

プレキャストブロック工法による PC 沈埋トンネル

長 屋 洋 司*

1. ま え が き

増大する北九州市の都市ガス需要に対応して西部瓦斯(株)では、新工場を若松区響灘地区に建設することになった。

新工場で生成されたガスは、小倉工場までガス導管で輸送される計画で、その輸送ルートに洞海湾横断ルートが選定された(図-1)。横断部は保守、メンテナンスを考慮してトンネル内部にガス管を布設することになった。

洞海湾の横断工法には、① トンネル工法、② シールド工法、③ 沈埋トンネル工法を検討したが、地質、工期、経済性の面から沈埋工法に決定された。

本工法はプレキャストブロックを接合することによって沈埋エレメントを製作する施工法を行ったが、日本国

内はもとより世界でもあまり類例を見ない特徴ある施工法である。

本工法の工事内容については、本紙 Vol. 21, No. 6, Dec. 1979 で全体概要を報告しているのので、本報告では、主に沈埋エレメントのプレキャスト化に焦点をあてて報告したい。

2. 沈埋トンネル構造の選定

2.1 断面形状の選定

沈埋トンネル内空断面は、 $\phi 600 \times 2$ 本、 $\phi 300 \times 2$ 本のガスパイプが配置でき、保守およびメンテナンスが容易にできる面積が要望された。また、施工上曳航・仮置きを考慮して、沈埋エレメントは、浮力が本体重量より大きく浮上していなければならない。

保守およびメンテナンスより円形断面で内径が

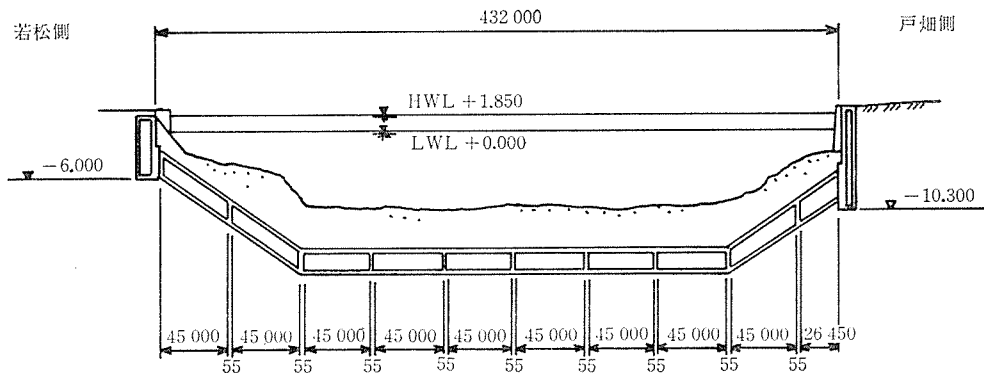


図-1 沈埋トンネル縦断面図



* Yoji NAGAYA

三井建設(株)土木本部土木技術部エネルギー開発課長

2 600 mm が必要になり、同程度のボックス型断面にすると 2 300 mm \times 2 300 mm 程度になる。

図-2 に示したように、沈埋トンネルは管底が最大で LWL-18 m 程度の位置にあり、かなりの水圧を受けることになる。

ボックス断面では、高強度のコンクリートを使用してコンクリート断面を薄くするか、または補助のフローターを使用しないと、沈埋エレメントは自重が浮力を上まわり、施工上問題があった。また、大きな曲げ引張応力が働き、水密性を保つために防水処理のウエイトが大きくなってくる。

