

都市ガス岩盤貯蔵の構造設計と試設計について

(社)日本ガス協会 正会員 澤 一男
 東京ガス(株) 丹羽 悦夫
 大阪ガス(株) 正会員 香川 尚史
 東邦ガス(株) 梅田 良人
 清水建設(株) フェロー 石塚与志雄

1. はじめに

(社)日本ガス協会では経済産業省より委託を受け、平成12～14年度の3年間、我が国における都市ガスのライニング式岩盤貯蔵技術の実用可能性（技術、適用性、経済性等）について検討してきた¹⁾²⁾。その結果、我が国の岩盤・運用条件においても実用可能性が高いことが確認された。本稿では、技術的成立性の調査研究として行った構造設計の技術検討と岩盤貯蔵の運用・地質条件から設定した4タイプの岩盤貯槽について行った試設計の概要を報告する。

2. 構造設計の概要

岩盤貯蔵のコンセプトはつぎのようである（図-1 参照）。

- ①内圧は周辺岩盤で支持。裏込めコンクリートで圧力伝達。
- ②気密材（ライニング材）で気密性を保持。
- ③施工中、内圧解放時は排水パイプ等により貯槽周辺の地下水を排水し、気密材には過大な外水圧を作用させない。

ガスの気密性を保持する気密材の安定性は貯蔵圧を支持する貯蔵空洞（岩盤）と圧力を伝達する裏込めコンクリートの変形挙動に依存するため、運用時の貯蔵空洞とプラグの変形挙動の評価とこれを与条件とした気密構造の検討が主課題となる。岩盤貯槽の構造検討フローを図-2に示す。貯蔵空洞の検討では、内圧に対する岩盤の安定性³⁾（設置深度）、ゆるみ領域、裏込めコンクリート挙動を評価する。プラグ・マンホールの設計ではプラグとマンホールの構造検討とプラグ周りの構造不連続部変位を算定する。これらの結果と熱収支熱伝導の結果を基に気密構造（気密材の鋼種・必要板厚）の検討（運用時の疲労、内圧解放時の安定性（座屈・大変形））を行う。

