V. 東海発電所の建設

Construction of Tokai Atomic Power Station

Susumu TSUJIMOTO

The Tokai Atomic Power Station is the first nuclear power station in Japan for practical use with the maximum electrical power output of 166 MW imported from the General Electric Power Co. of U.K., and is now under construction by the Japan Atomic Power Co. at Tokai-mura, Ibaraki Prefecture, with its commercial operation scheduled for commencement in April 1965. The Station is the one what is called "Advanced Calder Hall Type", with hollow-type fuel composed of natural uranium, graphite moderated and CO_2 gas cooled reactor.

1. は し が き

東海発電所は電気出力166 MW、わが国最初の実用規模の原子力発電所として、日本原子力発電(株)がイギリスの G.E. 社に注文し、現在茨城県東海村に建設中のもので、1965年4月から営業運転を開始する予定になっている。

この発電所の原子炉はコールド・ホール改良型と呼ばれるもので、燃料には天然ウランの金属棒を使用し、減速材には黒鉛ブロックを、また冷却材には加圧された炭酸ガスを使用している。この発電所の建設工事は1959年12月東京において G.E. 社との間で原子力発電設備を購入する契約が調印されたのちに開始された。

以下おもな工事について、その建設概況を述べてみよう。

2. 原子炉建物

東海村に予想される最大地震加速度は地表面で150 G (cm/sec^2) 程度であり、また日本建築基準法で採用されている普通建築物の標準耐震加速度は200 G であるが、原子力発電所は最重要構造物で、特に安全性が要求されるため、つぎのような耐震設計加速度を基準にして設計された。

原子炉建物一般	300 G (水平)
1次生体遮蔽壁	600 G (水平)
原子炉炉心	} 600 G (水平) +300 G (垂直)
原子炉圧力容器	
熱交換器	

日本原子力発電(株) 辻本 進
建設部

主ガス・ダクト 2,000 G (水平)
+1,000 G (垂直)

第1図 原子炉建物断面図

原子炉建物は地上51.5 m、地下6.5 m、間口67 m、奥行47 m、建築面積は約3,140 m^2 の巨大な建物で、この建物のなかに1基の原子炉と4基の熱交換器が格納されている。建物重量は積載荷重を含めて約105,000 t. であり、1 m^2 当り平均33 t. の荷重が作用することになる。また、建物全体としては、左右対称な平面をもち、重心の位置は平面上においてほとんど図心と一致し、重心の高さは建物全高の約 $1/3$ になっている。

建設現場は一面の砂地であるが、地表下約22 mのところには、この建物をささえるのに恰好な基盤になる厚さ数十 m の砂質泥岩層があるので、高さ約17 m、総底面積約1,200 m^2 の大小とりまぜて30基のケーソンをここまで沈めてしっかりと定着させた。原子炉建物の基礎掘削は'60年3月に開始し、このケーソン工事は同年10月末に完成した。

つぎに、このケーソンから地表までの6.4 mの部分には、格子状の強固なコンクリートの一枚盤として充分地震に耐えうようになっている。このコンクリートの基礎盤が出来上がったのは'61年7月である。

また、炉心からの強い放射線を防ぐため、原子炉のまわりには高さ地上約25 m、厚さ約3 mの2重円筒状の部厚い鉄筋コンクリートの壁がある。この生体遮蔽

壁は相当厚いため、温度勾配に比例して大きな熱応力が起るので、空気で冷却してその温度が 40°C を越えないようにしてある。その熱応力は主として縦方向応力であるので、地震力による剪断応力には直接加わることはない。この生体遮蔽壁は '62 年 2 月に完成した。そして、現在、原子炉建物の工事はほとんど完了し、仕上げ工事を行なっている。

3. 原子炉压力容器

原子炉压力容器は内径 18.34 m の球殻で、容器の厚さは通常 80 mm、最大 92 mm で、その設計圧力は 16.17 kg/cm^2 である。压力容器およびその支持構造物の材料にはアルミキルド鋼が使用されている。これは低炭素、高マンガンキルド鋼でアルミニウム添加により微粒子化されたもので、溶接性に富んでいる。容器上部の温度を材料のクリープ温度以下に保つため、高温ガスに触れる上半部内面は多層ステンレス鋼箔の特別の熱絶縁材でおおい、また低温ガスに触れる下半部は外面を鉍物質の保温材でおおい、压力容器各部の温度が均一に 200°C になるように設計されている。炉心および压力容器の重量約 3,000 t. は直径 14.5 m、厚さ 62 mm の円筒形のスカートで支持されている。また、耐震上の考慮として、上部のスタンド・パイプ群の外側にもスカートを設けて、その上端から円周方向に耐震支持板を出して生体遮蔽壁につなぎ、地震によって压力容器の頭部が振れることを防止している。

