

天然ガス高圧貯蔵技術開発に関する実証試験における緩衝材効果の考察

清水建設 正会員 ○奥野 哲夫 清水建設 正会員 若林 成樹
三井造船 非会員 加藤 秀治 三井造船 非会員 小野 純二
日本ガス協会（現東京ガス） 正会員 小松原 徹

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」(ANGAS：Advanced Natural Gas Storage)を実施してきた。本事業では、岐阜県飛騨市の神岡鉱山・茂住坑道内に幾何容積 240m³の鋼製ライニング式岩盤貯蔵施設の実証試験施設を建設し、最大 20MPa での耐圧試験、気密試験、繰返し・長期載荷試験等に成功した¹⁾。これらの試験終了後の解体調査により、気密材、緩衝材、裏込めコンクリート等の目視観察を実施しており、本論ではこのうち緩衝材のひずみ集中緩和効果について観察結果から考察を行った結果を報告する。

2.緩衝材の役割： 鋼製ライニング式岩盤貯蔵施設の基本コンセプトは、耐圧性は周辺岩盤で支持する、気密性は気密材（鋼材）で確保する、排水システムにより、施工時・内圧解放時には気密材に過剰な外水圧を作用させない、の3点である。その施設構造等の詳細は参考文献1)に示すもので、実証試験施設として図1の施設を建設した。貯蔵内圧は最大 20MPa であり、貯槽の裏込めコンクリートは厚 700mm

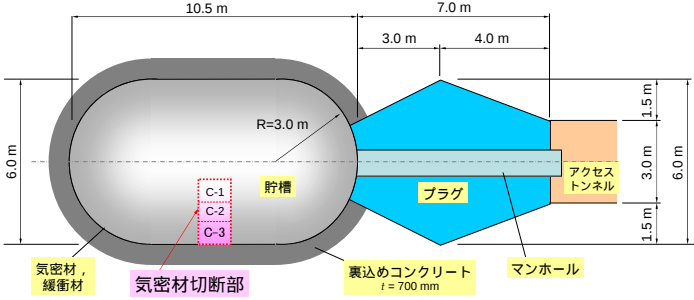


図1 実証試験施設

表1 緩衝材の材料諸元

材料	製品名称	施工厚 (mm)	施工方法	ヤング率 (MPa)
ポリウレタン	RIMSPRAY F-1000	4	吹き付け	40 ※1

※1: 事前検討における常圧下での引張試験結果

で内圧載荷に伴う引張り応力によりひび割れが発生する。この裏込めコンクリートに発生するひび割れを細かく分散させる目的で、貯槽側に被り 100mm で鉄筋を配置している。緩衝材は気密材と裏込めコンクリートの間に厚さ 4mm で施工されたポリウレタンからなり、その材料諸元は表1に示す。また、主たる要求機能は裏込めコンクリート表面に発生するひび割れによる気密材へのひずみ集中の緩和である。設計においては受入・払出に伴う貯蔵内圧の繰返し載荷による気密材の疲労検討も行っており、ひび割れの分散効果と緩衝材のひずみ集中緩和効果は気密材の疲労設計に大きく影響する。設計では、最大ひび割れ間隔は 500mm、開口幅 1.6mm と想定され、このひび割れ部において実証試験中に気密材の疲労破壊は生じないと評価された。

3.緩衝材表面の観察位置： 実証試験（内圧載荷中）のひび割れ計測結果²⁾と解体調査による裏込めコンクリートのひび割れ位置の観察結果³⁾は既に報告しており、本論では解体調査において緩衝材の表面観察から今回使用した緩衝材の有効性を考察・評価した。

解体調査では、図1に示す貯槽円筒部中央の横断面に沿った気密材切断部において、切断範囲 1m×1m を基本単位として連続 8 枚(1m×8m)の気密材(C-1～C-8)を切断して除去し、緩衝材を剥がして観察を行った。また、同時に裏込めコンクリートのひび割れ位置も観察しており、図2にその結果を示す。図2は、裏込めコンクリートのひび割れスケッチと対比するため、耐圧試験時(20MPa 載荷時)に光ファイバ計測 (PPP-BOTDA 方式) から評価したひび割れ開口幅を計測線位置 (図中「光ファイバセンサ」と表示の赤破線沿い) に対応させて示している。光ファイバによる「鉄筋沿い」のひび割れ評価結果は、気密材に近い(気密材から鉄筋被り 10cm)ためスケッチと整合する位置に開口幅の大きなひび割れ (緑色矢印) が評価されており、設計での最大ひび割れ間隔 500mm 以内に分散していた。この結果を参考に、ひび割れが顕著な図2の ~ の位置を対象に、ひび割れ部での緩衝材表面の観察を行った。

4.観察結果と考察： 観察対象部位は、裏込めコンクリートのひび割れに沿って相似的に変形した形跡が認められ、ひび割れ部に凸状に陥入した傾向が見受けられた。図3にそのイメージ図を示す。

