第 37 回岩盤力学に関するシンポジウム講演集
（社）土木学会　2008 年１月　講演番号 40

水封式岩盤タンクの健全性評価に対する透水係数の逆解析手法の適用

城代　邦宏[1*]・植出　和雄[1]・若林　成樹[2]・宮下　国一郎[2]

[1]日本地下石油備蓄株式会社　業務部（〒105-0012 東京都港区芝大門1-1-30）
[2]正会員　清水建設株式会社　技術研究所（〒135-8530 東京都江東区区越中島3-4-17）
*E-mail: kjyodai@chikabi.co.jp

水封式岩盤タンクの長期にわたる維持管理及び安全確保という観点から，周辺岩盤の劣化や地下水状況の変化などを点検･把握することは重要な管理項目となっている．本報では岩盤タンク周辺の間隙水圧から透水係数を逆解析で求め，透水係数の変化から周辺岩盤の水理的な変化を推定した結果を報告する．岩盤タンク上部のトンネルから岩盤タンクの両側に削孔された5本のボーリング孔の内，間隙水圧計を設置した2本を含む断面で解析を行った．透水係数の高い領域や変化する領域は断層部の分布状況と良い対応を示し，岩盤タンクの健全性評価に有効な調査手法であることが確認された．

Key Words : *water-sealed rock cavern,soundnesst, backward analysis, permesbility, pore pressure*

1. はじめに

水封式岩盤タンクの長期にわたる健全性評価という観点から，周辺岩盤の劣化や地下水理状況の変化などを点検･把握することは重要な管理項目となっている．岩盤の劣化の進行や不飽和域の生成などの水理的な変化によって岩盤タンク周辺の透水性が変化して間隙水圧が変化することが想定される．そこで周辺岩盤の間隙水圧の計測結果から逆解析により岩盤の透水係数の分布を求める方法を提案する．また，計測期間中の間隙水圧の変化から周辺岩盤の透水係数の変化した領域を評価した．本報では，その評価手法の実用性確認試験として水封式岩盤タンクに適用した結果を報告する．

2. 調査位置

図-1 に示すように，原油貯蔵中の水封式岩盤タンク（幅 15m×高さ 20m×長さ 112m：容量 25,000kℓ）の上部に位置するサービストンネルから岩盤タンクを取り巻くように掘削した 5 本の調査ボーリング孔のうち，No.2,3 孔に間隙水圧計を各 3 個ずつ設置している．2 孔は掘削長 70.0～72.0m，孔径 116mm，傾斜角 70～74°である．間隙水圧計はコア観察やボアホール TV 観察で比較的顕