この球形の容器は 1 枚当たり約 7 t. の 101 枚の鋼板を溶接して作られている。鋼材はイギリスのコルヴィル社のものが使用される予定であったが、日本に輸入後溶接のための開先加工を行ない、精密なマグナフラックス検査を行なった結果、多くの不良個所が発見されたので、佛日本製鋼所製の鋼板が使用されることになった。この鋼板は佛神戸製鋼所で工場加工された後、鋼板のまま東海の建設現場まで輸送された。現場ではこの容器を輪切り状の 6 つの部分に分け、その各部分はタンクのような形の仮組立場で溶接された。この原子炉压力容器は原子炉が運転されると 2 度と修理することができないので、この溶接には細心の注意が払われ、厳選された溶接工により、あらかじめ定められた順序に従って溶接され、すべての溶接部分には厳重な検査が行なわれた。このようにして溶接された各部分は、高さ 120 m、容量 125 t. (最大吊上げ重量 150 t.) の主デリックで吊り上げられ、原子炉建物の中の高さ 25.4 m の生体遮蔽用コンクリート壁の中に吊り込まれ、そこでつぎつぎに円周方向の溶接が行なわれて球殻を形成した。鋼板の現場加工を始めたのが '61 年 11 月、

球殻を完成してスタンドパイプ・ノズルの溶接を終了したのが '63 年 5 月、その間約 1 年半の歳月を要した。

压力容器およびスタンドパイプ・ノズルの溶接がおわると、溶接部の残留応力を除去するために容器全体の焼ナマシが行なわれた。この作業は、主として、容器内面に放射式の電熱ストリップを吊り下げて配置し、容器の温度が全体的に $540^{\circ}\sim 590^{\circ}\text{C}$ になるまで徐々に加熱し、約 10 hr この温度状態に保ったのち徐冷することによって達成された。加熱速度は最高 15°C/hr 、冷却速度は最高 5°C/hr と決められていたが、実際の加熱速度は 5°C/hr 前後、また冷却速度は 2°C/hr 前後であった。压力容器には約 300 の熱電対が分布され、これらの温度は約 30 min ごとに測定記録され、これによって電熱ヒータの制御が行なわれた。この作業のために使用された電力は最高で約 3,500 kW に達し、またこの作業に要した日数は 15 日であった。

1963 年 6 月に焼ナマシ作業が終ると、容器内部の清浄およびスタンドパイプの溶接作業が行なわれ、'64 年 1 月には大部分のガス・ダクトを含めた压力容器の圧力試験が行なわれた。この試験は通産省およびロイド・レジスターの立会いのもとに行なわれたもので、75 kW × 8 台の 1 次コンプレッサと 120 kW × 2 台のブスタ・コンプレッサを用いて、 20.3 kg/cm^2 (設計圧力の 1.25 倍) まで昇圧して通産省の試験に合格した。その後さらに 25 kg/cm^2 (設計圧力の 1.5 倍) まで昇圧してロイドの試験に合格したのち、压力容器各部の圧力と応力との関係を測定した。つぎに圧力を 18.25 kg/cm^2 に下げて、20%濃度の石けん液を溶接線に塗布して漏洩探査を行なった。この試験が行なわれている期間中は、最も過酷な条件を想定して、原子炉压力容器の中心から半径 225 m 以内を危険地帯とし、この地帯に入りする人々は特定の人に限定し、関係者以外の立入りは禁止された。

圧力試験が終ると炉心部の組立て工事が開始され、'64 年 4 月から約 3 ヶ月にわたってグラファイト積みを行なったのち、9 月中旬には原子炉プラントの建設を終了して試運転に入る予定である。

4. 熱交換器

熱交換器は 4 基あり、その内径は約 6.25 m、高さは約 24.7 m の堅型円筒状で、その外殻の压力容器だけの重量は 1 基で約 300 t. である。この容器の厚さは場所によって異なるが、最も厚いところで 94 mm、最も薄いところで 66 mm である。水管は高圧蒸気用と低圧蒸気用との 2 組がこの容器内に取められ、そのおのにおにエコノマイザ、蒸発器および過熱器がついている。

またこの容器の下部には、炭酸ガス循環用のブロワが取り付けられており、これはさらにその下部に取り付けられている背圧蒸気タービンによって、遊星歯車を通して駆動されている。このガス循環機の主な仕様はつぎのとおりである。

種 類	堅型単段遠心送風機
原動機種類	常 用 背圧蒸気タービン
容 量	8,700 HP
回転数	7,028 r.p.m.
蒸気使用量	116,700 kg/hr
非常用	3 相誘導電動機
容 量	100 HP
循環機回転数	1,255 r.p.m.

