



外洋よりの直接取水のための 大口徑鋼管の海底埋設

—東海村原子力発電所の取水口工事—

瀬山 明*
清山 信二**

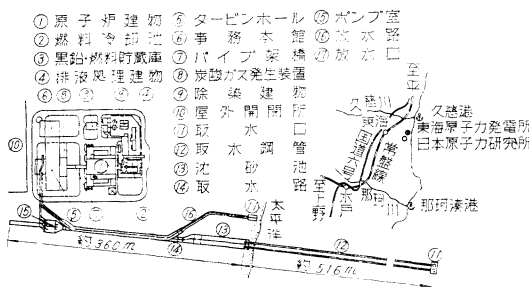
要旨 茨城県東海村に建設中の日本最初の実用原子力発電所の復水器冷却用水を鹿島灘より直接に取水するために、内径 2.5 m、長さ約 510 m の鋼管 2 連を海底に埋設して、汀線より 500 m 沖合の、漂砂の影響の少ないところから取水することにした。この大口徑の鋼管をいかにして海底に埋設したか、設計と施工の概要についてその特殊性ならびに問題点を主体として報告するものである。

1. まえがき

東海発電所（発電出力 166 000 kW）の復水器の冷却用水の所要量は最大毎秒 14 m³ であり、同規模の火力発電所の約 2~2.5 倍の水を必要とする。現在火力の場合においても、原子力の場合においても、ますます大規模化されてゆきつつあるし、この冷却用水の問題は発電所建設の敷地選定の重要な要素となるわけである。

東海発電所の場合、この水の問題からは決してよい条件をそなえているわけではなく、この水源をどこに求めるかについては種々論議のまとなったのであるが、久慈川の流量が小さいこと、上下流におよぼす影響、あるいは維持という点から、取水の常識をあえて逸脱して技術的困難を承知のうえで、鹿島灘から直接取水するのやむなきにいらしたのである。鹿島灘の東海村海岸は特に

図一： 発電所位置および発電所施設配置の概要



カット写真：沈設前の作業員待避状況

* 正員 日本原子力発電 K K 東海建設所土木課長

** 正員 鹿島建設 K K 東海村出張所次長

その荒海と漂砂とで名だたるところであり、このためには種々の取水方式を比較検討したのであるが、結論的にこの自然の猛威を克服するためには決して、自然に“サカラワナイ”という根本方針をとったのである。

すなわち、設計においては、構造物を地上あるいは海底上にはできるだけ突出させないことにより、現在一応安定している海岸を不安定化しないこと。

施工においては台風時期をさけて短期間に海部の工事を完了しうるような工法にすることが原則となったのである。

2. 設計概要

上記原則にしたがって検討の結果、取水は汀線より約 500 m 沖合において行ない、汀線までを内径 2.5 m の鋼管で導水し、汀線より陸部に延長約 360 m の水路を作り、水路端のポンプにて復水器に送水、復水器よりの水は途中この水路の上段を経て放出口より太平洋へ直接放水することにした。

以下この設計の特徴などについて列記する。

(1) 陸上部水路を乾きよに転用すること

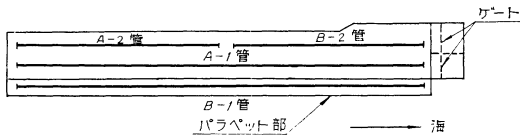
従来小口径（30° 径程度まで）の鋼管は陸部に設けたパイプヤードから、直接、進水台などを通して徐々に海中にひき入れる方式や、あるいは船舶に鋼管を載せてこれを船上でジョイントしつつ順次、海底におろすといった方式がとられてきたが、この大口徑の鋼管を、このような方式で海底に敷設することは鋼管の剛性からもその口径の大きいことから不可能に近く、かつまた、鋼管を海底に埋設する必要からは、かかる方式はとり得ない。したがって、陸上部の水路を当初乾きよとして使用し、この中で取水鋼管 2 系列分を製作する。この乾きよは曳航沈設完了後、隔壁スラブを設けて上段が放水路、下段が取水路として使われるわけである。

