

内圧変化に伴う岩盤タンク周辺の傾斜応答と地質的解釈

廣岡 知*・山口 達也*・城代 邦宏**・保田 尚俊***・塚田 和彦***・小池 克明***・富田 敦紀****

Tilt response and geologic interpretation of rocks around water-sealed type underground caverns induced by internal pressure change

Satoshi HIROOKA*, Tatsuya YAMAGUCHI*, Kunihiro JODAI**, Naotoshi YASUDA***
Kazuhiko TSUKADA***, Katsuaki KOIKE*** and Atsunori TOMITA****

* JX 金属探開株式会社 JX Nippon Exploration and Development Co., Ltd., 1-9, Kanda-Nishiki-cho, Chiyoda-ku, Tokyo, 101-0054, Japan. E-mail: hirooka@tankai.co.jp

**日本地下石油備蓄株式会社 Japan Underground Oil Storage Co., 1-1-30, Shibadaimon, Minato-ku, Tokyo, 105-0012, Japan.

***京都大学大学院工学研究科 Graduate School of Engineering, Kyoto University, Katsura C, Kyoto, 615-8540, Japan.

****独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構 Japan Oil, Gas and Metals National Corporation, 2-10-1, Toranomon, Minato-ku, Tokyo, 105-0001, Japan.

キーワード：内圧，岩盤タンク，傾斜，串木野基地，BAYTAP-G

Key words：internal pressure, water-sealed type underground caverns, tilt, Kushikino underground oil storage base, BAYTAP-G

1. はじめに

国内の地下石油備蓄基地は供用開始後 20 年を経過し、安定を保っているが、近年微小破壊の有無、経年的な変化等を知る要求が高まり、サイズミックモニタリング、光ファイバー歪計測等が導入された。これらの高感度観測機器が設置されて 10 数年が経過しているが現在のところ破壊に至るような計測結果は得られていない。

しかし、貯蔵機能の経年的変化（劣化等）や破壊現象を未然に検知することは地下備蓄基地のみならず進入不能の地下施設共通の課題である。本論では近年串木野基地に導入されたモニタリング計器のうち高精度傾斜計に着目し、内圧管理に伴う傾斜応答の分析を行う。すなわち、施工時に確認された地質条件等を踏まえた傾斜応答の解釈を行い、大規模空洞周辺の岩盤の変形性について考察した。

2. 対象サイトと傾斜観測

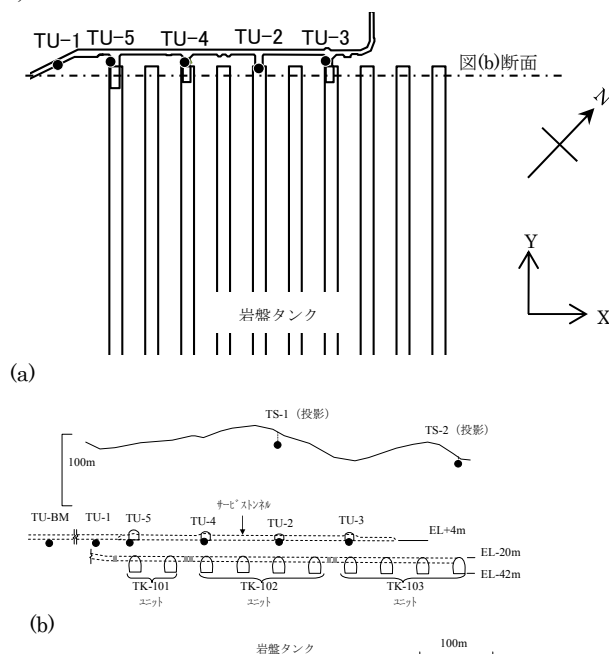
2.1 串木野基地

串木野国家石油備蓄基地は鹿児島県いちき串木野市に位置し、「岩盤タンク」と呼ばれる地下空洞に原油が貯蔵されている。岩盤タンクは 10 本の大トンネルからなり、空洞の寸法は幅 18m×高さ 22m×長さ 555m である（第 1 図）。これらのトンネルは、2 本 1 組および 4 本 2 組に分けられ、「TK-101 ユニット」、「TK-102 ユニット」等と呼ぶ。

