

# 長大な海底埋設式取水鋼管における保守上の問題点

—東海発電所復水器冷却水取水鋼管の現況—

辻 本 進\*・竹 村 立 史\*\*  
大 西 外 明\*\*\*・渡 辺 嘉 男\*\*\*\*

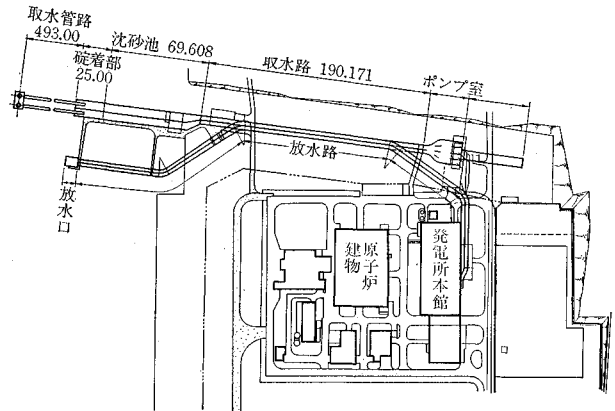
図-1 発電所配置

## 1. はじめに

わが国における原子力発電の需要は、最近急激にたかまってきているが、これらに先がけて日本原子力発電株式会社（原電）では、昭和 35 年に茨城県東海村に日本最初の原子力による東海発電所の建設に着手し、同 42 年 7 月に 16 万 6 000 kW の全出力運転を開始した。以後、1 年間の運転中、二、三の障害を経験したが、いずれも克服し、現在全出力運転を続けている。

当発電所では復水器冷却用に 16 m<sup>3</sup>/sec の海水を必要としているが、これを発電所敷地前面の鹿島灘より直径 2.5 m、延長約 500 m の海底埋設鋼管 2 条により取水している。東海村海岸の鹿島灘は、漂砂による海底地形の変動がはげしい荒海であり、きびしい海象条件を有している。このように荒れた外洋からの大量取水の例は当時内外に乏しく、施工上種々の困難に遭遇したが、工事を担当した人達の努力により無事本設備工事は完了し<sup>1)</sup>、現在、良好な稼動状況下にある。原子力発電所の場合、周辺環境に対する安全性の確保のため遠隔地に設置される場合が多く、冷却水の取水についても常に恵まれた海象条件の下のみ行なわれるとは限らない。

そこで、恵まれない海象条件下の取水方式の一例として当発電所の取水鋼管の保守上の二、三の問題点について報告し、発電所のみに限らず各種工場用水の今後の取水計画の参考に供したい。



## 2. 東海発電所復水器冷却用水路施設の概要

東海発電所の配置は図-1 に示すとおりであるが、同図にみられるように、復水器冷却水は、海岸線より 500 m 離れた沖合の海底に設けた 2 個の取水口より取水され、2 条の取水鋼管、沈砂池、導水路、ポンプ室の順路を経て、復水器へ導かれる。復水器を通過した水は、放水路を経て再び海に放流される。これら冷却用水路施設の概要は表-1 のとおりである。本取水口構造物の設計に際しては、本間仁博士の指導の下に東京大学工学部土木工学科港湾研究室関係者により広範囲な海象調査<sup>2)</sup>と水理模型実験<sup>3)</sup>が行なわれ、これにより取水口設計の基本方針が確定したのである。取水口の水理模型実験でとり扱われた主な点は、wave action による浮遊砂濃度の変化の状態、取水口上部水域内の表面渦の発生状況とその防止策、velocity cap に作用する揚力の大きさ、取水口鉛直管周辺海底の洗掘とその保護方法などの検討である。これらの調査研究の結果、取水地点における浮遊砂濃度分布は、荒天時には海底から 1~2 m ぐらまでは

\* 日本原子力発電（株）取締役開発計画室長  
\*\* 日本原子力発電（株）技術本部土木建築課長  
\*\*\* 正会員 工修 日本原子力発電（株）技術本部土木建築課副長  
\*\*\*\* 正会員 東北電力（株）原子力土木課（元日本原子力発電（株）建設部土木建築課）

濃度は急激に変化するが、それ以上においてはほぼ一様分布となることが明らかになった。この結果にもとづき、取水口は海底より 2.5m 立上がった位置に設けて浮遊砂の流入を極力少なくすることとし、流入した砂は沈砂池により排出することとした。取水口立上りのための鉛直管保護方法および保護材料について行なった実験結果、1t以上の重量を有するテトラポッド・ブロックを用いることとし、表面渦防止のためと魚類によるスクリー

ン閉そく防止のためには、取水口天端に velocity cap を設けることとした。また、取水鋼管天端には、管内保守のため潜水夫が海底から管内に入る場合を考慮して、約 100m 間隔に人孔を設けた。以上のようにして設計された取水口の構造を示すと、図-2 のとおりである。

### 3. 取水鋼管および取水口の保守状況

冷却水路施設の保守に関連して、最も関心がもたれたのは、取水鋼管路内への土砂の流入と壁面における海生物の生長の程度、管路上の海底地形の変化、取水口鉛直管周辺の海底洗掘の傾向と取水口構造物の安定性、鋼管の電気防食の実状などである。これらの事項の実状を把握するため、昭和 37 年 6 月の鋼管曳航沈設以来、昭