(2) 乾きよの長さおよび幅と鋼管

500 m 長さの鋼管 2 系列を乾きよの中で製作するためには少なくともそれ以上の延長の乾きよがほしいが、この

場合、背後地の関係から 360 m の乾きよしか作れない。したがって、鋼管おのおのは 340 m と 160 m の 2 本、計 4 本 (A-1、A-2、B-1、B-2) にわけて製作し、おのおの 1 カ所で水中接合をする必要がある。この 4 本の配置は 図-2 に示すが、乾きよの幅の増加は工事費の加速度的増加をきたすので、これを最少の幅におさえ、さらにパラベット部を設けてその上で B-1 管を製作することにより工事費の節減をはかった。

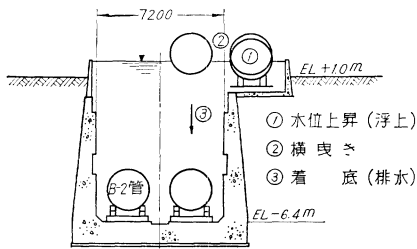
図-2 乾きよ内鋼管製作位置図



(3) 鋼管 (B-1 管) の移動に水を利用したこと

B-1 管の重量は約 400 t で、これをクレーンなどで乾きよ底に移動することは膨大な設備を要し、せつかく乾きよ幅を節約した意味がない。パラベットを EL+3.00 m まで設け、水位をあげて鋼管を浮上せしめ、横移動してのち排水することにより乾きよ底につけることにしたのである。

図-3 B-1 管の移動



(4) 汀線部の水路はケーソン構造としたこと

汀線付近は水の関係からケーソン工法を採用した。これは将来水路となるべきケーソンであるため特殊形体であり前後の壁はあとでとりこわせるようになっており、したがって、両側は片持ばりとなり下部に重さの集中したケーソンとなった (20 m 幅、25 m 長、19 m 高)。

A 管ひき出し状況



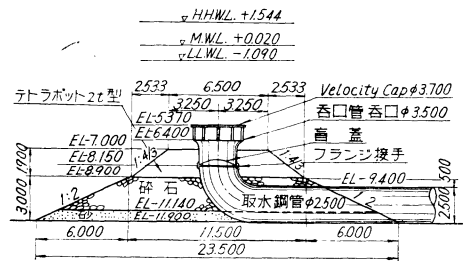
(5) 海の設計条件と取水口構造

設計波高	6 m
高極潮位	1.544 m 朔望平均満潮位 0.836 m
平均潮位	0.02 m 朔望平均干潮位 -0.768 m
低極潮位	-1.096 m (東京湾中等潮位を±0とする)

上記その他の海象作用、漂砂の影響など検討調査のうえ、取水口の位置を水深 8.90 m、汀線より約 500 m 沖合に定めた。取水口の構造は 図-4 に示すが、渦流の発生と魚類の流入防止のために、ふたを取水口に取りつける。アメリカではこれを Velocity cap と称している。

鋼管の敷高は取水口部で EL-11.90 m 汀線ケーソン構造物との定着部分において EL-6.30 m とした。

図-4 取水口構造



(6) 鋼管を水中接合すること

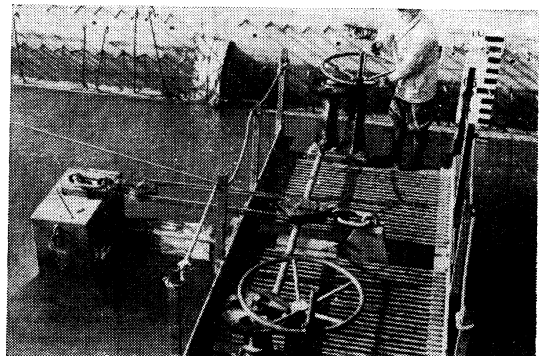
(1) においてふれたごとく A-1 管と A-2 管、B-1 管と B-2 管は水中において接合する。このためには特殊設計のジョイント構造を製作した。これは、それぞれの管の接続端に接合用フランジを設け、これに接合カラーをかみあわせる、いわゆるヴィットリック ジョイントの大きいものであるが、この部分が鋼管本体と強度を等しくするため、鋼管本体および接合カラーをリブにて補強した。

