クレーンが搭載され、クレーンの走行しうる範囲の直下に作業台は広大な開口部があげられ、その下の広い面積の水底の土木工事が行なえる構造になっている。これまでの自揚式作業台は、海底油田試掘用リグや海上杭打作業台などに使用され、点または線上の作業、あるいは若干それを拡大した範囲の作業までを行なうものであって、スパンの広い走行クレーンを搭載して、広い面

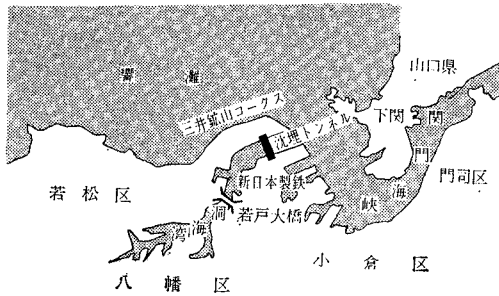


図-1 沈埋トンネル施工地点図

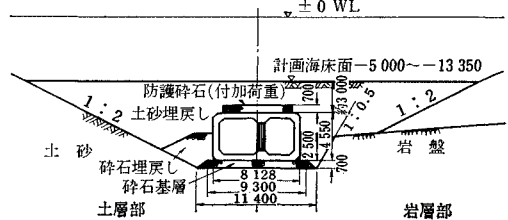


図-3 沈埋トンネル標準断面図

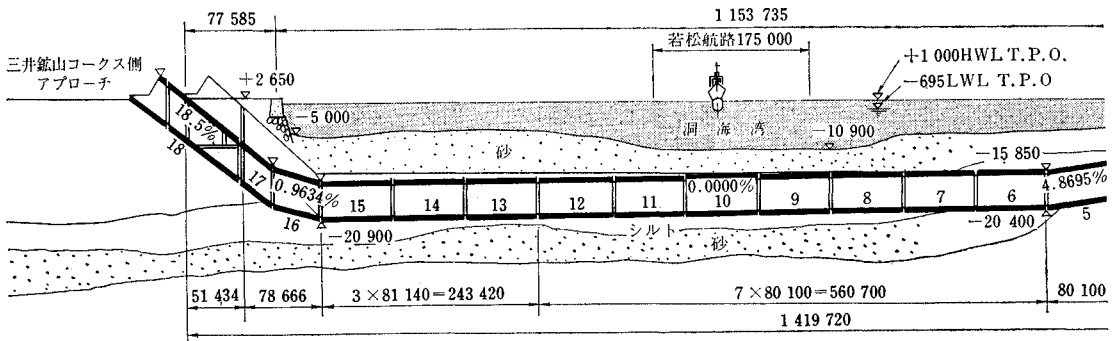


図-2 洞海湾横断沈埋トンネル縦断面図

* 正会員 三井造船（株）鉄構運搬機事業部長補佐

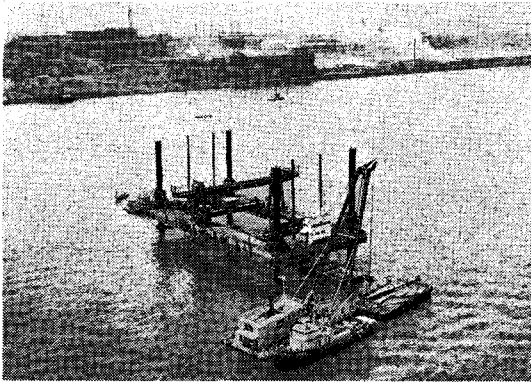
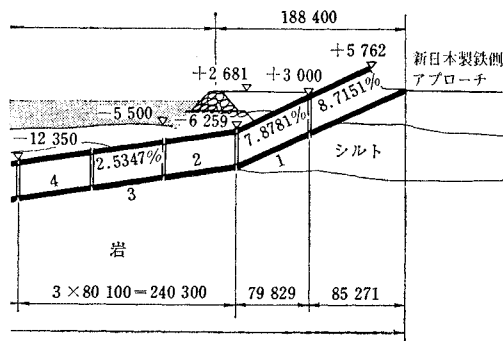


写真-1 沈埋函引込み作業中の自揚式作業台

積の水底の作業が行なえるようになった自揚式作業台は初めての試みで、ひとつのエポックを画したものと見える。

本作業台は昭和 46 年 1 月、三井造船 (株) 玉野造船所で完成され、MSEP-1 “せと” と命名されて一般に公開され、引続き北九州へ向けて曳航され、沈埋トンネル工事についたものである。“せと” は土木工事用としては世界最大級の自揚式作業台で、長さ 60 m、幅 30 m、深さ 3 m、中央開口部は長さ 50 m、幅 20 m、作業台を 4 隅で貫通する直径 1.8 m、高さ 50 m の 4 本の支柱を有し、支柱と作業台はおのおの推力 400 t の三井テーパリング把握式揚重装置で連結されている。揚重装置により作業台を昇降し、水面を切った高い位置に保持し、作業台が浮揚している状態で支柱を引抜き、昇降し、任意の高さに保持し、また保持された支柱を急速開放して自重落下させることができる。本揚重装置は、三井造船 (株) が 4 年前から開発に着手したもので、大荷重をくさびにより把握力に変えるテーパリング把握機構と油圧筒を組合わせた独自の揚重装置である。

