

超大型ドックの被圧水処理の一例

—日立造船有明工場の場合—

木原芳彦*

1. ま え が き

戦後、海運造船界は貨物輸送量の急激な増加に伴い、船腹量の増加のみならず、輸送コスト低減のため、船舶の大型化が急ピッチに進んだ。とくにタンカーにおいては、昭和30年代初期にスーパータンカーと称した4万DWT級の建造を皮切りとし、十数年の間に急に大型化し、マンモスタンカー、VLCC(Very Large Crude Oil Carrier)時代を経てULCC(Ultra Large Crude Oil Carrier)の時代となり、わが国大手造船業界ではULCC時代にそなえて、超大型船建造ドックの建設があいついで行われている。この間にわが国は世界の造船シェアの大半を占める造船王国となり、世界一の座を堅持している。

これは、技術革新、とくに溶接技術の開発、合理化や生産のシステム化など、生産性向上への努力に負うとこ

ろがきわめて大きい。一方、巨額の設備投資を必要とする大型ドックの建設において、従来の構造(重力式、ケーソン構造等)に比べて、きわめて経済的な「揚水圧遮断減圧型ドック構造」²⁾の開発や、わが国土木施工技術の発達による施工期間の短縮は、設備投資の軽減の効率化において、造船界に大いに貢献しているといえると思う。

船舶の大型化に伴い、造船は船台からドック内建造へ移行し、超大型船は、ほとんどドック内建造となっている。

しかも、渠内建造足場、塗装の機械化合理化のため、船体と渠壁との間に広い空間を必要とするようになり、ドック幅は従来にまして幅広のものが要求される傾向にある。このため、揚水圧遮断型ドックでは、地下水の遮断減圧が最も重要な課題となってきた。

当社は有明海に面した熊本県北部に造成された152万m²の埋立地に、超大型船を連続建造できるTwo Dock

表一 世界の海上荷動量、船腹量、造船の推移とわが国造船界の位置¹⁾

年次	世界海上荷動量(百万t)	世界船腹量(100G/T以上)		造船受注量			進水実績			5万G/T以上進水実績		
		隻数	トン数(1000G/T)	世界合計(1000G/T)	日本(1000G/T)	日本のシェア(%)	世界合計*(1000G/T)	日本(1000G/T)	日本の**シェア(%)	世界合計数	日本隻数	日本の**シェア(%)
1955	830			11 539	2 870	24.9				0	0	0
56	910			17 718	3 499	19.7	6 674	1 746	26.2	1		
57	960	33 804	110 246	13 365	2 321	17.4	8 501	2 433	28.6	3		
58	940	35 202	118 034	18 590	940	5.1	9 270	2 667	28.8	5		
59	996	36 221	124 935	3 715	1 077	29.0	8 746	1 723	19.7	2	1	50
1960	1 110	36 311	129 770	4 044	958	23.7	8 356	1 732	20.7	9	2	22
61	1 180	37 792	135 916	8 738	3 002	34.4	7 940	1 799	22.7	6		
62	1 280	38 661	139 980	5 820	2 012	34.6	8 375	2 183	26.1	10	5	50
63	1 380	39 571	145 863	11 624	4 557	39.2	8 539	2 367	27.8	26	11	42
64	1 550	40 859	153 000	12 673	6 134	48.4	10 264	4 085	39.9	44	29	66
65	1 674	41 865	160 392	14 731	7 295	49.5	12 216	5 363	43.9	19	12	63
66	1 806	43 014	171 130	17 435	11 107	63.8	14 307	6 685	46.7	40	22	55
67	1 910	44 375	182 100	21 845	9 214	42.1	15 780	7 497	47.5	59	34	58
68	2 107	47 444	194 152	25 405	9 270	36.5	16 907	8 583	50.8	82	50	61
69	2 312	50 276	211 611	29 514	12 044	40.8	19 315	9 303	48.2	102	55	54
1970	2 608	52 444	227 490	38 992	18 322	47.0	21 690	10 476	48.3	128	73	57
71	2 707	55 041	247 203	29 544	15 828	53.6	24 860	11 992	48.2	154	84	54
72		57 391	268 340	29 588	18 190	61.5	26 714	12 866	48.2	163	87	53

注：①*印、中国、ソ連を除く。②**印、1964年までは4万G/T以上を含む。

* 正会員 日立造船(株)有明工場建設本部

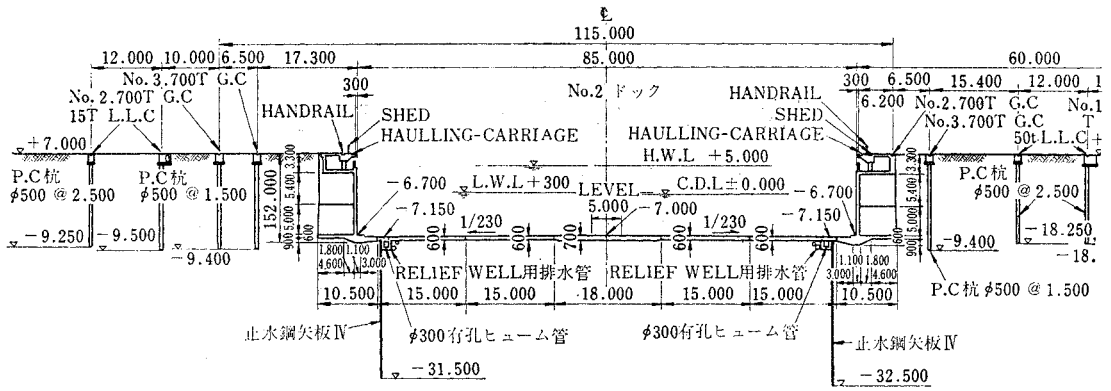
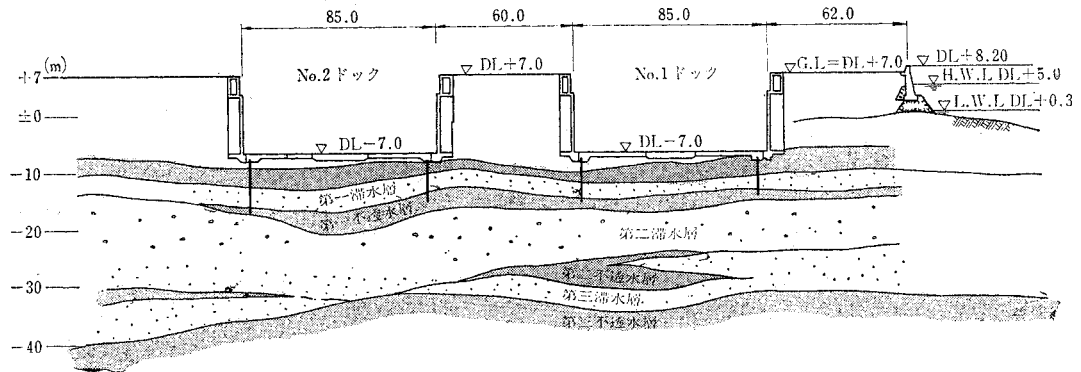


