## 天然ガス岩盤貯蔵施設における構造不連続部の変形挙動に関する室内模型実験

1. はじめに け、平成16年度から4年間の計画で次世代天然ガス高圧貯蔵技術開発事業を 実施している<sup>1)</sup>. 次世代天然ガス高圧貯蔵とは図-1のように地下岩盤貯槽に 最大20MPaで天然ガスを貯蔵し、パイプラインの利用効率の向上や緊急時の 代替供給源の確保に資する施設である<sup>2)</sup>. 地下岩盤貯槽の一般部は内側から 気密材、緩衝材、裏込めコンクリートからなる. 内圧作用時に裏込めコンク リートに開口ひび割れが生じるため、気密材のひずみ集中を緩和する目的で 緩衝材が配置されている. この緩衝材のひずみ集中緩和効果は室内模型実験 や解析検討で報告されている<sup>3,4)</sup>. しかし、図-2に示すプラグと貯槽の接続部 (構造不連続部)では、プラグと貯槽の変形の違いから内圧作用時に、開口 変位だけではなく同時にせん断変位も発生する. 開口・せん断変位量も貯槽 一般部に比べて大きいため、構造不連続部では気密材の背面の緩衝材に特殊 な構造を設けてひずみ集中を緩和することを検討している.

本報ではこの緩衝材の特殊構造のうち、図-3に示す施工性・経済性に優れている緩衝材増厚形式を対象に、内圧変動とともに開口・せん断変位が同時に発生する模型を作成し、気密材の変形挙動を把握した結果を報告する.

2. 模型試験体 図-4に示すように気密材(SM400)は厚み1.2mm,内径 200mm×高さ600mmの円筒形容器で模擬した.実機で想定している気密材の厚みは12mm前後なので、模型実験での緩衝材の厚みや増厚形式の寸法、開口・せん断変位量は実機の1/10程度になるように設定した.開口・せん断変位量は構造不連続部の数と緩衝材Bの厚みで調整した.実験は表-1に示すように開口・せん断変位が想定値の1/3および想定値、緩衝材増厚形式の有無の4ケースを実施した.なお、事前解析により構造不連続部は4箇所、緩衝材Bは3、9mmとした.緩衝材はポリウレタン、裏込めコンクリート・模擬岩盤には

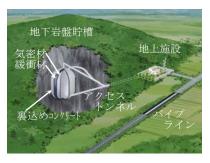


図-1 次世代天然ガス高圧貯蔵施設

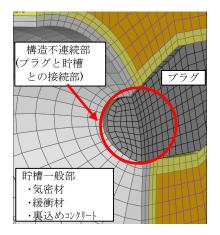


図-2 構造不連続部

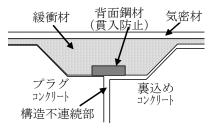


図-3 緩衝材増厚形式の概要

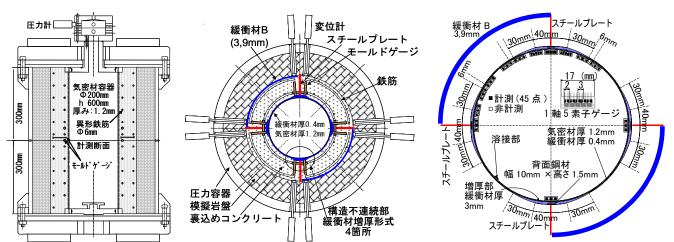


図-4 装置および模型試験体の概要(左:縦断面図 中:水平断面図 右:緩衝材増厚形式およびひずみゲージ配置図)

キーワード: 天然ガス岩盤貯蔵, 模型実験, 気密材, 緩衝材, ひずみ集中緩和効果 連絡先: 〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 社会基盤技術センター TEL 03-3820-8396 セメント系無収縮モルタルを用いた. 計測機器は構造不連続部の開口・せん断変位を計測するためのモールド ゲージ (東京測器製PMFL-50-2LT:ゲージ長50mm), 気密材ひずみを測定するための応力集中測定用ひずみゲ ージ (1軸5素子の共和電業製KFG-2-120-D9-16:ゲージ長2mm)を13枚 (測定数45点)設置した.

載荷パターンを図-5 に示す.予備載荷に引き続き,5,10,15MPa 載荷を 5 回ずつ繰り返 3. 実験方法 し、最後に 20MPa 載荷を 1000 回繰り返しながら内圧、気密材ひずみ、構造不連続部の開口・せん断変位を計 測した. 各載荷段階において載荷・除荷は2分間とし, 載荷・除荷後は30秒間保持した.