洞海湾横断沈埋トンネルは、若松側響灘工業地帯として造成された埋立地に建設されている三井鉱山コークス



工業 (株) コークスヤードと、戸畑側新日本製鉄 (株) 戸畑製鉄所を結び、主としてコークス・粉鉄ペレット・コークス炉ガスを輸送する産業トンネルである。これが建設計画にあたり、洞海湾は船舶の航行がふくそうし、従来の浮揚式作業船では繫留索が広い範囲の航路障害となること、沈埋トンネルはベルトコンベヤ用で高度の据付け精度を必要とすること、トンネル建設の工期短縮が強く要求されたことなどにより、自揚式作業台の採用が決ったものである。第 9 号函沈設時点で、トンネル工事はほぼ予定どおりの日程で進捗しているが、従来の浮揚式作業船では期待し得ない、高い稼働率と精度で施工していることが確認されている。

2. テーパーリング把握式揚重装置

“せと”の揚重装置を写真-2に示し、この組立図を図-4,5,6に示す。

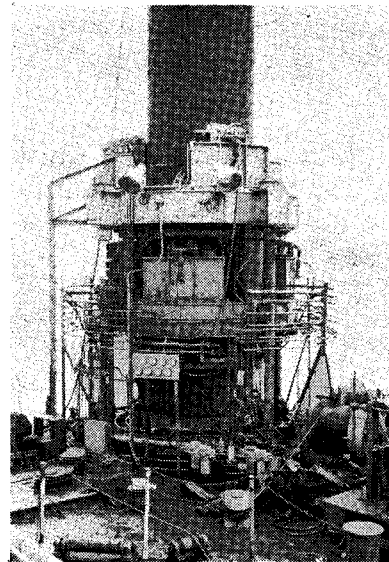


写真-2 400 t 揚重装置

支柱は鋼板を円筒状にプレスして溶接した、全溶接水密構造の厚肉鋼管で、下端から 0.5 m の高さにふさぎ板を溶接し、ブラケットで補強している。上端もふさぎ板を溶接し、吊環を取付けている。外径 1.8 m・高さ 50 m、外面溶接ビードは削って外径に等しくしている。

揚重装置のうち、作業台のせり上げ・せり下げを行なうものは 図-4 右側および 図-5 に示す上下段リングおよび油圧筒で、上下段リングはいずれも円錐形のテーパ面を介して外環・内環により構成される把握装置である。内環は外面が円錐面、内面が円筒面の多数のくさびと、くさびを保持する保持枠で構成されている。外環は鋼板製の環状箱桁で、内側円錐面は正確に切削加工され、グリスなどの潤滑材が塗布される。上段外環より

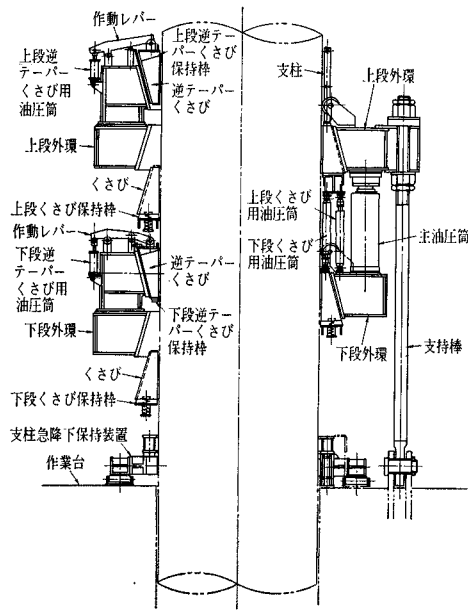


図-4 揚重装置側断面図

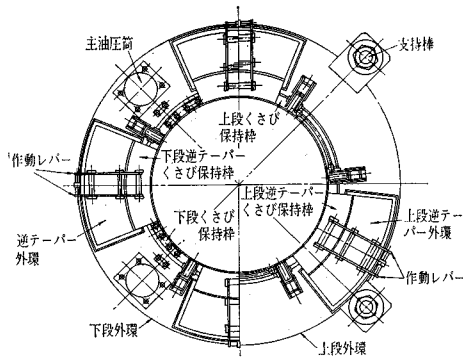


図-5 揚重装置平面図

支持棒が吊下げられ、作業台を吊るようになっている。上段・下段の間に3種類の油圧筒が設けられて、上下のリングが接続される。主油圧筒は上下の外環を接続し、上段くさび用副油圧筒は上段くさび保持棒と下段外環を接続し、下段くさび用副油圧筒は、下段くさび保持棒と上段くさび保持棒を接続する。油圧筒はすべて復動式で、押・引とも作動するように油圧源切換弁に配管される。