表-1 東海発電所復水器冷却用水路施設の概要

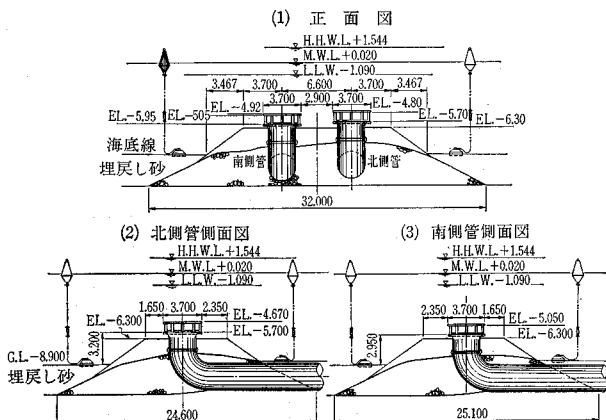
名 称	構 造・寸 法
(1) 取 水 口	ベロシティキャップ付特殊構造鋼管 防護方法：テトラポッド (2t) 600 個 捨石 (5~10kg) 1700m <sup>3</sup>
(2) 取水鋼管	条数：2条 延長約 510m 内径 2.5m 管厚：20~33mm 管材：SM 41A 塗料：内外面ともコルタルエナメル 防食法：内面流電陽極方式、外面外部電源方式
(3) 沈 砂 池	本体：鉄筋コンクリート造 19×82×15.3m 排砂用マンホール 8個 制水門扉 8.0×8.0m 2門 バースクリーン 3.1×9.7m 4連 ロータリースクリーン 幅 3.10m 4連 トラベリング・サンドポンプ 6" 1基
(4) 導 水 路	乾きよ：9.8×190.2×8.5m 取水路部：鉄筋コンクリート・ボックス・ラ メン 構造延長 190.2m 勾配 1/ 750 自然流下式 放水路(B)：鉄筋コンクリート・ボックス・ラ メン構造 延長 118.3m 逆勾配 1/750 圧力式 制水門扉：3.0×3.0m 4門
(5) ポンプ室	23.4×32.8×18.0m 上家：鉄筋コンクリート構造 25.6×9.2×6.2 m サクシジョン部：鉄筋コンクリート構造 23.4× 9.7×11.5m ポンプ：軸流ポンプ 4台各 570kW
(6) 送 水 路	延長 60.8m 構造：鈎鉄管 直径 1.35~1.8m 管厚 30mm
(7) 放 水 路	総延長 376.8m A部延長 102.3m 2.25m×2.5m×2 B部延長 118.3m C部延長 32.6m 3.35m×3m×2 ダムアップ部 3.4m×5.8m×10.8 m×2 D部延長 123.6m 2.0m×2.5m×2 勾配 1/500
(8) 放 水 口	構造：鉄筋コンクリート造 8.4m×15.2m× 2.1m 水路断面 2.0m×2.5m×2

表-2 取水鋼管関係の調査 (工事竣工後)

(調査年月日)	調 査 内 容
昭和 38 年 5 月	取水路工事竣工, 原研へ通水開始
昭和 38 年 5 月	人孔, ジョイントの現況把握を目的とした管外面調査
昭和 38 年 12 月	深淺測量による鋼管上部の土かぶり厚さの調査
昭和 40 年 1 月	1. 取水口マウンド周辺の現況把握を目的とした潜水調査 2. 鋼管内の堆砂状況を中心とした鋼管内面の調査。南, 北側管とも, 取水口~No. 5 人孔間 50m, 吐出口~ジョイント間の 162m, 沈砂池~ポンプ室の間について実施
昭和 40 年 6 月	取水口の周辺, 人孔, ジョイントの現況把握を目的とした鋼管外面調査
昭和 40 年 12 月	同 上
昭和 41 年 4 月	鋼管 No. 2 人孔蓋の計測調査
(昭和 41 年 4 月)	(ロータリースクリーン~ポンプ室間の陸部導水路) 内面調査
昭和 41 年 6 月	取水口, 人孔, ジョイント部を中心とした鋼管外面調査
昭和 42 年 5 月	取水口, 人孔, ジョイント部を中心とした鋼管外面調査
昭和 42 年 10 月	取水管路内の海生物の付着および堆砂状況の実状把握のための管内潜水調査

注：取水鋼管誌昭和 37 年 6 月

図-2 取 水 口



和 42 年 5 月に至るまで表-2 に示す諸調査を行なった。以下、これらの調査結果をもとに上記の諸問題点につき実情を明らかにしたい。

#### (1) 取水鋼管内への土砂の流入と人孔

前記のように、当初設計では将来の管内保守のため、北管および南管ともにおのおの 5 個の人孔を設置した。その構造は図-3 のとおりで、人孔ふたは 3 個のボルトをとりはずして蝶番により上方に開くようにしてあった。そして、水密のため厚さ 10mm のゴム パッキングを行なった。人孔部は海底に埋没後は上部の水圧および土圧により押されて特に支障は生じないわけであるが、鋼管

