

(10) 水封式燃料地下タンク地点の地質調査の実例

電力中央研究所	○本	島	敷
"		菊	地
"		齊	藤
清水建設㈱		近	藤
"		木	内
"		嶋	田
			純

1. ま え が き

水封式燃料地下タンクは、地下水位以下の岩盤内に空洞を掘削し、岩盤内の地下水位によって石油やLPG等の燃料を封じ込めて、油漏れを防止する貯蔵タンクである。

この方式は、国防上スウェーデンで早くから開発、実用化され、その後ノルウェー、フィンランド等でも数多くの経験が積み、その貯蔵総容量は今日では数千万ℓに達している。特にスウェーデンでは過去10年間に建設された石油タンクの80%以上はこの方式である。最近では、フランス、西ドイツ、アメリカにおいても、この方式によるタンクが数多く建設されており、燃料貯蔵方式としての評価は高まっている。石油資源に乏しいわが国でも、環境保全および高度土地利用の観点から、この方式による燃料の地下貯蔵が検討されつつある。

本報文は、水封式燃料地下タンク地点の地質調査に関する考え方を述べると共に、その設置を目指して適地の選定を行ったI地点における調査、試験の概要を紹介するものである。

2. 調査の考え方

水封式燃料地下タンクは、燃料の漏洩ならびに事故防止と、環境保全に万全の配慮が必要であり、関連する法規、条例等も整備されつつある。しかし、わが国のような複雑、多様な地質条件を持つ岩盤内に、このような燃料地下タンクを安全かつ経済的に建設し、長期間十分な機能を保持するには、構造物周辺の地質条件を詳細に把握し、構造物基礎岩盤としての安定性について適正に評価することが必要である。

燃料地下タンクは、一般に大規模かつ広範囲に設置されるため、調査対象範囲は広くかつ地下深部に及ぶ。又、水封式の場合、構造物周辺における地下水および岩盤の透水性状を把握することが、非常に重要な要素である。これらの点が、他の地下構造物を対象とした地質調査と異なる特徴点である。

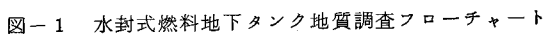
水封式燃料地下タンクの有効な地質調査を行うためには、上記のような特徴点に留意した、調査の項目、方法、手順および精度等を配慮しなければならない。図-1は、電気事業連合会の要請によって、電力中央研究所において検討された水封式燃料地下タンク技術指針(案)のなかの地質調査フローチャートである。水封式燃料地下タンクの地質調査としては、その計画から施工までの調査段階を4区分している。調査の初期段階では、比較的広い範囲を対象とし、大局的な地質条件の把握を中心とするが、調査段階が進むにつれ、調査精度を漸次高めていくのが、最も効果的である。従って、適用する調査手段も初期段階では文献調査を主とし、順次、地表調査、ボーリング、試掘坑等をそれぞれの特徴を活しつつ有効に組合せて利用することとしている。

特に、燃料地下タンクの場合、調査対象範囲が深部で、広大となるので、あらかじめ全面的に詳細な調査が行えるとは限らない。又、空洞の形状、配置等に比較的自由度があり、施工中の調査結果を基に、地質条件に合致したより合理的な施設とするための設計変更が考えられている。そこで、施工中における地質調査を重視しているのも、この指針(案)の特徴の1つである。

3. I地点における調査例

3-1 調査の概要

I地点における地質調査は、上述のような調査の考え方に基づき、表-1の内容について実施した。すなわち、まず調査地域全般の地質状況を知るため、1/3,000地形図による島内全域の地表概査を実施した。同時に、地下岩盤状況の概略を把握するため、島中央部において1本のボーリング(B-1)を実施した。これらの結果を基



に、調査対象範囲を島中央部とし、この地域について更に詳細な地質状況を把握するため、1/500地形図による地表精査とボーリング調査(B-2～B-13)を実施した。地表精査では破碎帯の分布性状を把握すると共に、節理の分布性状を把握するため節理の計測も行った。ボーリング調査は山体内部における破碎帯の分布状況を確認することを目的として実施した。又ボーリング孔あるいはボーリングコアを利用し、岩盤の透水・透気性状や物理性状および地下水の性状を知ることの目的に、各種の原位置試験、孔内検層および岩石試験を実施した。