円形断面は水圧により、円周方向コンクリート応力が

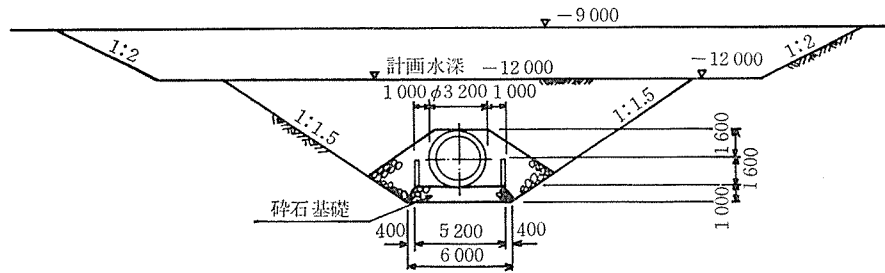


図-2 沈埋トンネル標準断面図

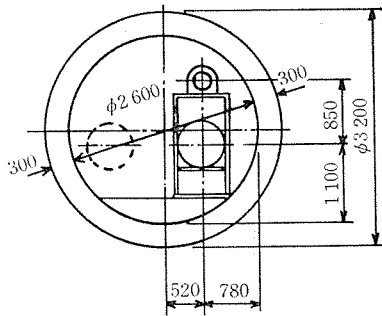


図-3 沈埋エレメント断面図

すべて圧縮応力になり、水密性も良く、また断面厚さも薄くできた。浮力対策にも問題はなかったが、施工性の難易が問題になった。

結果的には後述する、沈埋エレメントをプレキャスト化することによって施工上の問題点も解決することができ、沈埋断面は図-3に示す、円形断面に決定された。

2.2 構造部材の決定

沈埋エレメントの主要構造部材として、

- ① 断面方向：RC 構造，軸方向：PC 構造
- ② 断面方向，軸方向：PC 構造
- ③ 合成鋼管構造

の比較検討を行った。

断面方向は円形断面であることから、施工時の一時を除き、支配応力は圧縮応力であり、コンクリート打設時

の品質管理に注意すれば、水密性は RC 構造でも充分確保される。

軸方向は RC 構造にすると、乾燥収縮によるクラックなどが発生しやすく、外面に止水鉄板を施すか、または防水工を入念に施す必要がある。

また、耐震設計上軸方向に大きな曲げ引張応力が作用することから、軸方向構造部材としては、PC 構造か、合成鋼管構造が最適と判断した。

両構造を詳細に比較検討の結果、合成鋼管構造では、

- ① ライニングされている鋼管の防食対策
- ② 工場製作となるので運搬の対策
- ③ 合成鋼管ブロックの接合方法

の点で、PC 構造の方が、経済性、施工性、耐久性に優れていると判断し、軸方向構造部材は、PC 構造を採用した。

2.3 プレキャストブロック工法の採用

断面形状が円形であることから、沈埋エレメント製作にあたり、いかに水密性のある品質のコンクリートを打設することができるか、施工面の解決を必要とした。

- ① 図-4で示すように、トンネル工事等で使用されているスライドセントル方式の型枠を応用して、沈埋エレメントコンクリートを横打ちして製作する方法。
- ② たて打ちで円筒形ブロックを製作して、軸方向に PC 鋼材で連結する。

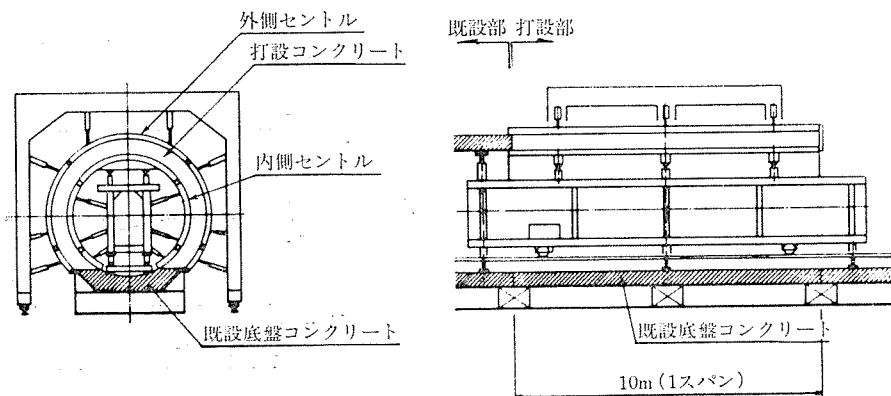


図-4 スライドセントル工法

報 告

この二方法について、海底トンネルとしての品質、施工性、工期経済性等について検討を加えた。

スライドセントル方式では、円環断面を2回に分けてコンクリート打設するため、コンクリート打継部の止水性や、沈埋管壁厚が薄いこともあって、型枠内全面にコンクリートがゆきわたるかどうか、またセントルは移動しながらコンクリート打設するため、その継手部の止水性等が懸念された。また、軸方向の乾燥収縮によるひび割れもプレストレスを導入する前には、当然考えられる。

一方プレキャストブロック工法は、縦打ちでコンクリートを打設するため、品質の良いコンクリート管ができる。また沈埋エレメントは、ブロックに分けて打設するため、乾燥収縮によるひび割れ防止には非常に適しているが、各ブロックを一体として、沈埋エレメントを形成したときのブロック間の目地の止水性が、大きな検討課題となった。

従来ブロック間の目地工法には、モルタルを介してブロックを一体化させるモルタル目地工法と、接着材を介して一体化させるゼロ目地接着工法が一般的に使用されている。

モルタル目地の場合、各ブロックを鉛直方向に積み上げている場合の水平目地には適しているが、今回のブロックは垂直目地になるため施工性が困難である。

ゼロ目地接着工法では、目地材に接着材を使用するため、タレ等の問題はないが、接着材が数ミリメートルと薄く塗布するため、ブロック端面の仕上げ精度が悪いと目地部からの漏水が当然考えられる。沈埋トンネルのような海中構造物では、ブロック接合精度がゼロ目地接着工法の適否を決める大きなファクターとなる。

ゼロ目地接着工法は、橋梁上部工でのブロック張出し工法等で使用されているが、ブロック端面接合精度を上げるために、既設ブロックの端面にコンクリートはく離材を塗布して型枠代わりとして、次のブロックのコンクリート打設を行い、端面の接合精度を上げる方法と、薄鉄板等でブロック割りを行い、地上部で上部工全長のコンクリート打設を行って、ブロックを建造し精度を上げる方法が行われている。

