

菊間石油地下備蓄実証プラント（その1）

星野 一 男 （燃料部）
Kazuo HOSHINO

1 はじめに

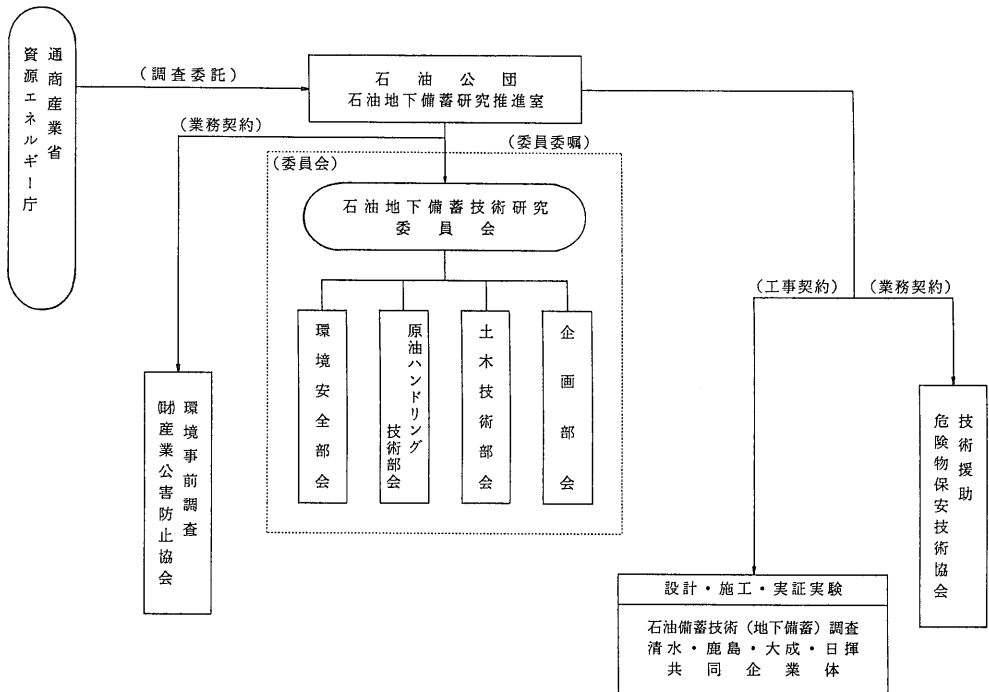
愛媛県菊間町における石油地下備蓄実験がこの程昭和57年度の計画を終了した。本実験は我国において本格的な石油地下備蓄を推進するまえに技術的諸問題を実際の地下空洞において実証し、また安全性、環境保全性を確認しようとしたこの種の企画としては日本はもとより世界にも例を見ない野心的な一大現場実験であり、その成果は単に石油備蓄のみならず岩盤地下利用技術全般にわたって広く活用され得るものとして注目されていたものである。

この菊間実証実験のアイデアは昭和52年度から萌芽していたもので、全国的な対象地調査の後、53年度末に菊間が最適の実験地として選定された。昭和54年度に至って本実験計画が予算化され、事業計画が石油公団に委託されることになって正式にスタートすることになったのである。石油公団における一年にわたる準備の

ち年度末の昭和55年3月に実験のための地下空洞及び関連設施工事開始の起工式が行われた。以来2年余にわたって貯油空洞の掘削、給水、給油操作の手順で実験設備の建設、各種の実験、測定が行われた。本実証実験



第1図 空から見た菊間町と太陽石油菊間製油所。実証プラントは製油所の背後の山の地下に作られている。



第2図 菊間実証プラントの調査実施体制。

については なお58年度以降も引続き必要な追加実験が行われることとなっている。

このように本実証実験は企画当時から数える約5年に及ぶ長期間のプロジェクトであり関係者の数も非常に多いが 筆者は位置選定時から本計画に携わった一人として 57年度実験計画の終了を機会にその概要を紹介することとする。

2 経過および実施体制

昭和52年度 資源エネルギー庁の委託をうけた (財)日本立地センターは石油地下備蓄技術研究委員会を設置して 我国における地下備蓄適地調査を行った。

昭和53年度 同委員会は実証プラントの適地候補として選定された菊間町において 地震探査 試錐を含む地質調査を行いその結果 菊間町太陽石油菊間製油所付近は水封式実証プラント建設用地として適当であると答申した。

昭和54年度 菊間町における石油地下備蓄実証プラント計画が予算化され石油公団が資源エネルギー庁の委託を受けてその事業を行うことになった。石油公団は本事業の工事請負者を民間企業から募集する一方 学識経験者よりなる技術審査委員会を設けて応募案を審査した結果 清水建設 鹿島建設 大成建設 日揮の共同企業体グループが選定された。

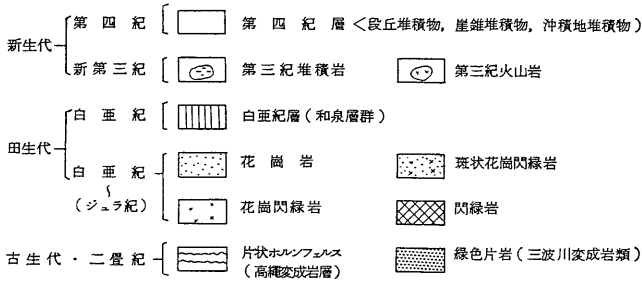
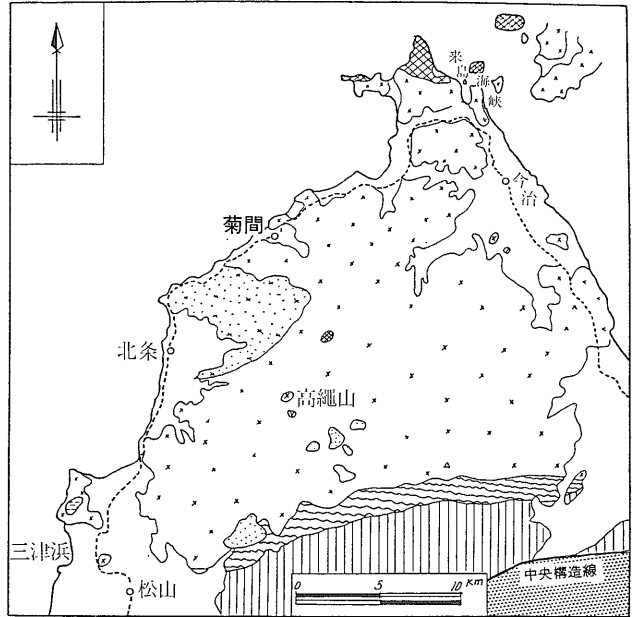
これによって同企業体により工事への準備が進められ昭和55年3月末 現地において実証プラント工事の起工式が行われた。

昭和55年度以降 作業トンネル 貯油槽掘削などの工事が進められる一方 石油公団内に石油地下備蓄技術研究委員会が設置され 実証実験計画の策定 実証プラントの設計 施工計画の検討 さらに実証実験で得られた測定値 観察データの分析 評価に当たることになった。これより 実証プラントおよび実験は第2図のような体制で進められることになる。