支柱の引抜き・せり上げ・せり下げを行なうのは、図-4 左側および図-5 に示す上下段逆テーパリングおよび油圧筒で、主油圧筒は共用される。逆テーパリングは作業台昇降用リングの上に設けられ、下段は主油圧筒の位置で欠けた4個の部分リングとなり、上段は3個の部分リングであるが、外環・くさび保持棒・くさびは作業台昇降用テーパリングと同様の構造で、テーパ角度が逆となっているものである。くさび保持棒を作動

する副油圧筒は、ストロークの短いものが作動レバーを介して取付けられており、いずれも復動式で、上下段が押・引逆に働くように配管されている。

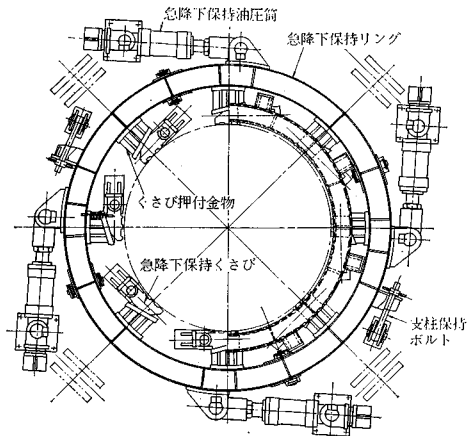


図-6 支柱急降下保持装置平面図

本揚重装置の支柱は外面が円筒面のままなら加工されていないので、作業台が浮揚している状態で支柱を自重落下させることが可能で、そのため図-4 甲板直上および図-6 に示す支柱急降下保持装置を備えている。これは、前述の揚重装置とは別の機構で、支柱を取巻く平面上で作動するくさびと、それを押す斜面を内側に有する円環とで構成され、円環を回転させる油圧筒とそれを長時間保持する保持ボルトを甲板上に備えている。

揚重装置の作動を 図-7, 8, 9 により説明する。

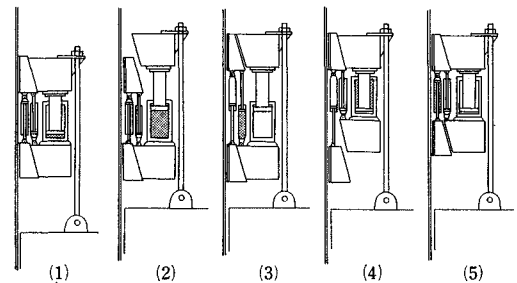


図-7 作業台上昇作動順序図

作業台上昇作動は、図-7 に示すように主油圧筒いっぱい引き、上段くさび用副油圧筒押し、下段くさび用副油圧筒引きの状態より開始し

- ① 主油圧筒→押→下段で把握→作業台上昇
- ② 上段くさび用副油圧筒→押→上段くさび上昇
- ③ 主油圧筒→引→途中で上下段とも把握し、上段で把握に移る→下段外環上昇
- ④ 下段くさび用副油圧筒→引→下段くさび上昇

の4行程のくり返しで作業台がせり上げられる。作業台がせり上げられた状態で長時間保持するのは、上段で把

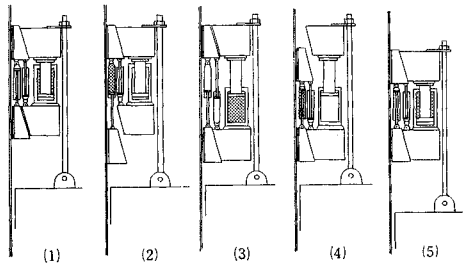


図-8 作業台下降作動順序図

握し各油圧筒をいっぱい引いた 図-7 (5) の状態である。

作業台下降作動は 図-8 に示すように上昇作動の逆で

- ① 下段くさび用副油圧筒→押→下段くさび下降
- ② 主油圧筒→押→下段外環下降
- ③ 下段くさび用副油圧筒→引→上段くさび下降
- ④ 主油圧筒→引→作業台下降

の4行程のくり返しで作業台がせり下げられる。主油圧筒の押し側の配管は作動油が急激に放出されて、作業台が急速に落下することのなように適当に絞られている。作業台が水面上に浮揚すると上下段とも把握が離れ、作業台と支柱は縁が切れた状態となる。