a) 鋼管仕様

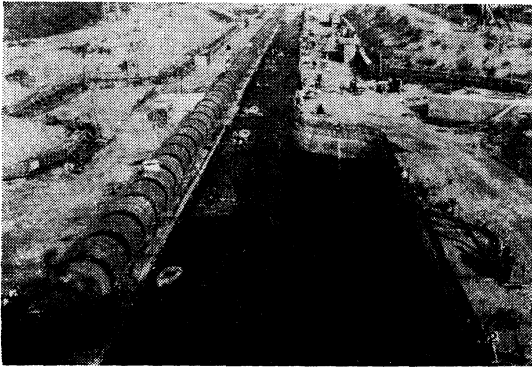
内径: 2.5 m, 管厚 20~30 mm

管材: SM 41 A, 継手 特殊ジョイント 1 カ所
ほか全溶接

防食: 内外面 コールタール エナメル および内面流電
陽極, 外面 外部電源方式
ジョイント寸前



A 管ジョイント



鋼管は工場より 4 m 短管 (20 mm), 3 m 短管 (26 mm 以上) で乾きよまで運搬, 乾きよ内にて現場溶接し, 340.5 m 管 2 本, 162 m 管 2 本を製作する。

3. 施工上の問題点

施工という点からは全く世界で初めての部分があり, 問題点は種々生じたが, それを大別すると次の三点にしばられる。

a) 海底掘削 本工事のうちで最もむずかしい問題であり, 外海のしかも荒海と漂砂の鹿島灘の海底を掘削して, はたしてその掘削面を鋼管の沈設をおえるまで維持することができるか, さらにまた, いかなる掘削方法にて成功しうるか, どの時期に掘削すべきかなど。

b) 取水鋼管の水中接合 前記ジョイントの設計は形状機能は妥当であるといえるが, 実際に水中に 2340 m と 160 m の鋼管をうまく接合しうるかどうか, また, このための仮設備, 機械をどうすべきかなど。

c) 曳航沈設 掘削が完了すると, ただちに鋼管のひき出し沈設を行なうのであるが, 水中重量 600 t, 延長 500 m の鋼管をいかなる機械にてひきだすか, 潮流あるいに横移動の規制をどうするか, 正規の位置に固定するのにどうするか, あるいは, 曳航後の沈設方法はどうか, 等々, 実に詳細にわたって問題を検討しなければならなかった。

図一5 復水器冷却用水路工事工程表

工事別	35				36				37				38											
	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5
陸部工事																								
仮設備																								
乾集部																								
取水路および放水口																								
送水路																								
海部工事																								
防砂突堤																								
深																								
鋼管敷設																								
取水口																								
鋼管製作工事																								
工場製作																								
現場製作																								
防																								

表一1 鋼管敷設作業記録

日時	所要時間	作業内容
6月21日	時 分	[A 管]
2.00	.50	ゲート開き, ドック内注水
2.50	.40	棧橋より鋼管へ曳網取り, 潮流測定, 船団日立港出航 3.00
3.30	1.15	第1次曳航 (A-1 管曳航約 180 m)
4.45	2.45	A-1 管固定, A-2 管横移動 (ドック内)
7.30	1.23	水中接合 (A-1, A-2 管を接合し 1 本の管とする)
8.53	.53	第2次曳航 (A管曳航約 200 m)
9.46	.24	ワイヤー段取かえ
10.10	1.10	第3次曳航 (A管曳航約 150 m)
11.20	1.15	所定位置 (曳航線より北側へ約 8 m) へ横移動し, さらに陸側へ曳戻す
12.35	.25	陸側固定部 (ケーソン) に鋼管沈設用ガイド取付
13.00	.20	沈設作業配置
13.20	.25	沈設 (陸側より所定ブイに注水 No. 25, 23, 19, 16, 13 は各 2 分間隔 No. 10, 7, 4, 1 は同時注水)
13.45	2.00	沈設状況調査 (潜水夫), 船団帰港
15.45	14.00	ゲート閉め, ドック内水位上昇のため注水
6月22日		[B 管]
5.30	10.00	B-1 管浮上横移動, ドック内排水, 鋼管ドック下部に着底
15.30	5.00	B-1, B-2 管にブイ取付 (25 個)
6月23日		
4.48	1.59	ゲート開き, ドック内注水, 船団日立港出航
6.47	1.11	B-2 管縦曳 (ドック内, 山側へ移動)
7.58	.43	ゲート全開
8.41	.39	第1次曳航 (B-1 管曳航約 180 m)
9.20	2.49	B-1 管固定, B-2 管横移動 (ドック内)
12.09	.59	第2次曳航 (B管曳航約 350 m)
13.08	.12	鋼管仮固定
13.20	.22	沈設ガイド取付
13.42	.08	沈設作業配置
13.50	.25	沈設 (A管と同様)
14.15	2.00	沈設状況調査 (潜水夫), 船団帰港
		所要時間 A管曳航沈設 11 時間 45 分 B管 " 準備 39 " 03 " " " 沈設 11 " 27 "
		計 62時間15分