貯油槽本体の掘削は昭和56年1月から始められ6月に完了 その他の施設の工事も昭和56年末ですべて終了した。

各種の実験も工事と平行して進められた。昭和56年2月には水封トンネルより水封水が供給されるようになり これに先立つ55年10月から地下水 56年3月から岩盤挙動などの観測が開始された。

共同企業体によって測定 観測された各種データは



第3図 愛媛県高縄半島概略地質図と菊間町の位置。

上に述べた研究委員会内に設けられた専門委員会 および各部会において 石油公団 共同企業体の関係者と共に検討されまとめられた。実証実験の成果は昭和56年7月 および昭和58年3月の2回にわたって 石油備蓄技術 (地下備蓄) 調査報告書として石油公団から報告されている。

3 実証プラントの概要

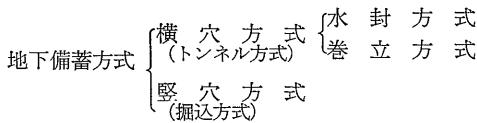
実証実験のためのプラントの基本項目は次の通りである。

- ① 設置場所
愛媛県越智郡菊間町種 太陽石油(株) 菊間製油所敷地内 (第3図)
- ② 貯油槽型式
横穴水封式 (固定水床式)
- ③ 貯油容量
25,000k^l
- ④ 貯蔵油種条件

油種；中東系中質原油
 比重；26～39° API
 粘度；1～20cst@30°C
 リード蒸気圧；0.6kg/cm² 以下
 流動点；-20°C 以下

- ⑤ 受入れ流量
最大 1.000kl/hr
- ⑥ 払い出し流動
最大 1.000kl/hr
- ⑦ 払出しポンプ型式
ドライポンプ型式
- ⑧ 貯蔵方式
密閉貯蔵方式 (0.5～3.2kg/cm² abs)

今回の実験で採用された実証プラントの方式は 横穴水封式と呼ばれるものである。地下備蓄の方式には地質ニュース 314号で述べたように地表面下のある深さに水平方向のトンネルを掘り その中に原油などを貯蔵する方式と 地表面より垂直に掘り込み円筒型等の容器を構築し その中に貯蔵する方式とに分類することができる。前者の場合 岩盤内の地下水圧により原油などを空洞中に封じ込める方式を水封式と呼び 空洞中の岩の表面をコンクリートで巻立て その中に貯蔵する方式を巻立方式と呼んでいる。以上をまとめると次のようになる。



横穴巻立式は岩盤中に水平方向の横穴空洞を掘削し内面をコンクリートで巻立て 漏油防止のためコンクリートの内側にスチールライニングを張りつけて 安全性を高めた横穴空洞である。この場合 岩盤は水封方式よりも自由を選べるが 材質の耐久性などの問題があり水封式に比べるとコスト高となる。

これに対して横穴水封式は掘削された空洞表面は裸の岩盤のままなので耐久性も長く 建設コストも安いので現在横穴式石油備蓄空洞で実施されているものは殆んどこの方式である。この方式は空洞周辺の地下水で空洞内部の石油を閉じ込めるので 適当な岩盤構造と地下水理が必要である。水封式では空洞底部にたまる地下水を排出する方式に関して 底水面(ヴォーターベッド)を常に一定に保持する方式 固定水位法と貯蔵する石油液面を一定に保持するために底水面は随時変動する方式 変動水位法の2方式がある。後者はガソリン・ナフサな

ど揮発性の強い石油類に対して適用され 一般には前者が用いられる。

貯蔵方式としては 一般に大気圧貯蔵方式と密閉貯蔵方式が考えられる。大気圧貯蔵方式は内圧が 0 kg/cm² (ゲージ圧) であり 貯油槽を浅く設置できる利点があるが 排ガス処理設備等を設ける必要がある。

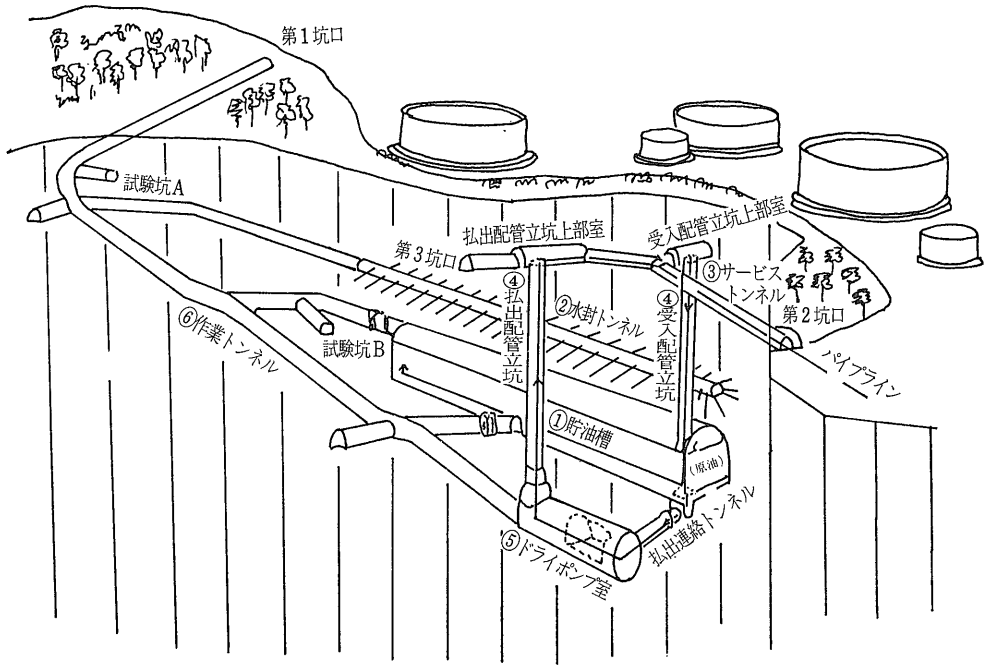
今回は圧力貯蔵法の実証も併せ実施するため 圧力貯蔵密閉方式を採用することにした。圧力範囲は北欧の実績およびコスト検討により 0.5～3.2kg/cm²abs とした。

次に貯油空洞および附帯施設は 貯油槽としての本体空洞を中心に サービストンネル 水封トンネル ドライポンプ室 立坑および工事のための作業トンネルから構成されている(第4図)。このうち地上施設としては 計器室(1階) 電気室(2階) 窒素ガス発生設備 排水・排ガス処理設備及び移送配管等の一部分が設けられるのみで 施設の大部分は地下に建設されている。

これらの地上施設は 丘陵地の地下 海水面下42m～62mの貯油槽本体などの地下施設とサービストンネルの第2坑口で連絡している。地下には タンク設備(貯油槽 水封トンネル等) 原油などの移送設備用地下坑道(サービストンネル 受払い立坑 ポンプ室等)が建設され これらの工事を行うのが作業トンネルである。貯油槽はコンクリートプラグで作業トンネルとしゃ断され十分な気密が保たれるようになっている。

