

# 日本菊間原油貯藏地下空洞의 調査 및 實測

金 周 範\*

## 1. 서 언

수십개의 大形地下 發電所가 日本에서 이미 建設되었는데 이들 空洞의 斷面積은  $600\text{ m}^2$  에서부터  $1,400\text{ m}^2$  에까지 이르고 있으며 大部分 두꺼운 콘크리트 라이닝으로 安全을 維持하도록 施工되었다. 더우기 이들 空洞의 掘鑿에서는 地下水는 排水溝를 따라 排水가 되도록 되었다.

原油備蓄의 原理는 經濟的으로 若干의 支持와 라이닝을 하여 大部分의 安定 및 地下水位를 維持하도록 되어 있다.

여기에 記述되는 試驗地區는 各種調査와 最小補強으로 큰 空洞의 安全을 確認하고 地下水의 舉動을 追跡하였다.

## 2. 概 要

### 2.1. 位置와 地質

試驗地區는 日本 四國 西北端 高繩半島北部에 있으며 地質은 花崗閃綠岩이고 硬固하고 新鮮한 岩質이다.

空洞에는 몇개의 節理帶가 있으며 그 方向은 NE-SW 와 NW-SE 이고 傾斜는  $50^\circ \sim 90^\circ$  NW 또는 SW 이다.

地層은 土砂와 風化帶, 中程度의 風化帶와 節

理帶, 若干風化된 漸移帶와 新鮮한 硬岩帶인 네 가지로 區分된다. 風化帶와 新鮮한 基盤岩의 境界는 거의 標高 15 m 에서 -6 m 로 西쪽에서 南西方向으로 바다에 向하고 있다.

### 2.2. 試驗 플랜트

이 플랜트는 貯藏空洞과 配管터널과 入荷 및 出荷用 垂直坑, 펌프室, 水封터널과 掘鑿을 爲한 工事用터널로 이루어져 있고 原油를 操作하기 爲한 施設들이 設置되어 있다.

貯藏空洞은 幅 15 m 높이 20 m 이고 그 길이는 112 m 로 掘鑿容量은  $31,000\text{ m}^3$  이다.

이 試驗 플랜트의 重要한 施設은 水封터널과 水平水封幕이다(Horizontal water Curtain) 原油貯藏壓力은 0.5 에서  $3.2\text{ kg/cm}^2$  로 計劃하였고 空洞의 길이는 海面下 42 m 에서 62 m 로 하였다. 水封터널과 물 注入孔은 海面下 26 m (空

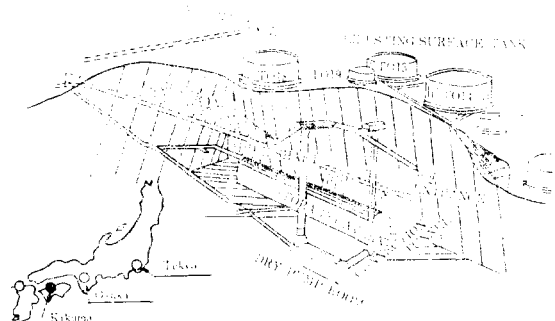


그림 1. 조감도 및 위치도

\* 正會員, 正友 엔지니어링 常務理事

洞上部에서 16 m)에 位置하였고 그 機能은 地下水水位가 下降하는 것에 對備하고 瓦斯와 原油를 가두어 두는 效果를 더 強化하는데 있다. 水封터널은 幅 4 m, 높이 4 m 이고 延長 35 m 에 注入孔은 54 孔을 兩側으로 穿孔하여 配置하였다.

### 2.3. 工程

工事は 1980 年 3 月부터 始作하여 1981 年 12 月 에 完工되었다. 空洞工事 完了後 配管과 原油 操作施設이 1982 年 2 月 에 設置를 끝내고 1982 年 3 月부터 7 月까지 試運轉을 하였다.