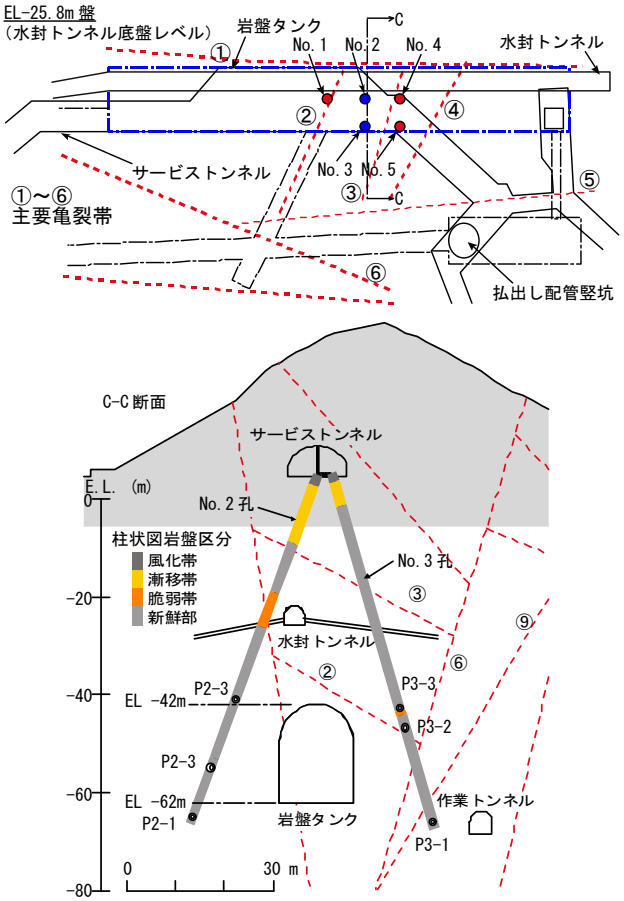


図-1 調査位置および地質断面

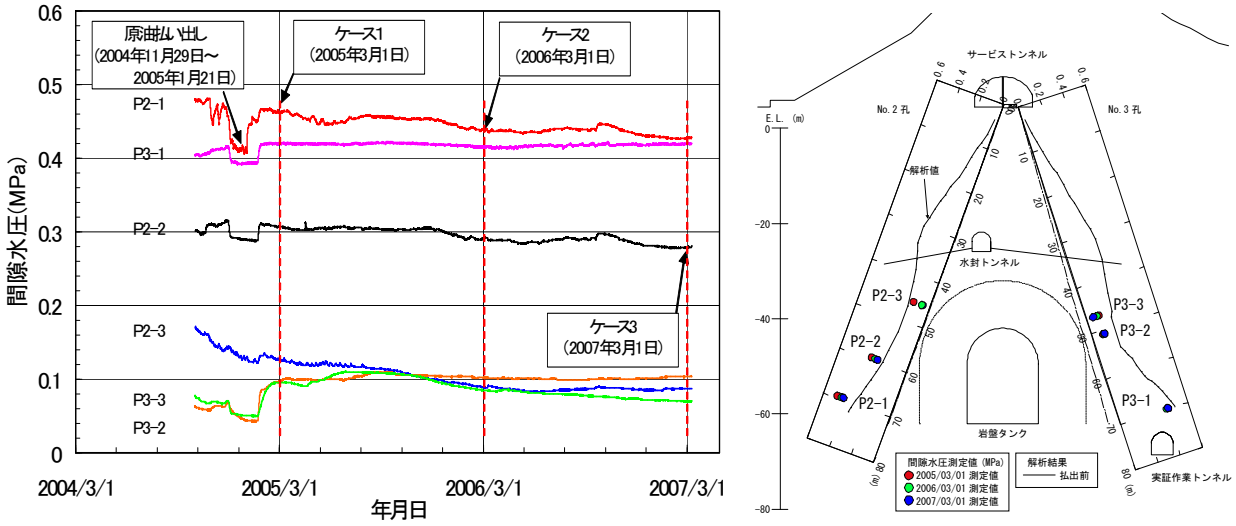


図-2 岩盤タンク周辺の間隙水圧の経時変化および予測値との比較

著な割れ目を含む区間に設置され，No.2 孔では EL-65m, -55m, -41m, No.3 孔では EL-65.9m, -46.9m, -42.9m である．図-1 には No.2-3 孔の地質断面(C-C)も示しており，岩盤タンク建設時に記録された主要断層部と調査ボーリングのコア観察結果から判断した脆弱帯などの位置を示している．なお，No.1, 4, 5 孔は裸孔で水封トンネルの水封圧と等しくなるように常時注水されている．

3. 間隙水圧の変化

岩盤タンク周辺の間隙水圧の経時変化，および文献調査[1)]で推定した透水係数などを用いて予測された No.2, 3 孔の間隙水圧分布と実測値の比較を図-2 に示す．2004 年 9 月 20 日から計測を開始し，途中 2004 年 11 月 29 日～2005 年 1 月 21 日にかけて原油の払出し・受け入れが行われた．P2-3 が設置当初より漸減傾向を示し，約 1 年後である 2006 年 3 月 1 日ごろから落ち着きはじめて現在に至っている．また，P3-3 については，2005 年 9 月ごろから漸減傾向を示しはじめて現在に至っている．同様の傾向が P2-1，P2-2 にもみられている．P3-1，P3-2 は，初期の計測値とした 2005 年 3 月 1 日ごろから現在に至るまでの間，ほとんど変化がみられていない．

予測解析でも岩盤タンクに近い肩部の間隙水圧が低下しているが，P2-3, P3-3, P3-2 の実測値はそれよりも若干小さな値となっている．

間隙水圧の予測値と実測値の差異や間隙水圧の変化が岩盤の透水係数に起因すると仮定し，次項に記す逆解析手法により，岩盤タンク周辺の透水係数および透水係数の変化を求めた．