図-3 人孔設計図

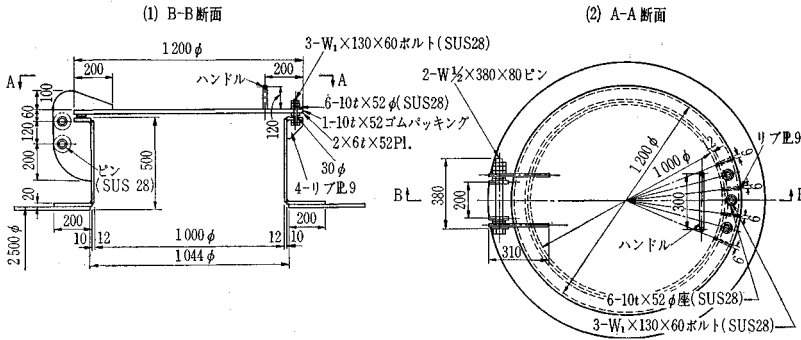


図-4 A型補強工

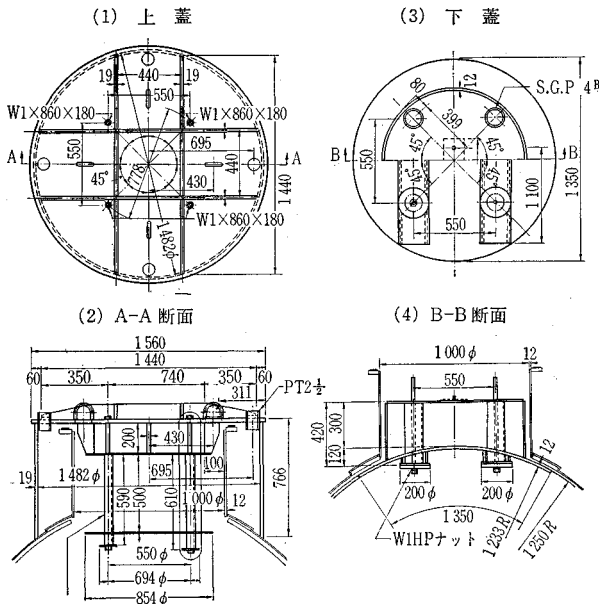


表-3 水路工事竣工前に行なった人孔補強状況

年月日	記述
昭和 37 年 6 月	鋼管曳航沈設を終える
昭和 37 年 11 月	人孔より土砂が流入し管内に堆砂があることを発見
昭和 37 年 12 月	人孔 N-1 に A 型補強工の外蓋を取付ける。また N-3, S-3 に C 型補強工を実施
昭和 38 年 1 月 9 日	通水
昭和 38 年 1 月	人孔 N-1 に A 型補強工の内蓋を取付ける
昭和 38 年 2 月	人孔 N-1 に SUS ボルトを取付け補強工事を完了
昭和 38 年 3 月	人孔 N-2, S-2, N-5, S-5 に C 型補強工を施す。また、N-2, 3, 4, 5, S-1, 2, 3, 4, 5 に木栓すえつけ
昭和 38 年 4 月	人孔 N-5, S-5 の C 型補強工を取外し、B 型補強工をすえつける
昭和 38 年 5 月	水路工事竣工、原研の通水を開始

沈設直後から埋設終了までの間は海中に露出して、ふたは内外面の圧力差のほか波浪の影響を受けることになる。このため、ふたの接触面に間隙が生じ、そこを通過して水が流出してゴムパッキングの移動が生じ、管内に砂が流入し場所によっては鋼管断面を閉そくするに近いほどの砂が人孔部の下にたまった。特に、北側 No. 1 人孔は、鋼管敷設

後のブイの影響により、ふたとり付けの蝶番がねじれて所定の位置よりずれてふたとしての機能を失った。このため、昭和 37 年 6 月に行なった鋼管曳航沈設の半年後の同年 12 月に、北側 No. 1 人孔に、図-4 に示す A 型補強工を施し、また北側 No. 3, 南側 No. 3 のおのおのの人孔に図-6 に示す C 型補強工を施した。それに引き続き、水路施設工事竣工まで表-3 に示す各補強工を行なった。以上は、水路施設新設工事竣工以前のことであり、すでに川畑・富樫<sup>4)</sup>がその概略につき報告している。以上の人孔補強の状況を水路施設工事竣工時点につきまとめると表-4 のようになる。

以上の人孔部補強により管内への砂の流入がおさまり昭和 38 年 5 月水路施設工事は竣工し、南管を通じて隣接の日本原子力研究所への通水を開始した。その後、昭和 42 年 7 月の東海発電所運転開始時まで表-2 に示した数回の調査を実施したが、その間、昭和 40 年 1 月に北側取水管が土砂により閉そくされていることが発見された。その時点では鋼管内通水は南側管による原研への送水のみであり、北側管はまだ通水していなかったわけであるから、これらの砂は取水口より流入したものでないことは明らかであり、本取水管路における過去の土砂流入の経験から昭和 40 年 1 月に発見された北側管閉そくもまた人孔ふたからであろうと考えられた。そこで、昭和 38 年 5 月に行なった深淺測定の結果を検討したところ、No. 4 人孔天端がほとんど水面に露出していることが認められたこと、また先に行なった海象調査においても、この位置付近の海底は地形変動がいちじるしいことが指摘されていたこと、および No. 4 人孔の補強が木栓のみによっていたこと等から総合的に判断して、弱点は No. 4 人孔部であろうと考え、この部分を図-5 に示す B 型補強工により補強した。図-7, 8 は、取水管路上の海底地形の変化の状態を示すものであるが、これらの図によりみられるように、No. 2 人孔部は竣工時に 1m 近く

