

天然ガス高圧貯蔵技術開発における実証試験施設の設計

清水建設

正会員

○新美 勝之

正会員

奥野 哲夫

日本ガス協会

正会員

小松原 徹

大林組

正会員

橋爪 正博

大成建設

正会員

大塚 勇

1. はじめに

(社)日本ガス協会では、経済産業省より補助を受け、平成16年度より「次世代天然ガス高圧貯蔵技術開発事業」を実施している。本論では、この事業で実施している鋼製ライニング式岩盤貯蔵の小規模実証試験施設の設計に関して、貯蔵空洞およびプラグに関する部分を中心に述べる。

2. 実証試験施設の設計法概要

実証試験施設の設計は、既往の研究¹⁾で検討した設計法に基づいて実施した。設計のポイントは、貯蔵圧力に対する周辺岩盤とプラグの耐圧性・安定性の照査と、貯蔵圧力作用時の貯蔵空洞およびプラグの変形挙動の把握、それらを条件とした気密構造の設計である。設計フローを図-1に示す。

3. 設計条件と設計対象

設計に用いた周辺岩盤の物性値および初期地圧は、地質調査結果²⁾に基づいて表-1のとおり設定した。コンクリートの物性値を、表-2に示す。荷重は、実証試験時の貯蔵圧力が、設計荷重となる。実証試験の内容を表-3に示す。岩盤のゆるみ領域の判定には、モール・クーロンの破壊規準に対する近接度を局所安全率として評価した。

実証試験施設の貯槽は、図-2に示すとおり直径6m奥行10.5mのカプセル型で、幾何容積は240m³、アクセストンネルの直径3mに対しプラグは最大拡幅幅が6mで、長さは7mである。気密材の厚さは6mm、気密材・緩衝材と岩盤との間の裏込めコンクリートの厚さは0.7mで、貯蔵圧力作用時に発生するひびわれを細かく分散する目的で貯槽側に鉄筋を配置した。なお、貯槽およびプラグは回転対称体であることから、検討に用いるFEM解析では、軸対称問題として扱った(図-3)。

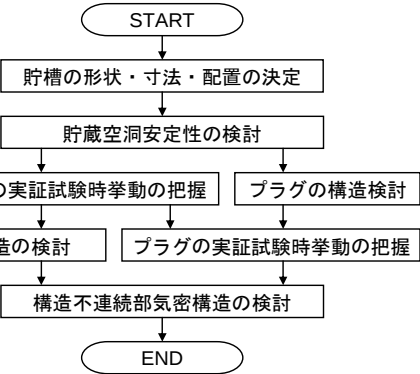


図-1 設計フロー

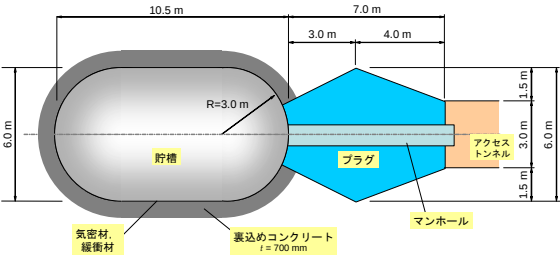


図-2 設計対象貯槽

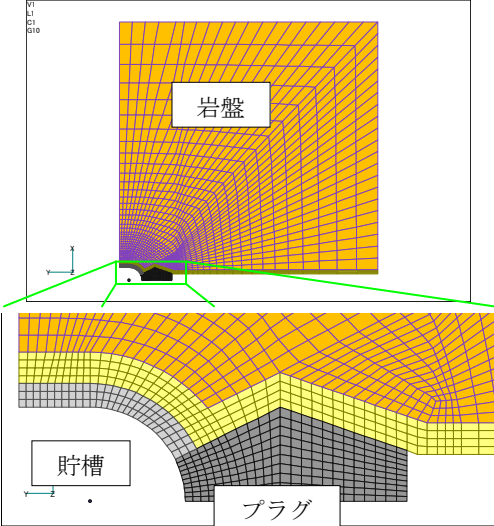


図-3 FEM解析モデル

表-1 岩盤物性値

	健全部	ゆるみ領域
変形係数	10.0 GPa	4.0 GPa
ポアソン比	0.3	0.4
その他	クリープ率: 0.180, 残留変位率: 0.234	
初期地圧	貯槽軸方向: 16.7 MPa, 軸直角方向: 9.5 MPa	

表-2 コンクリートの物性値

	裏込めコンクリート	プラグコンクリート
設計基準強度	40 N/mm ²	50 N/mm ²
ヤング係数	31.0 kN/mm ²	33.0 kN/mm ²
ポアソン比	0.0	0.2

表-3 試験内容

No.	試験内容	貯蔵圧力	繰返し回数
1	耐圧試験	最大 20 MPa	1
2	気密試験	最大 20 MPa	1
3	繰返・長期載荷試験	5~20 MPa	20

キーワード：地下空洞，岩盤貯蔵，天然ガス高圧貯蔵，鋼製ライニング，実証試験，設計

連絡先：〒105-8007 東京都港区芝浦 1-2-3 シーバンス S 館 清水建設（株）土木技術本部 TEL.03-5441-0598

4. 貯蔵空洞安定性の検討

貯蔵空洞の安定性に関しては、次の3点を検討した。

(1) 掘削時の応力開放に伴う貯蔵空洞安定性の検討

初期地圧を考慮した掘削解析により、応力開放に伴うゆるみ領域を評価した。局所安全率分布を、図-5 に示す。解析の結果、応力開放に伴うゆるみ領域は、掘削面から最大 1.5m の深さまでであり、掘削時の発破による影響も考慮してゆるみ領域を設定した。