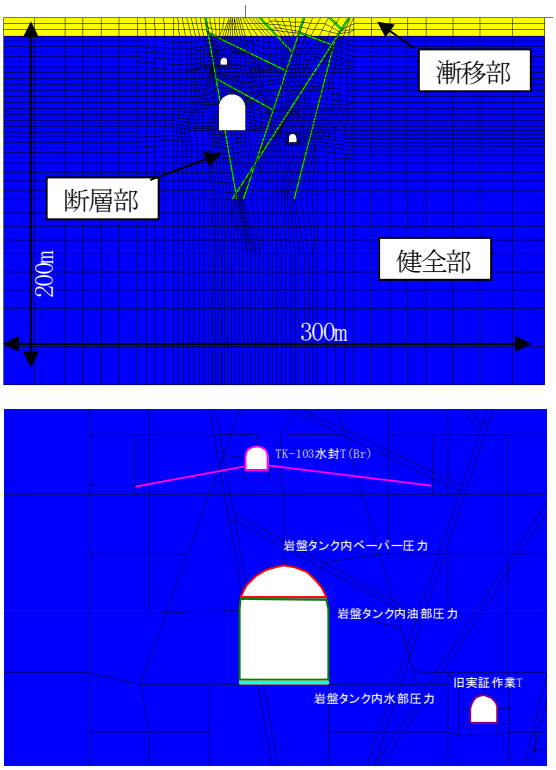


図-3 順解析モデルと境界条件

4. 解析方法

解析は払出・受け入れによる間隙水圧の変化が落ち着いたと見られる 2005 年 3 月 1 日と，1 年後の 2006 年 3 月 1 日，2 年後の 2007 年 3 月 1 日の 3 ケースを対象にした．最初に広域の浸透流解析により岩盤タンク周辺の定常状態の間隙水圧分布を推定する．図-3 に示す解析モデルでは断層部を考慮し，解析領域は上下 200m，左右 300m である．境界条件として表-1 に示す水封水圧，タンク上部のベーパー圧，観測孔内水位を与え，岩盤の透水係数として表-2 に示すような初期値を与えて解析した．

透水係数の逆解析にはカルマンフィルタを用いた有限

表-1 境界条件

項　目	場　所	ケース 1 2005 年 3 月 1 日	ケース 2 2006 年 3 月 1 日	ケース 3 2007 年 3 月 1 日
水封水圧（EL）	TK-103 水封 T(Br)	3.97m	3.94m	3.99m
	旧実証作業 T	1.42m	0.45m	1.51m
岩盤タンク内ベーパー圧力		29.91kPa	28.12kPa	27.75kPa
岩盤タンク内油面高（EL）		-47.5m	-47.5m	-47.5m
岩盤タンク内水面高（EL）		-61.5m	-61.5m	-61.5m
原油密度		0.857t/m^3	0.857t/m^3	0.857t/m^3
地表観測孔内水位（EL）	解析モデル左側	0.0m	0.0m	0.0m
	解析モデル右側	7.35m	5.93m	6.03m

表-2 初期材料物性

	透水係数(m/sec)	間隙率(%)
漸移部	5.0×10^{-7}	15
健全部	2.5×10^{-8}	5
断層部	6.0×10^{-7}	15

要素法を適用した [2]．**図-4** に逆解析用のモデルを示す．浸透流解析から求められた外周部の間隙水圧とモデル内の水封トンネルや岩盤タンク内のベーパー圧，液面高さなどを境界条件とし，**表-3** に示す No.2，3 孔の 6 点の間隙水圧を観測値として岩盤タンク周辺の岩盤の透水係数を逆解析で求めた．

5. 解析結果

ケース 1～3 の岩盤タンク周辺の透水係数分布を**図-5** に示す．いずれのケースとも断層①，②，⑥，⑨周辺に透水性が部分的に高くなっており，実際の岩盤状況を反映していると考えられる．特に，断層②の周辺で透水性が比較的高くなっているのは，P2-3，P3-2，P3-3 の計測値が解析値よりも小さくなっていることが影響していることが考えられる．

図-6 の(a)に 2005 年 3 月 1 日～2006 年 3 月 1 日の 1 年間の，(b)に 2006 年 3 月 1 日～2007 年 3 月 1 日の 1 年間の，(c)に 2005 年 3 月 1 日～2007 年 3 月 1 日の 2 年間の透水係数の変化を示す．(a)と(c)で，岩盤タンク左上部において透水係数が大きくなる傾向となった．これについては，P2-3 の当初からの漸減傾向が影響しているものと考えられる．(b)では，岩盤タンク右上部の透水係数が大きくなっているが，これは，この間に P2-3 にあまり変化がみられず，P3-3 に低下傾向がみられたことが影響しているものと考えられる．