4. 施工の概要

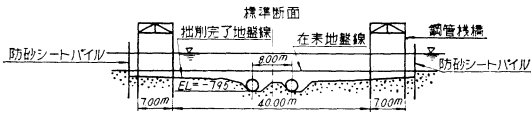
前記問題点に関し, あらゆる角度から実験, 調査, 研究を行なって, 施工方法の決定をみたわけであり, その概要を逐条述べる。

(1) 海底掘削

a) 防砂突堤工 漂砂の移動による掘削面の埋戻りは (Surf zone) 砕波帯においては特に激しいものであり, これを防ぐ方法を種々考案したが, 鋼管をひきだす関係から前面までもかこうことは不可能であり, 両側のみをシー

ト パイル単列にて防砂することにした。これをくい打船を利用して施工することはできないので、陸部より約 200 m 鋼管棧橋を建設し、これよりデルマックくい打機で水面とほぼ同高までⅢ型シートパイルを打ちこんだ(8m ヤットコ使用)。単列にて防砂壁としたが波力の影響を極力小さくするため水面まで打ちこんだが、やはり3月、4月の荒天により相当の手直しを必要とした。

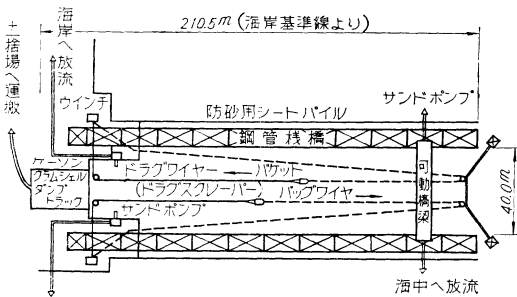
図-6 掘削断面図(防砂突堤内)



b) 防砂突堤内掘削 汀線より 200 m の防砂突堤内は図-7 に示すようにドラッグスクレーパー(2 m³バケット 100 HP ウインチ)にて岸壁まで土砂をかきよせ、これをクラムシエル(0.6 m³)およびサンドポンプ(ワーマンポンプ 8"-6" 75 HP)のおおの2基で排土搬出した。

なお補助手段として鋼管棧橋間に移動用トラスを架け、これに水中サンドポンプ(ライカポンプ 8" 35 HP) 6基を設備して掘削した。当初の予想どおり相当の埋戻りがあり工事は難航したが、5月、6月の追込みにより所定の岩盤まで無事掘削することができた。

図-7 砕波帯掘削要領



c) しゅんせつ工事(防砂突堤外掘削) 鹿島灘においてポンプしゅんせつ船で掘削することは業界ではむしろ無謀のソシリをうけかねない荒仕事であった。予定掘削量約 70 000 m³であり、掘削可能期間は統計的にみて12月~2月、5月~7月であり、またポンプしゅんせつ船の掘削可能性を確かめることから1年前に現地において実験的しゅんせつを実施した。