3-2 調査結果

3-2-1 地形、地質および地質構造

調査地は、瀬戸内海に位置する南北約3km、東西約1km、総面積約3km²の小島であり、島の山容はEL100～150mの丘陵状を呈している。島を構成する岩石は、中生代白亜紀の広島型花崗岩類に属する粗粒～細粒の黒雲母花崗岩とこれを貫く玢岩あるいはアブライトである。表層付近の風化帯は、一般に山稜部で厚く20～30m、海岸部で薄く0～10mを示す。調査区域における破碎帯の分布状況は、全体的にはN-S性であるが、本地域の南端部ではNNW-SSEを示し、北へ延びるにつれ順次N-S～NNE-SSWへ走向を変えている。傾斜は概ね東方へ急傾斜している。調査地域の顕著な破碎帯としては、F₁、F₅、F₆およびF₁₀があげられる。このうち最大規模のものはF₁であり、最大破碎幅30mを有する。調査地域は上記の破碎帯によって、①～③ブロックに分けられる。主要破碎帯の分布状況ならびにブロック区分を図-2に示す。①ブロックは全体に破碎帯の分布が著しく、岩盤は熱水変質を受け脆弱化している。②ブロックはやや熱水変質を受けている。③ブロックは破碎帯の分布が疎らであり、全体的に安定した状態を示している。なお花崗岩岩盤に発達する節理の方向性は、①ENE-WSW系、②NNW-SSE系、③NE-SW系の3系が優勢である。

3-2-2 岩盤の物理的力学的性状

岩盤性状を評価するため、ボーリングコアの岩盤等級分類を行い、C^H級岩盤以上の占有率を基準とした岩盤区分による岩盤等級分布図を作成した。その一例を図-3(a)に示す。この結果③ブロックは、大部分第5群の岩盤(C^H岩盤以上の占有率80～100%)よりなり、良好な岩盤であることが明らかとなった。

つぎに、高圧孔内載荷試験による変形係数は3,600～145,000%の値を示し、C^H級以上の岩盤では50,000%以上の値となる。速度検層による弾性波速度(P波)は1.5～5.8km/sの値を示し、C^H級以上の岩盤では4.4km/s以上の値となる。一方岩石試験結果による黒雲母花崗岩の見掛け比重は平均2.605、有効間隙率平均1.17%、超音波伝播速度(P波)平均4.77km/s、静ポアソン比平均0.27および一軸圧縮強度についてはB級岩盤で平均1,360%、C^H級岩盤で1,040%である。

なお、当調査地域における黒雲母花崗岩の岩盤等級と原位置および岩石試験結果との関係を表-2に示すが、③ブロックを構成する岩盤および岩石の物理的力学的性状は非常に良好であると判断される。

表-1 調査項目および数量表

項	目	単位	数量
地表精査	地質調査	km	3
	地質精査	km	2
	節理サンプリング	ヶ所	285
水文調査	雨量	ヶ所	15
	塩分濃度、PH	ヶ所	15
ボーリング	掘削長さ	m	2,577
	掘削曲り	m	48
原位置試験	透水試験	回	470
	透地圧試験	回	23
	透気試験	回	120
	高圧孔内載荷試験	回	3
孔内検層	孔内速度検層	m	450
	孔内温度検層	m	2,240
	塩分濃度測定	m	1,620
	キャリパー検層	m	2,070
岩石試験	見掛け比重	ヶ所	40
	吸水率有効間隙率	ヶ所	40
	透水性試験	ヶ所	40
	ポアソン比	ヶ所	40
	一軸圧縮試験	ヶ所	41
	三軸圧縮試験	ヶ所	30
	熱伝導率	ヶ所	42
	弾性係数	ヶ所	30

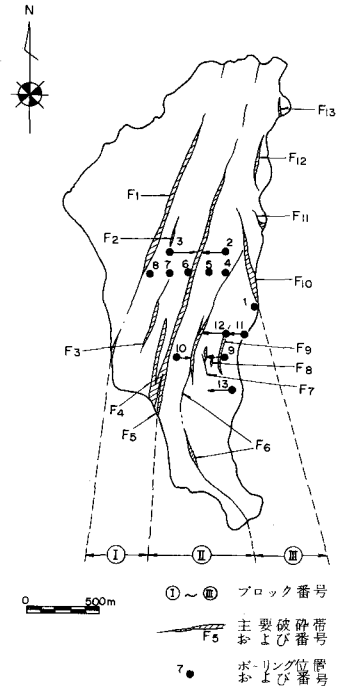


図-2 主要破碎帯分布図

3-2-3 岩盤の透水および透気性

調査区域内の13本のボーリング孔において、5 m毎に透水試験を実施した。その結果をもとに透水係数分布図を作成した。その一例を図-3 (b)に示す。この透水係数分布図と前記の岩盤等級分布図とを検討した結果、表層部10~30 m付近に存在する風化層および特に脆弱な一部の破砕帯を除いて、全体として透水性は小さく($10^{-6} \sim 10^{-7} \text{ cm/s}$)、比較的均一であることが明らかとなった。

又、ボーリング孔を利用し岩盤透気試験を実施した。その結果は透水係数とほぼ同一の値を示した。今回の試験は、地下水面下で実施したものであり、このような箇所での透気性の評価は、今後の検討課題と考えられる。

3-2-4 地下水性状

ボーリング掘削完了後の約6ヶ月間、孔内水位の観測を行った。測定された孔内水位は比較的浅く(5~25 m)、その変化は極めて少なく安定している。また地下水面は地形面とよく対応している。