図-1 ドック

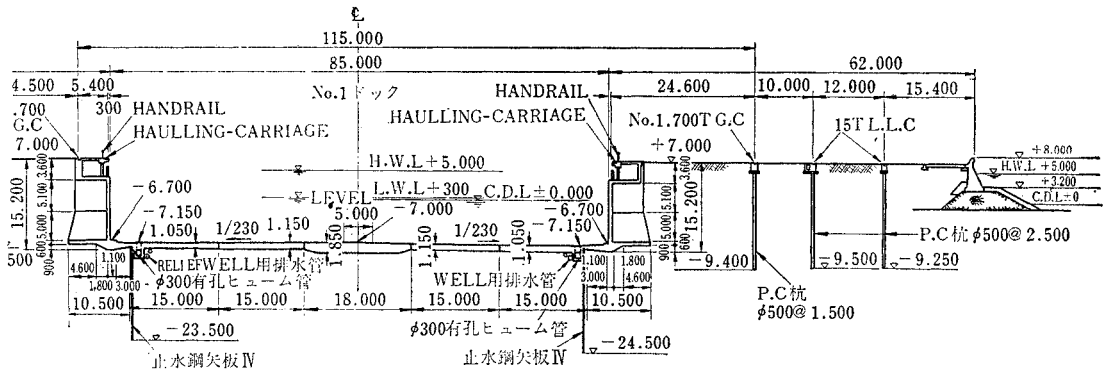


(日立造船(株)有明ドック中央付近の断面)

図-2 ドック断面図

表-2 作業工程表

区 分	昭和46年				昭和47年				昭和48年				昭和49年		
	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9
工場建設大工程															
埋立工事(無本署施行)	○														
内業工場建設															
ドック建設 No.1															
ドック建設 No.2															
船舶建造															
第一次調査															
ボーリング															
被圧水頭調査															
単独井場水試験															
第二次調査、ソノアローブ															
ボーリング															
広域揚水試験															
第三次調査、コアボーリング															
設計施工見積															
基本設計															
止水工事実施設計															



断面図

Building System の有明工場を建設した。

2つのドックは、いずれも鋼矢板による遮水壁を渠底下に設けた揚水圧遮断減圧形式のものである。工場施設の設計に先がけて実施した敷地全体の地盤調査結果から、ドック渠底下にかなり一様に分布する不透水層（第一不透水層）があり、渠底下の揚水圧は当初これで遮断できるものと考えた。しかし、その後の調査により、その下部にある第二滞水層の被圧水頭が大きく、これを減圧する必要がでてきた。そこで、さらに第二、第三不透水層のくわしい調査と、第二滞水層の透水性の調査を進めなければならないことになった。このような深い位置での止水対策は、本ドックにおいて最も大きな技術上の問題点となった。

本文は、2つのドック施工に際して行った諸調査概要と、揚水圧遮断減圧型ドックにおける揚水圧処理について

表-3 工事概要

工事概要	ドック名称	長さ (m)	幅 (m)	深さ (m)
ドック	No. 1 ドック	620	85	14
	No. 2 ドック	380	85	14
クレーン基礎	クレーン名称	走行長さ (m)	レール延長 (m)	
	700 t ガントリークレーン	1089	2178	
	700 t ガントリークレーン	899	1798	
	50 t レベルラフティング クレーン	1045	2090	
	15 t レベルラフティング クレーン	1045	2090	
主要工事数	掘削土量	約 1500 000 m ³		
	コンクリート量	約 198 000 m ³		
	鉄筋 (SD 35)	約 13 500 t		
	杭 (P.C.杭) 500φ (クレーン基礎)	約 5 000		
	鋼矢板 Y.S.P.Z・38 (渠口部岸壁用)	1 200 t		
	鋼矢板 Y.S.P.Ⅲ・Ⅳ (止水矢板)	10 500 t		

注：埋立造成地盤高：DL+7.0m.