作業台が浮揚している状態で支柱を昇降する場合、支柱の引抜きおよび上昇作動は逆テーパーくさび用副油圧筒配管の空気抜弁を開放し、上下段とも逆テーパーくさびは自重で下がっている状態として、主油圧筒を作動する。

- ① 主油圧筒→引→下段で把握→支柱上昇
- ② 主油圧筒→押→上段で把握→支柱止ったまま下段外環下降

の2行程のくり返しで支柱はせり上げられ、任意の高さに保持することができる。

支柱の下降作動は逆テーパーくさび用副油圧筒配管の空気抜弁を閉め、上段で把握して主油圧筒を引き、いっぱいの少し手前で止めた状態から始動し、図-9 に示すように、

- ① 副油圧筒→下段挿入、上段引抜
- ② 主油圧筒→少し引き→くさび下段効き上段抜ける
- ③ 主油圧筒→押（押しっぱいの手前で止める）→

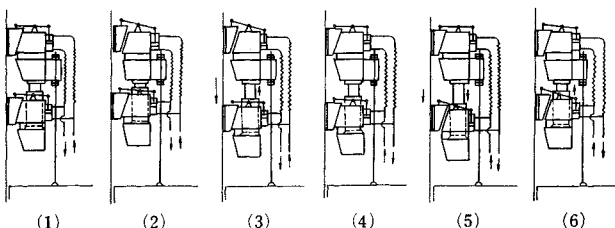


図-9 支柱下降作動順序図

支柱下降

- ④ 副油圧筒→下段引抜、上段挿入
- ⑤ 主油圧筒→少し押し→くさび上段効き下段抜ける
- ⑥ 主油圧筒→引（引きっぱいの手前で止める）
→下段外環上昇

の6行程のくり返しで支柱はせり下げられる。支柱下端が水底に到達すると上下段とも把握が離れる。

支柱急降下保持装置の作動は、本装置用油圧筒を押しして支柱を把握している状態で揚重装置上下段・正逆すべてのくさびを開放し、本装置用油圧筒を引くと把握が離れ、支柱が自重落下する。曳航時など支柱を長時間保持する場合は油圧筒をいっぱい押ししたまま保持ボルトを締めておき、油圧筒を中立に戻す。

3. 作業台および搭載クレーン

作業台は幅 5 m、深さ 3 m の鋼製箱桁を口の字型に接続し、4 隅に支柱が貫通する円筒形のウェルをあげた構造である。内部に水密隔壁を設けて、4 隅をバラストタンクとし、前中央部を機関室、後中央部を倉庫として側部は空所としている。前部甲板上に二層の甲板室を設け、下層に休憩室・便所・浴室を設け、上層に操作室を設けている。

機関室には空冷式ディーゼル機関が3基据付けられ、主機関は 175 PS 2 基で、いずれも油圧ポンプを駆動し、いずれかが故障の場合でも片側で半分の流量で油圧装置が駆動できる。また、おのおのに 135 kVA の発電機が直結され、主として搭載クレーンの動力を供給している。補助機関は 49 PS 1 基で、33 kVA の発電機が直結され、電灯・操作電源などに供用されている。

主油圧ポンプは主機関により駆動され、プランジャ式で油圧 210 kg/cm²、マロール弁により操作室より流量が遠隔制御される。この油圧源は揚重装置主油圧筒・繫留ウィンチに切換え使用される。副油圧ポンプも主機関により駆動されギヤポンプで油圧 100 kg/cm²、これは揚重装置副油圧筒 3 系統および支柱急降下保持用油圧筒に切換え使用される。油圧配管はすべて機関室の油圧ポンプから、いったん操作室内集中制御盤の切換弁に入り、それから末端の油圧装置へ配管され、休憩室横の作動油タンクに戻り油圧ポンプへ供給されるように配管されている。

繫留ウィンチは各支柱横に設けられ、油圧モーター駆動式複胴型で、片側は浮揚状態の作業台の位置決め用に、他の側は沈埋函引込用に使用される。搭載クレーンのうちトラベラー 2 台はいずれもスパン 21 m のレール上を走行し、走行速度は 1 m/min、A トラベラー上を 80 t 吊りトロリー 1 台が横行し、スクリッド作業時

はこの上に碎石ホッパーがならべられる。Bトラベラー上は 40 t 吊りトロリー 2 台が横行する。門型クレーンはスパン 27 m のレール上を走行し、走行速度は 5 m/min、5.4 t 吊りのトロリー 2 台がその上を横行し、グラブバケットを吊り下げて碎石をつかみ取り、ホッパーや沈埋函上に落とす作業を行なう。作業台の両側に張出し、全幅 42 m、作業台上面上揚程 7.5 m である。