この圧力容器は(株)日本製鋼所製の鋼板を神戸の川崎重工(株)で10の輪切り状の部分に分けて工場製作され、神戸から日立港までは海路船で、日立港から建設現場までは陸路特別につくられた重量物運搬道路を経て、大型トロッコで輸送された。現場の仮工場でこれらの部分は3つのセクションに溶接され、そのおのおののセクションを専用の焼鈍炉に入れて残留応力を除去したのち、主デリックで原子炉建物の中に吊り込み、そこで各セクション間の円周方向の溶接が行なわれた。その溶接箇所は局部応力除去が行なわれたのち、'62年12月から'63年4月の間に設計圧力の1.5倍で水圧試験が行なわれた。その後、汽管、水管の取付け工事が行なわれ、熱交換器およびガス循環機とも据付けが終るのは'64年7月の予定である。

5. タービン・ホール

タービン・ホール建物の大きさは地上23.3m、地下7m、間口80m、奥行34mである。この建物の中にはそれぞれ2基のタービン発電機と復水器が据え付けられている。これらの機器の主な仕様はつぎのとおりである。

(1) 汽 機

種 類	串型混圧2流排気復水タービン
容 量	85,000 kW/unit
蒸気条件	
高 圧	45.3 kg/cm ²
高圧温度	355°C
低 圧	16.7 kg/cm ²
低圧温度	357°C
真空度	725 mmHg
回転数	3,000 r.p.m.

(2) 発 電 機

種 類	水素冷却交流同期発電機
-----	-------------

定格出力 100,000 kVA

(水素圧力 10 psig)

力 率 0.85

電 圧 11,000 V

回転数 3,000 r.p.m.

(3) 主 復 水 器

種 類 表面冷却再生脱気式

冷却面積 10,000 m²/unit

冷却水量 375.4 t./min

冷却水 種類 海水

温度 20°C

この建物の基礎掘削は'61年10月に終り、'62年3月から鉄骨工事に着手し、同年12月には容量100t.の天井走行クレーンが完成したので、そのクレーンを利用してただちに主復水器の据付け工事に掛かり、1号タービンについては'63年12月、また2号タービンについては'64年4月にそれぞれ通産省の据付け中検査に合格した。'64年の7月にはタービン発電機の据付けは1号、2号機ともすべて完了する予定である。

6. 復水器冷却用水路

東海発電所の所要冷却水量は14 m³/secである。敷地北方約2 kmには久慈川があるが、ここから取水しようとすれば、河川流量だけでは発電所の所要水量が満たないため、海からの逆流水を取水しなければならない。この場合は、河川の上下流に及ぼす影響から種種の問題が派生することが予想された。一方、敷地東側は太平洋に面しているので、この外洋から取水すれば水量の点では全く問題はないが、この海岸は漂砂の移動がはげしく海底の地形が絶えず変動している荒海であり、ここからの取水は技術的にははなはだ困難なものと考えられた。この両案について比較検討の結果、技術的困難を覚悟の上で海洋から直接取水する方法が採用された。

そのための取水方法についても種々の案が比較検討されたが、結論的には、“自然の猛威を克服するためには自然に逆らわない”という根本方針がとられた。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突き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ようとする工法にすることが原則となった。

したがって、取水の設計は海底変動および漂砂流入のおそれのなくなる地点(汀線より約500m沖合、水深約9m)で行なうこととし、導水路としては内径2.5mの2条の鋼管が海底に埋設された。また汀線より陸側

第2図 東海発電所一般平面図

は延長約360 mのコンクリート導水暗渠とし、水路端の4台のポンプにて復水器に送水され、導水路の上段の放水路を経て、海岸に設置された放水口より外洋に直接放水される。

この冷却用水路工事のうち、陸部工事は'60年7月に着手され、同年暮にはコンクリート暗渠が完成した。この暗渠は鋼管の溶接場として利用され、さらに鋼管曳船用ドックの役目を果たすと、中を4つに区切って下2つが導水路、上2つが放水路にそれぞれ仕上げられた。直径2.5 mの取水鋼管は1節の長さ4 m、総数268本の輪切り状にして現場に運搬され、この暗渠の中で340.5 mと164.2 mのものの2組に溶接された。