て報告するものである。

諸調査はドックの設計施工を担当した日産建設、大林組共同企業体と、当社で編成した調査設計チームが主体となって行った。

2. 地盤調査と結果の適用

(1) 調査の概要

当工事において実施した地盤調査の概要を表-4 に示す。表-2 に示すように、ポンプ浚渫船による埋立工事と平行して、海上でボーリングによる基礎地盤の調査を実施した。ドック建設の場合、埋立により造成される地盤の性質は施工性の面に関心事であるが（これは採土地の地盤の粒度分析により、あらかじめ想定できる）、渠底以下の地盤の性質が何よりも重要である。しかし、立地決定から工場建設工事竣工まで、きわめて短期間であることもあって、ドックの計画を行う場合、埋立の完成を待たずして海底地盤の調査を先行しなければならないケースが多いようである。

ドックを対象とした地盤調査では

① ドックの渠底床版に加わる船体荷重に対して地盤が十分な強度を持っているか、すなわち直接支持できるか、基礎杭を必要とするか、また、床版厚がどの程度になるかなどの判断資料を得ること、

② ドック渠底に働く揚水圧の大きさ、渠底下の地盤の透水性、地層の構成を知ること、などである。いくら支持力の大きい地盤であっても、透水性が大きく、不透水層が適当な深さに存在しない場合は、揚水圧遮断減圧型のドックは成立しない場合もあろう。

したがって、渠底下透水層の被圧水頭と、透水性の調査は欠かせないものである。

第一次調査が地盤の概要はつかめたが、渠底下の地層

表-4 地盤調査概要

区分	調査項目	方法	目的	備考
① 第一次調査	ボーリング (調査間隔約 100m) (ピッチ)	① 標準貫入試験 (物理試験) ② 不攪乱試料採取 (力学試験)	① 敷地全体ならびにドックサイトの地層の構成層序調査 ② 各地層の強度特性 ③ 粒度組成による透水性の推定	埋立造成中に海上ボーリング
	横方向載荷試験	プレシオメーター法	ドック渠底床版を弾性床土のほりとして設計する場合の渠底地盤の K 値測定	同上
	被圧水頭調査	① 水位観測孔を設け、各滞水層ごとに地下水位の測定 ② 潮位観測により潮位との関係調査	① 透水層 (滞水層) の被圧水頭調査 ② ドック開削施工中の地盤のボーリングに対する安定 ③ 渠底揚圧力の推定 ④ ドック完成後の基礎地盤を含めた渠底床版の安定	埋立造成後調査 (海上では調査困難) あり信頼性がない
	揚水試験	滞水層ごとに揚水井と水位観測孔を設け揚水量、水位降下の測定	① 透水層の透水係数の推定 ② ドック開削中の地下水水位降下施工計画 ③ ドック渠底下の止水、減圧計画 ④ 減圧湧水量の推定	埋立造成後調査 (海上では調査結果に) 対する信頼性がない
	ボーリング	125φチューブによる不攪乱試料採取、渠底直下の粘性土の繰返し圧密試験	ドック渠底床版は繰返し載荷重を受けるため、繰返し荷重に対する圧密沈下特性の調査	埋立造成後調査
② 第二次調査	ボーリング 調査間隔 50m ピッチ	標準貫入試験	第一次調査で得た資料では地層の連続性の確認に不十分であるため、ドック地点に集中し、第一次調査の補足	ドックサイドは陸上からボーリング ドック中央部は水上よりボーリング (ドック部は埋立てないで残した)
	大孔径群井揚水試験	仮設ディーブウェルにより現位置での広範囲揚水による揚水量水位降下、揚水停止による水位回復・潮汐観測	① 単井揚水により得た透水係数の確認 ② 広域揚水による平均的透水係数の調査 ③ 透水係数の精度向上	No. 1 ドック渠頭部において、開削施工中に実施
	地層分布調査	ソノプローブによる探査	不透水層の連続性の調査	不透水層欠損部の発見
	揚水の塩分濃度	① 揚水試験により揚水採取した試料の塩素イオン濃度測定 ② 海水の塩素イオン濃度測定 ③ 付近地井戸水の塩素イオン濃度測定	滞水層の被圧水圧の原因調査	
③ 第三次調査	ボーリング	コアサンプリングによる資料の連続採取 (渠底下を対象)	① 渠底止水壁の所要深さの確認 ② 第二次ボーリングまでのデータで不明確な不透水層の連続性の局部的調査	止水壁工事の施工に先行して逐時調査
④ 第四次調査	止水工事の確認試験	止水壁工事の完了した部分に対する揚水による水位変動の調査	① 施工した止水壁が、完全であるかどうかの確認 ② ドック全体の湧水量の推定	

の構成がきわめて複雑であることがわかったので、さらに地層の連続性の確認のために、第二次以後の調査を実施することにした。

(2) 地盤の概要

この地点は中小河川の河口付近に開けた海浜砂丘で、DL+2.0~DL-6.0m の比較的平坦な地形である。有明海の中では最も対岸距離の短い所にあたるので潮流は早い。

そのため、有明海特有のシルト質沖積層は比較的薄く 0~3.0m 程度で、その下部には洪積層が厚く分布し、地盤としてはきわめて安定した地層である。洪積層は 3

層に分類することができ、上層より、DL+1.0~DL-7.0m 付近から層厚 2.0~4.0m で堆積する凝灰質砂、および粘性土層 (八女層) は軽石および火山灰質細砂を含有し火山堆積物であり、 N 値は 20 程度である。DL-2.0~DL-9.0m 付近から 3~8m の層厚で堆積する砂および粘性土層 (赤田層) は、砂質土で $N=30$ 、粘性土で $N=10$ 程度である。

DL-5.0~DL-12.0m 付近から層厚 5~15m で堆積する礫混じり砂または砂礫、固結粘土、密な砂層 (長洲層) は、上部の赤田層と比較すると礫径は大きく、 $N=50$ 程度ときわめて緊密度の大きい層である。