表-4 水路工事竣工時（昭和38年5月）の人孔補強状況

管	人孔	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5
北側管		A型補強	C型補強, 木栓	C型補強, 木栓	木	B型補強, 木栓
南側管		A型補強, 木栓	C型補強, 木栓	C型補強, 木栓	木	B型補強, 木栓

図-5 B型補強工

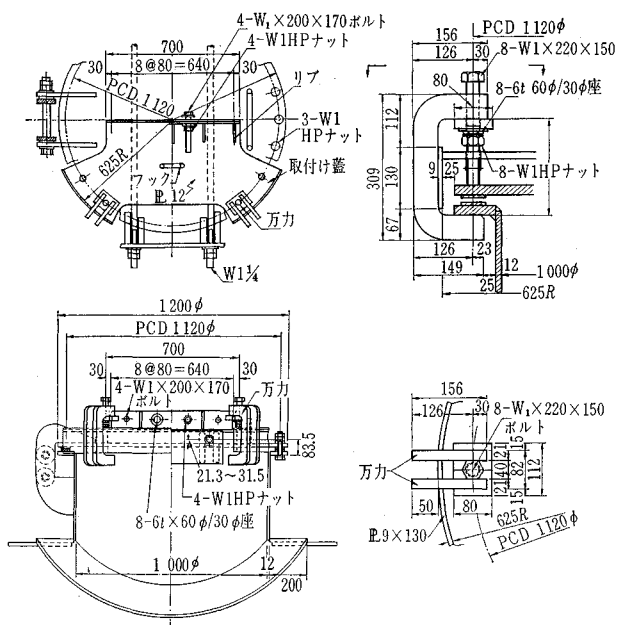


図-6 C型補強工

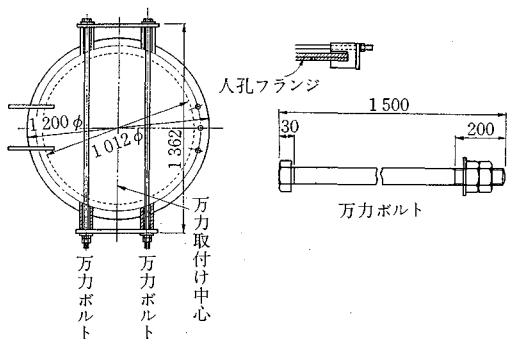
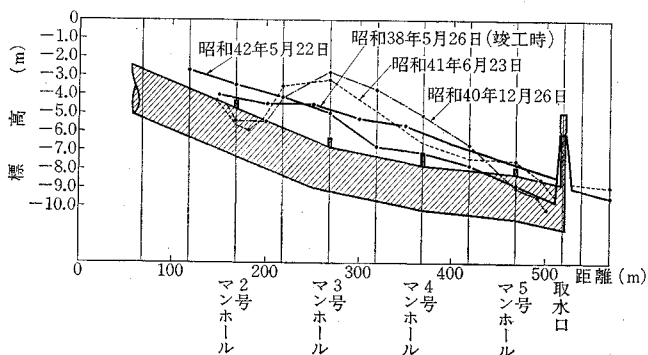


図-7 北側管部海底地形の変化状況



の土かぶり有していたにもかかわらず、昭和40年12月26日および同41年6月23日の調査時には、海底がこの部分で凹状をなして人孔が露出していることが明らかになった。このことから、同40年1月に発見された北側管の閉そくは、No. 4人孔よりもむしろNo. 2人孔よりの流入砂に起因したものと見えるかもしれない。南側管のNo. 2人孔部も、図-7, 8の比較よりわかるように、北側のものと同様の傾向を有しているが、南側管が閉そくしなかったのは、通水していない北側管とは異なり、同管は原研への通水を継続していたためであろうと考えられる。そこで昭和41年6月に、従来C型で補強していたNo. 2人孔を図-9に示す改良B型で補強した。その結果、図-8, 9の昭和42年5月の海底地形線にみられるように、No. 2人孔の凹部はなくなり、満足の土かぶりがえられている。さらに、他の人孔部についても追加補強工を施したが、水路施設工事竣工後の補強経過を表示すると表-5のとおりである。その結果、昭和42年7月の発電所運転開始時および現時点における人孔補強状況は、表-6のとおりである。No. 3人孔は南北管ともC型で補強しているが、この部分は図-8, 9にみられるように海底の地形変動は大きい、人孔部は常に1.5m以上の土かぶりを有して、波浪から十分に保護されている。また、南側管のNo. 1人孔には特に補強を行っていない。このような状態で現在発電所を南北両管をとおして運転しているが、海底砂の流入による障害は現在に至るまで全くない。以上を要するに、東海発電所の取水鋼管では、発電所運転開始以前において海底砂の流入事故はあったが、その原因は人孔蓋の製作あるいは施工上の不備によるものであり、取水開口部周辺水域の浮遊砂が開口部より流入したことによるものではない。もちろん、台風時のように海のある時期には浮遊土砂の混入は多くなることは前記の調査研究の時点で明らかにされていたとおりであるが、これらの混入土砂は沈砂池において十分排除することができる。鋼管沈設後の人孔補強については、荒海のしかもNo. 2人孔におけるような碎波帯内の水中潜水作業は施工上種々の

