

# 圧力貯槽内の気流・温度変化に関する解析的研究

電源開発(株)エンジニアリング事業部 会員 鳥羽瀬 孝臣  
" " 会員 久保 道仁  
" 茅ヶ崎研究所 会員 喜多村 雄一

## 1. 研究目的

地下空間に設置される圧力貯槽はその気密性が重要である。したがって気密試験は、貯槽内に気体を注入、規定圧力まで昇圧させた後に静置し、圧力変動により気密性（漏れのないこと）を評価する。しかしながら、昇圧及び静置時における貯槽内の温度は、空間的偏差と時間的変化が生じることが考えられ、これらは圧力変動の要因となる。本研究の目的は、気密試験時に、貯槽内に温度計を最適に配置するため、貯槽及び気体注入条件等をモデル化した解析を行い、貯槽内の温度分布と平均温度（貯槽内の温度を代表する値）及び時間的変化の検討をおこなったものである。

## 2. 解析手法

### 2.1 解析方法

気流の基礎式は、圧縮性を仮定した連続式と運動量式および熱移流・拡散式を基本としている。気体と岩盤との熱伝達、岩盤内の熱伝導を考慮した。離散化は、解析領域を3次元の差分メッシュ（コントロールボリューム）に分割し、それぞれの状態量（FVM）を解いた。基礎方程式の差分法は、SOLA法（HSMAC法）でおこなった。時間積分は、陰解法ADI法を用いた。3次元解析では、岩盤貯槽、頂設連絡トンネル、底設連絡トンネル、パージトンネルをモデル化する。

### 2.2 解析内容

解析は、Kプロパン基地の設計案に基づいた（図-1）。本解析の前に、パージ管周辺における流動と温度分布に着目して、ガス流入部の境界条件設定のための3次元予備解析を実施した。その後、断面2次元モデルにより計算時間、横断形状および熱伝導率の影響、初期上昇温度、注入ガス（窒素）量および圧力分布の変化等、解析条件について評価した。3次元解析では、4本貯槽端部に主パージ1つ合計4、副パージを2つ連絡トンネル中央に1つずつ合計6設置し、流入温度20℃、岩盤温度22℃、貯槽容量867,000m<sup>3</sup>、気体流入量6,000Nm<sup>3</sup>/hr、設計圧力9.7kgf/cm<sup>2</sup>の条件で、気体流入時間52日、20日間の静置解析を実施した。

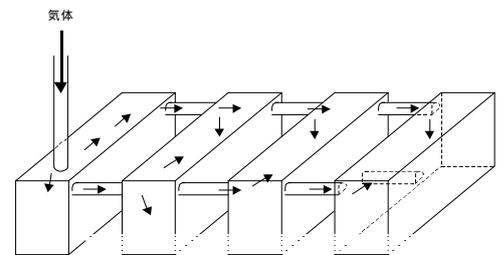


図-1 解析領域

## 3. 解析結果と考察

主パージ管から流入した気体は底部岩盤に衝突し、パージピットから勢いよく上昇する（図-2）。流入開始時は、流速が非常に速く上昇流が支配するものの、圧力が上がると流速は低下し湧き出し流れになる。パージピット流入境界は、メッシュサイズにあわせた上向き流入条件でよい。解析は64日間の現象に対して、断面2次元でも計算時間は61時間

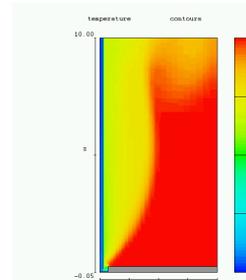


図-2 主パージによる流動解析

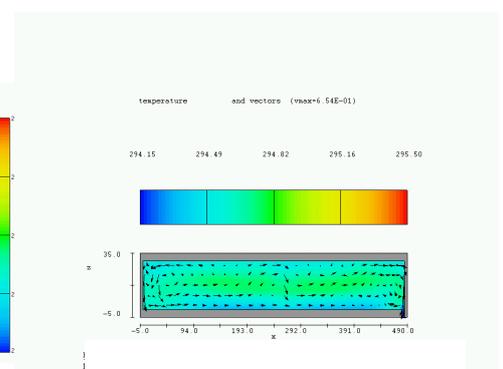


図-3 断面2次元解析

であった。流量を10倍、岩盤と気体の熱伝達係数を10倍とした計算で実施しても結果に差異がなく、計算時間も3.9時間に短縮された（図-3）。また、岩盤の熱伝導を含めた解析が現地観測をよく再現していた。

キーワード：圧力貯槽、圧縮性流体、温度解析、三次元流れ解析

連絡先：電源開発(株) 技術開発センター 茅ヶ崎研究所 環境科学研究室 0467-87-1211（代表）

トンネルの横断形状は、対流に影響する。可能な限り、精緻なモデルに近い結果となる粗い形状モデルを採用した(図-4)。岩盤の熱伝導率の大きさによる影響はほとんどみられないが熱伝導は考慮する必要がある(図-5)。貯槽内の温度は、はじめ急激な上昇を見せるが、時間がたつにつれて徐々に低下している(図-6)。これは、対流の発達により気流が形成され、壁周りを循環する現象によると考えられる。ガス流入量による影響は、