今回の沈埋用ブロックは、前述したような理由でコンクリート打設を縦打ちで行うため、既設ブロックを建造して端面精度を上げることも考えられる。

この工法は端面精度は十分に満足するものができるが、前のブロックが完成しない限り次のブロックが建造できないという欠点があるため、工期上採用するのは不可能になった。

そこでブロック端面を切削することで、精度を上げら

れないかという発想が生まれた。これが可能であれば、同時に数個のブロックが建造でき、ブロック工法を採用するうえで工期も著しく短縮できることがわかった。

石材を研摩するために切削機を使用しているのがヒントになったが、コンクリートブロックを切削して端面精度を上げるという、まったく新しい工法であるため、図

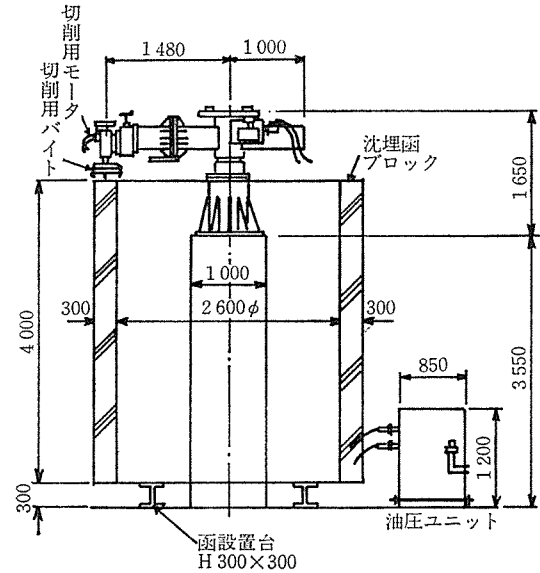


図-5 端面切削機

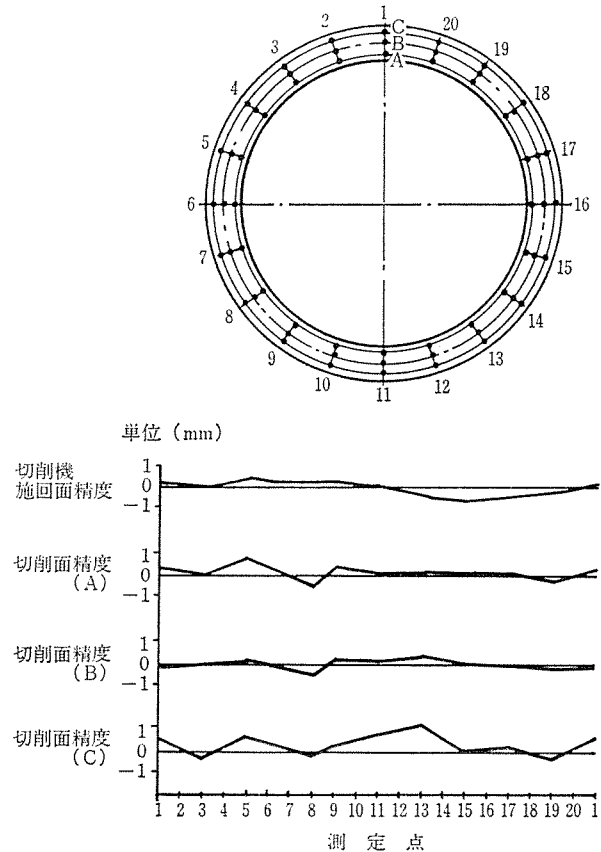


図-6 ブロック端面切削精度

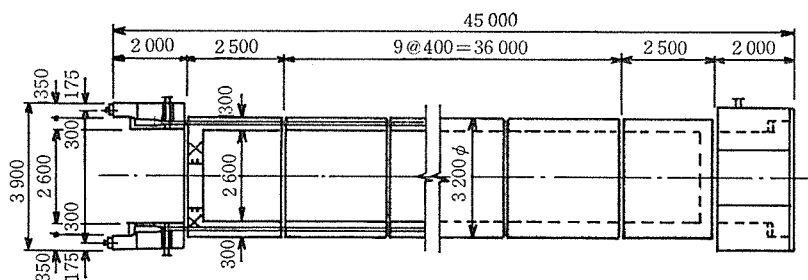


図-7 沈埋エレメント標準図

—5 に示す端面切削機を製作して、実験切削を行った。切削機は先端に切削機構をもつ片持梁型とし、片持梁はブロックセンターを軸に施回する構造とした。

実験測定項目として、

- ① 切削機の施回面における高低差の精度
- ② ブロック切削面精度
- ③ 切削面の荒さ

について行い、②、③については使用骨材、切削時のコンクリート材令を変化させて行った。

実験の結果、必要な条件さえ満たせば、切削表面の荒さは ± 0.5 mm、切削面のレベル精度は ± 1.0 mm 以内におさまることが実証できた(図-6)。コンクリート打設時のブロック切削面の高低差が 3 mm~9 mm 程度であることからかなりの精度で仕上がっている。

