

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）

（社）日本ガス協会 正会員 澤 一男

清水建設（株） 正会員 ○多田浩幸、フェロー会員 石塚与志雄

清水建設（株） 正会員 若林成樹、正会員 延籐 遵、寺田岳彦

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年度より都市ガスの岩盤貯蔵技術調査事業を行っている。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⁾。この中で緩衝材には裏込めコンクリートの亀裂発生時に気密材に対するひずみ集中緩和効果が期待されている。そこで、緩衝材のひずみ集中緩和効果を確認するために、実際の岩盤貯槽と同じ複合構造を有する模型貯槽を圧力容器内に作成し、内圧を繰返し作用させる室内模型実験を行った²⁾。本検討では、複合構造の解析手法の検証を目的として、模型実験を模擬した解析を行い、実験で測定した裏込めコンクリートの亀裂開口幅と気密材のひずみ分布との比較検討を行った。

2. 解析方法

複合構造の解析手法にはFEM解析コードABAQUSを用いた。解析ケースは、実験と同様、つぎの3ケースである。

- ①気密材はSUS304として緩衝材（ポリウレタン）が有る場合
- ②気密材はSUS304として緩衝材が無い場合
- ③気密材はSM400として緩衝材が有る場合

模型試験体の寸法を図1に示す。解析モデルのうち、緩衝材が有る場合の解析モデル図を図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人工亀裂から周方向に90°の範囲とした。各材料は平面ひずみ要素でモデル化した。実験では、最初の5MPa载荷時に人工亀裂が0.1mm程度大きく開口する結果となり、試験体作成時に裏込めコンクリートと模擬岩盤の間に僅かな隙間が生じていたことがその原因と考えられた。そこで、解析モデルでは、人工亀裂部分に幅0.05mm（0.1mmの半分）の隙間を設け、初期開口を考慮することとした。

境界条件を図3に示す。人工亀裂延長上の境界では、人工亀裂部分を半径方向、周方向ともに自由とし、人工亀裂部分以外を周方向のみ固定とした。中心軸は周方向のみ固定とした。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0MPaから1MPaピッチで20MPaまで载荷した。

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1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以下のように設定した。

- ・気密材と緩衝材：0.43
- ・気密材と裏込めコンクリート：0.40
- ・緩衝材と裏込めコンクリート：0.40
- ・裏込めコンクリートと模擬岩盤：0.15

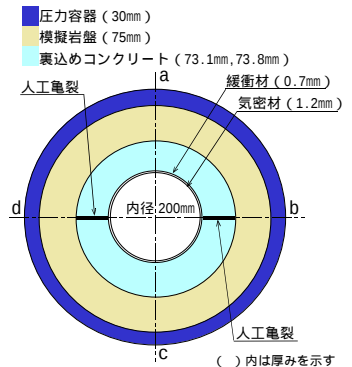


図1 模型試験体の寸法

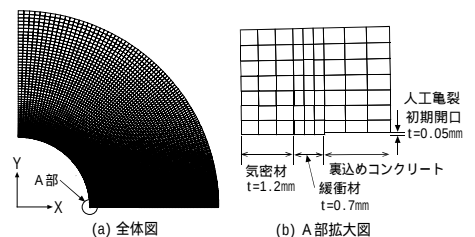
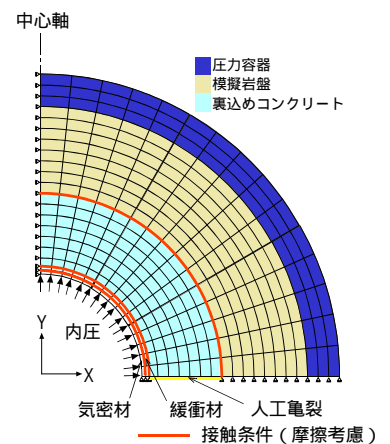
図2 解析モデル図
（緩衝材が有る場合）

図3 境界条件

表1 材料定数一覧

物性値	気密材		緩衝材 (ポリウレタン)
	SUS304	SM400	
弾性係数 (kN/mm ²)	187.2	205.2	3.58×10^{-2}
ポアソン比	0.30	0.30	0.43
降伏点 (N/mm ²)	314	235	—
ひずみ硬化係数 (kN/mm ²)	4.21	1.56	—
物性値	裏込め コンクリート	模擬岩盤	圧力容器 (スチール)
弾性係数 (kN/mm ²)	21.0	9.0	205.8
ポアソン比	0.20	0.25	0.30

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 03-3820-5520 FAX 03-3820-5959