スクリッド作業用として作業台開口部の前後端に水中桁支持支柱をおのの 2 本立て、別に作業台上に搭載された電動ウィンチでこの支柱を昇降する。水中で前後の支持支柱で支えられる撤去可能の水中桁を設け、水中桁上をスクリッド機が走行して碎石を敷きならすようになっている。スクリッド機走行装置は、油圧モーター駆動で、Aトラベラー上に設けられた油圧ポンプより水中のスクリッド機へ配管されている。スクリッド機と A トラベラー上のホッパーはトレミーパイプで連結され、ホッパーへ落とされた碎石はパイプ内を落下してスクリッド機へ供給される。写真-3 に結合作業中の水中桁と支持支柱を示す。

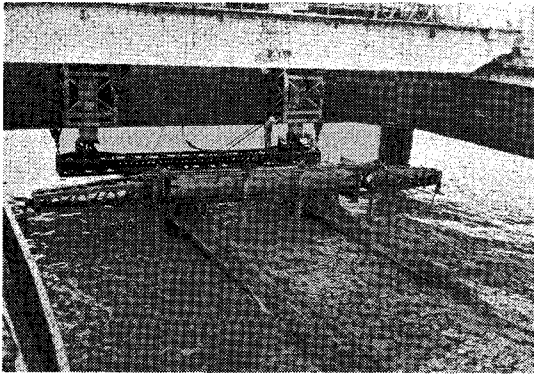


写真-3 結合作業中の水中桁と支持支柱

4. 制御装置

“せと”の油圧装置はすべて操作室集中制御盤内の切換弁を経て末端機器へ配管されており、集中制御盤で大部分の操作が集中制御される。油圧配管の切換弁は電磁弁で、スイッチにより切換えられるが、操作レバーによる切換えも可能にしてある。写真-4 に油圧装置集中制御盤を示す。

作業台の昇降操作は 4 行程のシーケンス切換スイッチを設け、スイッチを単純に 90° ずつ 4 回まわして、それをくり返すだけで操作ができるものを 4 本の支柱で同時に作動するものと、支柱 1 本ごとに作動するものとを併設している。一方、揚重装置の油圧筒などにリミットスイッチを設け、集中制御盤上の標示灯で作動の経過・終了を示すようにしている。

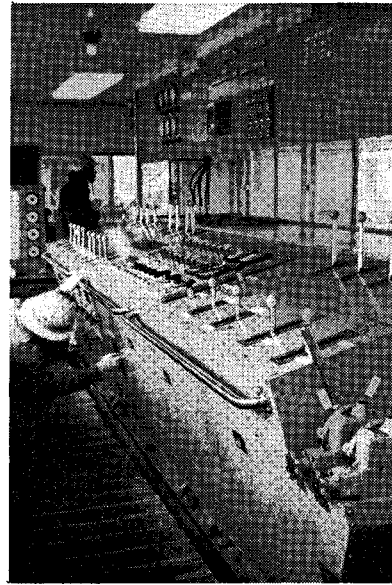


写真-4 油圧装置集中制御盤

支柱の昇降操作は支柱位置の機側に切換スイッチを設け、支柱高さを見ながら操作するようにしている。支柱急降下操作は集中制御盤に 4 本同時急降下を行なうスイッチと、支柱ごとに切換えて行なうスイッチを設けている。

繫留ウィンチは操作室で主回路を切換えた上機側制御を行なっている。トラベラーは操作室内に別に 写真-5 に示す集中制御盤を設け、沈埋函を沈下接合する操作を、遠隔制御している。スクリッド作業は、A トラベラー上で A トラベラーと水中スクリッド機とを操作している。門型クレーンは左右両脚上に操作盤を設け、左右別個に走行、トロリーの横行、グラブの巻上げ・巻下げ、開閉操作を行なっている。

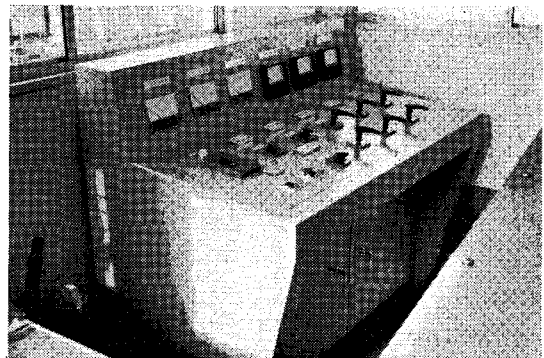


写真-5 トラベラー集中制御盤

作業台の傾斜を指示するため、作業台の 4 周に連通管をとおして不凍水を張り、4 隅に微差圧発信器を設けて水位で高さを検知し、集中制御盤上に 4 隅の高低差を示

す指示計を設けている。作業台昇降中の傾斜を修正するためには、連通管内の水の動きにタイムラグを生ずるため、別に作業台箱桁の各中央に傾斜計を設け、箱桁の傾斜が過大になると警報が鳴り、赤ランプが点灯して、どの支柱間の傾斜が過大になったかが示される。また、この傾斜計と揚重装置主油圧筒切換弁を結んで、過大傾斜を生じた場合、自動的にすべての揚重装置が停止するように制御している。