端面切削機のプレヤ切削機の据付け時の精度を良くすることによって、切削面のレベルは実際の施工では ± 0.2 mm 以内におさまっている。

以上の検討や実験に加えて、ブロック接着面のせん断強度、曲げ強度試験や、実物大ブロックを接合しての漏水試験を行い、良好な結果を得たので、スライドセントラル方式とゼロ目地接着によるプレキャストブロック工法について、総合的に検討を加えた。

品質、建造工期はプレキャストブロック工法が勝り、

経済性についても遜色がないとの判断で、プレキャストブロック工法を採用した。

沈埋エレメント長は、沈設に使用する自揚式作業台(SEP)の大きさの関係から 45 m 以内として、プレキャストブロック長は、製作ヤードでのブロック移動やブロックの品質等を考慮して、最大 4 m とした。図-7 に標準的な沈埋エレメントのブロック割付けを示した。

3. 沈埋エレメントの製作

3.1 製作ヤード

沈埋エレメントは一般に仮設ドックで製作されることが多いが、本工事の場合、近くで適当な仮設ドック用地が確保できないことや、沈埋エレメントの自重が最大 400 t と比較的軽量であったので、三井鉱山(株)響灘工場の一部を借用し製作ヤードとした(図-8、写真-1)。進水は 700 t 吊りフロートクレーンで吊り下ろし進水とした。

製作ヤード主要設備は、鉄筋組立て器 1 基、ブロック製作架台 2 基、ブロック端面切削機 1 基、ブロック転傾台 1 基、接合および緊張台 2 基、30 t 吊りガントリークレーン 1 基、サブクレーン 3 t 吊り 1 基、2 t 吊り 1 基である。