最初の 5, 10, 15, 20MPa 載荷時および 20MPa での 100, 1000 回目の繰返し載荷時の気密 4. 実験結果 材のひずみ分布を図-6に示す。増厚形式の無いケース1では10MPaまでは気密材ひずみはほぼ均一であるが、 15MPa になると構造不連続部近傍にひずみが集中し始め、20MPa に到達すると最大 7500 μ のひずみが集中す る. 繰返し載荷によりひずみ集中は顕著になり 1000 回の繰返し後は最大 12000 μ にまで達する. 増厚形式の 有るケース2では5MPa時から気密材のひずみ分布は乱れ初め,増厚形状の変化する構造不連続部から±20mm,  $\pm 50$ mm 付近で変曲点を示す. 内圧が増加するにつれ、ひずみ分布の乱れが顕著になり、最大  $10000 \, \mu$  のひず みが発生する。また、1000 回の繰返し載荷を行ってもひずみはほとんど増加しない。開口・せん断変位が想 定値の 1/3 程度と小さいケース 1,2 では,増厚部の緩衝材自体の変形による気密材の変形の影響が大きく, ひずみ集中緩和効果が見られないと考えられる. 表-1 実験ケース

一方、開口·せん断変位が想定値のケース 3, 4 では [ケース1] 気密材のひずみはケース 1,2 に比べて約 2 倍に増加し ている. 増厚形式の無いケース 3 では 5MPa 程度から構 [ ケース 4

開口・せん断変位量: 想定値の 1/3 増厚形式無し 緩衝材 B=3mm 増厚形式有り ケース 2 ケース 3 開口・せん断変位量: 想定値 (実機の 1/10) 増厚形式無し 緩衝材 B=9mm 増厚形式有り 1サイクル 5分(載荷:2分,保持:30秒,除荷:2分,保持:30秒) 15MPa 5回

5MPa

5回

10MPa

下限: 0.2MPa

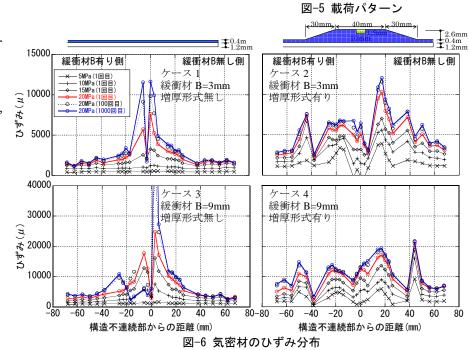
時間

20MPa 1000回

造不連続部近傍の気密材にひずみが集中し始め, 20MPa で約 25000 μに達する. 繰返し載荷によりひずみは顕著に進展する. 増厚形 式のあるケース4では増厚形状の変化する位置で気密材のひずみ 分布は乱れるが、20MPa における最大ひずみは  $21000 \mu$  とケース 3より小さく、 増圧形式によるひずみ集中緩和効果が確認された.

また,繰返し載荷を行っても気密 材のひずみはほとんど増加しない.

5. まとめ 開口・せん断変位 の大きさ, 増厚形式の有無を変え た4ケースの室内模型実験を行い, 気密材の変形挙動を把握した. 想 定した大きさの開口・せん断変位 が発生する場合、緩衝材増厚形式 によって気密材のひずみ集中を緩 和できること、繰返し載荷による ひずみ進展を低減できる効果があ ることが確認された. 本実験結果 と解析との比較検討に関しては関 連報告の室内模型実験の解析検討 5)を参照されたい.



20 15

10

5 0

-5

予備載荷 (1MPa)5回

参考文献 1)(社)日本ガス協会:次世代天然ガス高圧貯蔵技術開発 平成16年度事業報告書,平成17年4月. 2)澤一男,石塚 与志雄: 都市ガス岩盤貯蔵の実用可能性の調査研究,トンネルと地下,第35巻4号,pp. 279-287, 2004. 3) 澤ら: 高圧気体岩盤貯槽 における複合構造の挙動確認(室内模型実験),土木学会第58回年講, VI-247, 2003. 4) 澤ら:高圧気体岩盤貯槽における複合構 造の挙動確認(室内模型実験の解析検討),土木学会第58回年講, VI-246, 2003. 5) 久保田ら:天然ガス岩盤貯蔵施設における構 造不連続部の変形挙動に関する解析的検討, 土木学会第61回年講, VI(投稿中), 2006.