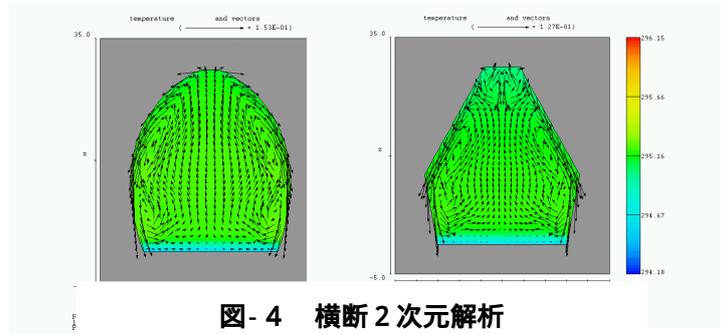


図-4 横断2次元解析

貯槽内温度の上昇勾配と安定温度に差はできるものの傾向は同じである。流入量の大きさによって、対流形成までの時間変化し、温度の上昇の仕方に影響している。温度が急上昇する初期段階の圧力上昇は、ガス流入による圧力上昇がそのまま反映され、一定の勾配

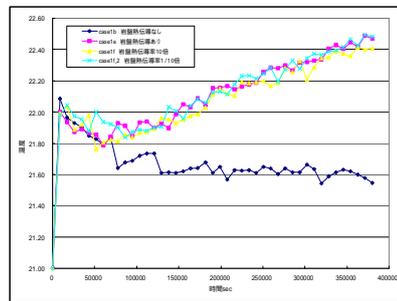


図-6 中心部における温度変化

で上昇している。貯槽内で温度は、ほぼ水平に中心部が高く壁面に向かって低下していくこと、圧力は貯槽内で一定である。

Kプロパン基地の解析から、貯槽中心部平均の温度は気体注入に伴い上昇し、規定圧力に達してシャットインした時の温度は22.4 となり、岩盤温度22 に対して約0.4 上昇している。シャットイン後、貯槽内の温度は低下するが、シャットインから15日経過後も22.2 であり、岩盤温度に向けて緩やかな低下傾向が続いている(図-7)。

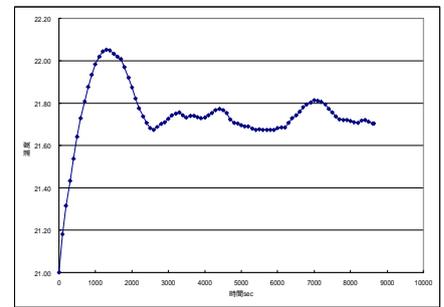


図-7 平均温度の変化(第1日)

point max, min での温度の時系列変化図

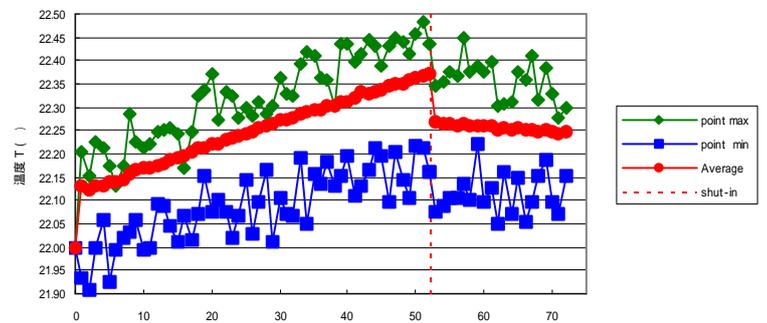


図-8 トンネル内の最大最小温度の変化

シャットイン後の貯槽内の温度分布は、貯槽長軸方向ではほぼ同様であるが、鉛直方向では温度躍層が形成され、貯槽の上部と底部では約0.2 程度の温度差が生じている。

#### 4. 結論

本研究で、得られた知見を以下のとおりである。

- (1) 貯槽内の気相温度は、ほぼ水平に中心部が高く壁面に向かって低下していくこと、圧力は貯槽内で一定であることが、2次元、3次元解析結果で確認された。
- (2) 流入直後の温度上昇は、流入直後は断熱圧縮効果に伴う温度上昇がみられ、その後、対流が発達し壁周りの気相循環によって温度上昇が緩やかになる。流入停止後、温度は急激に低下するが、対流の効果残っており冷却されるためと考えられる。
- (3) 計測では、鉛直分布を捉えることに配慮して計画する必要がある。トンネル長軸方向については、局所的な違いは想定されるものの、余り密な調査は必要ないものと考えられる。

#### 参考文献

- (1) 喜多村ペテク・喜多村雄一：取水口における導流隔壁の水理特性に関する研究，第27回関東支部技術研究発表会，2000.3.
- (2) 喜多村ペテク・喜多村雄一：超圧水槽の上部水室における水理特性に関する研究，第28回関東支部技術研究発表会，2001.3.