並行하여 各種 調査試驗과 計測이 實施되었는데 1980 年 에 地質調査와 原位置試驗을, 1980 年 부터 現在까지 環境調査, 地下水觀測, 岩盤舉動 測定, 地震觀測等을 하고 있다.

### 2.4. 掘鑿

空洞의 掘鑿은 上部半斷面을 하고 다음에 아치擴大後 水平벤치를 3 段階로 나누어 하였다. 即 空洞끝에서 工事用터널이 進入되고 幅 5 m, 높이 5 m 인 上部半斷面을 開鑿하면서 全長 112 m 를 들어갔다. 이 過程에서 地質狀態를 調査하여 아치部擴張과 補強方法을 講究하였다.

補強은 록볼트(3~5 m)와 슛크리트(10~15 cm) 를 하였으며 슛크리트는 天井과 壁에서 떨어져 적은 岩塊를 保護하는데 있다. 發破孔의 穿孔은 全自動 油壓式 점보(Jumbo)를 使用하였으며 이 機械는 正確하게 施工할 수 있으며 發破는 스무즈 부라스팅(Smooth blasting)으로 하였다. 이 方法으로 掘鑿面의 弛緩帶의 깊이를 最小로 하였다.

其他 펌프室과 出荷垂直坑에서는 콘크리트 라이닝을 하였고 가스나 原油가 漏出되는 것을 막기 위하여 물을 充填하였다. 이때문에 펌프室에서는 最大 7 kg/cm<sup>2</sup>의 水壓이 作用함으로 鐵筋 콘크리트 두께를 1.2 m 로 하였다.

出荷垂直坑은 直徑 7.6 m 이고 깊이는 70 m 로 펌프室과 連結되어 있다. 垂直坑發破는 Stage-Cut 方法으로 하였는데 서비스터널 바닥에서 全體 깊이를 穿孔한 後 段階의 으로 發破하여 下部 空洞에서 버력을 運搬하였다.

## 3. 結果

### 3.1. 空洞의 安全

岩盤掘鑿에 對한 變位는 엑스텐소메타(Extensometer)로 測定하였으며 그림에 나타냈다.

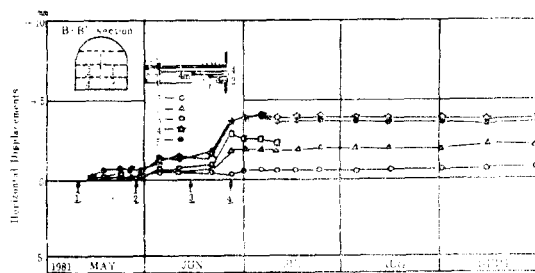


그림 2. 변위측정

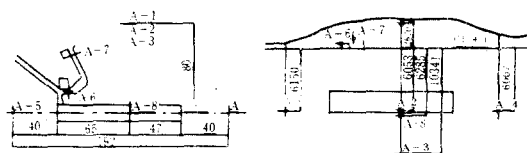
變位는 掘鑿이 進行됨에 따라서 增加하나 初期에 增加하고 漸次 적은 값으로 變化한다. 이 變位를 5 年間 測定한 結果 原油入出荷에 따라 若干의 變化가 空洞壁體에서 일어난다.

空洞의 變位舉動은 原位置試驗과 初期應力測定結果에 依한 有限要素法에 依하여 分析하였다.

이 地區의 岩質은 均質이기 때문에 測定值(最大 5.4 mm)와 計算值(最大 6.8 mm)가 近似함을 보여주었다.

地震에 對하여 現在까지 22 회에 걸쳐 測定되었다.

地表面風化岩에 位置한 A-1의 No. 10 記錄에 依하면 그 振幅은 最大 34 gal 로 깊은 位置에 있는 硬岩 A-3의 8 gal 보다 5 倍나 크다. 其他 A-2에서 A-8 까지 新鮮한 岩에 設置한 것들은 A-3 보다 2 倍 크다. 이것은 地上에 있는 탱크보다 岩盤內 空洞이 地震에 對하여 훨씬 有利하다는 것을 나타낸다.