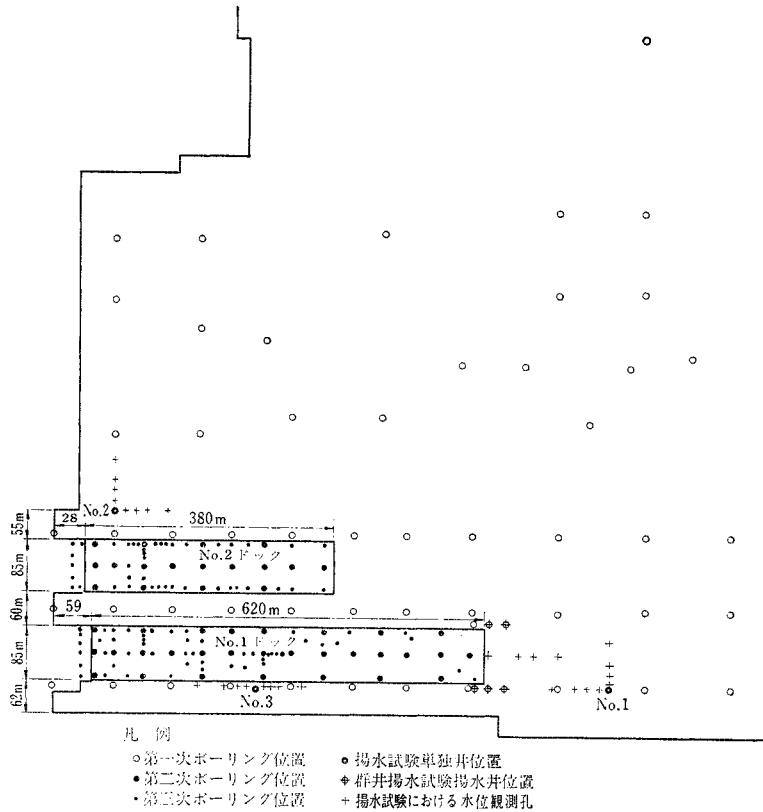


図-3 地盤調査位置図

(3) 地盤の強度

ドックの支持層である DL-7.0m 以下の地盤（赤田層，長洲層）は，砂質土では N 値 30 前後，粘性土であっても表-5 に見るように大きな強度を示している。

表-5 深度と先行荷重・軸圧縮強度

深 度 (m)	先行荷重 (kg/cm ²)	一軸圧縮 (kg/cm ²)	ひずみ (%)
DL 0~-2.0	2.0	2.0	2.0
DL -4.0~-6.0	5.0	3.0	2.0
DL -9.0~-11.0	8.0	4.0	2.0
DL -14.0~-15.0	9.0	5.0	2.0
DL -19.0~-21.0	—	4.0	2.0
DL -29.0~-34.0	—	6.0	1.0

船体荷重はドック盤木（船体を支える台）および渠底床版を介して分散するため，盤木 1 丁あたり 300 t 前後の荷重を受けても，渠底床版下の地盤反力は 30 t/m² 程度である。渠壁（コンクリート扶壁式）の底版反力は 20 t/m² 前後であるため，渠底下の地盤は十分な支持力があり，基礎杭を打設する必要はない。

渠底床版の設計は弾性盤上のはりとして解析し，床版の断面力，たわみ，反力を求めた。しかし，地盤は厳密には完全な弾性体とはいえないので，理論の適用できる範囲に地盤反力をおさえるため，地盤反力係数を大きく

とらないようにして設計した。また，施工に際しては，とくに構造物の初期沈下を防ぐため，仮定した地盤反力係数を下回らないように注意し，掘削，とくに敷付けは浮いた土砂，乱れた土がないように，ほうきではき取るなど，細心の注意を払って施工した。

地盤反力係数はボーリング孔を利用して，プレシオメーター法により土の弾性変位量を測定して求めた。その結果，変形係数 E_s は，砂質土で 160~310 kg/cm²，粘性土で 300~680 kg/cm² であった。

渠底床版は，船体による繰り返し荷重を受ける。繰り返し荷重に対する渠底下粘性土の変化を調べるために，125φ チューブにより採取した不攪乱試料で，繰り返し圧密試験を実施した。この結果を図-5 に示す。

繰り返すことにより圧密沈下量は大きくなるが，一定の沈下量に取れんすることがわかった。実際の応力は試験の 1/3 程度であり，圧密先行荷重より小さいから，沈下量はさらに小さいと思われる。このほかに平板載荷試験を行い，これらの結果を総合して渠底床版の地盤反力係数を $k=4.5 \text{ kg/cm}^2/\text{cm}$ とした。