3.2 製作手順

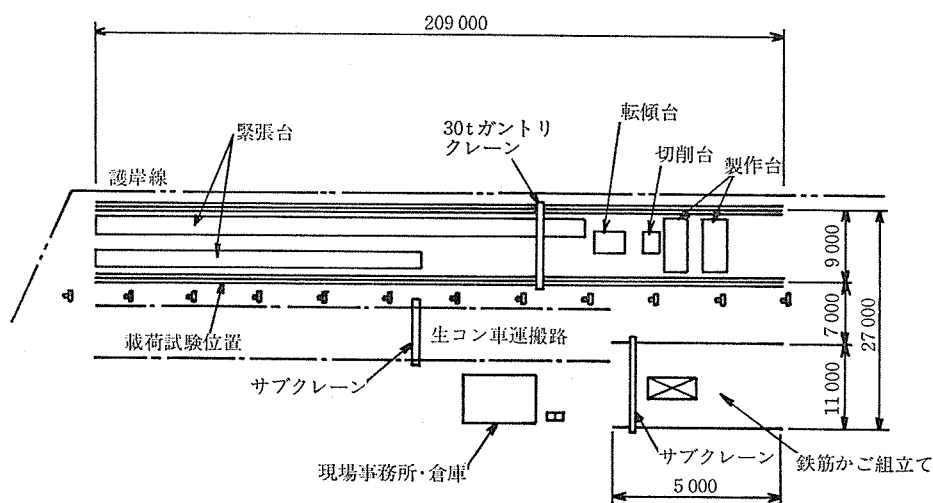


図-8 製作ヤード

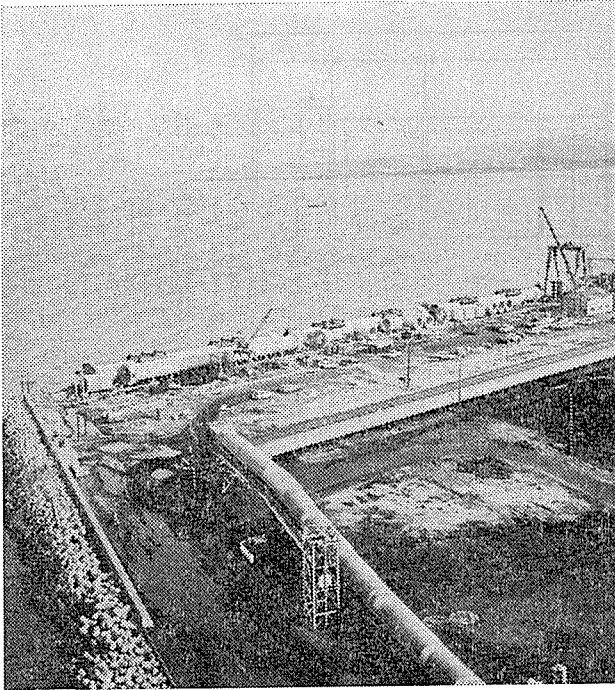


写真-1 製作ヤード全景

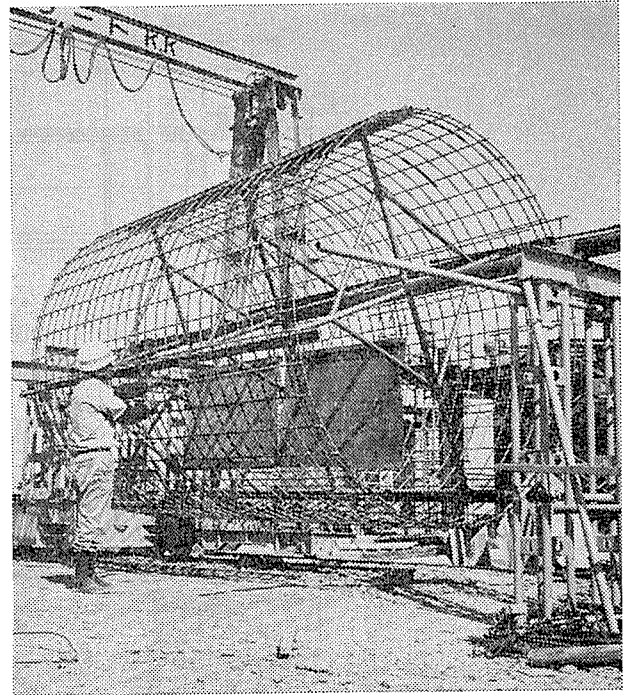


写真-2 鉄筋組立て機

製作手順は 図-9 のとおりであるが、まず鉄筋組立て器(写真-2)で、鉄筋かごを製作し、クレーンで型枠の中へセットした。

鉄筋かご組立ては、2日で3個作る作業ペースで考えた。その後シースを固定しコンクリート打設を行う。

コンクリートは早強セメントを使用し、 $\sigma_{ck}=400 \text{ kg/cm}^2$ 、スランプ 11 cm、最大粗骨材寸法 20 mm で配合した。

コンクリート打設約 15 時間後、強度 $\sigma=180 \text{ kg/cm}^2$ 程度で脱型を行い、30 t 吊りガントリークレーンにて端面切削位置まで移動した。

標準ブロック製作サイクルタイムは 図-10 のとおりである。切削機では、切削精度を上げるためにはバイトを 1~2 周する必要があり、旋回速度 0.63 回転/時であることから、1.5~3 時間必要となった(写真-3)。

端面切削が終了したプレキャストブロックは、30 t 吊りガントリークレーンで転傾台に運ばれ横転させ(写真-4, 5)、30 t ガントリークレーンで緊張台まで運ばれる。

