

# 外海における取水工事——浜岡原子力発電所の場合——

佐竹法元\*・真鍋恭平\*\*・吉村 章\*\*\*

## 1. 工事の概要

静岡県小笠郡浜岡町に昭和46年3月に着工、昭和49年11月発電開始予定で目下建設中の浜岡原子力発電所は、沸騰水型原子炉（BWR）を用いる。

この原子炉方式では、ウラン燃料が発生する熱で直接水を沸騰させ、蒸気をつくる。この蒸気はタービンへ送られ、タービン発電機を回して、54万kWの電気を起こす。タービンを回し終った蒸気は復水器で冷やされ、水になり再び原子炉に送られる。

復水器で冷却に用いる最大33.7t/secの海水は、海岸から約600m沖合の遠州灘に取水塔を設け、海底トン

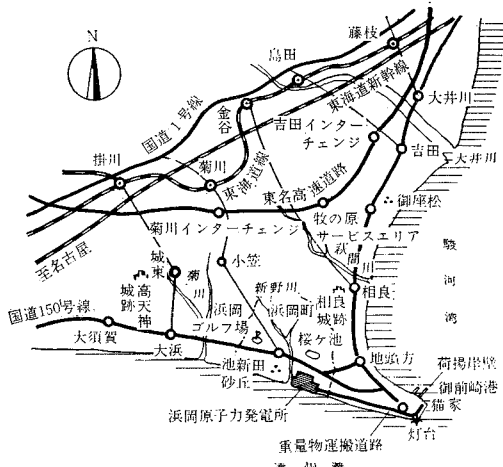


図-1 発電所の周辺図

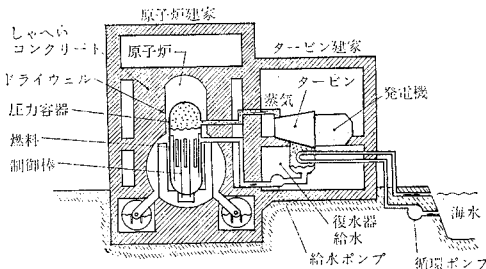


図-2 沸騰水型原子力発電所系統図

\* 中部電力(株)浜岡原子力建設所 次長  
 \*\* 正会員 中部電力(株)浜岡原子力建設所 土木課長  
 \*\*\* 中部電力(株)浜岡原子力建設所 土木第二係長

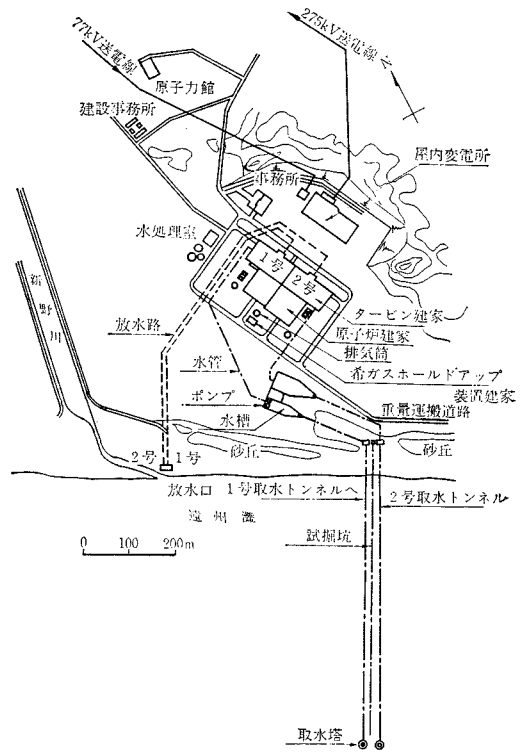


図-3 発電所配置図

ネルをとおして取水する計画である。

取水設備工事の着工に先だち、海象・海底地盤の調査を実施し取水塔の位置、トンネルのルートを決定した。さらに海底地質をたしかめ、工法・使用機械を検討するため、本トンネルに平行に23.5m離れた位置にφ2.5mの試掘坑を施工した。この試掘坑での体験を生かし、機械の一部を改良のうえ、試掘坑と同じシールド工法を採用した。