2.2 傾斜観測

2003 年末串木野基地の空洞安定性を監視する目的で高精度傾斜計（米国 Pinnacle 社製）が設置され、現在 8 箇所で行っている（第 1 図）。高精度傾斜計は気泡式であり直交 2 方向の傾斜を 10^{-9} rad の精度で計測できる。坑内の高精度傾斜計 6 箇所はタンク空洞の天端から 20m 上方に設置されている。これまでの計測から地球潮汐、気

圧、地震および基地の操業に伴う応答を検知できていることがわかっている（城代他，2006）。第 2 図に傾斜記録例を示す。



第 1 図 串木野基地の概要。(a)平面図，(b)断面図。

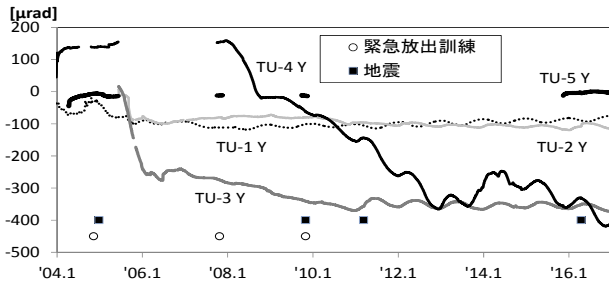
3. 操業応答の分析

3.1 操業と傾斜応答の抽出

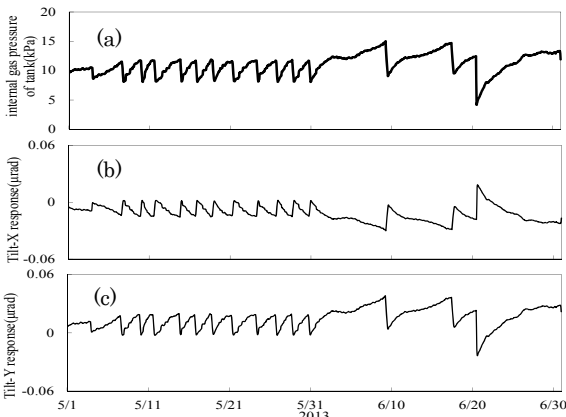
岩盤タンク内の原油は、内圧および周辺地下水位を所定の範囲内に管理することにより貯蔵されている。タンク内

の流体は密度差に応じて下から底水，原油，気相の順で存在している。気相圧は原油の蒸気圧，運転操作および周辺地下水理状況等に応じて常時変化するが，その変動幅は最大 10~20kPa 程度である。

傾斜値に含まれる気相圧応答の抽出には BAYTAP-G (Tamura *et al.*, 1991) を用いた。BAYTAP-G は重力等の地球観測データから潮汐定数，各種並行観測の応答，トレンドの抽出等に広く用いられている。



第 2 図 傾斜記録例。'04.1~'17.1 の Y 成分傾斜記録例。



第 3 図 気相圧 (岩盤タンク内圧) と傾斜気相圧応答の例。(a)2013 年 5 月 1 日~6 月 30 日のタンク TK-103 ユニットの気相圧の推移，(b)気相圧傾斜応答の TU-3 測点 X 成分の推移，(c) 気相圧傾斜応答の TU-3 測点 Y 成分の推移。

3.2 気相圧応答

第 3 図に 2013 年 5 月~6 月末の気相圧，傾斜の気相圧応答成分の推移例を示す。内圧は 5~15kPa の範囲で変化し，傾斜の気相圧応答成分は $-0.02 \sim 0.03 \mu\text{rad}$ の変動を示す。タンク TK-103 ユニットの気相圧 1kPa 上昇に対する各測点の傾斜応答は，1~8nrad/kPa であり，TK-101 ユニットの気相圧 1kPa 上昇に対する傾斜応答は 0~4nrad/kPa と求められた (廣岡他，2017)。