(4) 被圧水位

ボーリングにより地層の構成層厚などの概要が明らか

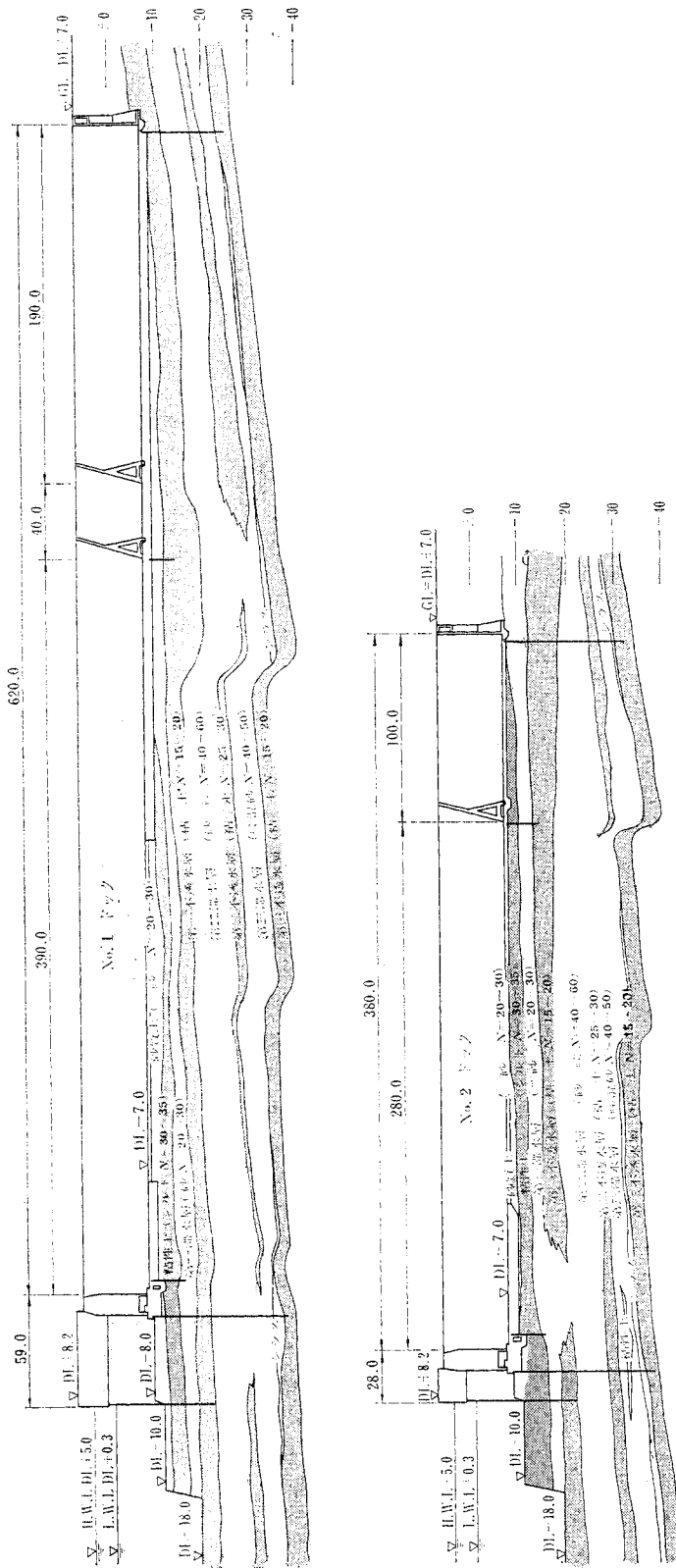


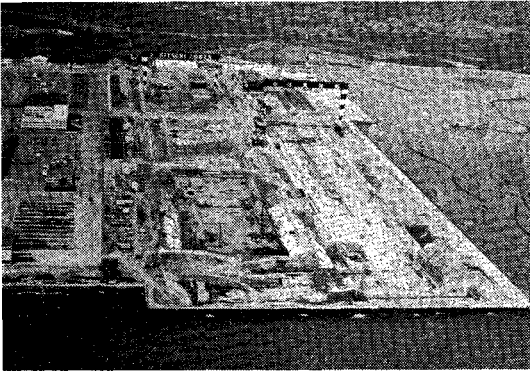
図 4 渠底断面地下地層断面

になったので、ボーリング地点の近傍で、渠底床版より深い位置にある透水層を対象に被圧水頭の調査を行った。調査の方法は、対象透水層の上部不透水層まで 150φ で掘削し、その孔内に 100φ の外管を挿入して不透水層に打ち込み、上部層の浸透水を遮断し、さらに孔内に 86φ で測定深度まで掘削し、ストレーナーを加工した 75φ の測定管を挿入して孔内水位の計測を行った。同時に潮位の測定を行い、地下水位と対比した。

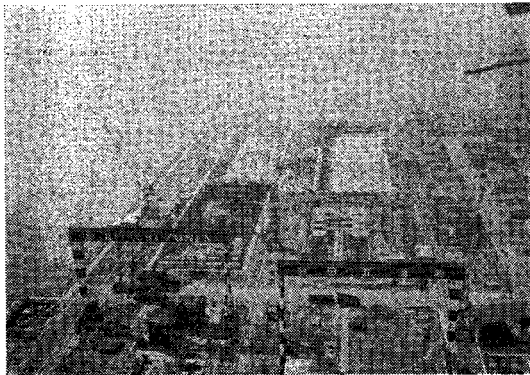
その結果を図-6 に示す。地下水位は常に平均潮位付近にあり、大きくは変動しないと予想していたが、図-6 で見るとともに潮位とともに変動し、干潮位では常に地下水位が高く、満潮位ではほぼ潮位と同一水位となっている。とくに潮位変化と地下水位変化の時間差がきわめて小さいことから、ドック渠底には常に潮位と同じ水頭の揚水圧が働くと考える必要があり、設計に際しては高潮位（既往最高潮位は DL+6.150 m）に対して十分考慮する必要があることがわかった。

揚水圧遮断型ドックは、その対象不透水層下面に働く揚水圧が、その層より上の湿潤土重量と渠底床版重量の和より小さくなければドックの安定が保てない。

被圧水頭が、DL+2.5~DL+3.0 m 程度であれば、ドックの揚水圧は第一不透水層までの止水壁を渠底下周囲に設けることで遮断でき、重量とのバランスも安定を保つことができる。しかし、潮位と同じ水頭ではドックの安定は保てない。このため第二、第三不透水層の分布状況、連続性、および第二滞水層の透水性について調査が必要となってきた。もちろん、第一次地盤調査で第二、第三不透水層の存在は確認済であるがドック止水用の不透水層として使用するためには、これらの分布を立体的にとらえなければならない。



(昭和 48 年 6 月撮影)
写真-1 建設中のドック



(昭和 49 年 1 月撮影, No. 1 ドック)
では建造が開始されている
写真-2 仮締切撤去前のドック

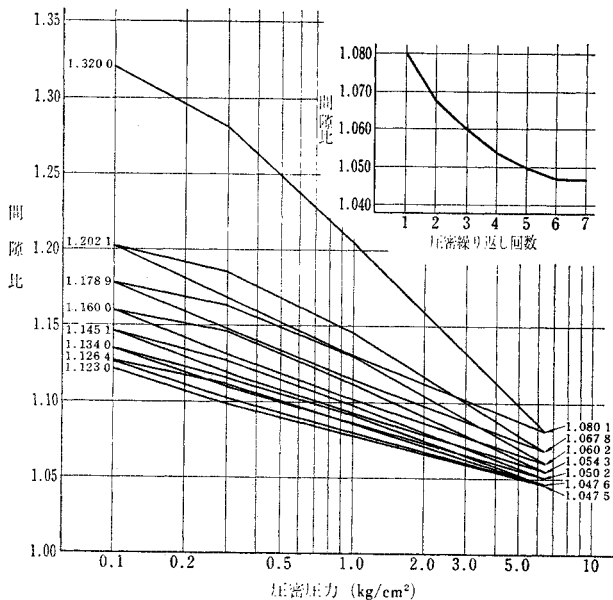


図-5 繰り返し圧密試験

したがって、第二次調査として約 50 m 間隔でボーリングするとともに、ソノプローブによる地層探査を併用

して、不透水層の連続性を調査した。これにより調査の範囲をしぼり、疑わしい場所については、さらにボーリングで確認する方法をとった。

(5) 滞水層の透水性

透水係数は次の 3 つの方法で求めた。

① Allen Hazen が提唱した 10% 粒径による方法、
② 単独井戸での揚水試験による揚水量と、水位降下量から求める方法（解析方法として平衡式、非平衡式、回復式の 3 つを使用した）、