(2) 貯蔵圧力作用時のアップリフトの検討

対象地点は地表面から約 400m の深度で、貯蔵圧力による地表面方向への岩盤の浮き上がりに対しては、十分な安定性が確保できることを確認した。

(3) 貯蔵圧力作用時の貯蔵空洞安定性の検討

圧力作用時の挙動を FEM 解析で把握し、局所安全率分布を得た。その結果、圧力作用時にはゆるみ領域が拡大しないことを確認した。

5. 貯蔵空洞の実証試験時挙動の把握

実証試験時の圧力変動に伴う貯蔵空洞の変形挙動を FEM 解析で把握し、裏込めコンクリート表面のひずみ分布を評価した。解析で得られた圧力と貯槽円筒中央部の裏込めコンクリート表面の周方向ひずみの関係を図-5 に、クリープ後の裏込めコンクリート表面のひずみ分布を図-6 に示す。裏込めコンクリートに発生するひずみは貯槽円筒中央部の周方向が最大で、その値は 0.32%，またその部分の繰返し载荷試験時のひずみ振幅は 0.15% である。

6. プラグの実証試験時挙動の把握

プラグの安全性は、既往の検討³⁾に基づいて表-4 に示す項目を照査した。一方、貯蔵圧力作用時のプラグおよびその周辺貯槽部の挙動を FEM 解析により把握し、構造不連続部気密構造の設計条件を得た。解析で得られた圧力作用時の構造不連続部周辺の変形形状を、図-7 に示す。

7. おわりに

鋼製ライニング式岩盤貯蔵の実証試験施設の設計を示した。今後は、設計の際に解析で評価した挙動と、試験時の計測データを比較し、設計法の妥当性について検討する予定である。

謝辞

本内容は、東京ガス、大阪ガス、東邦ガス、西部ガス、北海道ガス、帝国石油、ならびに天然ガス高圧貯蔵技術開発共同企業体（代表者：清水建設、大林組、大成建設、石川島播磨重工業、三井造船、三菱重工業）の関係各位にご協力を頂いた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) Nobuto, J., et al., "Study on Lined Rock Gas Storage Technology in Japan", Proceedings of 22nd World Gas Conference, TF2-B, Tokyo, June 2-5, 2003.
- 2) 小松原他：天然ガス高圧貯蔵技術開発における実証試験計画と実証試験サイトの岩盤特性，土木学会第 62 回年次学術講演会，III，2007.9
- 3) 澤・新美・石塚・延藤：岩盤内高圧気体貯蔵施設における耐圧プラグの形状検討，土木学会第 57 回年次学術講演会，III-209，pp.417-418，2002.9

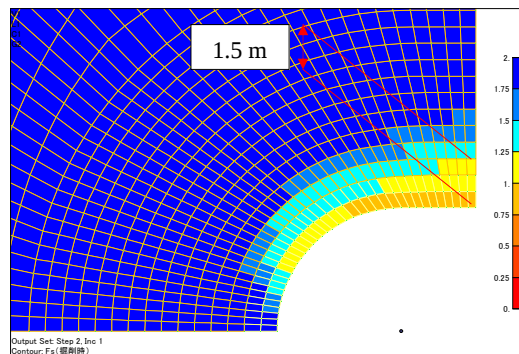


図-4 掘削時の局所安全率分布

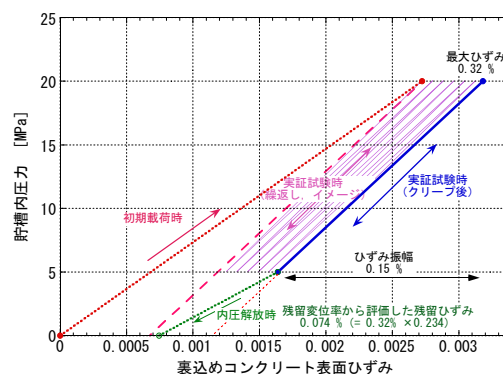


図-5 圧カーひずみ関係（円筒部周方向）

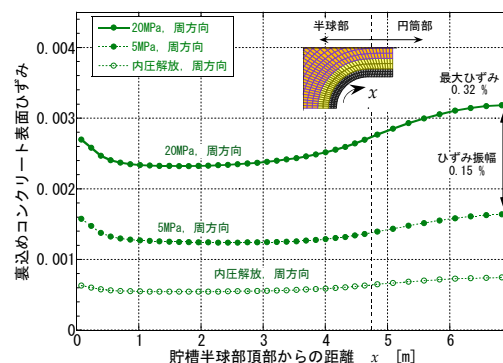


図-6 裏込めコンクリート表面ひずみ分布

表-4 プラグの安全性照査項目

区分	検討項目
終局限界状態	断面破壊 軸方向力 押し抜きせん断
剛体安定	周辺支持岩盤安定性
疲労限界状態	軸方向疲労 押し抜きせん断疲労

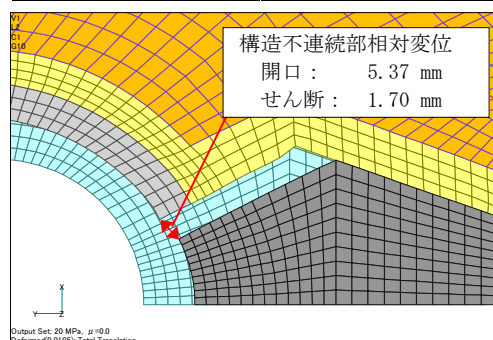


図-7 プラグ周辺の変形形状