	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7	A-8
No. 01 N-S	7.25	1.15	1.00	1.05	1.24	1.65	1.87	1.24
No. 01 E-W	4.84	0.76	1.00	1.04	1.07	2.20	2.05	1.14
No. 01 U-D	6.60	1.25	1.00	1.15	1.27	2.52	2.42	1.60
No. 06 N-S	1.12	1.42	1.00	1.38	1.28	2.87	3.50	1.56
No. 06 E-W	1.02	1.03	1.00	1.17	0.96	1.82	3.08	1.27
No. 06 U-D	9.42	1.11	1.00	1.47	1.05	2.02	2.63	1.33
No. 07 N-S	10.11	1.31	1.00	1.34	1.55	3.05	3.47	1.71
No. 07 E-W	4.44	1.10	1.00	1.05	1.32	1.89	2.28	1.15
No. 07 U-D	4.74	1.16	1.00	1.20	1.23	2.55	2.75	1.32
No. 10 N-S	6.53	1.53	1.00	1.04	1.30	1.90	2.53	1.33
No. 10 E-W	5.96	1.35	1.00	1.09	1.55	1.81	1.94	1.52
No. 10 U-D	4.25	0.79	1.00	0.92	1.07	1.16	2.08	1.04

그림 3. 지진가속도비

### 3.2. 地下水의 舉動

이 地區의 가장 重要한 目的은 地下水의 舉動을 調査하는 것이다.

長期間의 地下水位觀測은 그림-4에 나타낸 觀測孔에서 建設初期부터 運轉期間까지의 地下水位와 間隙水壓變化를 나타냈다. 地下水理의 精密觀測은 地表水流去와 蒸發量을 同時에 測定하였다.

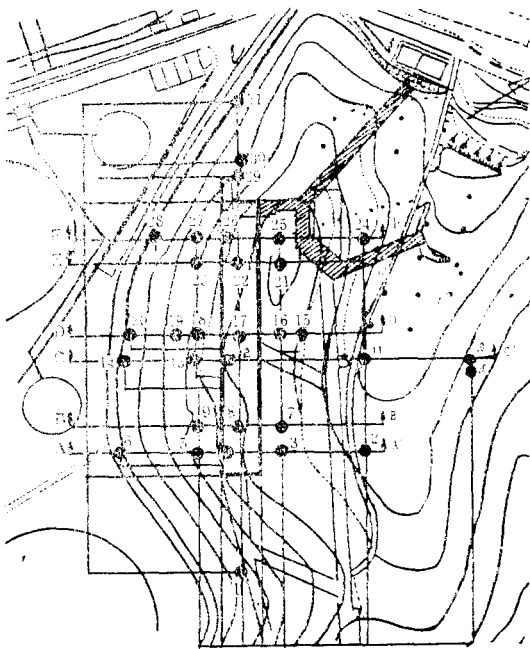


그림 4. 관측공 위치

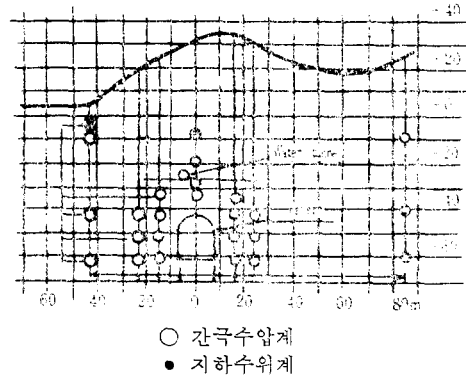


그림 5. 지하수 계측위치

그림-6은 掘鑿에서부터 運轉할 때까지의 變化이다.