③ 群井による揚水量と水位降下量から、平衡式による解析、

これらによって得た結果を表-6 に示す。

揚水試験は、被圧水頭の測定と同様に、海上での作業は調査孔への海水の流入防止がきわめて困難であり、わずかな調査上のミスが試験結果に大きく影響する危険性をもっている。このため、被圧水頭観測および揚水による透水性調査は埋立後行うこととした。したがって、これらの結果が得られるまでは、仮定値でドックの設計作業を進めた。

a) 粒度分析

透水係数は、標準貫入試験でレイモンドサンプラーから取り出した試料を粒度分析し、前述の方法で求めた。その結果から、ごく概略的に、 $k=1.0 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$ と仮定して当面の作業を進めることにした。この方法では、

表に示すように、局所的なわずかな粒度のばらつきで、透水係数が大きく異なるため、かけ離れた値は除外した。この方法で得た結果は、あくまで目安として使用するにとどめた。

b) 単独井揚水

図-2 に示す 3 点で実施した。揚水井掘削に先立ちテストボーリングにより地層を再確認した上で、揚水井、観測井の削孔を行った。

揚水井は、250 φ の外管を上部不透水層へ挿入して試験対象の透水層以外からの地下水の流入を防ぎ、この中に 230 φ で試験透水層に削孔し、ストレーナーを加工した 200 φ の内管を挿入して、その周囲に 3~9 mm の洗浄砂利を充填し、フィルターとした。井戸用水中ポンプ（揚程 15 m、揚水量 1200 l/min）を入れ揚水した。

観測孔は被圧水位観測孔と同じ構造とし、揚水井を中心に直角 2 方向にそれぞれ 4 本ずつ設けた。揚水井から各観測孔までの距離は 5, 10, 15, 30 m である。

揚水井からの揚水量、各観測孔における水位、潮位の観測、また、揚水停止から水位回復の状態をも観測して

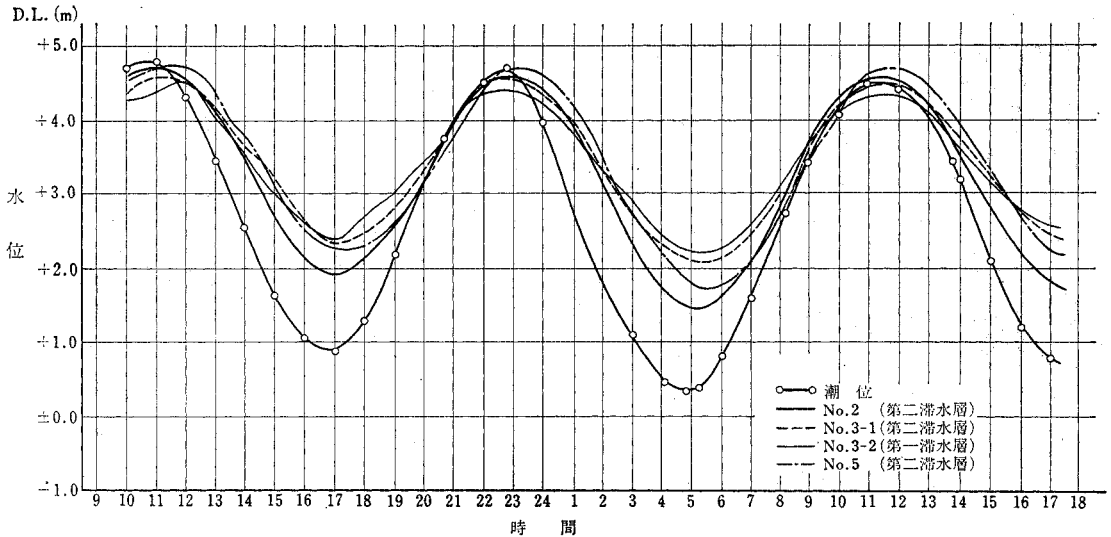


図-6 潮位と各滞水層の被圧水頭

表-6 滞水層の透水係数

調査方法	調査試料	透水係数 (cm/sec)		
		第一滞水層	第二滞水層	第三滞水層
標準貫入試験により採取した試料の粒度分析結果 D_{10} より算出 $k=100 \times D_{10}^2$	D-2	1.69×10^{-2}	5.76×10^{-4}	---
	D-3	3.25×10^{-4}	1.96×10^{-2}	---
	D-3	---	5.76×10^{-2}	2.56×10^{-2}
	D-3	---	1.37×10^{-2}	4.90×10^{-3}
	D-4	2.11×10^{-5}	1.48×10^{-1}	5.76×10^{-4}
	D-4	1.44×10^{-2}	---	---
	D-5	3.24×10^{-2}	5.63×10^{-3}	8.41×10^{-4}
	D-8	1.60×10^{-5}	3.71×10^{-2}	6.76×10^{-4}
	D-9	---	2.25×10^{-4}	3.24×10^{-2} 1.44×10^{-2} 6.25×10^{-2}
	D-24	8.41×10^{-6}	4.0×10^{-2} 4.41×10^{-2} 5.63×10^{-3}	3.24×10^{-2} 7.29×10^{-6}
単独井による揚水試験 平衡式により算出	No. 1	---	7.86×10^{-2} 8.52×10^{-2} 6.54×10^{-2} 6.58×10^{-2}	---
	No. 2	---	5.88×10^{-2}	---
	No. 3	6.78×10^{-2}	8.63×10^{-2} 4.88×10^{-2} 9.01×10^{-2}	---
	平均値	5.83×10^{-2}	7.57×10^{-2}	---
	非平衡式により算出 (潮汐の影響を除去して計算)	No. 1	---	5.00×10^{-2} 5.51×10^{-2} 7.35×10^{-2}
No. 2		---	5.05×10^{-2}	---
No. 3		4.80×10^{-2}	5.05×10^{-2}	---
平均値		4.80×10^{-2}	5.73×10^{-2}	---
回復式により算出	No. 1	---	3.58×10^{-2} 8.10×10^{-2} 5.84×10^{-2}	---
	No. 3	4.10×10^{-2}	8.10×10^{-2}	---
	平均	4.10×10^{-2}	5.84×10^{-2}	---
単独井揚水試験平均値		4.91×10^{-2}	6.83×10^{-2}	---
群井による広域揚水試験		---	4.6×10^{-2}	---