取水塔については、海象状況の比較的良好な4~6月の3か月間に完成させることを眼目として、鋼製ケーソンを据付けコンクリートを充填し、安定上必要な根入れを圧気工法で施工する計画をした。

## 2. 調査

浜岡付近御前崎半島一帯の基盤は相良層といわれる第

三紀中新世に属する、泥岩・砂岩・砂質泥岩・凝灰岩が互層をなしており、泥岩が大部分を占めている。相良層の上部は、砂利・砂・シルト層でおおわれている。

取水塔・海底トンネル工事のための調査としては、前面海域 1.8×3 km 範囲を音波探査による深淺測量、0.8×1 km 範囲を弾性波による基盤の構造・破碎帯などの調査、さらに海上ボーリングを 100 m 間隔に 46 点、汀線付近をジェットボーリングで 50 点岩盤線の位置を測定した。

これらの調査および陸地部の弾性波・ボーリング・試掘坑の調査から岩盤の物理的性質として以下のような結果を得た。

圧縮強度：平均 64 kg/cm<sup>2</sup> (20~104 kg/cm<sup>2</sup>)  
静弾性係数：平均 13 000 kg/cm<sup>2</sup>  
含水比：平均 16.7%  
比重：平均 2.66  
湿润密度：2.01  
乾燥密度：1.68  
間隙比：0.613  
飽和度：75.6%  
吸水率：20.0  
弾性波速度：縦波 2.0~2.3 km/sec  
横波 0.6~0.8 km/sec  
ポアソン比：0.4  
動的ヤング係数：47 000 kg/cm<sup>2</sup>  
動的せん断剛性率：17 000 kg/cm<sup>2</sup>  
透水係数：10<sup>-4</sup>~10<sup>-5</sup> cm/sec

トンネルを機械掘削する場合、地質の変化の幅が機械の対応できる幅を越えると、進行が止るとか渋滞をきたすわけであるが、相良層は第三紀であり岩盤としては若い地層であるために、シームとか破碎帯のようなきずあとが少なく、従って、地質の変化幅が小さいということと、若干ある破碎帯も粘土とかシルトが固まってできた泥岩であり、破碎物質が粘土化していること、また、節理面が水平に近いために漏水量が少なく、トンネル工事としては非常に都合のよい岩盤であるといえるものであった。

このような岩盤上をおおっている砂・砂利層の厚さは汀線付近では東から西に向かってしだいに深くなり(2~14 m 程度)、沖側に向かってしだいに浅く汀線から 1 000 m 付近では岩盤が露出していた。

海象調査としては、波高・流向・流速・水温計を汀線から 700、1 000 m の 2 点に常置して、取水塔工事着手前約 1 年前から測定を始め、現在も続行中である。そのほか、前面海域の広範囲の流向、流速、水温および海底の移動、汀線の変化の実測を年 4 回行なう計画で、現在までに 2~4 回実施済みである。また、漂砂については年 4 回 8 点について実測した。

### 3. 試掘坑工事

試掘坑は汀線から約 70 m 陸側の砂丘上から 6×4 m 断面の立坑を約 40 m 掘下がり、その位置から汀線に直角方向に、断面 φ2.5 m の水平坑をシールド機械により掘進した。

水平坑は岩盤のかぶり立坑位置で 24 m、取水塔位置で 15 m に高さ位置を決定し、掘進に先だち前面の岩盤の状態、湧水量、湧水圧、湧水の塩分濃度などをあらかじめ知るため、長尺の先進ボーリングを行なった。このボーリングは、孔曲りの限界をトンネル断面以内としたため、1 回分のボーリング延長が 260 m から 116 m とまちまちであったが、全延長を 4 回分でカバーすることができた。

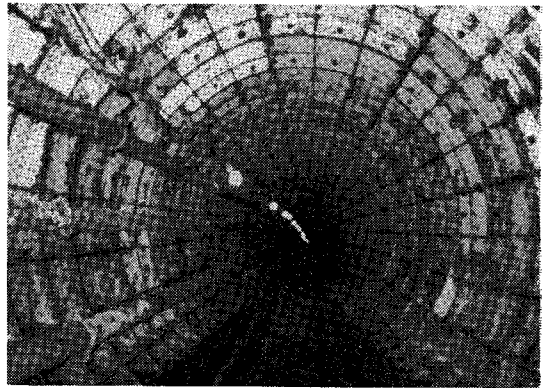


写真-1 試掘坑内部

このボーリングの結果、破碎帯と思われる箇所が 3 か所発見された。これは、事前調査の弾性波探査で縦波速度 1.8 km/sec の位置および岩盤線が凹部になった位置と関連づけしうるものであった。