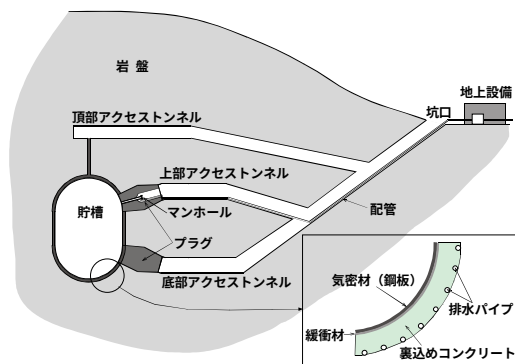


図-1 岩盤貯蔵の概念図

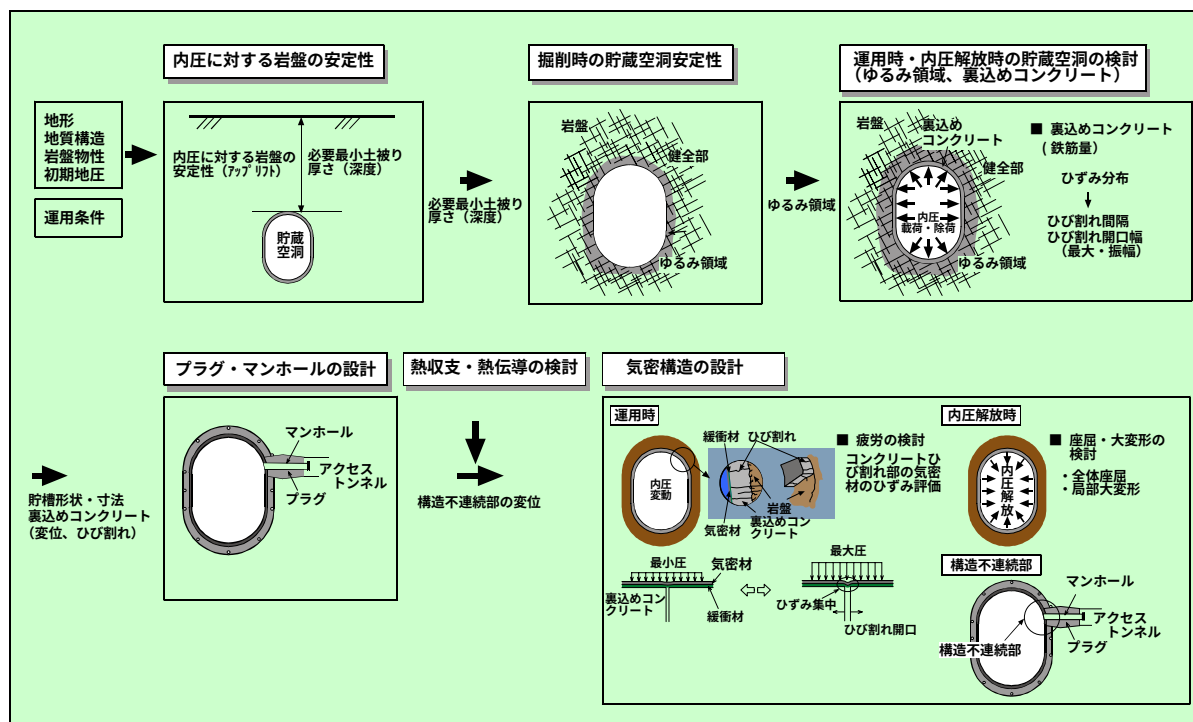


図-2 岩盤貯槽の構造検討フロー

キーワード： 都市ガス、ライニング、高圧気体貯蔵、岩盤貯蔵、構造設計
 連絡先：〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 TEL 03-3820-5287, FAX 03-3820-5959

3. 検討ケースと条件

我が国の運用条件（ワーキングガス量、運用圧力、払出流量）と単基幾何容積および地質条件から表-1 に示す4タイプを試設計の検討ケースとした¹⁾。主な検討条件を以下に示す。

(1) 岩盤条件

- ①地形：20度傾斜の山間部の斜面下に岩盤貯槽を設置と仮定。
- ②初期地圧：等方地圧と仮定（鉛直圧＝土被り圧）

(2) 気密構造

- ①気密材：ステンレス鋼と炭素鋼の2種類、最大板厚：20mm
- ②緩衝材：超速硬化ポリウレタン（厚さ4mm）

なお、今回の検討においては、局部大変形・全体座屈検討の際の貯蔵空洞の変位条件を、岩盤変形は残留せず運用前の状態まで強制回復するとして残留変位分を安全裕度と設定した。

(3) 荷重条件（図-3 参照）

- ①気密試験：最高使用圧力（ P_{max} ）（試験後大気圧まで除荷）
- ②運用圧力：日間運用（1年200回、50年間で10,000回）（運用上限圧力 P_u （＝最高使用圧力）～下限圧力 P_l ）
- ③内圧解放：1回（開放点検はしないが設計では1回考慮）
- ④地震荷重：レベル2（震度：水平方向0.3、鉛直方向±0.15）

4. 試設計結果

(1)貯蔵空洞 表-2 に検討結果（4タイプの設置深度と裏込めコンクリートひずみ・ひび割れ）を示す。設置深度は60～110m となった。最も大きなひずみ・ひび割れはタイプAで0.28%（ひずみ振幅で0.14%）、ひび割れ幅は1.40mm（最大ひび割れ間隔を500mmと設定）となった。

(2)プラグ 表-3 にプラグの検討結果（コンクリート強度、諸元）を示す。構造検討はアーチ構造タイプ⁴⁾で検討しており、プラグ長は9～14m との結果を得た。

(3)熱収支・熱伝導 ガス体と気密構造・岩盤部の温度変化を算定した。その結果、気密材表面の温度は0℃以上となり凍結・融解などコンクリートへの悪影響はないとの結果を得た。

(4)気密構造 表-4 に気密構造が成立した気密材の鋼種と必要板厚を示す。また、図-4 に気密構造の鋼板設置の概要を示す。今回の条件では、鋼種・必要板厚は内圧解放時の局部大変形で規定され、ステンレス鋼はタイプCのみで成立との結果になった。特に安全裕度の設定方法が気密材の安定性に大きな影響（安全裕度を考慮しない場合にはタイプBはステンレス鋼12mmで成立）を与えることが明らかとなった。しかし、今回設定した安全側の安全裕度でも、4タイプとも鋼板20mm以下の気密構造で成立することが確認された。

