

地震時の水封式岩盤タンク周辺の地下水挙動について

清水建設 正会員 ○山田俊子・吉田順・長谷川誠
 日本地下石油備蓄 植出和雄・城代邦宏

1. はじめに

平成 13 年の芸予地震時に、水封式地下石油備蓄岩盤タンクにおいて湧水量および給水量が一時的に急増する現象が認められた。この変化の要因を把握することを目的として、3次元広域モデルの解析結果を境界条件に反映した局所的な応力解析および浸透流解析を行った。地震前後の岩盤タンク周辺の応力変化および地下水挙動を評価することにより、地震時における岩盤水理特性の変化状況を検討した結果を報告する。

2. 岩盤タンク周辺の応力解析

事前に行った 3 次元広域モデルの解析結果に基づき、**図-1** に示す解析モデルを対象とする 2 次元弾性解析を実施した。解析領域は、左右の側方境界を岩盤タンク端部から約 500m 拡張した範囲とし、底部境界を EL-200m に設定した。地層構成は風化帯および花崗岩とし、解析物性値はひずみレベル

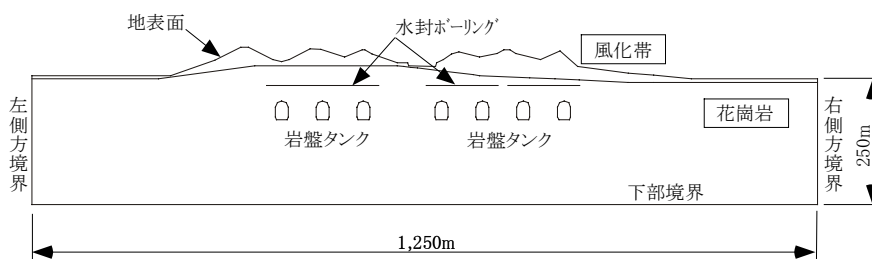


図-1 解析モデル

の小さいことを考慮して弾性波速度から算定される動的物性を用い、**表-1** のように設定した。境界条件は、広域モデル解析結果の岩盤タンク周辺における変位成分から、今回の 2 次元弾性モデルではほぼ等価な体積ひずみが考慮できる条件として、左側方境界を水平変位固定し、右側方境界から 1.0mm の強制変位を与え、下部境界は鉛直変位固定とした。

表-1 2次元弾性解析物性値

物性	単位	風化帯	花崗岩
S 波速度 V_s	m/s	900	2000
P 波速度 V_p	m/s	1800	4800
ヤング率 E	MPa	4844	28080
せん断弾性係数 G	MPa	1863	10800
体積弾性係数 K	MPa	4036	23400
ポアソン比 ν	—	0.30	0.30

解析結果で得られた水平ひずみとポアソン比の鉛直ひずみとの関係により、体積ひずみを求め、非排水状態の全応力の変化による Skempton の間隙水圧係数 B 値の関係¹⁾を用いて地震時の間隙水圧変動を算定した。**図-2** に間隙水圧変動分布を示す。間隙水圧変動の最大値は水頭値で 0.37m であり、計測された地下水位変動約 3m および間隙水圧上昇 34kPa²⁾と比較すると 1 オーダー小さい値となっている。しかし、体積ひずみは平均的に $3\sim 4 \times 10^{-7}$ のひずみレベルとなっており、極端に小さい値ではない³⁾ことから、今回のモデルでは平均的な間隙水圧上昇を示していることや、間隙水圧変動算定時の物性設定などが、計測された地下水位変動と算定された間隙水圧変動との差の原因と考えられる。算定された間隙水圧変動値は、計測値に対して小さい値となったが、本検討では**図-2** に示される結果を適用して浸透流解析を実施した。

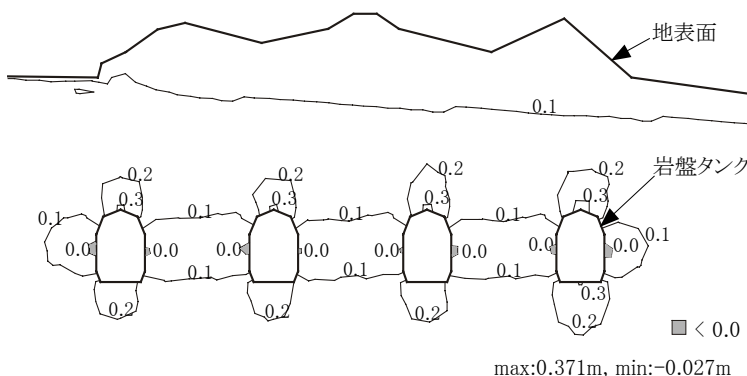


図-2 岩盤タンク周辺の地震時間隙水圧変動分布(水頭表示)

算定された間隙水圧変動値は、計測値に対して小さい値となったが、本検討では**図-2** に示される結果を適用して浸透流解析を実施した。

キーワード 岩盤, 水封式地下石油備蓄, 地震, 地下水挙動

連絡先 〒105-8007 東京都港区芝浦 1-2-3 シーバンス S 館 TEL03-5441-0593

3. 応力解析結果を用いた浸透流解析

浸透流解析では、地震前の状態を定常解析により再現し、その結果を初期条件として、応力解析から算定した間隙水圧変動を増分として付加することで、地震の影響を非定常時刻歴解析により検討した。