5. “せと” による沈埋函据付作業

“せと” は46年1月下旬2400HPと2000HPの曳船2隻により曳航され、瀬戸内海・関門海峡を経て北九州市洞海湾に到着した。現地ではスクリード作業用の支持支柱水中桁などを取付け、試運転したうえ2月中旬から本格的な作業に入った。写真-6は曳航中の“せと”である。

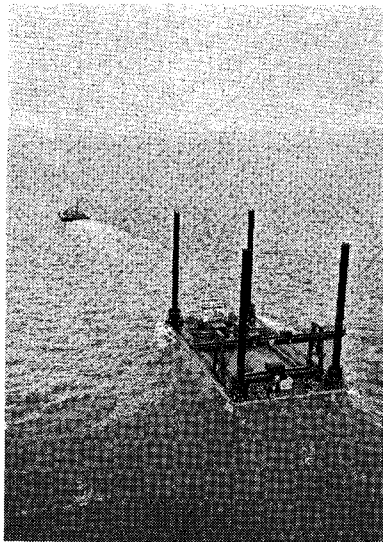


写真-6 瀬戸内海を曳航中の“せと”

トンネル沈設中心線に沿って海底はあらかじめしゅんせつされ、沈埋函を据付けるための溝が掘られる。しゅんせつ量は約55万 m^3 に達する見込みで、のり面勾配は岩盤部で1:0.5、土砂部で1:2.0の計画である。

トンネル沈設中心線上の海上所定位置に作業台を設置するには、曳船2隻を浮揚状態の作業台の両側に繋止し曳航するとともに、アンカー伝馬船でアンカーを4点降ろし、繋留ウィンチを操作して作業台を所定位置に移動する。位置測量は陸上より作業台の長手方向を見とらして作業台上に指示するとともに、一方、既設沈埋函の測量塔からの距離を作業台上で検尺しながらウィンチを操作する。正確な位置が定められると支柱を急降下し、潜水夫により支柱下端の状態を確認したうえで、作業台をジャッキアップする。作業台にはプレロード用に4隅の

バラスタタンク内に適量の海水を入れておく。揚重装置を作動し、全支柱同時にジャッキアップ操作を行なうと、支柱はまず海底地盤にめり込みながら支持力も次第に大きくなり、作業台は上昇するが、4本柱おのおのめり込み深さが異なるので作業台に傾斜を生ずる。これを修正するため途中各支柱単独のジャッキアップを併用して作業台をせり上げ、海面を切ってから全体の重量がかかる。作業台が所定の高さにジャッキアップされ、所定時間放置されたのち、水準差指示計の指針が一線にならぶようにレベル調整されると、バラスタタンクの弁を開放し、バラスタ水が放出され、長時間この状態で保持される。

スクリード作業を行なう場合は、ジャッキアップされた作業台の下に浮揚状態の水中桁を引込み、支持支柱と連結し、水中桁内の浮力タンクに注水し、水中桁を吊っているワイヤロープをウィンチをゆるめて降ろし、所定の海底深さ、所定の勾配にして止める。Aトラベラーをスクリード機の上に置き、トラベラー上トrolleyを横に移動し、トラベラーのクレーンガーダーの間よりトレミーパイプを吊下げてスクリード機上パイプと合わせ、その上にホッパーを合わせてならべる。スクリード作業は作業台の両側に碎石運搬船を繋留し、門型クレーンのグラブにより碎石をつかみ取ってホッパーに投入する。