緊張台で、13 個のプレキャストブロックを接合して、1 個の沈埋エレメントを製作するためには、PC 鋼線挿入用のシーソ孔を一致させる必要がある。

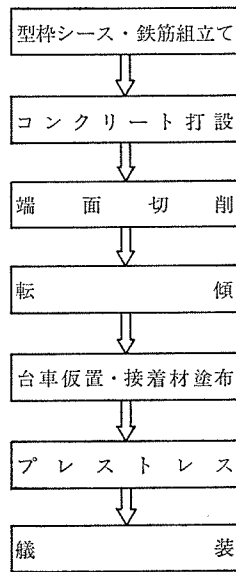


図-9 製作手順

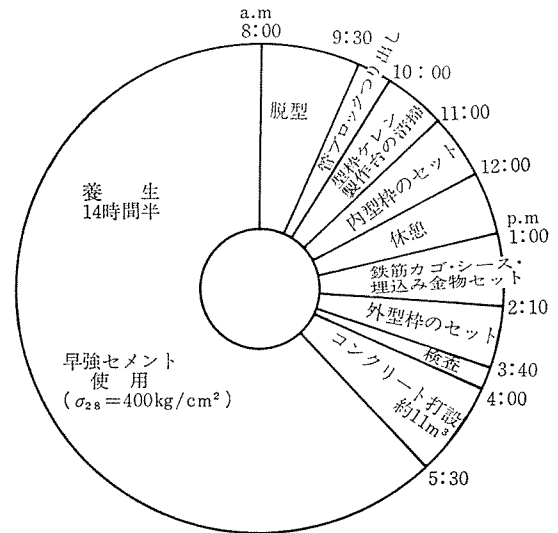


図-10 標準ブロック製作サイクル

調整には、① ブロックの回転方向の調整、② ブロックの高さ調整、③ ブロックの軸方向調整が考えられる。

① については、図-11で示すように、ガントリークレーンでの吊り下ろし時に、吊り用ワイヤーにセットしたチェーンブロックを伸縮させることで調整した。

② は、図-12 に示す

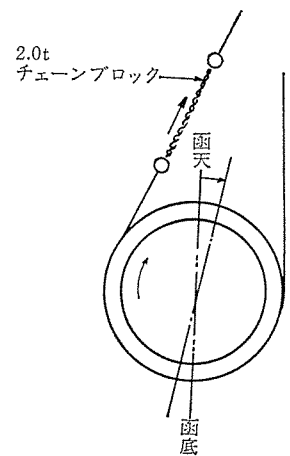


図-11 回転方向調整

プレストレストコンクリート

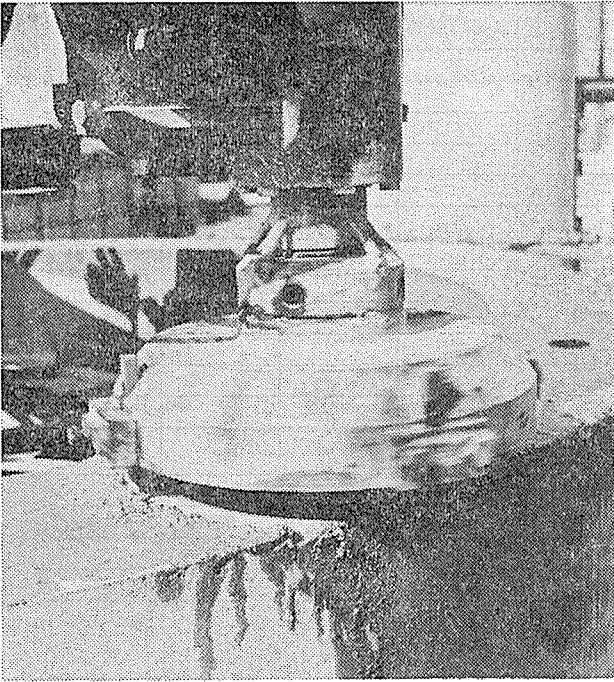


写真-3 ブロック端面切削

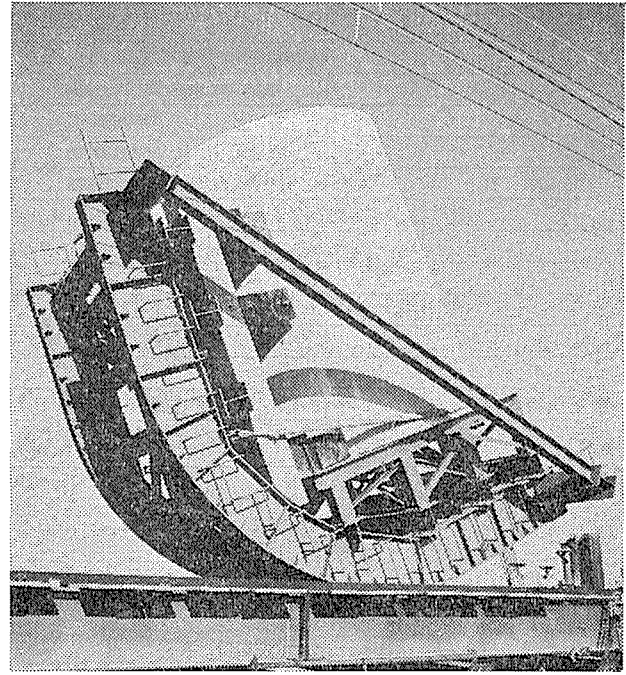


写真-5 ブロック転傾台

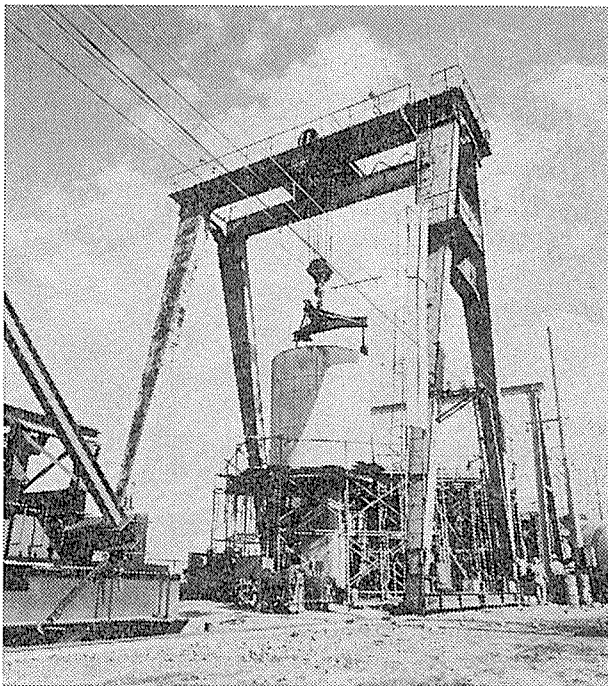


写真-4 ブロック運搬

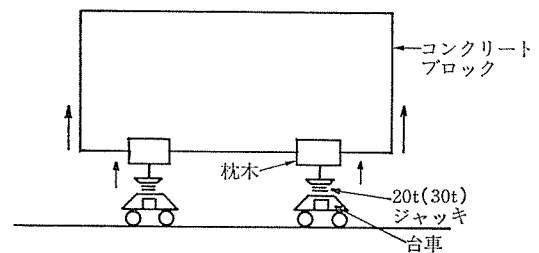


図-12 高さ調整

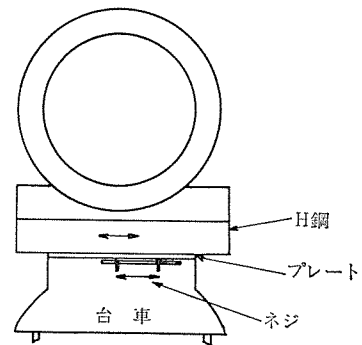


図-13 横方向調整

ように、台車上のジャッキを上下させることで調整し、③は、台車とH形鋼のプレートを図-13のようにネジを締め付けることによって、スライドさせて調整した。

各プレキャストブロックの接合は、13個のブロックの中央ブロックを固定ブロックとして両端面に接着材を塗布後、両サイドのブロックを固定ブロック側にレバーブロックで引き寄せた(図-14、写真-6)。順次同じ作業を繰り返して、両サイド各々6個のブロックと固定ブロックを一体化させ、5 kg/cm²の面圧が作用するよう

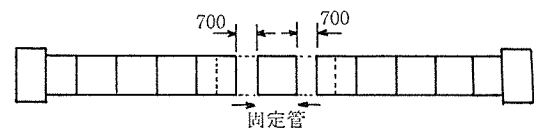


図-14 ブロック接合手順

に4本のPC鋼線でプレストレスを与えた。そのまま3日間程度養生後、所定のプレストレスを得るよう本緊張を行った(写真-7)。

工種	所要日数																																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