湧水量は全般的にきわめて少量で(0.1~0.2 l/min/m 程度)、最大値としては 2.96 l/min/m を記録した。また、塩分濃度については電導度計を用いて測定したが、海水の電導度が約 50 000 μΩ/cm であるのに対して、湧水のそれは 1 500~13 800 μΩ/cm という値であった。

ボーリングコアの採取率の悪い箇所では、湧水量も多く、湧水の電導度も高いという、ごく常識的な結果であった。

湧水圧については、トンネル位置が海水面から約 30 m であるが、この圧力を越えるものではなく、加圧水と思われる湧水はなかった。また、ガスの検出も常時行っていたが、メタンガスなどの噴出、あるいは酸素不足を認めるようなこともなかった。

先進ボーリングを終わってから、掘進直前 36 m 間のさぐりボーリングを繰り返しつつ前進した。





これは横方向修正はできるが、そのために頭部が下がって下方への蛇行をする結果になり、あまり有効に利用できなかったこと、②断面に比べ機長が比較的長かったことなどのために蛇行修正がむずかしかった点などを考慮して、機長を短くし、オーバーカットが半円形にできるような機構とし、ジャッキ数を22本にすることにより推力の調整が細くできるようにするなど蛇行量を最少限におさえるべく設計した。その結果、実績として水平方向最大 19.5 cm・上下方向最大 13 cm におさめることができた。

また、セグメントは、試掘坑の場合、鉄板製の箱型セグメント8ピース1リング組立式であったが、本トンネルでは、厚さ 25 cm の鉄製箱型セグメントの内部をコンクリートで填充した7ピースを1リングに組み立てる方式とし、円周方向はボルト継ぎ、縦断方向はピンはめ込み継ぎで施工した。

地山とセグメントとの間のグラウトは、10~12リングごとに実施した。シールド機械側のグラウトストップとしては、ダクトホースをあらかじめセグメント裏側にセットしておき、水圧で地山とセグメントのスキンプレートに圧着させてモルタルの漏出を防いだ。

なお、本トンネルはセグメントを組み立てた内側にさらに 30 cm 厚の本巻コンクリートを現在施工中である。

工程としては、昭和 46 年 5 月末に立坑工事に着手し、11 月に同工事を完了、12 月下旬にシールド機械組立てを終り、トンネル掘削を 46 年 12 月 25 日から開始した。

立坑から 81 m 間は圧気用ロック設備、シールド機械の後続設備を順次所定の配置に組み入れるなどの作業と並行して掘進したため、その間 4 か月を要した。全装備を配列し、本格的なシールド掘進ができるようになったのは、昭和 47 年 4 月下旬からである。そして全長掘削を完了したのは 10 月 18 日であった。その間、全所要日数に対して平均日進は 2.18 m/日・最大日進 9.25 m/日であった。

### 5. 取水塔工事

取水塔は外径 16 m・高さ 17.2 m の円筒形状をしており、水深約 9 m のところに基礎岩盤に下部約 6 m を沈下定着させたものである。

前面海域の海象状況から、比較的海の静かな 4~6 月の 3 か

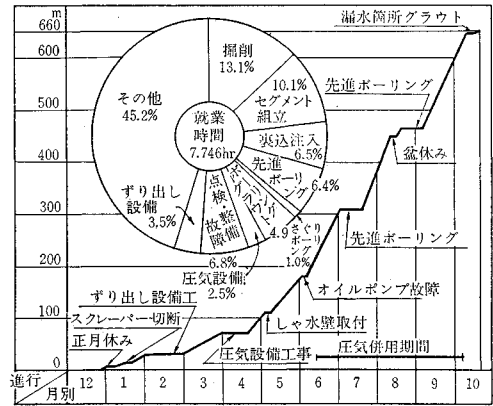


図-6 本トンネル工事工種別分類表および進行図

月間に海上での作業を終了させるように施工計画をたてた。このために、取水塔外殻を鋼製として、これを海上運搬して所定の位置に据え付け、内部のコンクリート填充、沈下掘削、取水塔底部と本トンネルとの間約 15 m の立坑部分の導坑掘削までを海上より施工する計画とした。

