

地下石油備蓄串木野基地における長期的な岩盤水理挙動について Long-term hydraulic behavior of rock at the Kushikino underground oil storage facility

長谷川誠*・宮下国一郎**・岡本明夫***

Makoto HASEGAWA, Kuniichiro MIYASHITA, Akio OKAMOTO

The national underground oil storage facility at Kushikino completed the storage of oil in November 1994. In order to evaluate and verify the water-sealing performance, measurements have been continued for the hydraulic behavior of rock. Swarms of earthquakes occurred in March through August of 1997 with the epicenter near Sendai City, Kagoshima Prefecture, and caused noticeable fluctuation of the measurements.

This report studies hydraulic behavior of the rock based on the measured data, and considers the effect of the earthquakes and examines long-term safety with respect to water-sealing capability of the cavern installed in the rock.

1. はじめに

国家地下石油備蓄串木野基地(3ユニット全貯蔵容量175万kl)では、1994年11月に原油の受入れが完了し、現在順調に操業を行っている。原油は岩盤タンク周辺の水圧によって水封されており、その水封機能の健全性を評価・確認することを目的として、周辺地下水位、間隙水圧、岩盤タンク湧水量、水封水供給水量、水収支等の岩盤水理挙動に関する計測を継続的に行っている。

1997年3月～8月にかけては鹿児島県串木野市内付近を震源とした群発地震が発生したが、この地震によりこれらの計測値の一部にも顕著な変動がみられ、いくつかの有用な知見も得られている¹⁾。

本報告では、岩盤タンク周辺の岩盤水理挙動について計測データをもとに検討を行うとともに、地震の影響等について検討を加え、岩盤タンクの水封機能の長期的な安全性について考察を行うものである。

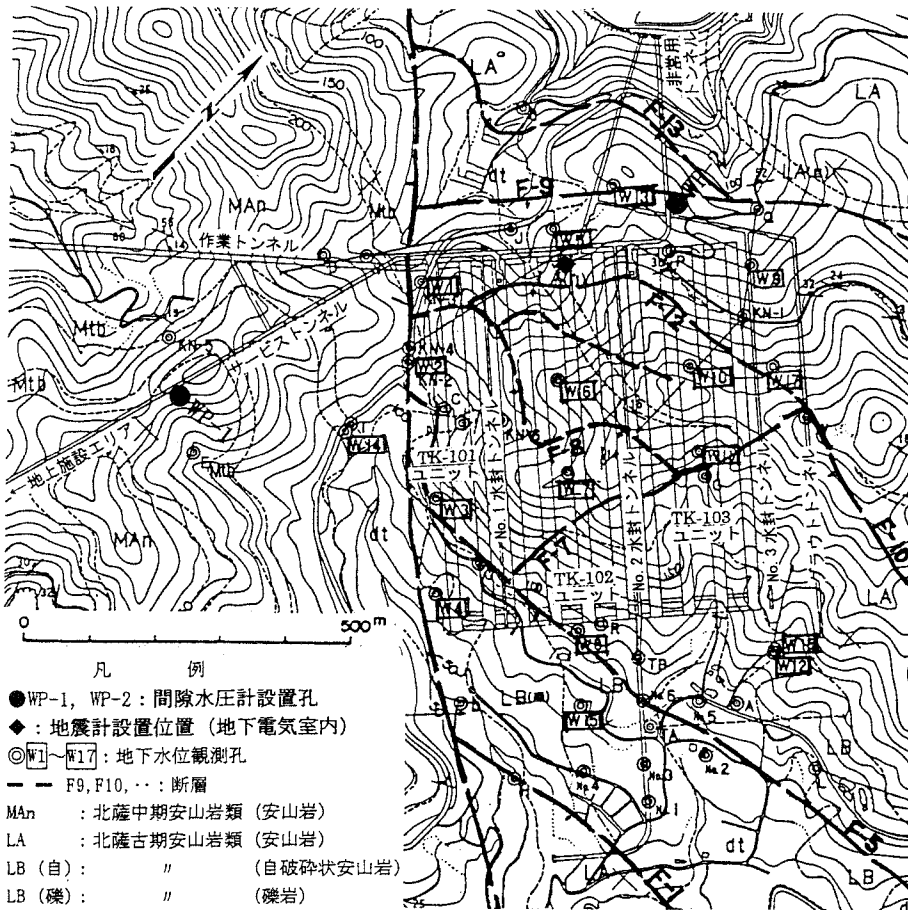
2. 基地及び計測概要

串木野基地は鹿児島県串木野市の海岸に近い山陵下に在り、幅18m、高さ22mの卵型の断面形状を有する長さ555mのトンネル形式の水封式岩盤タンク10基を並設した構造となっている(図-1)¹⁾。岩盤タンク天端レベルはEL-20mにあり、地表部の標高は平均EL+150m程度である。岩盤は主として新第三紀北薩古期安山岩類の自破砕状安山岩(LB(自))及び礫岩(LB(礫))から成り、全体的には緻密で割れ目の少ない中硬岩