3.3 気相圧応答の方向と大きさ

気相圧 1kPa 上昇に対する各測点の傾斜応答量を求め，ベクトルで表したものを第 4 図に示す。気相圧応答は，TK-101 ユニットの内圧上昇に対し TU-4 で約 2nrad/kPa，方向は北方向の応答が認められ，TK-103 ユニットの内圧上昇に対する応答は，TU-3 で約 8nrad/kPa が最大であり方向は西方向を示した (第 4 図)。なお，同図中断層 A 及び B は岩盤タンク施工時に確認された断層である。断層 B は TK-102 ユニットおよび TK-103 ユニットの北西側に存在する。

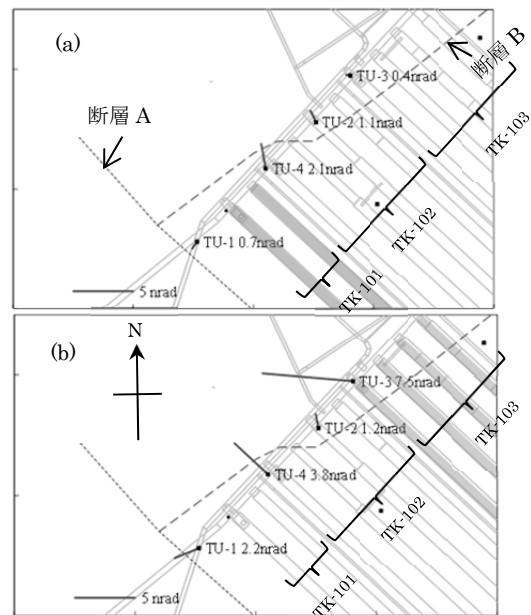
4. 応答の地質的解釈

気相圧が上昇すると気相部の圧力が増加し，天端上方の岩盤はごくわずかに隆起すると推定される。TK-103 ユニ

ット周辺の測点の気相圧応答は TK-101 と同様の上方に凸となる方向を示したが，TK-101 の約 2 倍となった。TK-103 ユニットの応答が大きい理由として，TK-103 ユニット周辺岩盤が TK-101 ユニット周辺岩盤より変形性に富む，ことが挙げられる。

5. まとめ

串木野基地に設置された高精度傾斜観測値から常時の内圧変動に伴う傾斜応答を考察した。内圧変化に伴う傾斜応答の方向は空洞と傾斜計の観測配置と整合する。一方，応答の大きさは岩盤タンクを構成するユニット毎の地質の違い (岩盤の変形性) を反映し，違いが見られた。これらの操業に伴う傾斜応答を継続的に監視することにより空洞周辺岩盤の変形性の変化の有無を検知できると考えられる。



第 4 図 気相圧 1kPa 変動に対する傾斜変化量と方位。(a)TK-101 ユニット気相圧 1kPa 上昇に対する傾斜応答の大きさと方向，(b) TK-103 ユニット気相圧 1kPa 上昇に対する傾斜応答の大きさと方向。

謝辞

本研究のため，独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構からはデータの使用について承諾をいただきました。また，日本地下石油備蓄(岩盤関係)の方々からは有益な助言・意見をいただきました。ここに謝意を表します。

文 献

- 城代邦宏・植出和雄・廣岡知・神原洋・竹村進・松岡俊文・塚田和彦 (2006) 地下石油岩盤タンクにおける微小傾斜の計測。材料, vol.55, no.5, pp.523-528.
- Y. Tamura, T. Sato, M. Ooe and M. Ishiguro.(1991) *A procedure for tidal analysis with a Bayesian information criterion*. Geophys. J., Int., vol.104, pp.507-516.
- 廣岡知・山口達也・渡部利文・山本順也・城代邦宏・保田尚俊・塚田和彦・小池克明・朝倉俊弘 (2017) 岩盤タンクの気相圧変化による傾斜応答を用いたタンクの力学的安定性評価, J. MMIJ (in press).