取水塔の運搬は、外殻の製作場所清水港岸壁から御前崎港までは 1 000 トンクレーン船で吊下げて運搬し、御前崎港から据付け位置までは、下部のケーソン作業室のコンクリート約 500 m<sup>3</sup> を打設、ケーソン作業用シャフト・足場などを構築して重量約 1 800 トンとし、2 000 トンクレーン船で吊り下げて運搬した。

海上でのコンクリート工事は、約 1 500 m<sup>3</sup> を打設したのであるが、海上での施工足場に使用した海上作業台 (SEP) に、あらかじめ設置した 0.6 m<sup>3</sup> ミキサ 2 台を備えたパッチャープラント・セメントサイロ・骨材ビン・三脚デリックなど一連のコンクリート打設設備により施工した。セメント・骨材・水などは、400 トン運搬

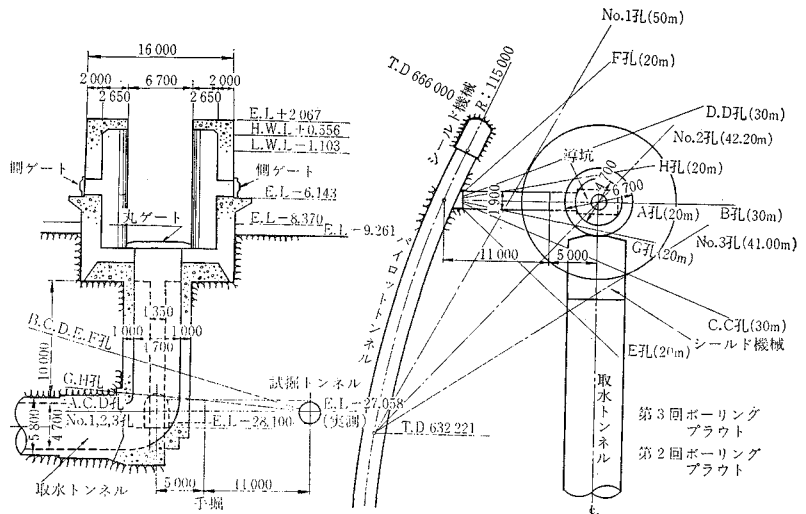


図-7 取水塔付近図

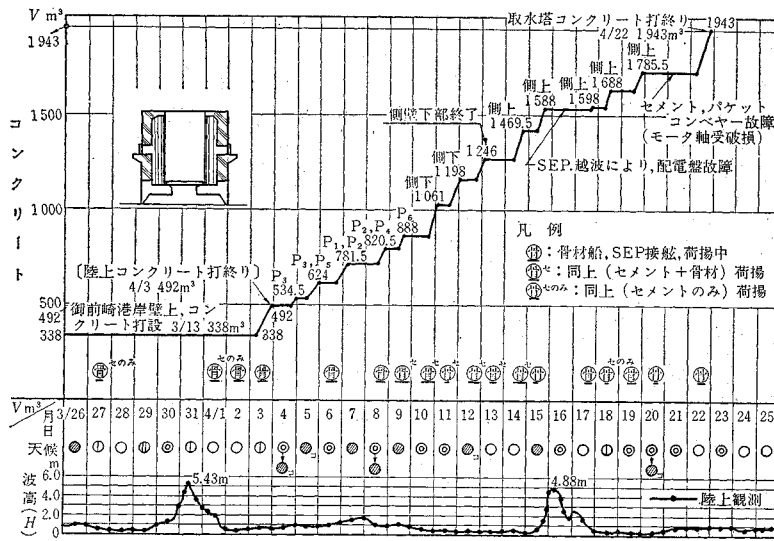


図-8 取水塔コンクリート打設状況図

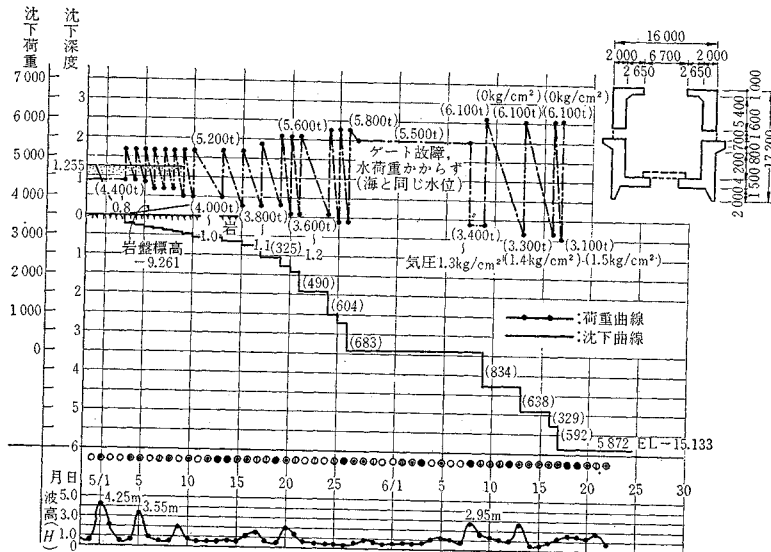


図-9 取水塔沈下荷重曲線

船を使い海上約 40 km 離れた大井川河口にある大井川港から運搬し SEP に接舷し三脚デリックで荷揚げした。

コンクリート工事の工程は相当余裕をみて 15 日を予定していたが、実績としては 19 日を要した。その最大の障害となった点は、運搬船の SEP への接舷のむずかしさである。後述する掘削土の運搬のための土運船の場合も含めて、全工程中にこれら船舶の稼働率は 55% であり、この期間中の波浪の状態は最大波高 1.5 m 以下の日が 67%、最大波高 1 m 以下の日が 37% であった。なお、船舶の稼働日数の中には 1 日のうち数時間より作業できなかった日も含まれており、このような荒海での船の接舷荷役作業の困難さを示している。