つぎに、ボーリング孔内で、ほぼ5 m間隔に区間地下水圧を計測した。その結果、当調査区域における地下水圧は、一部の破砕帯等を除きほぼ静水圧に等しいことが明らかとなった。

又、地下水温については温度検層を実施したが、その結果によると地下水温は全般に15~20℃の値を示す。海水の地下水への混入状況を知るため、各孔において電気伝導度を測定した。測定値は概ね100~500 $\mu\text{S/cm}$ の値を示し、海水(約50,000 $\mu\text{S/cm}$)が混入している可能性は全くないことが明らかとなった。特に、海岸線より35 m内陸部のボーリング孔底(B-1, EL=5 m, $\ell=227 \text{ m}$, 垂直)においても海水の混入は確認されなかった。

4. む す び

以上のような地質条件、地下水条件および岩盤の物理的力学的性状を勘案すると、I地点における水封式燃料地下タンクの建設候補地として、㊦ブロックは適切な箇所であると判断される。なお、地下タンク的设计、施工に当っては、施工中の地質調査を重視し、施工箇所における具体的な地質条件に合致した合理的な設計、施工を為すべきことは、前述の通りである。

更に、当I地点における地質調査を通じ、「調査の考え方」の項で紹介した水封式燃料地下タンク技術指針(案)における地質調査の考え方は妥当なものであることが確認されたものと考えられる。

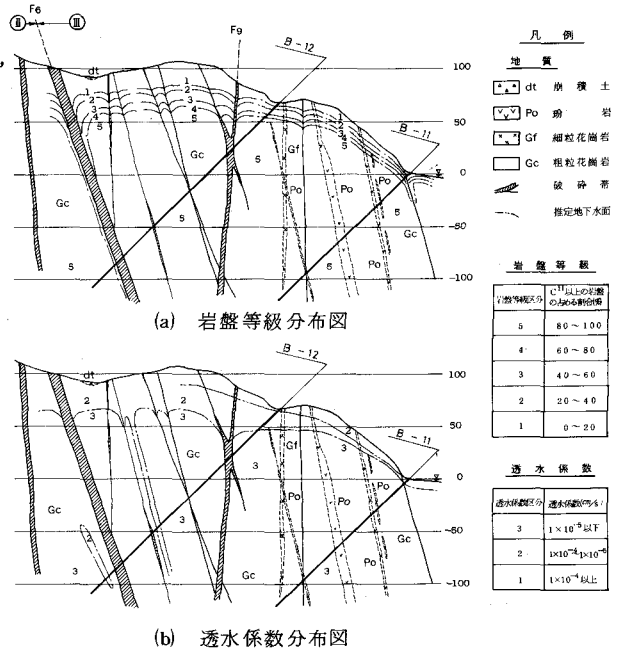


図-3 地質および岩盤状況断面図

表-2 岩盤等級と原位置ならびに岩石試験結果との関係

岩盤等級	弾性波速度 (km/s)	変形係数 (LLTによる) (kg/cm ²)	一軸圧縮強度 (kg/cm ²)
B		145,000	1,360
C	C ^H 4.4~5.8	50,000~93,000	1,040
	C ^M 2.4~4.2	20,000~67,000	700
	C ^L 2.1~3.9	3,600~13,000	
D	1.5		

An Example of Geological Site Investigation
of Underground Storage Caverns for Fuels

by K. Kikuchi* I. Motozima*
K. Saito* K. Kondo**
T. Kiuchi** J. Shimada**

This paper outlines the geological site investigation at the small "I" island in the Seto Inland Sea, which is a planned site of the underground storage caverns for fuels. This investigation was done based on the "Technical Guides on Underground Storage Caverns for Fuels", which was prepared by Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI) and requested by Federation of Electric Power Companies (FEPC).

As a result of the survey, the followings were clarified.

- 1) "I" island is underlain almost by the Hiroshima granitic rocks of Cretaceous age intruded by porphyrite, aplite, etc.
- 2) In the survey area, the fractured zones strike almost north to south and lie in a parallel arrangement, so that the area investigated is divided into three blocks by predominant fractured zones named F5 and F6. The rocks of block I and II were subjected to hydrothermal alteration and became fragile. But the rocks of block III remain unaltered and show generally good geological conditions. This result has been endorsed by various well loggings in boreholes.
- 3) As for permeability of rocks in block III except the weathered layer existing near the ground surface, it is very small and almost equal. And the condition of ground-water is generally shallow and stable.

Thus, block III is assumed to be the most suitable in "I" island by its geological and ground-water conditions. Furthermore, through the geological investigation in "I" island, it was confirmed that the "Technical Guides on Underground Storage Caverns for Fuels" was reasonable.

* Central Research Institute of Electric Power Industry

** Shimizu Construction Co., Ltd.