各構造物の概要は以下のとおりである。

- ① 貯油槽
貯油槽の規模は 幅15m 高さ20m 長さ112mで 空洞の深度は海水面下 EL-42～-62m である。
- ② 水封トンネル
地下水面の低下を防止し 人工注水の効果を確認するために水封トンネル 水封ボーリングを設ける。水封トンネルは幅4.0m 高さ4.0mで 下面深度は海水面下 EL-25.8m である。
- ③ サービストンネル
地上と地下の貯油槽を結ぶ受入 払出配管を中心に 全ての配管類を通すためのトンネルである。幅4.5m 高さ4.5mを標準断面とし 深度は EL4.5m に位置し マサ状風化帯岩盤中に建造された。
- ④ 立坑
地下施設と地上(サービストンネル)を連結し 配管類を通すための鉛直坑道であり 受入配管立坑および 払出配管立坑よりなる。
受入配管立坑には原油受入ラインの他 油面 油水境界面の検知用計器が設置された。払出配管立坑に



第4図 菊間実証プラント鳥瞰図（説明本文）.

は 抽出配管の他に エレベーター らせん階段が設けられた。

⑤ ドライポンプ室

原油抽出用ポンプおよび水封排水用ポンプが設備される。貯油槽とは連絡坑により サービストンネルとは抽出配管立坑で結ばれる。ドライポンプ室床面深度は EL-71.5m である。

⑥ 作業トンネル

地表より貯油槽本体へ取付くための約 440m の作業用斜坑であり 断面は幅4.5m 高さ4.5m 勾配は20% (約11°) である。

このトンネルは 貯油槽本体完成後 貯油槽近くでコンクリートプラグにより閉塞して水没させた。

4 実証実験の概要

実証実験の目的は わが国の水封式岩盤内地下貯油槽の実用化に先立って 安全かつ経済的な石油地下備蓄技術を開発するための資料を得ること すなわちわが国特有の自然条件 社会条件に適した技術指針を策定するに際しての基礎的知見を取得することである。これは

- ① 将来の実用規模の地下備蓄基地を想定した備蓄技術の安全性及び環境保全を実証すること。
- ② 立地調査に当り 異なる地質条件にも適用できる地質調査方法についての資料を得ること。
- ③ 各種シミュレーション手法の検証を行い 今後の設

計に必要な予測方法の適用性を確認すること。

に要約される。

実験項目は多岐に亘っているが それらは第1表のように 構造上の安定性 水封機能性 操業上の実用性および安定性 および環境に対する影響の4課題に大別される。

・貯油槽の構造上の安定性

貯油槽空洞が その掘さくから運転に際して示す挙動の計測 地震時における応力 歪の計測を行い 空洞の安定性の確認を行う。

・水封機能

地下水観測 圧さく空気による気密試験 水運転とそれに伴う間隙水圧の測定等を行い 水封機能が技術的に成立することの確認を行う。

・操業上の安全性および実用性

原油の受払いを種々の条件下で行い 空洞内ペーパーの挙動 浸水量の変化 防災機能の確認等を行う。

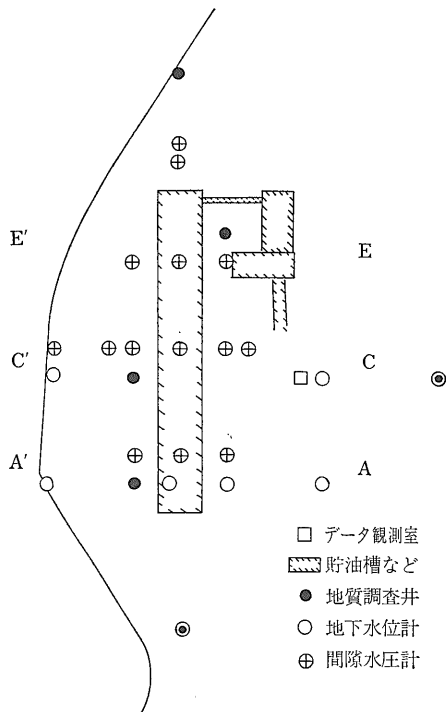
・環境に対する影響

建設途上から運転に至る期間を通じて 周辺の植生 大気 排水等の観測を行い 環境への影響をチェックする。

これらの実験のために地下水位計 間隙水圧計 岩盤温度計 地震加速度計 地震歪計 岩盤内変位計 ロックボルト軸力計などを空洞内および空洞周辺に掘削した約30坑のボーリング坑内に設置して観測を行った。観

第1表 菊間実証プラントの調査・実験項目

調査内容		実証実験項目	
構造上の安定性	事前調査	予備調査ボーリング	
	原位置の岩盤状況	原位置岩盤試験 (変形、せん断)	
		——〃—— (初期地圧)	
	貯油槽の構造安定	内空変位	
		岩盤内変位	
		ロックボルト軸力	
		ゆるみ域透水試験	
	貯油槽の耐震性	地震観測 (加速度、ひずみ)	
	水封機能性	地下水位と水収支	岩盤水文、水理調査
			湧水量 (地表部、トンネル内)
		地下水位	
必要間隙水圧		間隙水圧	
漏油、漏気の有無		水封トンネル補給水量	
プラグの機能性		漏油、漏気観測 気密試験	
操業上の実用安全性	貯油量の管理	空洞断面計測とタンクテーブル	
	操業性・能	水運転	
	圧力管理と不活性ガス補給	原油運転	
	ペーパー組成と油性状の変化		
	保安、防災機能		
環境に対する影響	大気、水質汚染の有無	大気質、水質調査	
	植生への影響	植生調査	
	岩盤温度への影響	岩盤温度調査	
	発破振動の伝播特性と影響	発破振動調査	
	工事中の騒音、振動影響	騒音、振動調査	



第5図 貯油槽周辺の観測ボーリング位置図

測は第5図のように延長約100mの貯油空洞のうちに代表的3断面を切り これらの断面について集中的に測定値をとった。これらの観測はすべて自動計測で第6図のようなシステムで1日に2回測定値がケーブルによって集中観測室(第7図)に送られコンピューターテープに記録される。この他に内空変位 湧水量 水封水量などは手動計測され 雨量 地表水蒸発水量などの水文データは長期にわたって日記記録装置により計測されるようになってきている。