沈下掘削はケーソン工法により行なった。側面の取水

口に 6 門および作業室天端に円形のゲートをおのおの設置し、取水塔内部に水荷重をかけて沈下させた。沈下は日平均 12 cm で、砂層 1.26 m・岩盤 5.87 m を掘削するのに 55 日間を要した。

沈下掘削中施工上障害となった点は、次の諸点である。

### (1) 掘削初期のトラブル

掘削の初期にあつては岩盤面がでこぼこであり、そのため歯口が着岩していない部分をとおして外側の波浪による圧力変化がそのまま作業室内部に影響を及ぼし、浸水・流出の繰返しをみたことである。このため、土俵により歯口をふさいでこれを防いだ。この方法も、大きな波がくれば押し流されることもあり全歯口面が着岩するまで進行は困難をきわめ、この間 7 日間を要した。

### (2) ケーソン沈下中のトラブル

3.5 m 沈下した所でケーソンの沈下が止ってしまった。この直接の原因としては、前記したようにゲートを閉めて水荷重をかけていたわけであるが、沈下による震動・波による震動のために締付けボルトがゆるみ止水がきかなくなり、水荷重が減ったためであると考えられる。

そのため、潜水夫を入れてボルトの締付けを行ない、水荷重を加えたが、まだ沈下できなかった。この原因として考えられることは、従来からの岩盤内を沈下するケーソンは歯口部を躯体より外側に数 cm ほどはみ出させる、いわゆるフリクション切りを施さないで、余掘りをできるだけ少なくして、定着後に行なうコンタクトグラウトによる不確定な施工量を少なくする方針に従って歯口部を躯体と同じ外径に設計したのであるが、ケーソン重量が約 6000 t と重く、波による震動を常時受けている岩盤が軟いために歯口で切るようにして沈下していったためにケーソン側面と岩盤との間が密着した状態であり、さらに海底の砂が波により隙間に入り、ゆすぶり固められたためと思われる。