a) 工事前의 地下水位

c), d)는 水封터널 굴착後의 水位이며 水封터널에 물을 供給함으로써 地下水位가 回復되었는데 水位低下의 最大는 5~8m에 이르렀다.

g), h) 垂直坑을 굴착할 때 그 周圍의 地下水位 降下

i) 1年後 地下水位가 回復

空洞周圍의 間隙水壓의 分布는 그림-7와 같다.

d) 굴착中에 間隙水壓 降下

f) 水封터널에 注水함으로써 回復

h), i) 不活性가스의 壓力으로 增加

結果的으로 불배 空洞이 充分하게 깊이 位置하기 때문에 地下水位는 크게 變化하지 않았다.

이곳 岩盤의 透水係數는  $2.5 \times 10^{-5}$  cm/sec로 많은 注入孔試驗에서 測定되었다.

그림-8은 計算値와 實測値를 比較한 것이다.

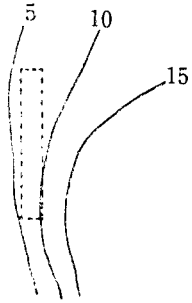
그림-9는 空洞內로 浸出되는 水量이 不活性가스의 壓力에 따라 變하는 것을 나타낸 것으로 가스壓力이 크면 浸出水量이 적어지고 적으면 그 反對이다.

그림-10은 空洞內로 浸出된 물의 質을 나타낸 것으로 PH 값이 크게 나타나는 것은 空洞內 숏크리트를 통해서 浸出되는 過程에서 시멘트物質이 溶解되기 때문이다.

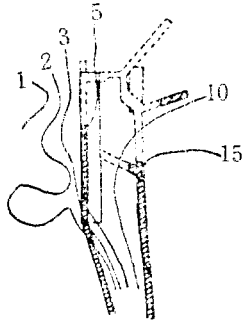
COD는 原油속의 硫黃 또는 페놀(phenol)과 反應하거나 높은 알카리水 때문이다.