* 正会員 清水建設(株)土木本部技術第2部

** 正会員 工博 清水建設(株)技術研究所特別プロジェクト部

*** 工博 日本地下石油備蓄(株)業務部



図－1 串木野基地施設全体平面図¹⁾

から構成されている。岩盤タンク
周辺岩盤の透水係数は平均 $1.5 \times 10^{-7} \text{cm/sec}$ と極めて小さな値を示
すが、図－1 に示した断層周辺で
は 10^{-4}cm/sec オーダーの大きな値
を示すところもみられていた。

串木野基地では水封機能に関連
した計測としては表－1 に示す内
容の計測を行っている。図－1 にはこれらのうち地下水位計、間隙水圧計等の平面配置を示している。

表－1 水封機能関連計測項目・内容

計測項目	点数	内 容
降雨・蒸発散量	1	降雨・蒸発計により自記記録
地表流出量	10	集水域毎にパナソニックにより自記記録
地下水位	17	地表Br孔内に水圧計を設置 (EL-3.0m) し自動記録
間隙水圧	6	サビースTからのBr孔2孔に各3ヶ所水圧計を設置し自動記録
岩盤タンク湧水量	3	3ユニットの各底水排水量から算出
水封水供給水量	7	各水封T・壁坑及び作業T, サビースTへの供給水量を自動記録

3. 計測結果及び考察

図－2 に 1994 年 4 月～1998 年 7 月の間の水封機能関連データの経時変化図を示す。なお、基地では底水
排水ポンプの定期的な点検、設備の整備のための運転等が行われており、同図には所々でデータの欠測等が
みられるが、全体としてデータは順調に集積されてきている。同図より以下のことが示される。

- ・地下水位に関しては、降雨による季節的な影響を敏感に受ける孔とそうでない孔がみられ、前者に対応する孔として W-3, W-6, W-7, W-8, W-10, W-11, W-12, W-17 の各孔が挙げられる。これらの孔は降雨季に上昇傾向を示し、乾季には低下傾向を示している。
- ・降雨の影響はやや遅れて現れるようであり、また全体を通しては限界地下水位（水封上必要となる最小の地下水位）EL±0m 以上を十分に確保したレベルにある。
- ・W-17 孔については、1997 年 7 月以降上昇傾向を示しボーリング孔口近くまできたところで安定してきているが、この上昇の原因についてはよくつかめていない。
- ・岩盤タンク湧水量

については全体的には漸減傾向にある。これは岩盤内の水みちの目詰まりの進行等によるものと考えられ、長期的には湧水量は低減していくものと考えられる。

図-2 で注目されるのは、1997 年 3 月 26 日と 5 月 13 日の湧水量の急増現象である。この両日には鹿児島県川内市付近を震源とする規模の大きな地震が発生しており、串木野基地においても震度 5 強（マグニチュード 6.3）と 6 弱（マグニチュード 6.2）の揺れを観測している。新鮮岩盤内にある地下電気室（EL+4.0m 盤）内に設置した地震計の観測値は、それぞれ最大 39.6gal と 60.4gal（各水平加速度）を示し、岩盤内部で記録した地震としては大きな部類に入る地震となっている。