以下にこれらの課題順に実験の経過と成果を迎えてみよう。その前に本実証実験に関連して行われた地質調査について述べる。

5 地質調査

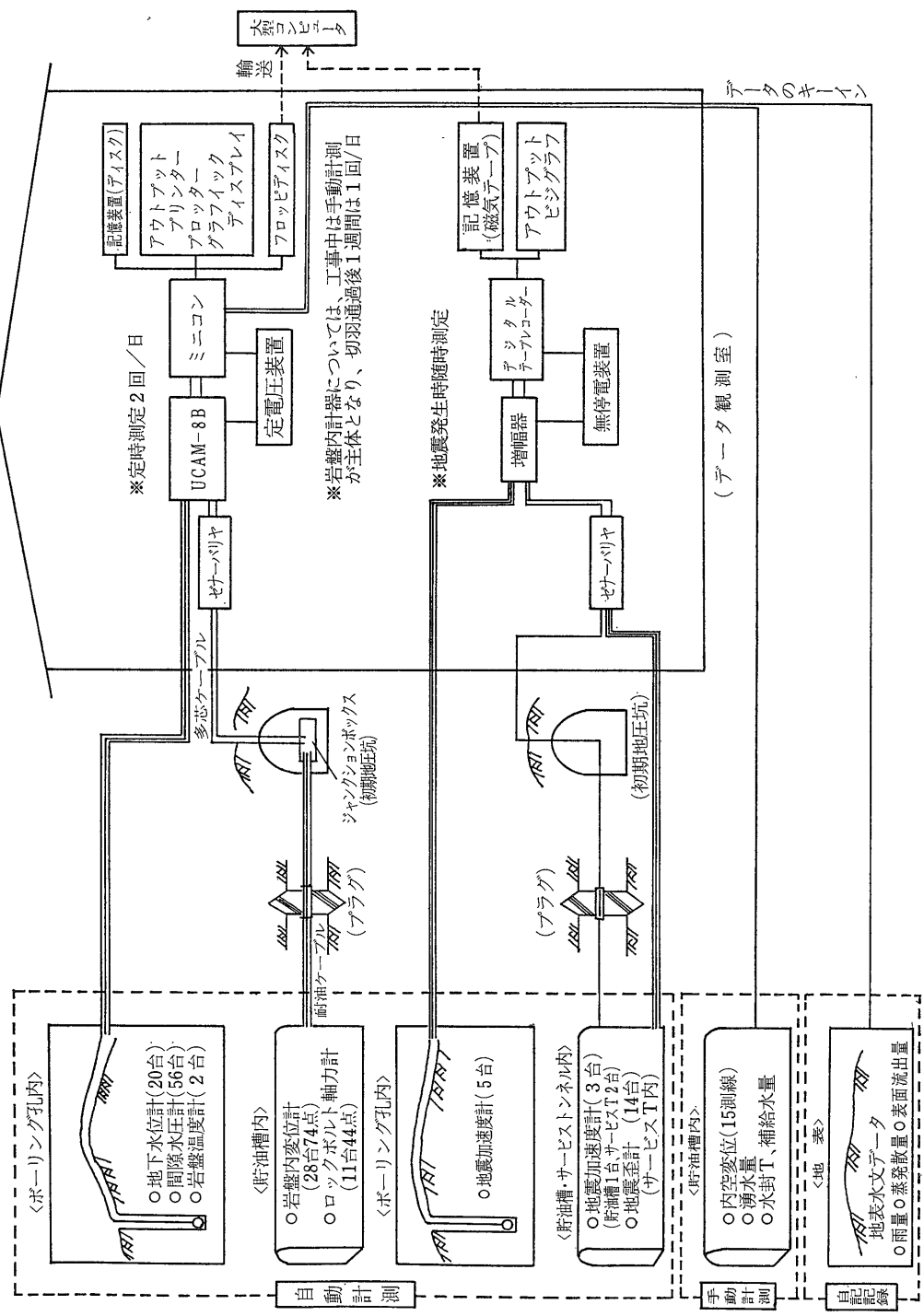
地質調査は 事前調査段階から設計 施工段階までの

間に 適地調査 (1次調査) 実施設計調査 (2次調査) 施行中調査 (3次調査) と3回にかけて実施された。

第1次調査は 昭和53年度に行われ 1候補地として挙げられた本地域が実証プラント建設地として適当か否かを確認する為の調査であった。第2次調査は昭和55年度初頭起工式のすぐあとに行われた貯油空洞周辺のボーリング3坑を主とする調査であった。第3次調査は第2次調査から引きつぎ行われた調査であり その主要なものは 貯油空洞周辺の3測定断面に沿ったボーリング 原位置岩盤試験 各種坑内調査であった。第3次調査のボーリングは先に述べた計器観測に利用された。第1 第2 第3次調査の項目と内容は第2～4表のとおりである。これらの調査を通じて得られた地質・岩盤物性 水文水理の概要は次の通りである。

計測

データ処理



第6図 自動計測データ処理システム

5. 1. 地質概要

実証プラントの建設地は高縄半島の北縁にあり第1図の写真に示すように太陽石油菊間製油所背後の花崗岩丘陵地である。

高縄半島は日本列島の地質構造区分にしたがえば 西南日本内帯の領家帯に属しており 古生代堆積岩を源岩とする 変成岩類 (高縄変成岩) および中生代白亜紀の堆積岩 (和泉砂岩層) が半島基部に帯状に分布するほかは 大部分花崗岩類によって占められている。南から北に向かって 三波川変成帯 和泉帯 および 領家変成帯が 東北東-西南西方向に伸びた帯状の分布を示し 三波川変成帯と和泉帯の境界には中央構造線が存在している。

建設地周辺に分布する花崗岩類は 宮久・野間・石橋 (1959) により 佐方閃雲花崗岩 宮久・平岡 (1970) により 松山型花崗閃緑岩 また 広川 (1965) によれば 弱片状粗粒花崗岩と呼ばれている。現状は岩石学的研究がまだ不十分なため これらの諸説に対する結論は下されていないが 新期領家花崗岩類に属する花崗岩ないし花崗閃緑岩であることは確実である。

この花崗岩類は石英 長石類 黒雲母 および角閃石を主要成分鉱物とする。角閃石は含まれる割合が場所によって異なりほとんど存在しないこともある。また 一般に弱い片状構造を有しているがこれが認められず塊状を呈することもある。片状構造は北東-南西の走向を有し 20°~50°南東に傾斜することが多い。

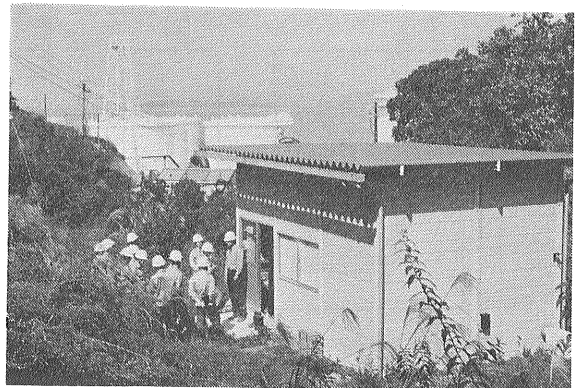
この花崗岩は新鮮部では青灰~灰色で緻密堅硬な外見を呈しているが 部分的にはミロナイト (圧砕岩) 化して緑灰~桃灰色を呈する。このミロナイト化した部分には顕微鏡的な毛髪状割れ目が発達していることがある。

また 本花崗岩体中には捕獲岩として ホルンフェルスが包有されている。泥質 砂質を主とするが まれに珪質のものも存在し いずれも黒~灰色を呈し非常に堅硬である。岩塊の形状は一般に板状で 巾50cm~2m程度 長さは数mないし数十mに達するものがある。周縁部は細粒化した花崗岩と明瞭な境界で接するが 大きな岩塊では角礫状を呈することもある。