一方海部では、'61年5月から沖合200 mまでの浅い部分を掘削するため、40 m間隔の2本の仮設防砂突堤棧橋の建設が行なわれ、その完成を待って11月から突堤内の掘削が始められ、海底幅30 m、深さ6 mほどが掘削された。さらに'62年4月からは、1,400 HPのしゅんせつ船を使って棧橋以遠の深い部分が掘削され、荒天その他の悪条件を克服しながら、堤内外相い呼応して海底掘削に全力が注がれた。

そして'62年6月下旬には海部の掘削を完了し、水門を開いて海部水路に海水を注入し、背中に鋼製のブ

イをつけて鋼管を浮上させた。ひきつづいて浮上した鋼管を約8 cm/secという低速度で沖に向って曳航し、最初の鋼管が約180 m引き出されると、短い鋼管と海中で結合して全長504.7 mの1本の鋼管とした。こうして1本になった鋼管をさらに530 mの沖合まで曳航し、センターを合わせたのちブイに順次注水して徐々に海底に沈設させた。この沈設に要した日数はわずか3日であった。

その後ひきつづいて海部では、埋戻し、取水鋼管の旋着、取水口の取付け等の工事が行なわれ、また陸部では沈砂池、導水路、放水路、ポンプ室等の工事が行なわれ、すべての工事は'63年12月に完成した。

7. あとがき

東海発電所の建設もいよいよ最終段階を迎え、最後の追込みに全力が傾けられている。炉心部ではサポート・プレートの取付けが終ってグラファイト積みが行なわれており、またパイル・キャップでは燃料取換機の組立てが行なわれている。原子炉建物の周囲では、使用済み燃料貯蔵池、放射性廃液処理設備、汚染除去設備、燃料倉庫等の工事が着々と進められている。またタービン・ホールの西側に建設中の屋外開閉所も'64年の8月には完成の予定である。一方、現在イギリスで製作中の初期装荷燃料も'64年の6月から約3ヵ月に

わたって現地に搬入される予定になっている。

実用規模の原子力発電所の建設は日本では初めての経験なので、従来の火力発電所には見られない困難な問題が山積していたが、たゆまざる努力によりそれらの困難を1つずつ克服しながら、工事は順調にほとんど計画された工程どおりに進んでいる。そして'64年9月には原子炉プラントの建設を終って、原子炉1次

回路の総合試運転を開始し、12月から約1ヵ月にわたって燃料を装填し、その後いろいろな試験を行なったのち、明'65年4月から営業運転を開始する予定になっている。

(1964年 4月24日 受理)

☆ 本 誌 投 稿 の 手 引 ☆

- 一般投稿は研究論文・技術報告・資料を原則として、会員の資格を要する。
- 内容はオリジナルものに限り、暫く刷上り8頁以内(超過の場合、超過分1頁当り実費約4,000円は著者負担)とする。和文は「会誌」に、欧文は Journal に掲載される。欧文の場合は修文添削にとくに十分な考慮を要する。
- 掲載範囲は、原子力研究に関連する凡ゆる部門を含め、とくに限定しない。
- 執筆にあたっては投稿規程に従い、所定の原稿用紙を使用する(欧文は適宜に厚手のタイプ用紙に2段送り、1枚約25行にタイプする)。和・欧文とも所定の原稿表紙を添付する。図面の線図はそのまま製版できるよう必ず墨入れトレースする。
- 投稿希望者は事務局へ連絡すれば、原稿用紙(30枚綴1部100円干共)と投稿規程が送付される。
- 和・欧文を問わず表題・抄録・所属機関名などを和・英両文で適確に書いて添付する。
- 別に締切り日は設けない。原稿受理次第「受

理通知」を本人に送る。原稿は当該分野担当の査読委員の査読に回わり、次回以後の編集委員会において採否を審議する。査読通過および掲載巻号は決定次第通知される。

- 査読通過した論文は受理順に掲載される。(掲載まで約3～4ヵ月)
- 掲載論文1篇につき30部まで無料で別刷が贈られる(30部以上希望の時は、1部につき、100部まで4頁以内50円、5～8頁60円程度著者負担)。
- 査読・審議の結果、内容・文章の短縮・修正または図面トレースの書直しを要求されたり、時には掲載を遠慮いただく場合があるので、予めご了承ください。
- 特に欧文の修文・添削については著者の負担とする(和訳を要求される場合もある)。
- 返却原稿は6ヵ月以内に再提出なき場合は撤回とみなされる。
- 討論・寄書・談話室の各欄については、随時、随意に気軽な寄稿を歓迎する。
- その他詳細は事務局へお問い合わせ下さい。