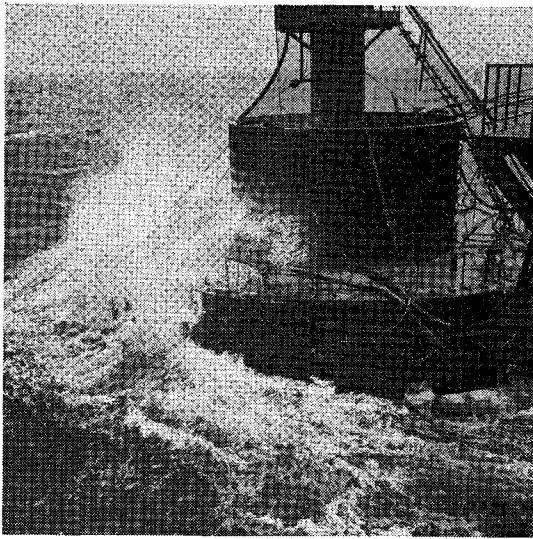


写真-3 工事中の取水塔

これが対策としては、ケーソン沈下完了後のコンタクトグラウト用に設置してあったパイプをとおしてジェットウォーターをケーソン側面に接する岩盤に噴出させてフリクションを切り沈下させることができた。このために、14日間を浪費してしまった。

以上のように、コンクリート填充工事・沈下掘削工事に予定より日数を要したため、当初予定していた本トンネルとの連絡立坑の導坑掘削を中止し、作業室の填充、コンタクトグラウトおよび灯標の設置を終って、6月末に海上作業のいっさいを終った。

## 6. 連絡坑工事

取水塔と本トンネルをつなぐ連絡立坑約15m間の工事は、当初計画では導坑掘削は海上から施工する予定で

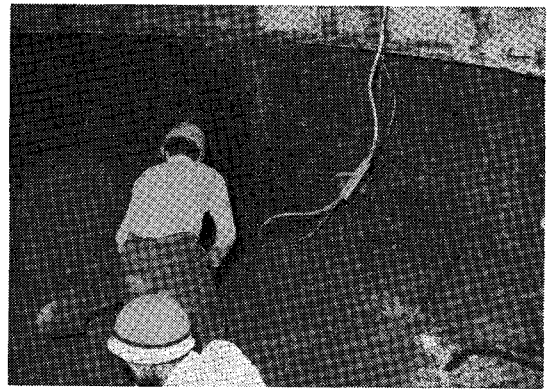


写真-4 切広げ中の連絡坑

あったが、前述のように海上作業が若干長びいたために導坑工事を含め、連絡立坑工事のいっさいを試掘坑を利用し、陸側から施工するように変更した。ただ、取水塔の中心線をたしかめるためと作業室内の多少の漏水を処理するために、ボーリング孔により取水塔と試掘坑との連絡をした。

試掘坑から取水塔直下までの15mは手掘りで延長し前記のような取水塔側からのボーリングにより取水塔との連絡をとり、 $\phi 1.3\text{m}$ の小型シールド機械により掘り上がり、切広げは上部から手掘りでセグメントを組み立て、山を押えつつ掘り下がった。掘削完了後、本トンネルと完通させて曲線部分から巻き立てをはじめ、昭和46年12月15日に連絡立坑部分の巻立てを完了、この部分の工事を完了させた。

引き続き本トンネルの巻立てを可動式ステールホームを使い1日12mずつ施工している。海底トンネルの巻立ては4月中には完工し、7月末までには取水口から放水口に至る冷却水取放水路工事いっさいを終り、取水塔のゲートを撤去、送水ポンプの試運転に入る予定である。

土木学会耐震工学委員会編 ●好評発売中

# 地震応答解析と実例

定価 5 000 円 会員特価 4 500 円 (〒200 円)

● B5判・458 ページ・8 ポイント一段組・図版・表など 1 000 個・上製箱入特製クロス装豪華本 ●

第1編 基礎編 1章 概説 2章 振動論 3章 地盤振動特性 4章 地震外力 5章 理想化された構造系 6章 地震応答解析の方法 7章 構造材料と土の動的特性 8章 解析結果に対する評価

第2編 応用編 9章 橋梁 10章 ダム 11章 土構造 12章 港湾構造物 13章 電力施設 14章 都市施設 15章 その他の構造物 16章 地震応答観測 索引

<全国主要書店でも扱います。予約して下さい>