顕微鏡観察では石英結晶の多くが波状消光および部分消光を示し また長石結晶には湾曲構造を呈するものが

第2表 一次調査の内容

調査項目	実施数量	その他
既存資料収集・検討	一式	
地形測量	陸域	航空写真測量による 面積約1.3km ² 縮尺1/1000
	海域	音響測深による 面積約1.7km ² 縮尺1/2000
地表地質調査	候補地	面積 約1km ² 縮尺1/1000
	周辺地域	面積 約4km ² 縮尺1/25000
物理探査	陸域	弾性波調査 3測線 延1850m 受振点間隔5m
	海域	スパーカー 11測線 延13.69km
試錐	調査孔	3ヶ所 延340m 孔径66mm(オールコアリング)
	発破孔	1ヶ所 延190m 孔径66mm(ノンコアリング)
原位置試験	透水試験	3孔で計55回 試験区間長 原則として5m 注水圧 10kg/cm ²
	孔内水圧載荷試験	3孔 計29回 エラストメーター200を使用
検層	電気検層	比抵抗
		SP
	温度検層	3孔 いずれも延270m
	キャリパー検層	
	密度検層	
	反射検層	
速度検層		
岩石試験	10試料 (密度 吸水率 孔隙率 滲透率 一軸圧縮 圧裂 三軸)	
水質調査	5試料 (水温 pH 電気伝導度 Na ⁺ K ⁺ Ca ⁺ Mg ⁺⁺ Cl ⁻ SO ₄ ⁻² HCO ₃ ⁻)	
総合解析	一式	



第7図 自動計測データ処理を集中して行う観測室。約30の観測ボーリング内に設置された各計器のデータは すべてこの観測室に送られる。

第3表 二次調査の内容

	調査項目	調査内容
予備調査 (地質調査)	試錐調査	コアボーリング (3孔 延べ331m) 透水試験 (ルジオンテスト 46回) 物理検層 (電気 温度 密度 速度)
	室内試験	室内岩石試験 (物理的性質 一軸 三軸 圧裂試験) 水質分析 (6試料)
観測用ボーリング および孔内調査	試錐調査	ボーリング (29孔 延べ1542m) 透水試験 (ルジオンテスト 181回) 孔内検層 (電気 速度 放射能 音波 キャリバー ボアホールTV) 地下水流速 流向測定 湧水圧試験
	室内試験	室内岩石試験 (物理的性質)

第4表 三次調査の内容

調査項目	調査内容
坑内地質調査	坑内地質 割れ目系の調査
原位置岩盤試験	岩盤変形試験 (3カ所) 岩盤せん断試験 (4カ所) 初期地圧測定 [オーバーコアリング法] (3方向 3カ所 計9カ所) " [AE法] (3方向 計97個)
	シュミットハンマー測定 (試験坑 1カ所9点 合計540点)
	孔内載荷試験 (試験坑 合計9点) 坑内弾性波探査 (試験坑 4測線 計69m)

認められる。

そのほかの特徴としてアプライト脈 (巾20cm以下のものが多く) の貫入が多いこと (ほぼ一定方向に配列された黒色包有物が多く存在すること (片状構造の発達する部分ではその方向と一致する) などが挙げられる。アプライト質花崗岩は堅硬である。貫入方向ならびにそれと直交する方向の割れ目が密に発達することが多い。貫入の幅は一般に20cm以下のことが多いが まれに30cmを超えるものもあり 最大70cmに達する。

5. 2. 割れ目系

石油地下貯蔵空洞の安定性および地下水理の両面から

岩盤の割れ目 (断裂) の分布性格は重要であり各段階で念入りな調査が行われた。

ランドサット映像および空中写真の解析によると当地域周辺では 次の3方向の線状構造が見られる。

- A 東北東-西南西
- B 北東-南西 あるいは北北東-南南西
- C 北西-南東

Aは菊間製油所付近の海岸方向と平行し中央構造線の方向にほぼ一致しており 地質的に中央構造線に關係する割れ目系であると考えられる。地表で観察される大きなリニアメントはこの方向が多い。

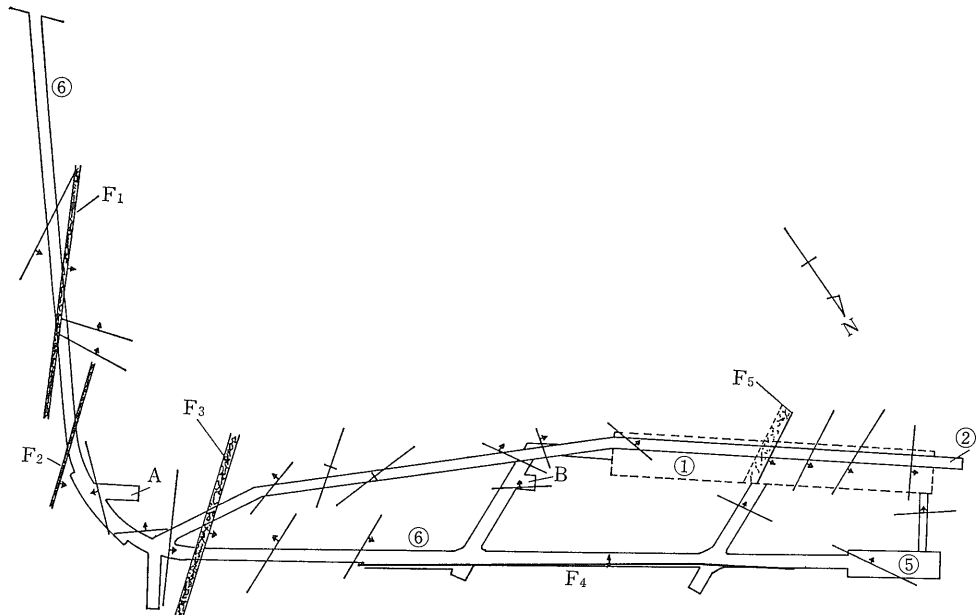
BおよびCは露頭規模の調査で顕著に出現する中小規模の割れ目であり 花崗岩体の構造に關連した割れ目系と考えられる。

また広域的には四国の東予-松山にかけて 東北東-西南西あるいは北東-南西方向に延びるリニアメントは 中央構造線断層系に一致する。とくに 高縄半島基部では南東側に凸に変曲しており 中央構造線の屈曲と關連している可能性がある。調査地の約10km南方に位置する北東-南西方向のリニアメントは楠窪断層 滝本断層と呼ばれている。なお 10万分の1愛媛県地質図(1962)では 斑状花崗閃緑岩(北西側)と花崗閃緑岩(南東側)の境界となっている。

製油所付近の花崗岩地表露頭で見られる幅30cm以下の割れ目をシュミットネット上にプロットして最大傾度の方向を求めると N24°-32°E および N30°W である。

また東北東-西南西方向の断層が地表で若干観察されたがいずれも長さは100~300m程度であり その他の大部分の断層 破砕帯は巾3~5cm 長さ20~30m以下の小断層である。断層面 破砕面の観察でみると面が“密着・固化”したり 石英 方解石などで充填されていることが多い。これは割れ目の生成が古い地質時代に行われたときによく見られる形態であり 実証プラントの建設には 全く支障を与えることはないものと判断された。

掘削の進行と併行して岩盤状況を観察し 作業トンネル 水封トンネル ドライポンプ室 頂・底設作業坑 貯油層本体 受入 払出立坑のそれぞれについて地質展



第8図 主要な割れ目の分布.