① ブロック製作	■																																							
② 端面切削	■																																							
③ 転傾						■																																		
④ 緊張台車載せ						■																																		
⑤ 調整仮接合						■																																		
⑥ P C 鋼線挿入											■																													
⑦ 接着剤塗布接合											■																													
⑧ 養生											■																													
⑨ 本緊張																■																								
⑩ グラウト																■																								
⑪ 仮受台コンクリート打ち											■																													
⑫ 台車取り除き																■																								
⑬ エレメント端部コンクリート打ち																					■																			
⑭ 付属品艀装																										■														
⑮ 目地部漏水試験																										■														
⑯ 防水工	■																									■														
⑰ 進水																										■														

図-15 沈埋エレメント製作工程表

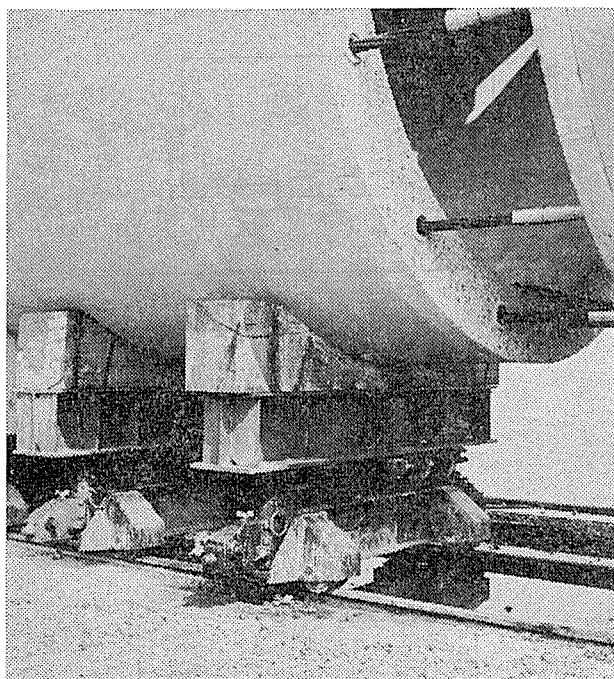


写真-6 ブロック引寄せ

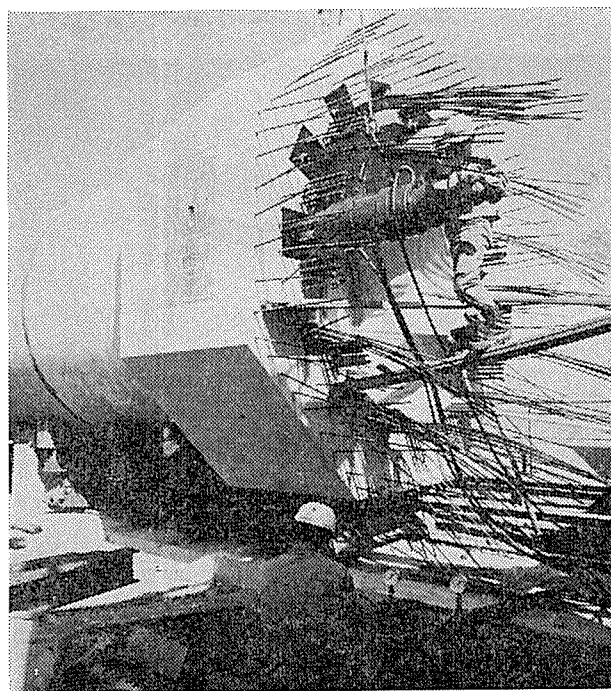


写真-7 沈埋エレメント プレストレス作業

有効プレストレスは、沈埋エレメント1~2号函で $\sigma_{ce} = 21 \text{ kg/cm}^2$, 3~10号函が $\sigma_{ce} = 37 \text{ kg/cm}^2$ 入るように、MDC 工法 12-7 $\phi \times 14$ 本、または SEEE 工法 C-130 型 $\times 14$ 本を使用した。