解析モデルは2次元弾性解析と同じモデルを用いた。解析条件は、岩盤タンク空洞部に貯蔵圧を考慮した圧力水頭を与え、水封ボーリング位置には水封水位が一定となるように全水頭を与えた。境界条件は、側方境界を標高に合わせた静水圧分布境界、底部境界を不透水境界とし、降雨による涵養は考慮しないものとした。解析に用いた物性値を表-2に示す。

解析ケースは、非定常解析に関して、地震後も定常解析と同じ条件であるとした基本ケース、地震後の透水係数を変化させた2ケース、および付加する間隙水圧変動を応力解析から算定された値の10倍とした1ケースの全4ケースを実施した。解析ケースを表-3に示す。

定常および非定常解析結果として湧水量・給水量増分割合の経時変化を図-5に示す。ここでは初期状態（地震前の定常解）の湧水量・給水量を1.0としている。比較のため、同図には観測された湧水量・給水量の変化を併せて示した。この結果から、1)地震時に発生する間隙水圧変動による湧水量の増加量は小さい、2)地震後に透水係数が増大しない場合、水封ボーリングでは水封水位を一定としているため、岩盤部への給水は行われず湧水状態となる、3)地震後に透水係数が2倍になった場合、湧水量・給水量は増加するが、その後は低減しない、4)地震後、透水係数が2倍になり、実測湧水量に合わせて徐々に元に戻るとした場合、給水量は湧水量と同様に変化し、実測給水量とは異なる推移を示す、ということがわかる。

4. おわりに

本報告では、地震時に生じる岩盤水理特性の変化を概略示すことができた。ただし、今回の解析に用いている間隙率および透水係数は、体積平均化された巨視的パラメータであるため、地震時の岩盤タンク周辺における局所的な変化を十分再現していない。今後は岩盤水理特性の局所的な変化を考慮した3次元亀裂系モデル等による、より詳細な検討を行う予定である。

参考文献

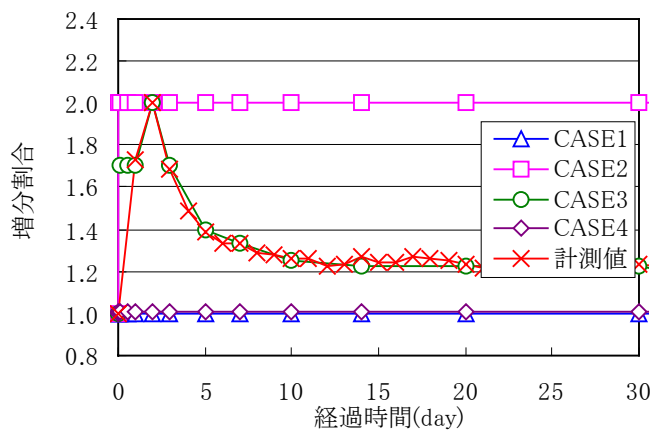
- 1) 赤井浩一：土質力学，朝倉書店，1966（1980訂正版）
- 2) 植出和雄 他：地下石油備蓄菊間基地における地震時間隙水圧の変動について，第11回日本地震工学シンポジウム，p231-236，2002.
- 3) 川辺岩夫：地震に伴う地下水・地球化学現象，地震，2，44特集号，pp.341-361，1991

表-2 2次元浸透流解析物性値

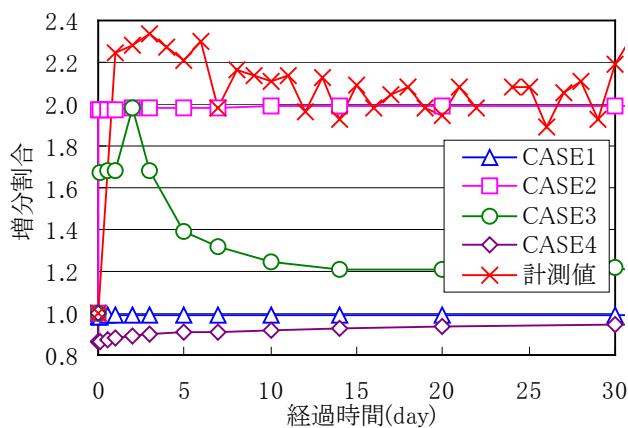
物性	単位	風化帯	花崗岩
飽和透水係数 k	cm/s	1.0×10^{-4}	2.5×10^{-6}
間隙率 n	—	0.25	0.05
自然飽和度 θ	—	0.075	0.025
毛管上昇高 hp	m	1.5	3.0

表-3 解析ケース

ケース	解析条件
CASE1	基本ケース（透水係数一定）
CASE2	地震直後透水係数2倍とし一定
CASE3	地震直後透水係数1.7倍，2日後2倍，その後漸減，30日後初期状態
CASE4	地震時間隙水圧変動10倍



(a) 湧水量



(b) 給水量

図-3 湧水量・給水量の時間変化