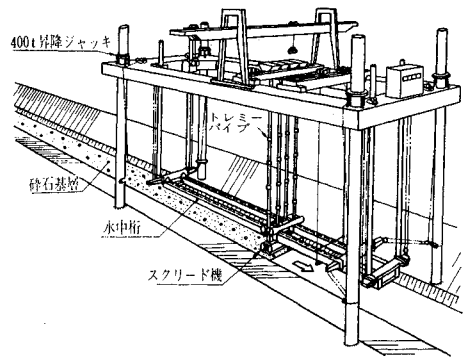


図-10 沈埋函基層スクリード作業説明図

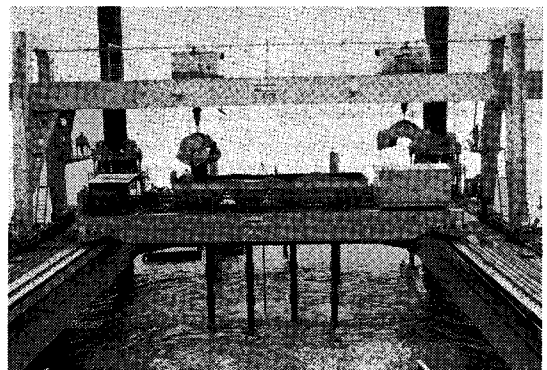


写真-7 スクリード作業

砕石はトレミーパイプを経てスクリード機に落下する。スクリード機は水中桁上をゆるやかに走行し、厚さ 0.7 m・幅 9.3 m の砕石基層を 37 m にわたって敷きならす。図-10、写真-7 にスクリード作業要領を示す。この作業が終ると作業台はジャッキダウンされて海面に浮揚し、支柱を海底より抜いて引上げ、トンネル中心線に沿って次の 37 m を敷きならすために移動し、スクリード作業がくり返される。本スクリード装置のうち、水中桁は三井建設(株)により開発されたもので、ホッパーを搭載したトラベラーが水平面上を走行しながら、海底で相当大きい角度の勾配をもった砕石基層をスクリードすることを可能としたものである。また、油圧モーター駆動で水中を走行し、砕石の平面基層を造成するスクリード機は鹿島建設(株)により開発されたものである。

沈埋函沈設作業を行なう場合、水中桁・ホッパー・トレミーパイプは一時撤去される。

沈埋函はドライドックで建造される巨大な鉄筋コンクリート構造物で、長さ 80 m・幅 8.218 m・高さ 4.55 m・重量約 3000 t、前後両端近くに仮の隔壁を設けてふさぎ、浮揚した状態でドックから引出し、曳航される。浮揚乾舷は 25 cm あまりである。図-11 に沈埋函の断面を示し、写真-8 にドック内で建造中の沈埋函を示す。

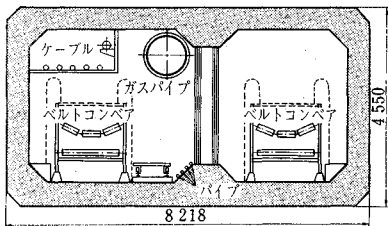


図-11 沈埋函断面図

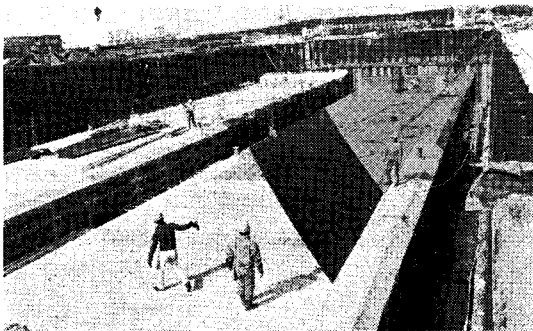


写真-8 ドライドックで建造中の沈埋函

作業台は、沈設地点の中央にジャッキアップされており、曳航されてきた沈埋函は写真-1に示すように作業台の下に引き込まれる。沈埋函はAトラベラーで1点、Bトラベラーで2点吊られ、函上の砕石ポケットに全浮力より約 120 t 重い沈設荷重用粒鉄滓を加えて沈下される。写真-9 に沈下前作業台上トラベラーに吊られてい

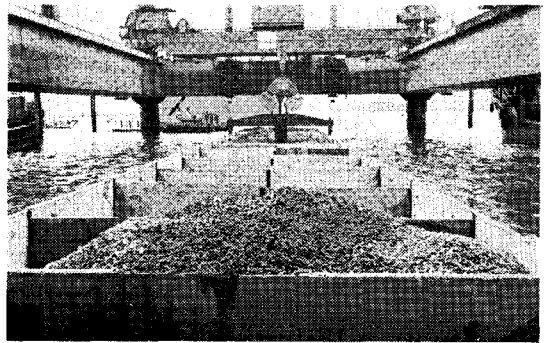


写真-9 沈下前の沈埋函

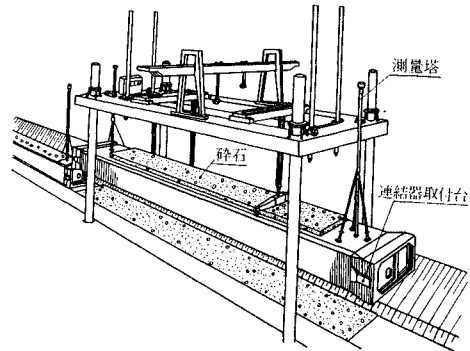


図-12 沈埋函沈設作業説明図

る沈埋函を示す。沈下された沈埋函はトラベラーを前後に、トラベラー上トローリーを左右に微動して必要な位置修正を行なったのち、函両端側面 2 か所の連結器で既設函へ引き寄せる。図-12 に沈埋函沈設作業要領を図示する。沈埋函の位置測量は函後端近くに測量塔を立て、陸上からトランシットにより中心線を見とおして台上に指示し、正確に合わせている。