Cl 값은 空洞이 바다 가까이 또 海面下 깊은 곳

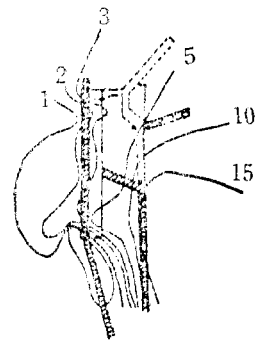
a) '80.9.1



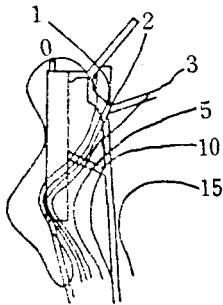
b) '80.12.1



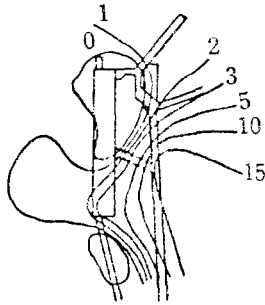
c) '80.12.23



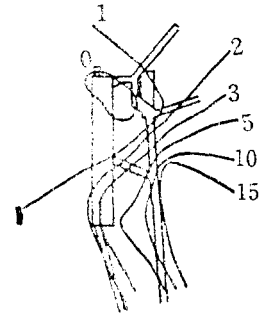
d) '81.2.10



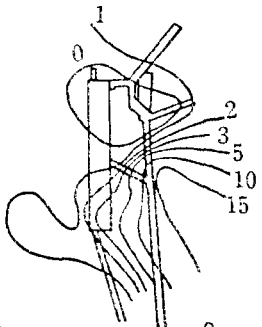
e) '81.2.20



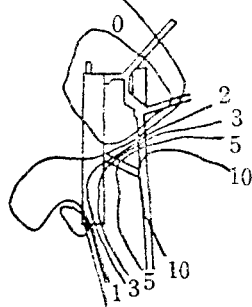
f) '81.3.20



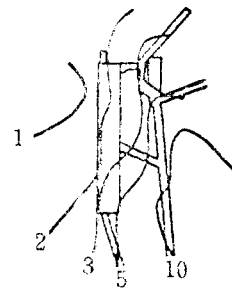
g) '81.5.31



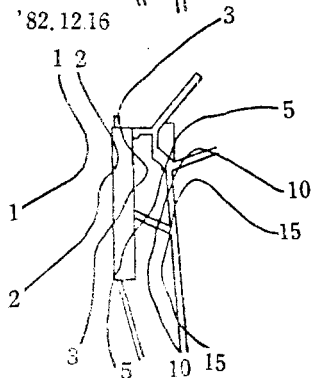
h) '81.12.11



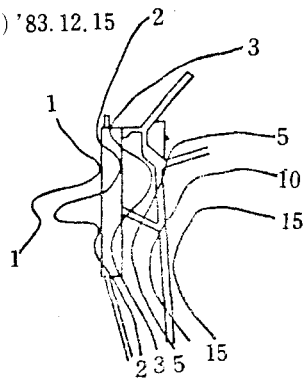
i) '82.3.1



j) '82.12.16



k) '83.12.15



l) '84.12.15

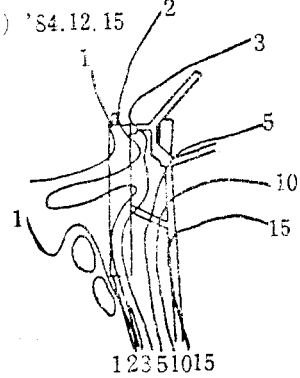


그림 6. Groundwater Table (UNIT ELm)