①貯油槽 ②水封トンネル ⑤ドライポンプ室 ⑥作業トンネル A, B原位置試験坑

開図を作成し 詳細な割れ目の観察 調査が行われた。その結果によると 実証プラント付近に発達する断層 破碎帯 節理の大部分は先に述べた 北東-南西 あるいは 北北東-南南西 (B) および 北西-南東 (C) のグループに含まれる。このことは実証プラント周辺に発達している割れ目は広域地質構造の見地からみて大きな造構運動に関連する性格のものではなく 花崗岩体の侵入に起因する規模の小さな割れ目であることを示している。頻度は圧倒的に B グループが多い。

このうちの幅 30cm 以上の 割れ目の分布を第 8 図に示す。水封トンネルには 幅約 10m にわたり 構造鉱物が茶褐色に変色し湧水を伴う破碎帯が見られた。この破碎帯は貯油槽にも見られたが 規模はやや小さくなりかつ湧水も少なかった。貯油槽南西側の側壁部にはほぼ全長にわたり貯油槽軸と平行する幅 20~30cm のシーム破碎帯が連続しており とくに 60m 地点から奥は亀裂が多くなっていった。これは事前のボーリング調査の結果ともよく対応し 貯油槽の南西側の岩質は右側に比べ劣っていることが認められた。

湧水の状況は 壁面に滲み出す程度のものから 亀裂沿いに滴下するもの及び亀裂面あるいはロックボルト等の削孔による空隙から連続的に湧出するものなどが見られた。

貯油槽内の湧水は現在のところ少なく 亀裂面から滴下するものが主体であるが 貯油槽奥の左側壁では連続的に湧出している部分も見られた。頂設作業坑の貯油

槽取付部付近には亀裂及びロックボルト孔から連続的な湧水が見られ この部分は事前のボーリングで予測された開口亀裂の多いゾーンに対応していると考えられた。

第 9 図に貯油空洞付近における断層巾あるいは破碎巾 30cm 以上の主要な割れ目の分布のブロックダイアグラムを示す。これらの方向 傾斜は地表調査で確認されたものとよく一致している。

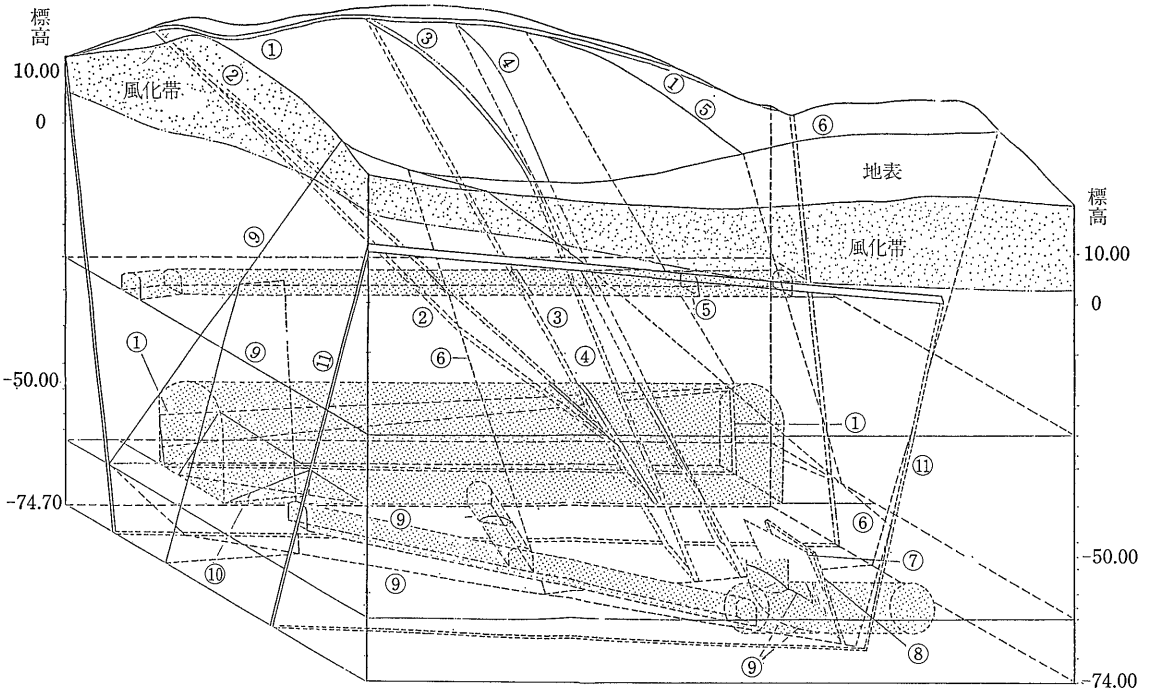
岩盤の亀裂面は概して密着しており 方解石 緑泥石等で充填されていることが多かった。破碎帯は主として 50cm 以下のものが主体であり変位が 30cm~50cm 程度の小断層が見られる場合があった。節理など小規模な割れ目の方向 および平均間隔を小区間ごとに測定した。節理の平均間隔は 0.3~0.4m である(第 11 図)。第 12 図に地表と対比させた割れ目のシュミットネットを示した。

このように地下岩盤の割れ目の発達状況は 1 次から 3 次におわたる詳細な調査によって全貌が明らかになった。

5. 3. 花崗岩の風化及び地下水

第 1 次調査で候補地を含む約 1 km² の地域にボーリング 3 坑 弾性波調査延べ 1850m 第 2 次調査で実証プラント付近にボーリング 3 坑の調査が実施された結果 地表面より標高 -85m までの地質および地下水位の状況が明らかになった。

地表面付近の花崗岩は瀬戸内花崗岩の一般的特徴に従ってかなりの深度まで風化している。これをほぼ完全に



第9図 貯油槽付近の小断層・破碎帯を示すブロックダイアグラム。

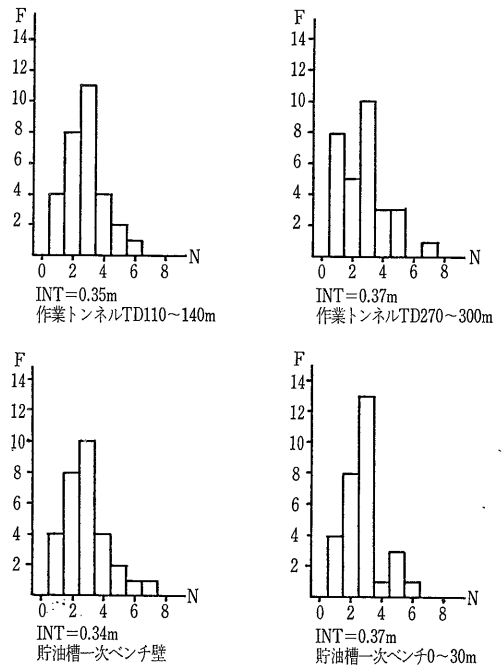
風化している(マサ状)風化帯 風化の及んでいない新鮮岩盤部およびその中間の遷移部分に分けた(第13図参照)。