6. む す び

昭和 46 年 8 月 5 日、九州を縦断して各地に相当の被害を残した第 19 号台風は洞海湾のすぐ近くを通ったのであるが、“せと”はジャッキアップされた状態でこの台風を迎え、台上の風速計で 43 m/sec を記録した。相当長時間動揺し、プレロードされた支柱のうち 1 本がさらに少し沈下したが、損傷は皆無であった。波浪をジャッキアップして避けようとする水上自揚式作業台の機能は十分確かめられたものといえよう。

洞海湾で作業中の作業台上に立会っていて、ときに奇異に感じられることは、作業台上およびその周囲に労務者の姿を見かけないことである。作業を行なっている者は、すべて操作員・計測員・検査員・管理監督員で、少数の要員で手順よく作業が進捗しており、大規模な土木工事がきわめて容易に遂行されているように見える。筆

者らが意図した海上の大型建設機械としての“せと”は十分に期待を満たす成果をあげてきているものと思われる。

現在、大都市臨海地域で計画されている多数の沈埋トンネル施工地点で、今回開発された施工法は大幅の工期短縮と施工費の削減をもたらすものと予想される。沈埋トンネルに限らず、本形式自揚式作業台は水底の広い面積の施工に適するものとして、多方面の用途が考えられる。海底の正確な位置の多点地質調査ボーリング、大口径掘削機械による広範囲の海底地盤の平面掘削、多点同

時発破による海底岩盤のしゅんせつなど、大規模な海底土木工事に、好適な移動式水上作業台になりうるものと思われる。近い将来実施が予想される本州四国連絡架橋工事などの施工地点に本形式作業台が経済的で安全な大型建設機械として多数使用されることを期待したい。なお、“せと”上に搭載されたトラベラー・門型クレーン・スクリッド装置およびその駆動・制御装置は、トンネル工事施工を担当されている三井建設・鹿島建設共同企業体により設計・製作されたものであることを付記する。

(1971.9.9・受付)

土木学会第 26 回年次学術講演会講演集残部頒布中

部 門	部 門 別 内 容	題数・ページ数		頒 価
第 1 部	応力・構力・構造・橋梁など	230 題	720 p.	1 600 円 (〒 200 円)
第 2 部	水理・水文・河川・港湾・海岸・発電・衛生など	230 題	686 p.	1 500 円 (〒 200 円)
第 3 部	土質・基礎・岩盤など	145 題	488 p.	1 000 円 (〒 200 円)
第 4 部	道路・鉄道・交通・都市・国土・測量など	116 題	322 p.	700 円 (〒 200 円)
第 5 部	土木材料・土木施工・コンクリートなど	126 題	348 p.	800 円 (〒 200 円)

海 外 ニ ュ ー ス

英国における初期のコンクリート橋

英国における初期のコンクリート橋を紹介したものである。

英国における最初のコンクリート橋は、ローマ人が“Hadrian の壁”の一部として作った2つのコンクリート橋（いまでも壁の廃虚として残っている）を除けば John Fowler が 1867 年にロンドンのグローセスター道路とエール王宮の間のメトロポリタンダイレクト鉄道の跨線橋として建設したものである（写真）。この橋の仕様はスパン 22.5 m、アーチの矢（ライズ）2.25 m、クラウン部分の厚さ 1.05 m、幅員 3.6 m である。

コンクリートがアーチ橋に適していることは 1868 年 12 月に建設者 John Fowler により実験的に示され、この橋が 2 年後には 3.6 m から 12.6 m に拡張されたに

もかわらず、このコンクリートアーチは鉄道を現在のレベルにまで掘削したとき、すなわち、1873 年に取りこわされるまで健在であった。

2 番目の橋はデボンのシートン橋で Philip Brannan により建設され、1877 年 4 月に開通したもので、当初 30 m 1 スパンのアーチ橋として計画されたが、当局の反対により、9m+15m+9m の 3 スパンアーチに変更された。

Glenfinnan 高架橋は 1897 年に建設されたコンクリートアーチの鉄道橋で、この橋の特長は 1 スパン 15 m の 21 スパンの大きな橋であり、高い所は地上 30 m の所もあるということである。

これらの橋は一部に異論はあるが全部無筋コンクリート橋である。英国における鉄筋コンクリート橋の最初は Mouchel の橋であり、1901 年 Chewton Glen 橋、1903 年に Mouchel による Dundee 鉄道・道路併用橋

の建設が行なわれ、本格的な鉄筋コンクリート橋の時代に入っていった。

“Early Concrete Bridges in Britain”

Bosticco M.

Concrete, pp. 363~366, 1970. 9

(満木泰郎・訳)

電力中央研究所技術第二研究所)