解析した。観測結果を図-7に示す。

c) 群井揚水

被圧水位降下のため、No. 1 ドック渠頭部 (図-3 参照) に設けた6本の深井戸 (範囲 80×110 m, 揚水井 550ϕ , 深さ 25 m, 水中ポンプ 4 in・揚程 30 m, $1.0 \text{ m}^3/\text{min}$) により、第二滞水層の揚水を行った。観測井は単独井の観測孔と同じ構造のものを設けて測定した。

粒度分析で求めた透水係数を、単独井揚水試験によって確認すれば、まず一般的な調査としては十分である。

しかし、被圧水頭の大きさととの相関で、第二滞水層の透水係数がドック設計上きわめて重要な問題であるために、さらに調査を拡大し、第二滞水層の透水性を層全体としてとらえるとともに、透水係数 $k=m \times 10^{-n} \text{ cm/sec}$ の n のみならず、 m の値を追求するために広範囲の揚水試験を実施した。

以上、一連の試験結果をもとに、潮位変化の誤差影響を受けない平衡式で算出した結果を尊重し、ドック設計に使用する透水係数は、 $k=6.0 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$ とした。

d) 揚水の塩素イオン濃度

揚水試験結果、地下水がきわめて豊富で、しかも被圧状態であること、潮汐の影響を敏感に受けていることなどから、地下に大規模な伏流水脈があるのか、それとも、ごく近いところで海底に開口し、直接潮汐の影響を受けているかを調べるため、滞水層からの揚水、直接海から採取した海水、半径約 2 km 範囲の背後地の既設井戸水などの塩素イオン濃度の測定を行った (表-7 参照)。

第一滞水層は塩分が少なく、深い位置にある第二滞水層で、高い塩分濃度を示しているのは意外な結果であった。この調査データのみではあくまでも推定の域を脱し

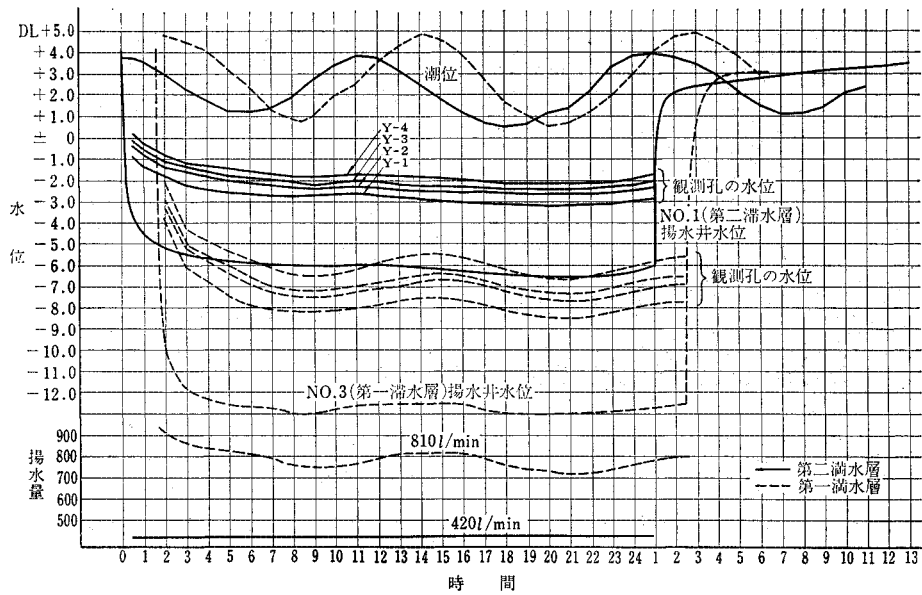


図-7 揚水による水位降下、潮位、揚水量曲線

表-7 揚水の塩素イオン濃度

資料採取場所	塩素イオン濃度 (ppm)		資料数
	第一滞水層	第二滞水層	
No. 1 揚水井		4 500~6 900	7
No. 2 揚水井		3 700~4 100	3
No. 3 揚水井	16~20	12~17	3・3
No. 5 揚水井	1 250~1 300		3
ドック前面海水	17 510		1
半径 2km 以内の井戸水	25~1 700		22

得ないが、第二滞水層は広い範囲に一樣に分布し、ドック前面に近い海底に大きく開口しており、潮汐と伏流水の影響を同時に受けているものと判断された。

3. ドックの被圧水処理

(1) ドック渠底への湧水量

渠底下の止水条件を表-8 に示すようにいろいろ設定

表-8 ドックの止水条件と湧水量 (実験結果)