① しゅんせつ実験工事: 防砂突堤先端より沖合へ 50 m, 幅 40 m, 掘削量 10 000 m³にて、次の項目について調査検討をした。

- ② しゅんせつ船の種類。船団の編成および人員構成
- ③ 掘削能率
- ④ しゅんせつ箇所の地形の変動および不陸の調査
- ⑤ しゅんせつ箇所の埋没状況

- ⑥ 海象と稼働時間
- ⑦ 船団の沖がかりおよび停泊基地(日立港)への退避訓練

- ⑧ 測深方法とその精度

以上の結論は次のとおりである。

- ⑨ ポンプしゅんせつ船にてスパッドの使用は不可能であるが、警報アンカー、前進アンカー、スィングアンカーの使用により十分掘削できる。

- ⑩ 掘削能率もスパッドがない割合には良好である。

- ⑪ 船団の沖がかりは危険で毎日、日立港に退避すべきである。

- ⑫ しゅんせつ箇所は特別の荒天にならない限り割合に埋没はない。

- ⑬ 退避は現地曳船用に曳船は3隻を必要とする。

- ⑭ 人員編成は平常配置の2倍を要する。

- ⑮ 波高は最大 1.5 m までは掘削できたが、やっぱり、1 m 以下が望ましい。ただ掘削した場所におけるしゅんせつ船は、ほかの場所よりウネリが少なく運転しやすい。

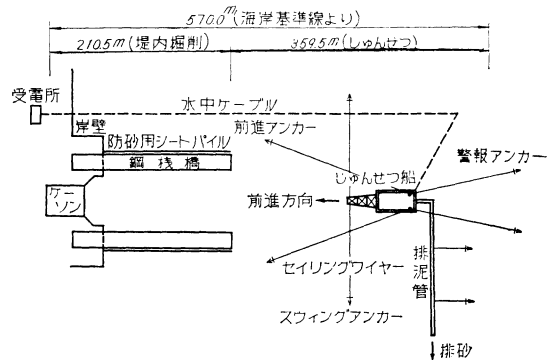
⑯ 本しゅんせつ工事: 本工事は実験工事なくしては、おそらく成功しなかったといっても過言ではない。上記の結論にしたがひ規模をさらに大きくして本工事を実施した。

- ⑰ 船団編成;

ポンプしゅんせつ船	1 200 HP	1
曳船	280 HP	1
"	250 HP	2
錨船	45 HP	2
通船	10 HP	1

⑱ 作業要領; 工事基準点より 570 m 沖合より汀線に向かって2層に掘進した。上層はスィング幅 60 m, 平均掘削高 3.5 m, 下層は幅 40 m, 高さ 1.5 m であった。動力は海岸に設けた変電所より特殊ブイを添えた水中ケーブルにより送電した。

図-8 しゅんせつ要領



◎ 時間工程：

- 3:00~3:30 日立港出航
- 4:00~4:30 現地到着 錨作業
- 5:30~6:00 しゅんせつ開始
- 16:00~16:30 しゅんせつ終了
- 17:00~17:30 現地離脱
- 18:00~18:30 日立港帰航 段取り

工事開始5月7日，完了6月16日で，この間予想以上の好天に恵まれたこと，および作業員が相当の危険をおかして稼働率をあげたことにより，予期以上の短期間にて75000m³のしゅんせつを完了した。

(2) 曳航沈設

曳航沈設に必要な予備の実験，訓練については後章でふれるが，これらすべての実験訓練とともに東海村気象海象の局地的特性を十分検討して，曳航沈設の実施日の決定に万全を期したわけである。

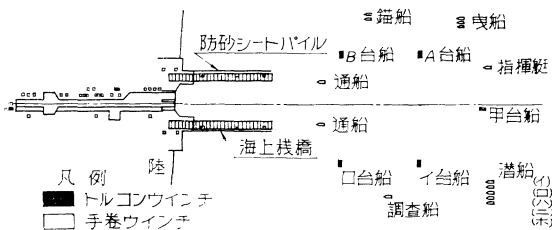
6月16日に海部の掘削を一応完了し，ただちに陸上部，海上部の諸段取りを開始し，この間掘削面の手直しを続行して，6月21日早期より曳航沈設の工程に入ったのである。

a) 主要機器および設備

① 船舶：指揮艇1，調査船1，曳船3，錨船2，通船2，潜水夫船5，台船5（鋼製長さ13.5m，幅7m，深さ1.2m），作業船2，計21隻

② 主要機器：ブイ50（30t浮力），トラッククレ

図-9 船舶機器配置



ーン3（22t），トラック2（8t），トルコン ウィンチ8（32HP），電動ウィンチ12（20HP-6，30HP-6），手巻ウィンチ19（5t15，10t4），ホンプ10（ライカ8）