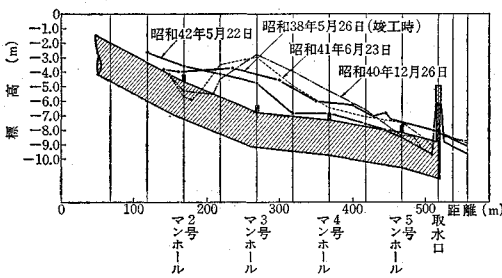
制約を受け、簡単しかも短時間に確実に実施しうる設計や工法について検討がなされた。このことは、かなりの苦勞ではあったが、海底変動を調査しつつ、海底に顔を出した人孔から逐次補強を行ない、また、最も困難視されていた碎波帯内 No. 2 人孔も当初の応急的C型から

改良B型の補強を行なうことができ、心配されていた部分の補強は一応完了することができた。今後、この種の長大な大口径管による取水を計画する際には、潜水技術の最近の進歩した水準を考慮に入れ、適当な間隔ごとに十分な強度と満足な機構を保持しうるような人孔を設けることが最も重要な事項の一つといえよう。

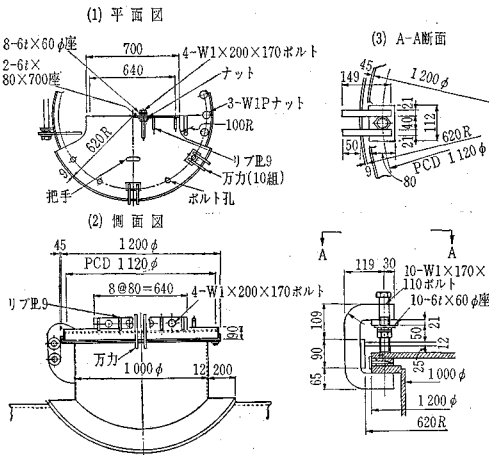
表一 水路工事竣工後に行なった人孔補強状況

年月日	記述
昭和38年5月	取水路工事竣工
昭和39年4月	循環水ポンプ試運転
昭和40年1月22日	北側管が閉そくしていることを発見
昭和40年1月27日	ポンプ運転操作により閉そく砂がぬけ流通
昭和40年6月	人孔 N-4 にB型補強工をすえつける
昭和41年6月	人孔 N-2, S-2 に改良B型補強工をすえつける
昭和42年5月	人孔 S-1, S-5, N-2, N-4 の木栓脱落流失発見 人孔 N-4 より砂の流入が認められる
昭和42年6月	人孔 N-4 B型補強工すえつけ

図一 南側管部海底地形の変化状況



図二 B改良型補強工

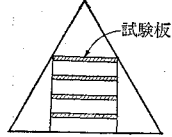


(2) 取水鋼管内面の海生物の付着

水路施設設計に先立って、鋼管敷設後付着するであろう海生物の種類と量を推定するため、東海村地点における付着生物の季節的变化についての調査を東京大学農学部大島泰雄教授に委嘱して行なった。調査方法は、取水鋼管設置予定地点付近の海中にコンクリートおよび鉄の二種類の試験板を 図一10 のようなフレームに水平にとり付けて沈め、2カ月ごとにとり上げて付着している海生物の量と種類について調べる方法である。その結果、サンカクフジツボ、アカフジツボ、マガキの3種類がかなり多量に付着するであろうことが指摘されたが、この種の取水管で最も問題となるムラサキガイについては、試験板に付着がみられなかった。しかし、構造物設置にともない、ムラサキガイが発生するであろうことは過去の火力発電所の例から予想された。当時、これらの取水阻害生物の防除対策として、火力発電所などで実施されている塩素注入法も考慮されたが、ムラサキガイ、フジツボ、カキなどの成体は塩素に対する抵抗性が強いこと、および鋼管に塩素注入装置を設置するとしても、その維持保守がきわめて困難視されたこと、その他の事情を合せ考え、結局塩素注入装置をつけないで、管径決定に際して平均 10 cm の貝付着シロを見込み、また、水理計算には 0.025 の粗度係数を用いることとした。

以上の設計上の基本的な考え方に対して、埋設から4年11カ月後の昭和42年5月、発電所定期点検時に管内全長にわたり潜水調査を行ない、管内部の海生物の付着状況を調べた結果は表一7のとおりである。表中の図にみられるように、付着厚さは取水口入口付近で最大 20 cm 程度で、下流部にいくほど減少している。また、鋼管天端部では海生物付着の程度少なく、底部では薄い沈泥土が堆積しており海生物の付着はない。これらの海生物の付着厚さを管全長にわたり平均すると、南管で約 14 cm 厚、

図一0 海生物付着テスト試験板の配置



表二 発電所運転開始時ならびに現在の人孔補強状況

管人孔	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5
北側管	A型補強	改良B型, C型補工	C型補強	B型補強	B型補強
南側管	補強なし	改良B型, C型補工	C型補強	B型補強	B型補強