ボーリングと弾性波調査の結果によると 風化帯深度は各坑井ともほぼ共通であり マサ状風化帯は調査地全般を通じて地表地形に関係なく ほぼ標高20~25m高度以上に平面状に分布していることが明らかにされた。

すなわちマサ状風化帯は標高22~28m以上 新鮮岩盤は 標高18~25m以下に分布する。 中間遷移部分の厚さは2~5m程度である。 また地下水位面は標高約20

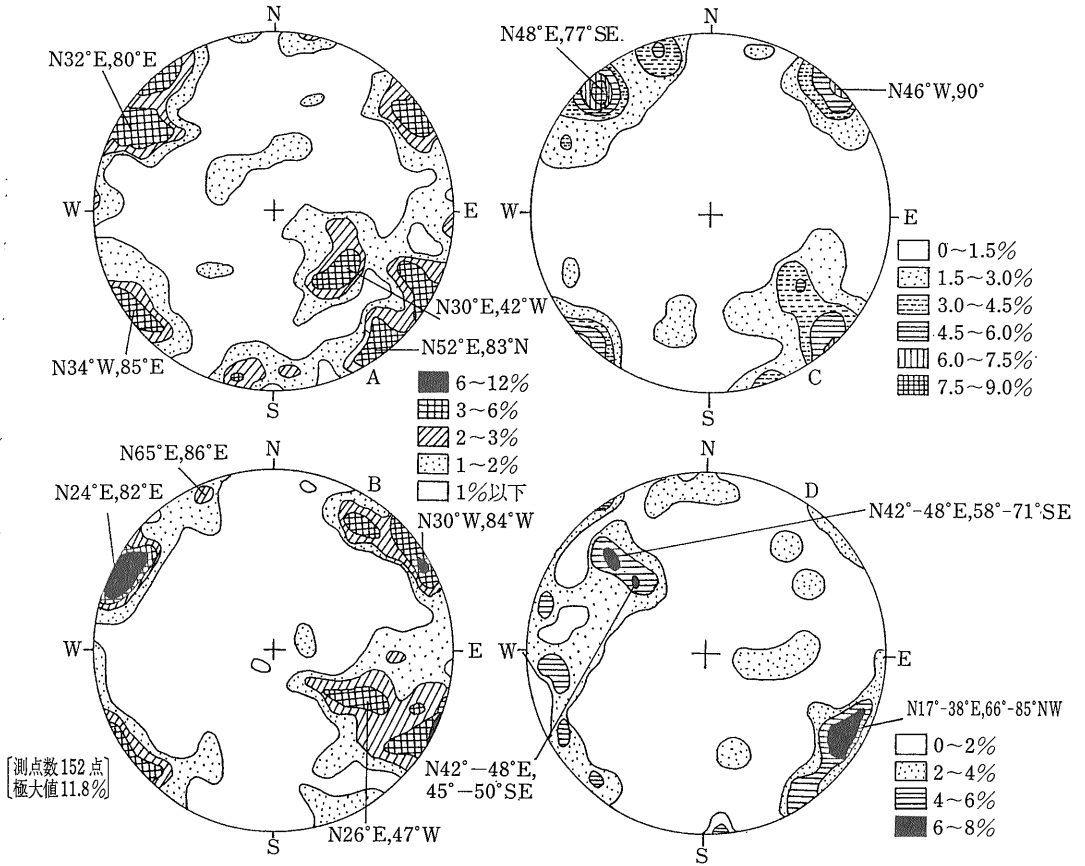


第10図 作業トンネルで観察された小断層の例。



N: 1mあたりの節理数
F: 度数
INT: 平均節理間隔

第11図 貯油層・作業トンネルにおける節理間隔頻度分布図。



第12図 割れ目(断層および節理)の頻度分布図(シュミットネット南半球投影)
 A地表北西側法面 B地表南西側法面 C地下ドライポンプ周辺
 D地下受入立坑内

mから26mとほぼマサ状風化帯と新鮮岩盤の間に在ることが認められた。風化帯底面は弾性波調査によると山地西側ではやや降下し標高5~10m程度に下がっているため地下水水位もほぼこれに等しいレベルとなっていると考えたがこれは貯油槽完成前後の観測によって確かめられた。

5. 4. 岩盤物性

ボーリングコアによる室内測定の結果によると新鮮岩盤部分の花崗岩の物性は次のようにまとめられる。

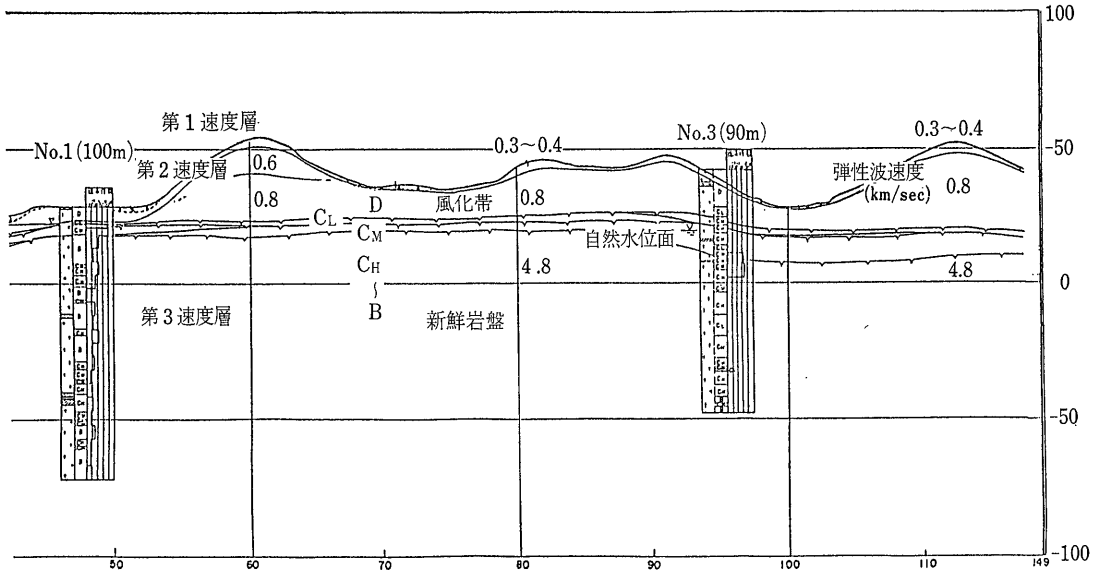
- 1) 密度は2.68(湿潤状態)から2.67(乾燥状態) gr/cm³である。
- 2) 吸水率は全深度を通じて1%以下である。
- 3) 孔隙率はほぼ1%である。
- 4) 弾性波速度の平均値はP波が自然状態4.41 湿潤状態4.71 乾燥状態が3.81km/sec S波が自然 湿