③ 通信設備：アンプ1，スピーカー10，ノーベルホーン10，マイク6，電動サイレン3，手動サイレン6，メガホン11，無線機1（CM-121），無線器27（ホネット102），手旗21

④ 照明設備：水銀灯4（1kW），投光器29（3kW7，1kW27，0.5kW5），アイランプ45（0.5kW），停泊灯6，発電機1（4kW）

⑤ 作業要領：鋼管曳航沈設工程は，計画では62時間30分を要することになった。この間全作業員はほとんどぶっ通しの作業となり，かついささかの手順の誤り

もあってはならない。したがって，この作業要領については作業員の末端に至るまで十分に徹底熟知せしめて後から作業を開始したのである。

作業要領は図-10に系統的に図示するが，実際には

図-10 作業要領

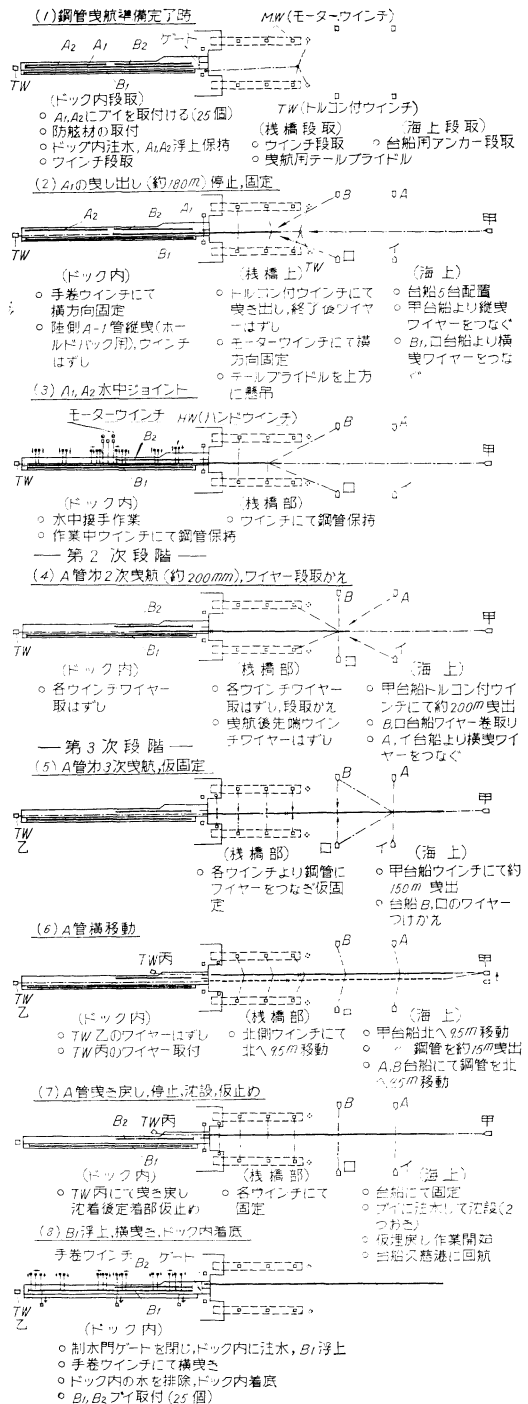


図-10 作業要領(つづき)

