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

(社)日本ガス協会		久保田 篤、	正会員 堤	洋一	
清水建設(株)	正会員	○多田 浩幸、	若林 成樹、	奥野	哲夫

1. はじめに

(社)日本ガス協会は経済産業省から補助金の交付を受け、平成 16 年度から 4 年間の事業計画で次世代天

然ガス高圧貯蔵技術開発事業を実施している。高圧気体の岩盤貯槽について は、気密材、緩衝材、裏込めコンクリート、岩盤から成る複合構造が検討さ れている¹⁾。この中で構造不連続部(プラグと岩盤貯槽との境界部)では気 密材のひずみ集中を緩和するために気密材背面の緩衝材を増厚することが計 画されている。そこで、緩衝材の増厚によるひずみ集中緩和効果を把握する ために、構造不連続部の1/10の模型を作成し、内圧を繰返し作用させる模型 実験を行った²⁾。本検討では、構造不連続部の変形挙動評価に適用する解析 手法の妥当性の検討を目的として、模型実験を模擬した解析を行い、実験 で測定した気密材のひずみ分布との比較検討を行った。

2. 解析方法

構造不連続部の解析手法には既往研究³⁾において 複合構造の解析手法としてその妥当性が検証され ている FEM 非線形解析コード ABAQUS を用いた。解 析ケースを表1に示す。解析ケースは、実験と同様、 増厚の有無と緩衝材Bの厚さ3mmと9mmを組み合わせた 4ケースである。緩衝材Bの厚さが 3mm のケースは構造 不連続部の開口・せん断変位が想定値の1/3のケース、 9mm のケースは開口・せん断変位が想定値のケースを示 している。模型試験体の概要図を図1に、解析モデルの 概要図を図2に示す。解析領域は模型試験体の軸対称構

造を考慮して構造不連続部を中心に周方向に±45°の範 囲とした。また、緩衝材の増厚が無いケースの解析モデ ル図を図3に、緩衝材の増厚が有るケースの解析モデル 図を図4に示す。各材料は平面ひずみ要素でモデル化し た。境界条件は図2に示すように、対称軸上で周方向の み固定とし、その他の境界は半径方向、周方向ともに自 由とした。内圧は OMPa から 5MPa ピッチで 20MPa まで載 荷した。解析では、気密材を硬化弾塑性体、その他の材 料を弾性体としてモデル化し、各材料の接触面には接触 条件を考慮した。解析に用いた各材料の材料定数を表2 に示す。接触条件については摩擦を考慮した。各接触面 での摩擦係数を表3に示す。各材料の材料定数および摩 擦係数は室内材料試験結果に基づいて設定した。

表1	解析ケ	ワース一覧	
ケース	増厚	緩衝材B厚さ	
ケース1	無し	3mm	
ケース2	有り	3mm	Y
ケース3	無し	9mm	
ケース4	有り	9mm	







(a) 全体図 (b)構造不連続部拡大図 図3 解析モデル(増厚無し)



(a) 全体図



解析モデル (増厚有り) 図4

表 2 材料定数一覧		
材料	物性	物性値
	弾性係数(kN/mm ²)	205
気密材	降伏点 (N/mm ²)	229
(SM400)	ひずみ硬化係数 (kN/mm ²)	2.67
	ポアソン比	0.30
モルタルA	弾性係数(kN/mm ²)	25.4
モルタルB	ポアソン比	0.25
緩衝材	弾性係数(kN/mm ²)	0.045
A, B	ポアソン比	0.43
圧力容器	弾性係数(kN/mm ²)	205
背面鋼材	ポアソン比	0.30

表 3	接触条	件
対象 1	対象2	摩擦係数
気密材	緩衝材A	0.43
緩衝材A,B	モルタルA	0.40
緩衝材B	モルタルB	0.15
モルタルA	モルタルB	0.15
背面鋼材	モルタルA	0.40
モルタルB	圧力容器	固着

キーワード都市ガス岩盤貯蔵、模型実験、気密材、緩衝材、ひずみ集中緩和効果、数値解析 連絡先 〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 TEL 03-3820-8467 FAX 03-3820-5959



3. 解析結果

内圧 20MPa における構造不連続部を中心にした気密材のひずみ分布について、ケース1と2及びケース3と 4 で比較したものを図5、6 に示す。ひずみは気密材内面の周方向のひずみである。図中の緩衝材有り側は緩 衝材Bを設置した側の構造不連続部から周方向に45°の範囲を、緩衝材無し側は緩衝材Bを設置していない 側の45°の範囲を示す。ケース1、3の増厚無しの場合、構造不連続部を挟んで緩衝材Bの有り側にひずみ の低下域が生じ、緩衝材Bの無し側に最大ひずみが生じる。ケース2、4の増厚有りの場合でも緩衝材Bの無 し側に最大ひずみが生じる。また、背面鋼材の端面となる構造不連続部から±5mm 付近から増厚形状が変化す る±15mm 付近にかけてひずみは下に凸の変曲点を、増厚の端部となる±50mm 付近では上に凸の変曲点を示し、 背面鋼材や増厚部の形状変化の影響を受けた分布形状が表現されている。増厚無しの場合と増厚有りの場合を 比較すると、増厚有りのケース2と4の方が増厚無しのケース1と3よりも最大ひずみが小さくなっており、 増厚によるひずみ集中緩和効果が現れている。ケース2はケース1に対して12%、ケース4はケース3に対し て 35%と最大ひずみが小さくなり、緩衝材Bの厚さが9mmのケースの方が増厚によるひずみ集中緩和効果が大 きくなっている。

各ケースの気密材のひずみ分布の実験結果と解析結果の比較を図7~10に示す。ケース1と3について、 実験においても緩衝材Bの有り側にひずみの低下域が出現し、緩衝材Bの無し側に最大ひずみが生じており、 解析は実験と対応している。ケース2と4について、背面鋼材や増厚形状が変化する構造不連続部から-5mm 付近から-15mm 付近にかけてと±50mm 付近でひずみの変曲点を示し、解析は実験に類似した挙動を再現してい る。また、実験においても緩衝材Bの厚さが9mmのケースの方が増厚による気密材のひずみ集中緩和効果が明 確に現れており、解析と整合している。このように解析は実験結果に概ね類似した気密材のひずみ分布形状を 再現でき、増厚によるひずみ集中緩和効果を表現できていることから、構造不連続部の変形挙動評価に関して、 本解析手法の妥当性が確認できたものと考えられる。

4. まとめ

構造不連続部の室内模型実験を模擬した FEM 非線形解析(ABAQUS)を行い、実験結果の気密材のひずみ分布 と比較した。その結果、本解析手法により、模型実験におけるひずみ分布を概ね評価でき、解析手法として妥 当であることを明らかとした。また、解析においても気密材のひずみ分布は背面鋼材や増厚部の形状変化の影 響を受けることを確認した。

参考文献:1)澤、石塚: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.31-39,2004.2)堤、久保田、若林、多田、奥野: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、土木学会第61回年 次学術講演会講演概要集(投稿中)、VI部門,2006.3)澤、多田、石塚、若林、延籐、寺田: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回年次学術講演会講演概要集、VI-246、pp.491-492,2003.