北管で約 11 cm 厚と推定され、当初の設計よりもやや大きな付着量であった。付着海生物の種類については、試験板による調査時ほとんどみられなかったムラサキイガイが、大部分であり、その他、フジツボ、カキ、ホヤ、イソギンチャク、巻貝等もみられた。ムラサキイガイは壁面に貝糸を出して付着し、層状生息を行なう独特の性質を有しており、その層は自然状態では2層程度であるが、強制的に水流を起こすと異常繁殖をして多層となるといわれている。調査時にみられなかったムラサキイガイが、取水鋼管内壁に多く付着したのは、発電所運転開始後の管内には新鮮な酸素(水)がたえず大量に供給されて、試験板周辺に存在しなかったようなムラサキイガイの生息に適した環境が形成されたためであろうと考えられる。

なお、ムラサキイガイが層状をなして壁面に付着している厚さは最大で約 30 cm 程度で、それ以上になると重量で貝糸が切断されて落下するといわれている。鋼管天端に付着量が少ないのは、こうした理由によるものであろうと考えられる。

昭和 42 年 10 月に、再度、管内の海生物付着状況調査

表一 鋼管内壁海生物付着状況と堆砂状況

(昭和42年5月調査)

距離	北側鋼管		南側鋼管	
	海生物付着状況	堆砂状況	海生物付着状況	堆砂状況
入口より				
0~50m	1部紫イガイ 海藻	泥土が 少々	カキ貝 紫イガイ 海藻	泥土 0.5~1cm
50~100	紫イガイ 厚い所 15cm	泥土 0.5~1cm	カキ貝 の 紫イガイ 付着	0.5~1cm
100~150	紫イガイ 全面付着 max 15cm	泥土	5~6cm カキ貝 紫イガイ	0.5~1cm
150~200	紫イガイ 15~20cm	イガイの 落ちた もの 泥土 少々	カキ貝 紫イガイ	1cm
200~250	紫イガイ が落ちて いる イガイ 0.4~0.5m	落ちて きた 紫イガイ 泥土	12~ 13cm カキ貝 紫イガイ	1cm
250~300	紫イガイ 剥がれ 落ちて いる 紫イガイ	落ちて きた 紫イガイ 泥土	カキ貝 紫イガイ 落ちて 死んで いる	泥土 1~2cm
300~350	平均厚 10cm 泥土 紫イガイ	落ちて きた 紫イガイ	10~15cm うす い所 で 5~10cm	6~7cm
350~400	ホヤ類 紫イガイ	細砂に 紫イガイ 混合	カキ貝 紫イガイ	紫イガイ カキ貝が 落ちて いる 泥土 7~10cm
400~450	15cm 平均厚 10cm 紫イガイ	泥土に 紫イガイ 混合	厚い所 で 20~ 30cm	7~10cm
450~500	10cm 20cm	泥土 50cm	カキ貝 紫イガイ	細砂 と 泥土 10~50cm

が行なわれたが、海生物の種類、付着の傾向等は上記前回調査結果と全く同様であるが、平均の付着厚さは南北管とも約 7 cm であり、前回調査時より減少し、また設計値を下まわっている。

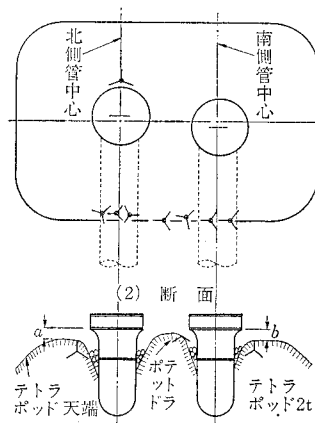
管底に落下した貝のうち、軽量なものは直ちに沈砂池に掃流され、また、比較的重いものは管底で死んで中味がくさり、貝殻が水とともに沈砂池に運ばれてくることになる。沈砂池に運ばれた貝は、ここで土砂とともに陸上に排出されるが、貝殻の小片がコンデンサーチューブ内に入って渦流を起こし、チューブ管壁を傷めることは火力発電所においてよくみられる事故である。同様のことは、取水鋼管内生物の成長にとともに、管内に発生する稚貝についてもいえる。こうしたコンデンサーチューブの損傷防止のための抜本的対策として、管内で海生物付着を許さないのが最良であるとして、付着防止方法を再検討した。水路設計時に比較すると、超音波法、火花放電法等、種々新しい方法がでてきているが、いずれも研究段階で実用上なお多くの問題を残していると思われる。一方、当初不可能とみられていた管全長にわたる潜水作業が可能となった現在、実用化された最もオーソドックスな方法を採用することとし、取水口において塩素注入を行なうことの可能性について、現在再検討中である。

### (3) 取水口鉛直管周辺の安定性

取水口鉛直管周辺には、特に保守上のトラブルを生じたことはない。しかし、この部分の構造は室内模型実験の結果に基づいて設計されているが、模型で観測された現象と、実際の構造物におけるそれとを比較検討することはきわめて興味深く、またこうした試みは工学あるいは技術の発展のためにも必要であろうと考え、ここでとり上げた、模型実験<sup>3)</sup>は、