5. おわりに

岩盤貯蔵の実用可能性検討を目的として行った岩盤貯槽の構造設計手法の検討と我が国の岩盤（硬岩～軟岩）・運用条件（日間運用）を考慮した試設計の結果、技術的成立の見通しを立てることができた。しかし、今回の検討は机上検討が中心のため、岩盤貯蔵の実用化に向けては、当調査事業の成果を踏まえて、小規模貯槽を用いた実証試験等により技術確立を図っていく必要があるものとする。

参考文献

- 1) 澤・白井・丹羽・香川・梅田・石塚：都市ガス岩盤貯蔵の運用性と技術開発について、土木学会第57回年次学術講演会，CS1-005，2002.9.
- 2) 澤・白井・香川・八田：地下岩盤空洞を利用した都市ガス貯蔵の運用・経済性について，地下空間シンポジウム論文・報告書，第8巻，pp.119-128，2003.1.
- 3) 澤・石塚・延藤・武内・志村：高圧気体貯蔵時のアップリフトに対する岩盤の安定性検討，土木学会第57回年次学術講演会，III-210，2002.9.
- 4) 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-209，2002.9.

表-1 想定岩盤と検討ケース（4タイプ）

	タイプ	ワーキングガス量 ($\text{万 m}^3/\text{日}$)	運用上限～ 下限圧力 (MPa)	払出流量 ($\text{万 m}^3/\text{hr}$)	単基 幾何容積 万 m^3	貯槽寸法 (m)		想定岩盤
						高さ	内径	
大規模貯蔵	A	300	5～20	60	2.0	41.9	28.0	硬岩 (花崗岩類等の火成岩類)
中規模貯蔵	B	70	5～12	14	1.0	33.3	22.2	中硬岩 (中・古生代の堆積岩類等)
小規模貯蔵	C	40	1～9	8	0.5	26.3	17.7	硬岩 (花崗岩類等の火成岩類)
	D	25	1～6	5	0.5	26.3	17.7	軟岩 (第三紀の堆積岩類等)

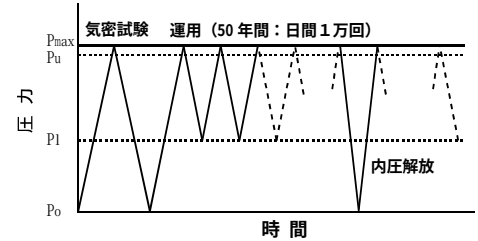


図-3 試設計における荷重条件

表-2 設置深度と裏込めコンクリートひずみ

タイプ	タイプA	タイプB	タイプC	タイプD	
最高使用圧力 (MPa)	20	12	9	6	
運用圧 (MPa)	20～5	12～5	9～1	6～1	
想定岩盤	硬岩	中硬岩	硬岩	軟岩	
設置深度 (m)	110	90	60	70	
裏込めコンクリート (側壁)	ひずみ (%)	0.14～0.28	0.11～0.19	0.03～0.11	0.08～0.19
	ひび割れ幅 (mm)	0.70～1.40	0.55～0.95	0.17～0.55	0.40～0.95

表-3 プラグのコンクリート強度と形状諸元

		タイプA	タイプB	タイプC	タイプD
コンクリート 設計基準強度 [N/mm^2]		50	30	30	30
	貯槽半径 [m]	R_1 14.0	11.0	8.85	8.85
形状	プラグ長 [m]	L 14.0	13.0	11.0	9.0
	受圧部長 [m]	L_p 7.0	6.5	5.5	4.5
	貫通長 [m]	L_g 6.0	5.0	4.5	4.0

表-4 気密構造の鋼種・必要板厚

タイプ	鋼種	必要板厚
タイプA	SM570	18mm
タイプB	SM490	10mm
タイプC	SUS304	6mm
	SM400	6mm
タイプD	SM400	20mm

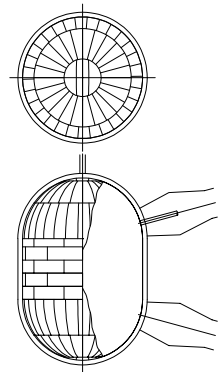


図-4 鋼板設置の概要