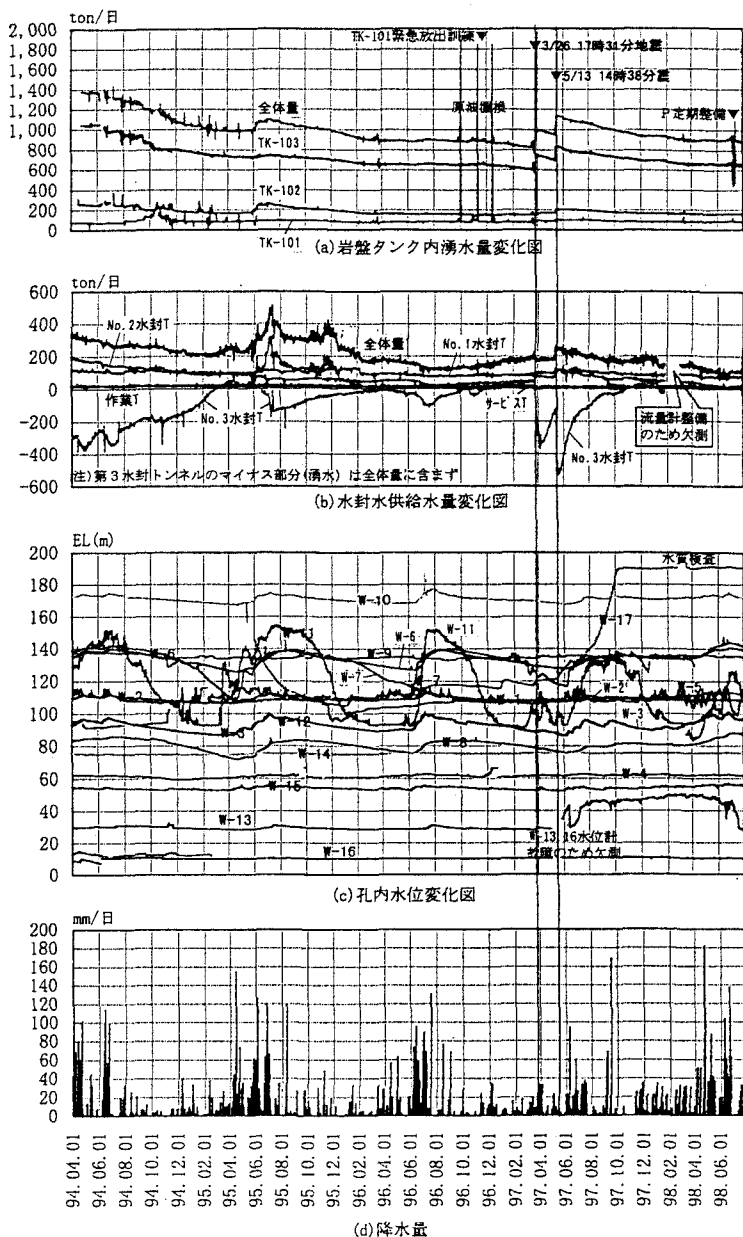


図-2 水封機能データ経時変化図

湧水量は2つの地震においてそれぞれ20%程度増加し、またそれに伴い水封水供給水量もNo.1及びNo.2水封トンネルについては増加した。No.3水封トンネルについては、それ以前の雨季にもみられていたことであるが、水封トンネル（EL+1.0m 盤）内への湧水量が供給水量を上回ることとなって、逆にトンネルから湧出するようになっている。