図一 11 テトラポッドマウンドの沈下状況

(1) 平面

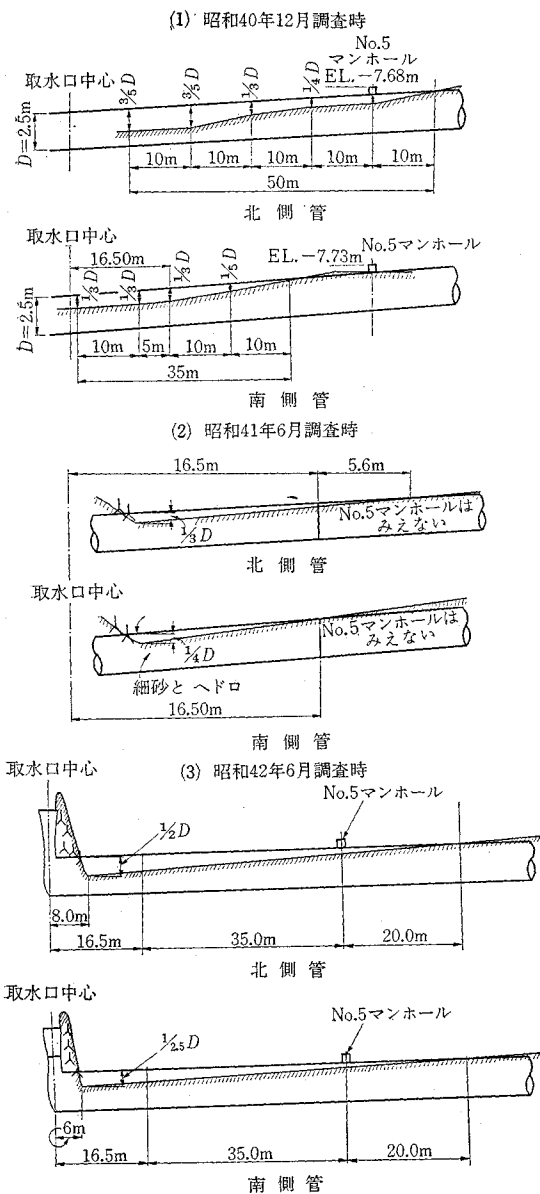


調査日	竣工時	40年6月	40年12月	41年6月	42年5月
距離					
a	0.6m	1.1m	0.7m	0.7m	1m
b	0.35m	0.6m	0.7m	0.5m	0.6m

東京大学工学部土木工学科港湾研究室において行なわれた。研究対象は広い範囲にわたったが、そのうちから取水口鉛直管部の安定性に関する

事項をピックアップすると、鉛直管の保護方法（材料、材料の重量等）と取水口周辺の海底洗掘の問題である。当時、取水口構造物のうち鉛直管部を保護するのに、この部分を海底下でコンクリートにより固定する設計案があったが、上記模型実験の結果、コンクリートで海底下の部分を固定するよりも、捨石やブロックで mound をつくって保護する方が、波の衝撃や洗掘作用からこの部分を保護するのに有利であることが明らかにされた。その結果、図-12 に示した設計が採用された。mound 部のテトラポッド重量についても実験研究がなされたが、その結果、L.L.W.L. の場合の波に対しても mound が

図-12 取水口マウンド付近の洗掘状況



安定を保つためには 1t/個の重量を有するテトラポッドが必要ながことが判明した。この実験結果に基づき、実際の設計では 2t のテトラポッドを用いることとした。

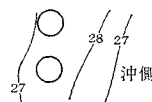
工事竣工後、この部分に実際に生じる現象を把握するため、テトラポッドの沈下状況、散乱遊離の程度等につき潜水調査を実施してきた。その結果、テトラポッドは全体に落ちており、散乱遊離は認められなかった。すなわち、いま取水開口部下端と mound 天端との鉛直距離を竣工時と昭和40年6月、同年12月、41年6月、42年5月の各調査時におけるものとを比較すると 図-11 のとおりである。測定誤差を考慮に入れると、mound は十分安定な状態を保っているといえる。

つぎに、取水口周辺の洗掘についてであるが、図-7、8 に示すように取水口沖側海底では洗掘は生じていない。これに対して取水口陸側は南北管ともかなり洗掘されて鋼管頂部が海底より露出している。その状態を昭和40年12月、41年6月、42年5月の各調査時について詳細に示すと 図-12 のとおりである。設計当時、鋼管のこの部分で 0.5m 程度の土かぶりが見られるものと期待していたのであるが、実際には予想よりやや深い洗掘が生じていることになる。しかし、移動床による模型実験では、取水口に Velocity cap があることにより波がくだけやすくなり、そのために取水口構造物の陸側に 図-13 のような対称の洗掘部分が生じることが指摘されている。以上を要するに、室内模型実験は、実際の構造物に生じる現象をある程度適確に予測していたものといえよう。なお、模型の縮尺は 1/25 であり、図中の等高線は水深をあらわし、単位は mm である。

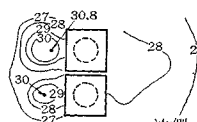
なお、鋼管内外壁には防食用の塗装エナメルがほどこしてあるが、上記の海底に露出した部分には泥土がかぶりエナメルの摩耗はく離は認められていない。

図-13 取口管付近の洗掘実験結果

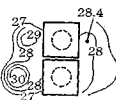
- (1) Velocity cap およびマウンドのない場合 (水深9.4cm, 経過時間1.3sec)