潤 乾燥状態それぞれ2.16 2.42 2.14 km/secである。これに対して野外の弾性波調査によるP波およびS波速度はそれぞれ4.8~5.0km/sec 1.2~1.8km/secである。

- 5) 一軸圧縮強度および圧裂引張強度の値はそれぞれ600~1,200kg/cm² 及び50~100kg/cm²の範囲でありこれは傾家帯花崗岩類の通常値とほぼ一致する。

高圧三軸実験の結果によると 封圧500 1000 1500kg/cm²の強度はそれぞれ 3500-4700 5200-6000 6500-6900 kg/cm²である。また剪断強度(粘着力)は170-210kg/cm² 内部摩擦角は45°-52°である。

- 6) ヤング率は 2.57×10^5 kg/cm² ポアソン比は0.28である。ボーリング孔における水平載荷試験による岩盤変形係数はほぼ $1.0 \sim 2.0 \times 10^5$ kg/cm²であった。



第13図 地震探査およびボーリングにより作製された花崗岩山地断面図の例。

5. 5. 原位置岩盤試験

以上の数値のほとんどは小さな試料について行われた室内測定の数値であり 地下の岩盤全体の物性を示すものではない。岩盤規模の物性の測定のために地下岩盤内のトンネル壁面で行う“原位置試験”がある。本実証プラントの場合では作業トンネル途中で調査用の試験坑を掘削し（第4図参照）A坑で岩盤変形実験 岩盤剪断試験 B坑で初期地圧（地殻応力）測定を行った。

第5表に剪断および変形試験の結果をまとめた。原位置剪断試験による剪断強度は $40\sim 50\text{kg/cm}^2$ で先に述べた室内三軸実験による値の約4分の1である。また内部摩擦角は $55\sim 60^\circ$ でこれは三軸実験による値の1.20~1.15倍である。岩盤変形試験による（接線）弾性係数は $1.24 \times 10^5 \text{kg/cm}^2$ （変形係数Dは $6.8 \times 10^4 \text{kg/cm}^2$ ）であり 室内測定の変形率の約2分の1である。

実験室規模と野外岩盤規模と測定が同時に行われることは少ないので 以上の結果は非常に貴重なデータであり 岩盤物性の測定の方法とその有効性についても貴重な示唆を与えることになるであろう。

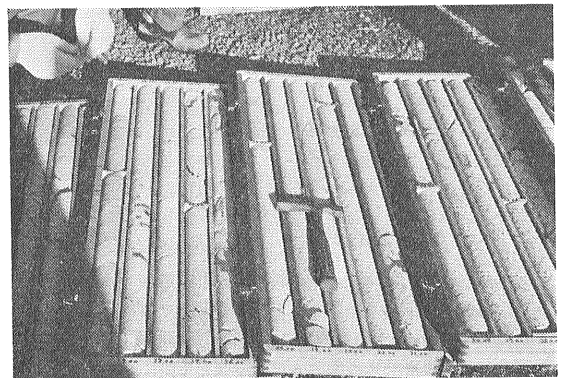
初期応力測定は地表下標高-47mのB坑で オーバーコアリング法とAE法の測定を行った。

オーバーコアリング法によると初期地圧測定の結果は最大（圧縮）主応力 $\sigma_3 = 56.3\text{kg/cm}^2$ （ $N85^\circ E$ 7° 下向き）中間主応力 $\sigma_2 = 47.3\text{kg/cm}^2$ （ $N8^\circ W$ 27° 下向き）最小主応力 $\sigma_1 = 42.2\text{kg/cm}^2$ （ $N171^\circ W$ 62° 下向き）を示した。

最大主応力はほぼ水平で東西方向に作用しており これは佐々連鉱山で行われた測定や 当地方の活構造から

予想される地殻応力とも一致している。また測定結果は地表地形の影響をある程度うけているようで最大主応力は地表の傾斜にほぼ沿った方向である。最小主応力は地表の傾斜にほぼ直交する方向となっており 初期地圧の応力状態は 地形から想定される地圧の方向とよく似ている傾向を示している。今回測定された最大主応力の方向は先に述べたB Cの割れ目の二等分線にほぼ相当することは構造地質学的に興味のあることである。

A E法による地圧測定結果はオーバーコアリングによる測定結果と ほぼ同傾向を示している。測定された鉛直地圧成分は上載荷重から推定される地圧よりも大きいがこの原因については測定坑に連結する作業トンネルの影響 あるいは近傍の断層による局部応力の影響などが考えられる。



第14図 花崗岩のボーリングコア。

第5表 原位置試験結果の総括

岩盤せん断試験	せん断強度 τ_R		40~50 (kg/cm ²)	岩盤ブロック寸法：60cm×60cm×高さ30cm 上載圧：1, 2.5, 5, 7.5kg/cm ² の4種類
	内部摩擦角 ϕ		55~60°	
岩盤変形試験	弾性係数	接線弾性係数 E_T	12.4×10 ⁴ (kg/cm ²)	載荷板直径：30cm 上載圧：30~60kg/cm ² の応力の時点で各係数を算出
		割線弾性係数 E_S	6.5×10 ⁴ (kg/cm ²)	
	変形係数 D		6.8×10 ⁴ (kg/cm ²)	
	クリープ係数	α	0.109	
β (1/hr)		0.250		

なお このあと昭和57年に 実証プラントの近傍でボーリング坑による水圧破碎測定が行われたが その結果は大体おいて以上の結果と対応している。

(以下昭和59年1月号)

地学と切手



南インド洋上の火山島

P. Q.

南インド洋は日本にあまり知られていない。ここにはフランス領南及び南極地域があり いくつかの島がある。このうちケルグレン島とアムステルダム島は古い火山岩からなる島であり サンパウル島は水蒸気を上げている。

サンパウル島はアムステルダム島と約90kmはなれており南東インド洋海嶺のアムステルダム断裂帯の上にある。いずれも海底下1,500~3,000mの深さからそびえる火山である。サンパウル島は5.5×4kmの多角形の島であり 北東側に直径1.6kmの火山口があり 約1ダースの寄生火山が南側と東側に認められる。島の最高点は248mとも272mともいわれる。

火山は1574年には海とつながっていなかったが 1789年には海とつながっていたとの情報が知られている。入口の広さは約80mで深さは0.8~2.5mと極めて浅い。火山内の水深は1903年で59mだった。

この火山は最下位に流紋岩の溶岩と凝灰岩 それを覆ってドレライト岩脈に貫かれる玄武岩の溶岩と凝灰岩 さらにこれらを不整合に覆う陸上噴出の玄武岩溶岩凝灰岩 からなり 最後に中央火山口の爆発と陥没により現在の島が形成された。最後の爆発では基盤から斑れい岩の岩塊ももたらされている。

アムステルダム島は活火山ではないが 恐らく更新世に生成したものと考えられている。

切手は40fのサンパウル島が1969年 30fのアムステルダム島が気象観測所20周年記念として1970年に発行された。