このような現象を生じた主な理由としては以下の2つのことが考えられる。

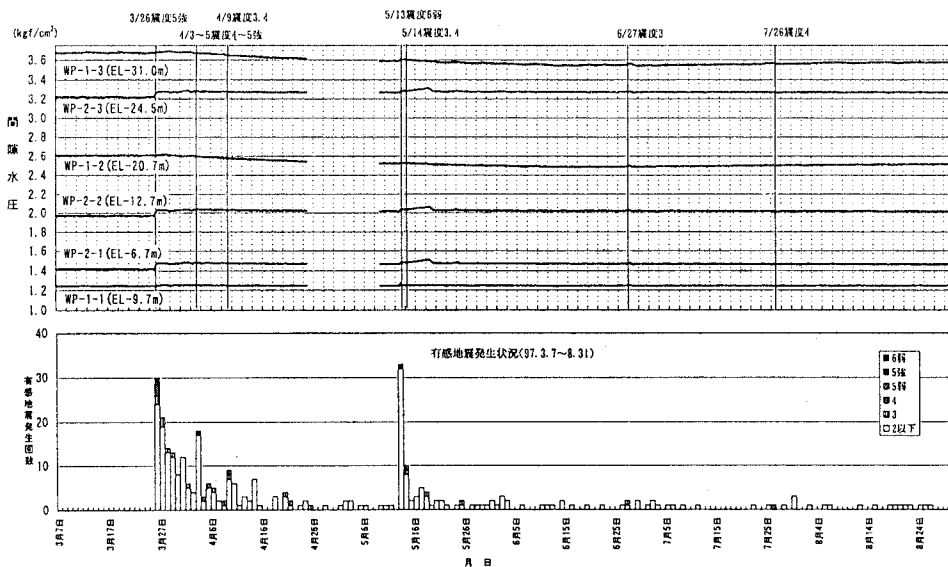


図-3(a) 間隙水圧・有感地震発生状況経時変化図 (1997/3/7~1997/8/31) ¹⁾

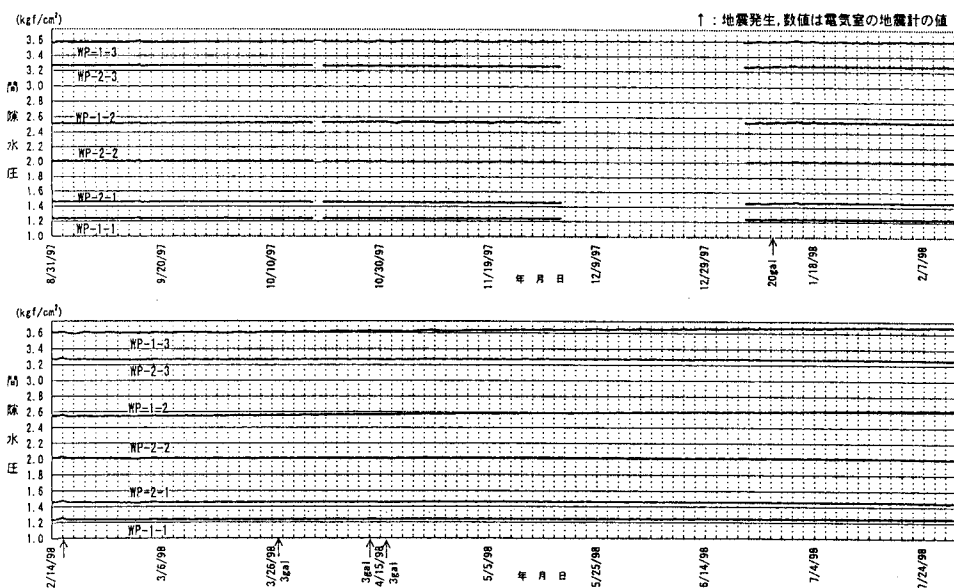


図-3(b) 間隙水圧経時変化図 (1997/8/31~1998/7/31)

①地震によって岩盤が揺すられた結果岩盤内の水みちの透水性が大きくなった。(割れ目内の空隙に介在していた粘土物質等の膠着が緩められた。)

②地震によって岩盤が揺すられ、周辺岩盤の地下水のポテンシャルが上がった。

このうち、①については岩盤内の空隙が相対的に増加し、水みちとして通りやすくなった結果岩盤タンク内への湧水が増加したものと考えられ、他の同様な事例の報告もみられている²⁾。

また、②についても同様な確認事例³⁾があり、本基地においても図-2の地下水位経時変化図に示されているように、W-9、W-13孔等で地震後1m程度の水位上昇がみられている。図-3には1997年3月からの間隙水圧の経時変化を示すが、これによってもこれらの地震後に間隙水圧が上昇していることが分かる⁴⁾。

No.3水封トンネルの水封水供給水量が増加した理由については、②の事象が考えられるとともに、TK-103ユニット北部側にはF9等の断層が集中したところがあり(図-1)、これが上部の水封トンネルにも連続していたことから、①に示した透水性の増大がNo.3水封トンネル周辺にもみられたのではないかということが挙げられる。これはサービストンネル及び作業トンネル等の上部のトンネルにおいても同様に地震によって湧水が増加したところが生じていたことから裏付けられる。

図-2、図-3に示したように、このような湧水量等の変化は時間の経過とともに徐々に元の状態に戻っていく傾向にあり、地震による岩盤水理状況の変化は数ヶ月のオーダーで収束に向かうものと考えられる。

本基地では上記した2つの大きな地震以外にも、大～小規模の地震が群発(図-3(a))あるいは小規模の地震が幾つか発生(図-3(b))しているが、それらの地震によっては間隙水圧はほとんど変化していないことが分かる。すなわち、ある程度の規模の地震によって一旦変化を生じた間隙水圧はそれ以下の規模の地震に対してはほとんど影響を受けないこと、また規模の小さな地震ではその影響は小さいことを示している。

この安定した間隙水圧の動きは図-2に示した地下水位とは好対照となっているが、これは間隙水圧計設置位置が水封トンネルレベルより低い位置にあり、これらの間隙水圧はこの一定の水圧下に保持されている水封トンネルの影響を大きく受けていることによるものと考えられる。

4. まとめ

これまでに述べてきたことを整理すると以下ようになる。

- ①地下水位は季節変動を示すものとそうでないものがみられるが、長期的には安定した挙動を示している。
- ②規模の大きな地震により、岩盤の透水性及び地下水ポテンシャルが増加し岩盤タンク湧水量は一時的に増える傾向を示すが、その後は徐々に元の状態に戻り、長期的には低減していく傾向にある。水封水供給水量もこの変化に連動している。

このように、串木野基地は操業後4年程度経過し、その間に規模の大きな地震が発生して岩盤水理状況に変化もみられたが、水封機能は保たれており、安全性は十分に確保されていると言える。

5. 参考文献

- 1)長谷川誠、宮下国一郎、清水勝美、岡本明夫：地震による岩盤水理挙動に関する知見ー地下石油備蓄串木野基地の事例ー、土木学会論文集(投稿中)
- 2)田中義晴、稲葉力、平田篤夫、石田一成、佐野修：現位置における高精度弾性波速度測定システムを用いた岩盤モニタリング技術の開発、土木学会論文集, No.561/Ⅲ-38, pp.185-192, 1997年
- 3)小野寺功、沢田好幸、堂元史博、別府亮：京阪地域の地震時浅層地下水位の挙動、応用地質技術年報、兵庫県南部地震特集号, pp.197-213, 1997年