- (2) Velocity cap がある場合 (水深9.5cm, 経過時間1.3sec)



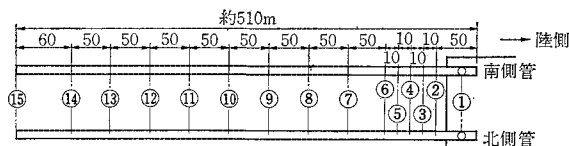
- (3) Velocity とマウンドがある場合 (水深9.5cm, 経過時間1.3sec)



(4) 取水鋼管の防食状況

取水鋼管が海水により腐食するのを防止するため、良質な塗装を施すとともに電気防食法を採用している。塗装と電気防食法を併用した理由は、当発電所の取水鋼管のような長大な海中構造物では、布設過程において塗装が部分的に損傷を受ける恐れがあること、また塗装作業そのものにお

表-8 取水鋼管電位測定記録



測定日時 (昭和年月日)	通電後経過 日数	測定位置		測定対象														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
38. 8.26	通電前自然電位	北側管	490	485	770	710	690	680	700	-	-	-	-	-	-	-	-	
		南側管	540	490	730	705	690	680	680	-	-	-	-	-	-	-	-	
38. 8.27	16 時間	北側管	840	820	850	825	820	680	680	-	-	-	-	-	-	-	-	
		南側管	900	640	895	860	860	845	850	-	-	-	-	-	-	-	-	
38.10.11	106 日	北側管	1180	-	1140	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		南側管	-	-	1050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
38.12.10	166 日	北側管	1150	-	930	930	-	-	-	-	-	850	-	855	870	870	885	
		南側管	-	-	925	925	-	-	-	-	-	-	-	850	865	860	880	
40. 6.23	2 年	北側管	910	907	905	903	902	899	892	886	880	876	871	869	867	866	865	
		南側管	950	946	941	939	934	930	914	896	875	877	866	859	854	851	850	
41. 6.27	3 年	北側管	860	860	850	850	850	850	840	840	840	840	840	840	840	820	840	
		南側管	860	860	850	850	850	850	840	840	840	840	840	840	840	820	840	
43. 1.25	4.5 年	北側管	-	800	880	900	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		南側管	-	790	830	850	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

いても部分的な欠陥がないとは断言しえないためである。塗装は内外面とも コールタールエナメル (厚さ 3 mm) 塗装とし、外面はさらにグラスクロス 2 重巻にしてある。この良質な塗装は防腐電流を減少し、電気防食設備容量を軽減させることに役だっている。電気防食は鋼管外面に対しては外部電源式を、また鋼管内面には、流電陽極式を用いている。これらの電気防食設備により鋼管の防食を完全な状態におくためには防食電位は -780 mV と -2500 mV の範囲になければならない。昭和 38 年 8 月より 43 年 1 月の間に行なった鋼管電位測定結果は、表-8 のとおりである。これによってみられるように、良好な電位値がえられており、防食は完全防食状態に達している。また、鋼管の塗装は内外面とも現在まで異常はなく十分に効果を発揮している。

#### 4. おわりに

以上、東海発電所冷却用水施設の取水鋼管について現況を述べた。構造物の安定強度上の問題については、唯一の欠陥であった人孔の補強も終り、その他についてはなんらの異状は認められない。ムラサキガイの付着についてもある程度以上の付着時には、水流によりはく離掃流され、通水能力には支障をきたすことはない。しかし海象条件のきびしい漂砂海岸に長大な取水鋼管を敷設する工事そのものも困難なものであったが、その後の維持保守についても既述のごとく、必ずしも容易なものでは

ない。保守上の諸問題については、今後とも十分検討をしていきたいと考えている。なお、取水管内部の調査点検は、過去 2 回全長にわたり実施したように、延長 500 m の管内潜水は不可能ではないが、当然困難をともない作業員の熟練を必要とする。長大な海底埋設式取水管内部の調査、補修作業等を容易にするために、満足のいく機能を常に発揮しうる人孔を設けることなどは、実際上むずかしい問題であるが、やはり今後新設の場合に注意すべき事項の一つであろう。本文をまとめるに当り、東大教授 堀川清司博士、元東海発電所建設所長川畑整理当社調査役、真鍋恭平教授建設所土木建築課長より有益な助言をいただいた。紙面をかり厚くお礼を述べたい。なお、本文執筆中、川畑整理氏は急逝されたが、同氏の冥福を誌上を借りて心から祈るものである。

#### 参考文献

- 1) 瀬山 明・清山信二：外洋よりの直接取水のための大口径鋼管の海底埋設，土木学会誌，1963 年 1 月
- 2) M. Hom-ma・K. Horikawa・C. Sonu：“Field Investigation at Tokai, Japan, Conducted by Combined Procedure of Macroscopic and Microscopic Approaches”，Coastal Engineering in Japan, Dec. 1962
- 3) M. Hom-ma・K. Horikawa：“Experimental Studies on the Cooling Water Intake System for the Atomic Power Plant at Tokai, Japan”，Coastal Engineering in Japan, Dec. 1962
- 4) 川畑整理・富樫利男：大口径鋼管の海底布設——その力学的問題点および防蝕法——，土木学会誌，1964 年 2 月
- 5) 3) に同じ

(1968.8.21・受付)