(a)～(c)とも断層②の右下方部の透水係数が小さくなっているが，これは，この間の P3-2 にあまり変化がみられず，一方で P3-3 には低下傾向がみられたことから，P3-2 付近の間隙水圧が P3-3 に比べて相対的に大きくなったことによるものと考えられる．

表-3 観測値

間隙水圧	ケース 1	ケース 2	ケース 3
P2-1(MPa)	0.46354	0.43952	0.42772
P2-1(MPa)	0.30752	0.29161	0.27914
P2-3(MPa)	0.12684	0.08904	0.08694
P3-1(MPa)	0.42088	0.41505	0.42046
P3-2(MPa)	0.09735	0.10175	0.10336
P3-3(MPa)	0.09533	0.08487	0.07024

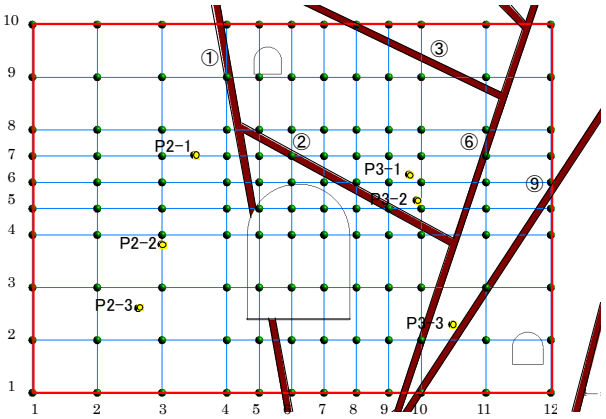


図-4 逆解析モデルと境界条件

透水係数の推定値が経時的に大きくなる傾向がみられるのは，岩盤タンク左上部及び右上部の断層②の周辺となっているが，この周辺は間隙水圧の計測値が解析値に比べて低く，また低下傾向が比較的大きな P2-3 や P3-3 周辺に対応しており，この傾向が推定値に反映されているものと考えられる．

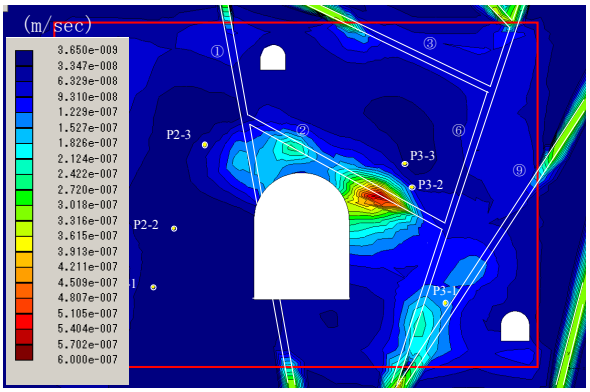
6. まとめ

水封式岩盤タンク周辺の間隙水圧の測定結果から岩盤タンク周辺の岩盤の透水係数を逆解析により求め，間隙水圧の変化から透水係数の変化が生じた領域の推定を行った．本報告では間隙水圧の変化は岩盤の透水性の変化に起因しているということを前提として行ったものであるが，この変化は平衡に至る途中経過としての変化という見方も一部ではでき，これについては今後さらにデータを蓄積し検討していく必要があると考えられる．

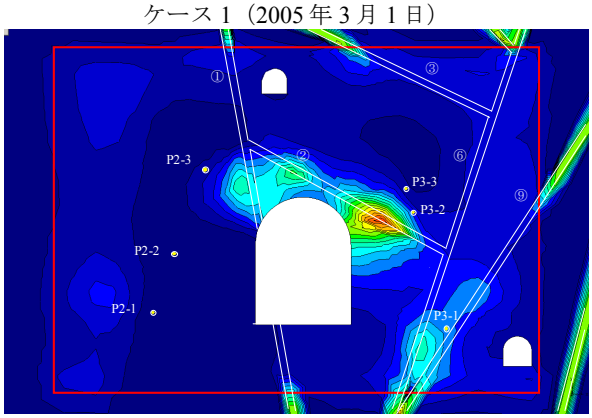
参考文献

1)石油備蓄技術(地下備蓄)調査報告書，石油公団，1983.