沈埋エレメント1函の製作から進水までの工程は図-15に示す。全沈埋エレメント10函は約6か月の工程を要した。

接合を終了した沈埋エレメントは、海底での沈埋エレメント圧接用のゴムガasket、ジャッキ、バルクヘッド等の艀装を行ったのち 700t 吊りフローティングクレーンにて進水を行った(写真-8, 9)。

ンにて進水を行った(写真-8, 9)。

3.3 製作出来型

沈埋エレメント製作後、エレメントの長軸方向とプレキャストブロックの接合面の出来型を測定した。

長軸方向では、鉛直方向に最大 20 mm, 水平方向に最大 25 mm のズレが生じた。

接合面精度は、前述のように $\pm 0.20 \text{ mm}$ 以内に納まり、非常に良好であった。

4. あとがき

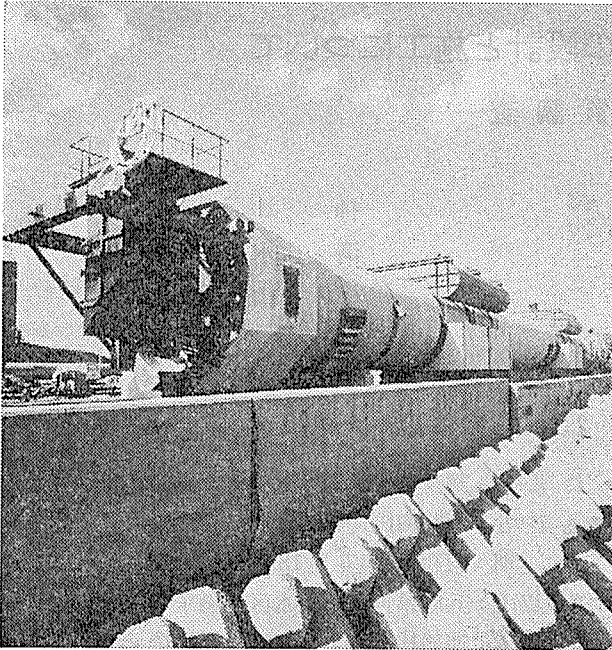


写真-8 艀装後の沈埋エレメント

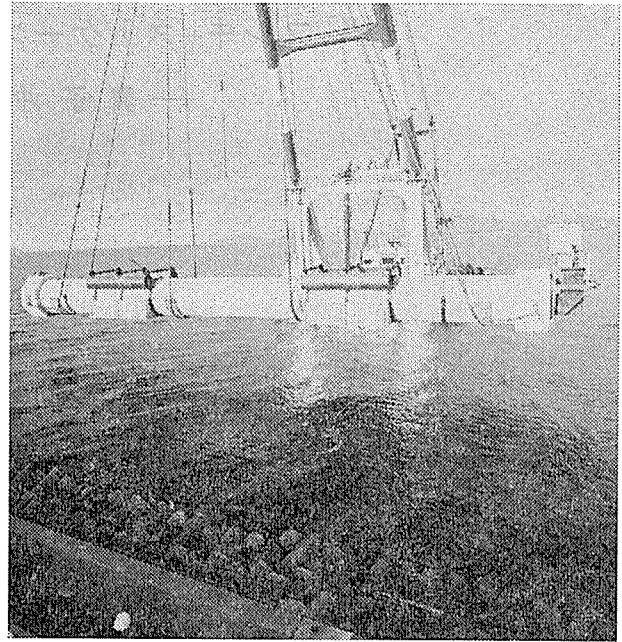


写真-9 沈埋エレメント進水作業

本沈埋トンネルは完成後およそ7年経過しているが、
 函内はプレキャストブロックや沈埋エレメント間の漏水
 もなく良好な状態を保っており、ゼロ目地接着における

PC プレキャストブロック工法での沈埋トンネルは、十
 分その機能をはたしていると判断できる。今後の海洋構
 造物に応用範囲が広がることを期待してやまない。

◀刊行物案内▶

PC 定 着 工 法

(1982 年改訂版)

本書は、現在我が国において多く用いられている PC 定着工法 19 種についてとりあげ、それぞ
 れの工法の概要、構造、施工法、特長、注意事項などを解説したものであります。

設計者、施工者の利用とともに教育用テキストなどにも広く使用できることと思います。

また付録として PC 鋼材一覧表 (改訂版) 等を添付してあります。

ご希望の方は代金を添え (現金書留かまたは 郵便振替東京 7-62774) プレストレストコンクリ
 ート技術協会宛 (電 03-261-9151) お申し込みください。

体 裁 : B 5 判 94 頁

定 価 : 2,800 円 (会員特価 2,500 円)

送 料 : 350 円