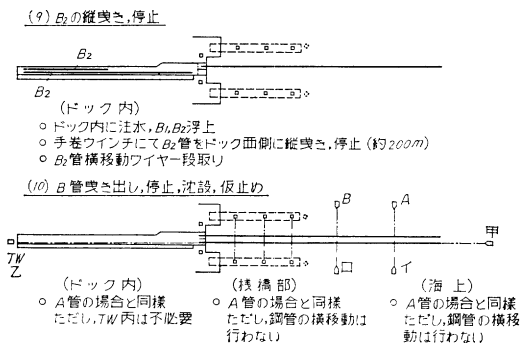
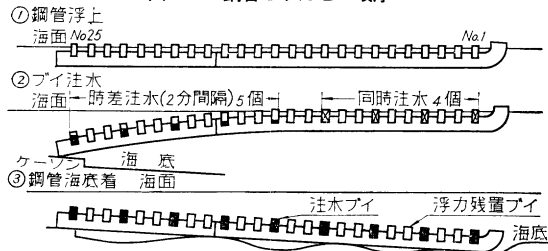


図-11 鋼管しゅんせつ順序



潮流その他の関係から突発的に変曲したこともあった。しかしながら、予定を2時間短縮して60時間15分にて無事完了したわけである。

(3) 事後処置

曳航沈設完了後、ただちにしゅんせつ船および陸上よりのサンドポンプトラック運搬により埋戻しを続行して鋼管を固定し、続いて取水口部には捨石を行なって、今冬実施する取水口管の取付けおよびテトラポッド工の根固めを行なった。

5. 調査実験

曳航沈設の完了まで本工事の完成をより確実にするために、4カ年にわたって実施した調査実験あるいは訓練事項を列記して参考に供したいと思う。

(1) 海岸調査

- ① 沿岸流および漂砂移動——波浪、潮流、漂砂の調査およびその理論的考察
- ② 飛砂および汀砂の移動
- ③ 深浅測量——海岸地形の変動
- ④ 空中測量——波向、波長およびその屈折状況
- ⑤ 海岸土質調査
- ⑥ 海底地質調査——底質の採取と岩盤の探査
- ⑦ 海生物調査——海生物の付着実態調査

(2) 諸種実験

- ① 鋼管敷設時の力学的実験——沿岸流による管の横

抵抗、波浪中の運動、自然注水時(ブイなし)の応力、たわみ測定

② 鋼管の防汚防食試験——管理設後の海生物の付着防止策の検討、防汚、防食塗料の試作実験

③ 鋼管埋設に関する実験——エアリフトポンプおよびジェットングによる埋設実験

④ 浮遊砂測定実験——取水口の海底よりの高さの妥当性および沈砂池の有効性を究明するため荒天時における含砂量の調査

⑤ 取水口ならびに放水口の水温実験——取水口のペロシティーキャップにおよぼす外力、また、キャップがない場合の渦の研究、取水口の洗掘、放水口の波浪による影響、洗掘の状況などの実験

⑥ 取水口マウンド実験——波浪に対する取水口基礎防護テトラポッドの効用観察

⑦ 鋼管地上応力実験——鋼管沈設直後海底の不陸による管の応力、たわみの測定、実験については海底掘削仕上げ方針の把握

⑧ 取水鋼管水中継手実験——実物大口径16m管に実物大ブイをとりつけての実用試験およびジョイント構造の改造

⑨ しゅんせつ実験——前述

⑩ 乾きょ内実鋼管浮上移動ジョイント試験——作業員訓練をかねて

⑪ 曳航沈設指令系統、人員配置の適正、通信照明設備の検討

⑫ トルクコンバーターウィンチ操作訓練——特製のトルクコンバーターウィンチの性能テストおよび作業員の訓練の陸上および海上における実施

⑬ 台船操作および船団訓練——台船の定位置固定、海上作業員の訓練

6. あとがき

本工事のように経験のとほしい工事、しかも、この工事の成否が原子力発電所全体の成否とつながるような重要な工事を計画し実施するにあたっては、特に慎重なる技術的検討が、あらゆる角度からなされなければならないことはもちろんであるが、企業者も施工業者も全く一体となって不撓不屈の精神をもって事にあたることこそ、解決への最善の道であるということを痛感した次第である。

長期にわたる実験研究の結果がめでたく実を結んだ今日、この計画の当初から種々指導御鞭撻をいただいた東京大学本間教授をはじめ諸先生方、渡辺都立大学教授、柳沢米吉氏、鶴岡鶴吉氏、ほか関係者各位に誌上をかりて深甚なる感謝の意を表します。

(1962.9.20・受付)