キーワード 地下空洞，天然ガス高圧貯蔵，鋼製ライニング，実証試験，緩衝材，ひび割れ

連絡先 〒135-8530 東京都江東区越中島3丁目4-17 清水建設（株）技術研究所 TEL 03-3820-8356

代表的位置の緩衝材状況を写真1, 2に示す。裏込めコンクリートと接触していた面では凸状に変形した形跡はあるが、凸形状の高さ、幅ともに約1mm程度であり多大な変形ではなかった。また

事前検討として、緩衝材の耐久性を把握する目的から、面圧が作用した状態で10,000回の開口変位を与えて室内模型実験を実施したが、その結果からは、変形挙動は回数を追うごとに緩衝材がひび割れ部に陥入することが確認されており、損傷を受ける範囲はひび割れ直上部のみであった。今回の実証試験では繰り返し回数が20回であり損傷までには至っていないが、変形挙動としては同様であるものと考えられる。

また、気密材と接触していた面において、凸部の反対位置では平面状態を保っており、気密材自身にも変形の痕跡は見受けられずMT検査（磁粉探傷試験）でも割れに類する損傷は確認されなかった。

5. おわりに： 本論では、天然ガス高圧貯蔵技術開発における実証試験結果のうち、最大20MPaでの耐圧試験、気密試験、繰返し・長期載荷試験等の後、解体調査における緩衝材の観察結果から、設計での要求機能であるひずみ集中緩和効果について考察を行った。観察結果から、緩衝材は裏込めコンクリートのひび割れ部に追従して陥入・変形しながらも気密材と接する面は平坦度を保ち、気密材へのひずみ集中緩和に機能していたものと評価される。

謝辞： 本技術開発内容は、東京瓦斯(株)、大阪瓦斯(株)、東邦瓦斯(株)、西部瓦斯(株)、北海道瓦斯(株)、帝国石油(株)、ならびに天然ガス高圧貯蔵技術開発共同企業体（清水建設(株)、(株)大林組、大成建設(株)、(株)IHI、三井造船(株)、三菱重工業(株)）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) 奥野 哲夫 ほか：天然ガス高圧貯蔵技術開発における小規模岩盤貯槽を用いた実証試験，第37回岩盤力学に関するシンポジウム講演集(CD-ROM)，pp.79-84，土木学会 岩盤力学委員会，2008． 2) 若林 成樹 ほか：天然ガス高圧貯蔵技術開発における実証試験結果（光ファイバによる裏込めコンクリートのひび割れの計測結果の検討），土木学会第63回年次学術講演会，3-287，pp.573-574，2008． 3) 新美 勝之 ほか：天然ガス高圧貯蔵技術開発における実証試験結果（解体調査による裏込めコンクリートのひび割れの検討），土木学会第63回年次学術講演会，3-289，pp.577-578，2008．

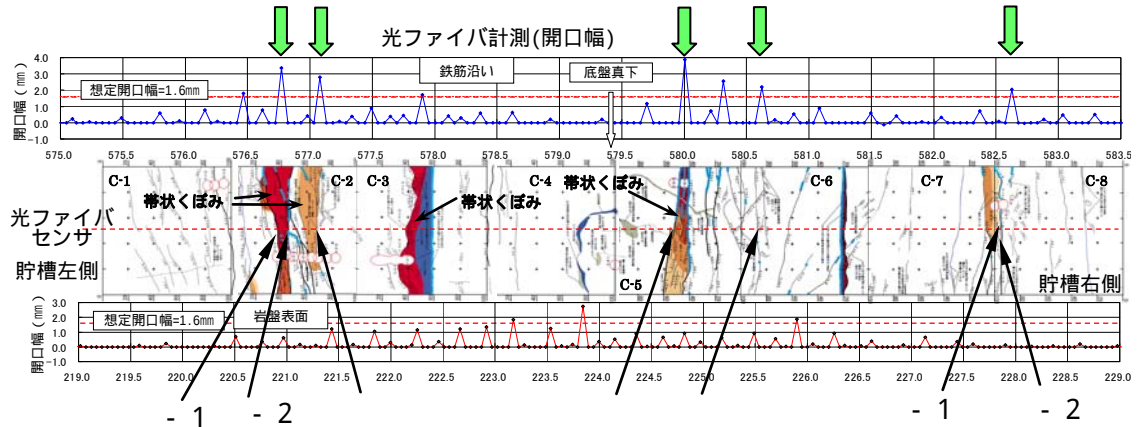


図2 裏込めコンクリート表面のひび割れスケッチと光ファイバ計測結果の比較

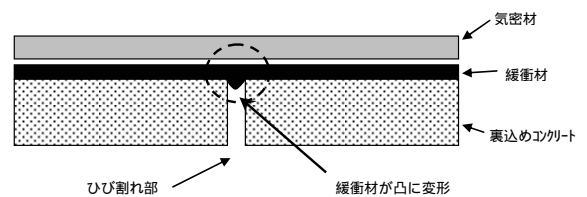


図3 ひび割れ部の緩衝材変形イメージ



写真1 ひび割れ部の緩衝材変形（観察位置 - 2）



写真2 ひび割れ部の緩衝材変形（観察位置）