区 分	実験 1	実験 2	実験 3	実験 4	実験 5
全湧水量 (m ³ /h)	2 250	1 965	881	402	293
No. 1 ドック (620×85×14m)	1 165	1 000	490	109	103
No. 2 ドック (380×85×14m)	1 085	965	391	293	190
止水機構	止水壁なし	第一不透水層まで止水壁を設ける	第二不透水層まで止水壁を設ける	第三層に第二不透水層まで止水壁を設ける	全面的に第二不透水層まで止水壁を設ける
排水機構	リリーフウエル、実績	第二滞水層をリリーフウエルにより自然減圧	第二滞水層への浸透水をリリーフウエルにより自然減圧	実験 3 に同じ	実験 3 に同じ
模式的断面図					
構造評価	このようなドックは成立しない	湧水量が常識的範囲をこえている。強制排水が必要となる。	構造的に成立しうる範囲であるが、排水費用が大である、構造的に不安がある	構造的に不安が残り、湧水量も多い	最も安全な構造でありこの方法とした

注：(1) 製作した模型のドック寸法：No. 1 ドック 570m×85m×14m, No. 2 ドック 350m×85m×14m

(2) 上記寸法で得た結果をドック寸法比により換算した。

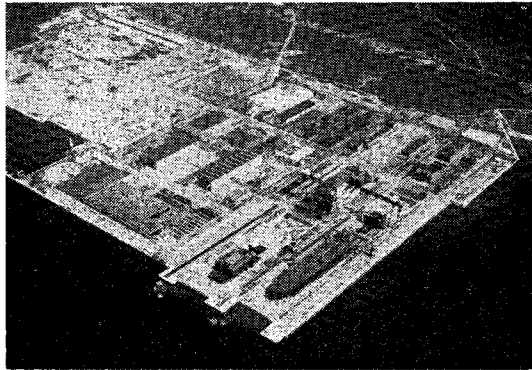


写真-3 ほぼ完成したドック全景

し、地下水の湧水量を電気アナログ模型実験¹⁾によって求めた。この方法は三次元的に水量を求めうるもので、浸透水に対する Darcy の法則と、電気に対する Ohm の法則との相似性を利用したもので、地盤の透水係数を電気比電導度に、水頭差を電位に、浸透水流量を電流におきかえることによって電氣的に湧水量を求めるものである。

一連の調査結果に基づいて、2つのドックを含む周辺600×900 m×(DL-35 m) の範囲の地盤を 1/300 の模型に再現した。模型地盤の透水係数を表-9 に示す。

表-9 模型地盤の透水係数

地 層 区 分	透 水 係 数 (cm/sec)
粘土, シルト層	1×10^{-6}
砂 層	6×10^{-3}
砂礫層 (第二滞水層 上部)	6×10^{-2}
砂礫層 (第二滞水層 下部)	3×10^{-2}

渠底下の止水条件に対するそれぞれの湧水量は表-9のとおりである。表中、実験4と5では第三不透水層までの止水壁のうち、鋼矢板長 26 m を越える部分はその下部に、薬注で一列カーテングラウトとしたが、その止水率を 30% と仮定して水量を求めた。

(2) 減圧の方法

a) 止水壁

Y.S.P.IV 型鋼矢板を第二不透水層、または第三不透水層に打設して、渠底下への浸透流の遮断をはかった。

渠底下の砂質土層は非常に固く、直接鋼矢板を打設することができないため、アースオーガーによりまず削孔して打設したが、オーガーの能力、鋼矢板のロール長さ運搬の可否等を勘案して、鋼矢板の最大長を 26 m とし、これ以上に止水壁を必要とするところは、矢板の先端から第三不透水層までの間を、グラウトにより止水することにした。

b) リリーフウェル

リリーフウェルは、浸透水を排水する能力が十分ある

こと、自噴状態における地下水頭が常に許容高さ以下になるような間隔であること、リリーフウェルへの流入速度で限界流速以下であること、などの条件から大きさ、本数を設定した。リリーフウェルのライザーパイプは、両ドックとも 216.3 φ の鋼管を使用し、No. 1 ドックに 22 本 No. 2 ドックに 26 本を設け、ドック排水ポンプ室へ直接導入している。

c) 渠底減圧管

リリーフウェルが被圧滞水層(第二滞水層)の減圧を行うものであるのに対し、渠底床版下に配列した有孔管は渠底床版直下への浸透水を集水排出するものである。ドック横断方向には 150 φ の厚肉塩ビ有孔管を 10 m 間隔に配列し、また、両舷の止水壁沿いに 300 φ の有孔ヒューム管を配して 150 φ の横断パイプと連結して、逆止弁を通して渠底排水溝に自噴する構造にしている。

(3) 湧水量実測値

ドック工事完了後、仮締切を撤去し、施工のために低下させていた地下水位が正常に回復した状態で、ドックへの湧水量を測定した。その結果を表-10 に示す。

表-10 ドック完成時の湧水量実測値

測 定 年 月 日	潮 位	No. 1 ドック (m ³ /h)	No. 2 ドック (m ³ /h)	合 計 (m ³ /h)
49. 7. 19	満潮時 DL+5.2	151	123	274
49. 7. 22	干潮時 DL+0.3	100	95	195

ドックの湧水量としては比較的大きな値であるが、被圧水頭が高く、透水性の大きい複雑な地層に対し、当初想定した値にかなり近いものであった。

4. む す び

並列した2つのドックは、いずれもテスト注排水を終わりドック工事と平行して渠内で建造した 23 万 5000 DWT の第一船はいま渠内に浮上し、最終段階の調整が行われている。当工事はかなり難工事ではあったが、完全に工程どおり進捗し、着工以来約 260 万時間無災害のうちに竣工した。ご協力いただいた関係各位に対し、深く感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 日本船舶輸出組合：船舶関係統計資料，1973 年 8 月，
- 2) 木原芳彦：土質条件とドック 構造の選定，日立造船技報特集，第 4 号，1967 年 1 月．
- 3) 新尾新一郎：土中水，1971 年 6 月．
- 4) 西林清茂：電気アナログ法による地下水問題の解析，基礎工，1974 年 6 月．

(1974.9.11・受付)