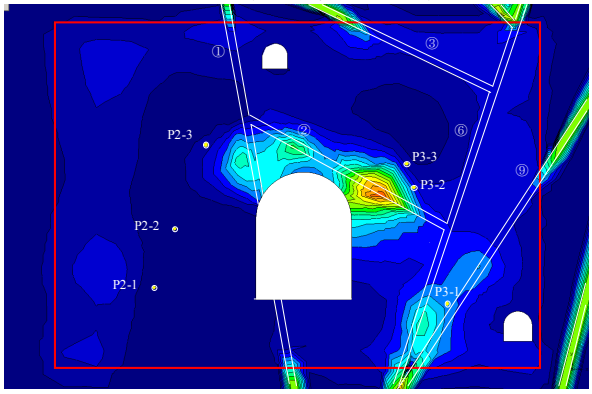
2)奥野哲夫，宮下国一郎，長谷川誠，岡本明夫：水封式岩盤タンク周辺の間隙水圧測定に基づく透水性評価と岩盤の健全性評価方法の検討，第36回地盤工学研究会発表会講演集，pp1283-1284，2001.6



ケース 1（2005 年 3 月 1 日）

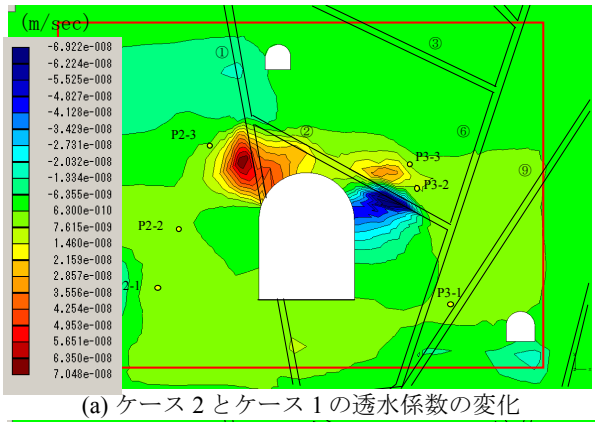


ケース 2（2006 年 3 月 1 日）

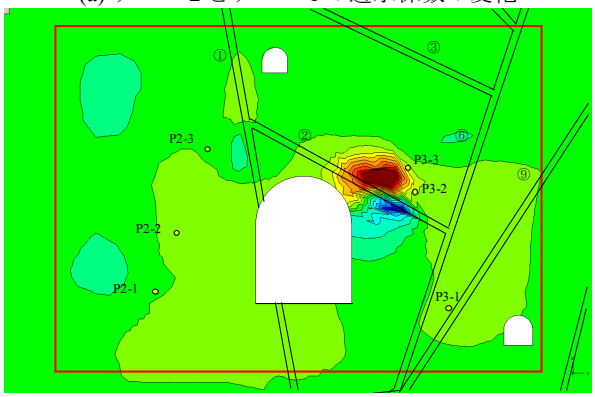


ケース 3（2007 年 3 月 1 日）

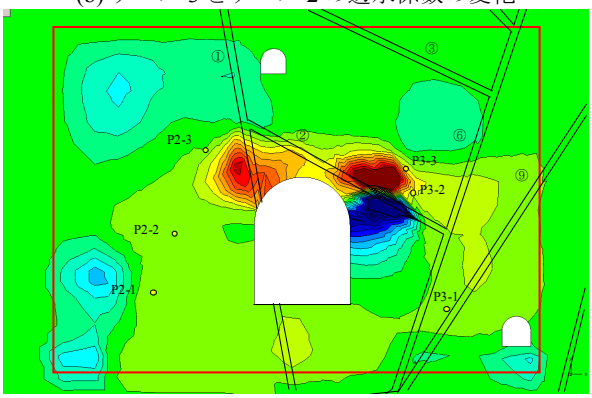
図-5 岩盤タンク周辺の透水係数の分布



(a) ケース 2 とケース 1 の透水係数の変化



(b) ケース 3 とケース 2 の透水係数の変化



(c) ケース 3 とケース 1 の透水係数の変化

図-6 岩盤タンク周辺の透水係数の変化

APPLICATION OF BACKWARD ANALISIS OF PERMEABILITY FOR WATER-SEALED ROCK CAVERN

Kunihiro JODAI and Kazuo UEDE
Naruki WAKABAYASHI, Kuniichiro MIYASHITA

It is important for long term maintenance and soundness of the water-sealed rock cavern to investigate and estimate the change of mechanical property and hydraulic condition of rock mass surrounding the cavern under operation. This paper shows the results of applicating backward analysis of permeability from pore pressure to the water-sealed rock cavern. In the cross section of the cavern, some variation regions of premebility caused by changing of pore pressure appear along the fault zone. It is very usefull method to analyze permeability from pore pressure for maintenance.