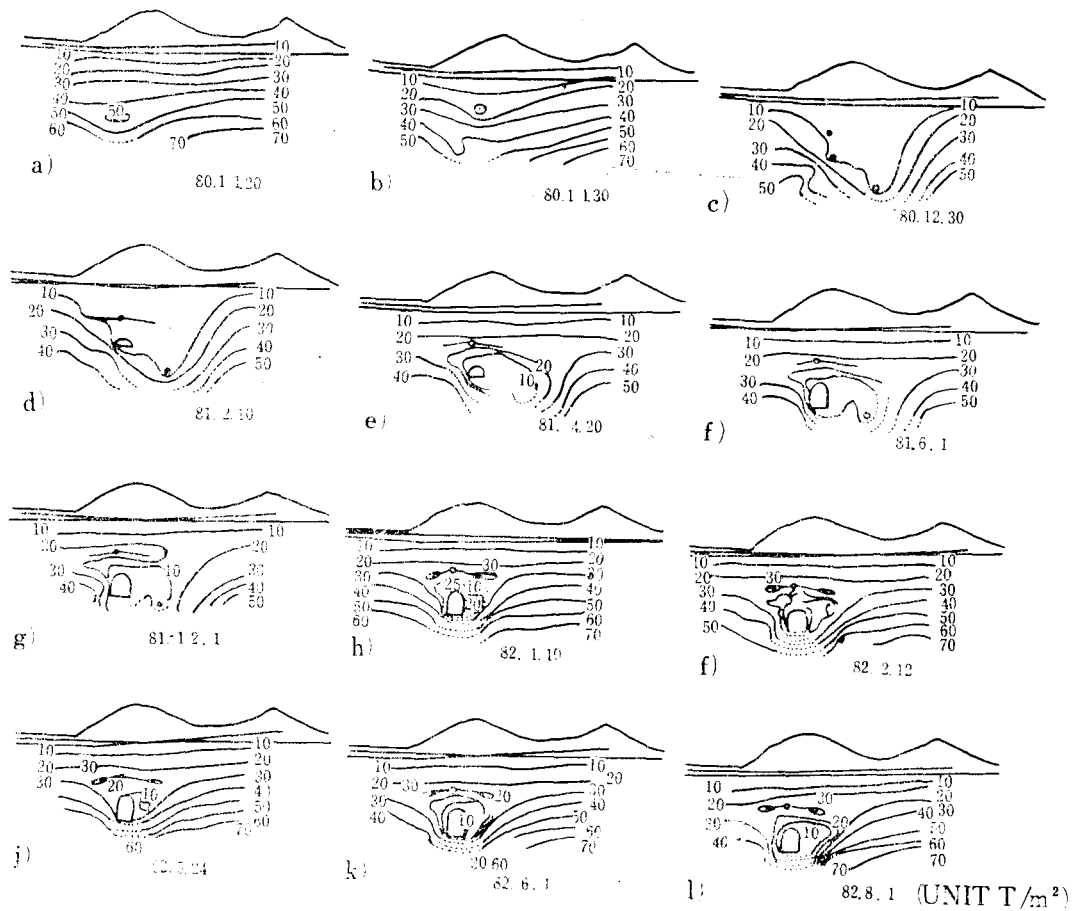


그림 7. Pore pressure around the cavern

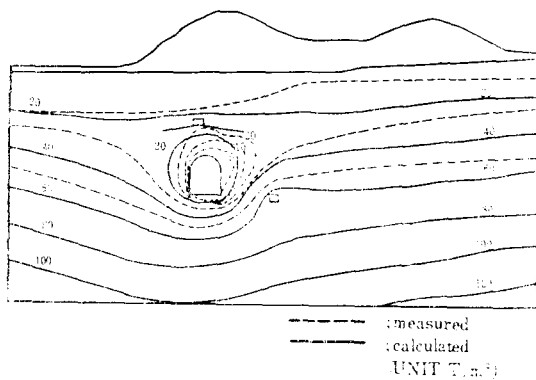


그림 8. Pore pressure Distribution

에 있기 때문에當初물에 比하여 높은 값을 나타낸다.

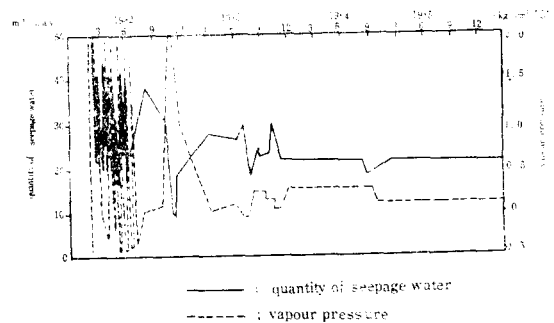


그림 9. Seepage water into the cavern

#### 4. 結 言

1. 良質岩盤內에 掘鑿된 空洞은 큰 補强없이 靜力學的으로나 地震學的으로 安全하다는 것을

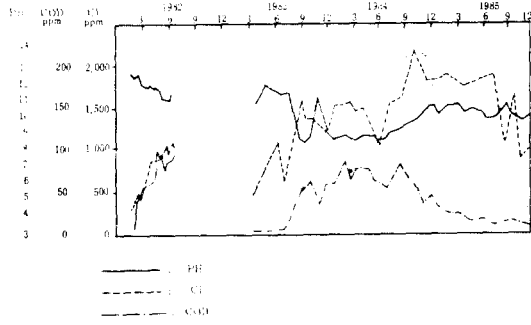


그림 10. Quality of Bed Water

확인하였다.

2. 터널 굴착으로 일부地下水가 함몰되었으나 수封터널에 充水함으로서 回復되었다. 그리고 長期觀測結果 自然降雨로서 地下水位는 安定되는 것을 確認하였다.

3. 地下水舉動分析方法은 實測데이터에 依하여 몇가지 技術이 開發되었다.

4. 浸出水에서 PH 값이 높은 것은 숯크리트 때문이며 Cl 값이 높아져 이에대한 淨水處理方法을 定하였다.

原 文

The First Test Plant of Underground Crude Oil Storage in Unlined Cavern. Large Rock Caverns, 1986.