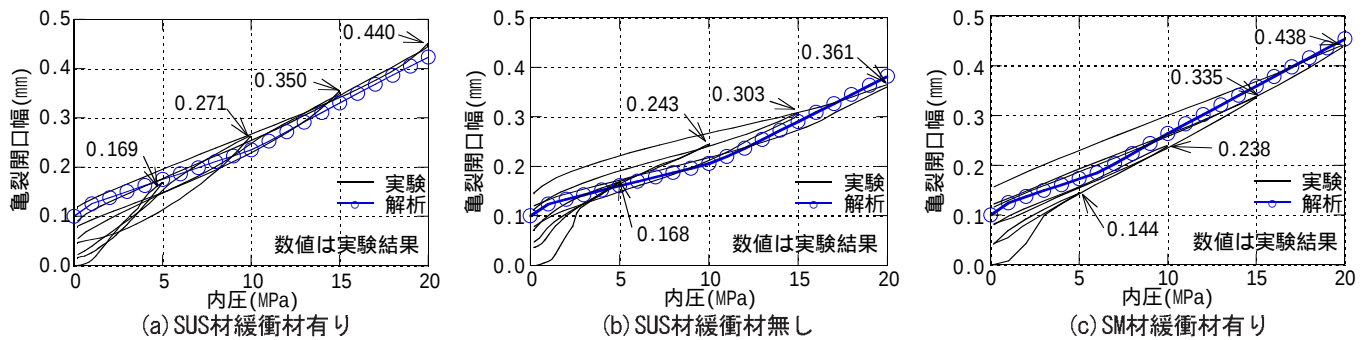


図4 亀裂開口幅と内圧の関係

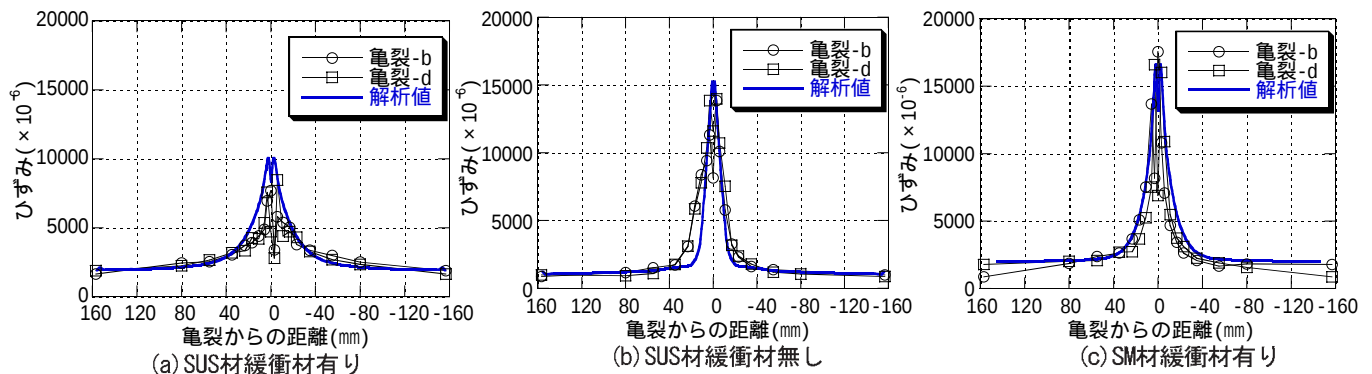


図5 気密材のひずみ分布（内圧20MPa）

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。

3. 解析結果

実験結果の亀裂開口幅と内圧の関係を解析結果と比較したものを図4に示す。実験の亀裂開口幅は初期載荷時の人工亀裂b, d方向の平均値を示す。解析モデルに初期開口を考慮したことにより、解析の5MPa以後の亀裂開口幅は実験とほぼ一致する結果が得られている。実験では20MPaで緩衝材の有る2ケースの亀裂開口幅が緩衝材の無いケースより大きくなっている。解析においても、20MPaで緩衝材の有る2ケースはSUS材で0.42mm、SM材で0.46mm開口し、緩衝材の無い場合の0.38mmより大きくなり、実験と対応している。

内圧20MPaにおける人工亀裂を中心にした気密材のひずみ分布の実験結果と解析結果の比較を図5に示す。解析のひずみは気密材の周方向ひずみに初期開口幅分のひずみ量318 μ を加えたものである。解析の亀裂近傍の最大ひずみは、SUS材の緩衝材有りでは約0.3%、緩衝材無しでは0.1%ほど実験（亀裂-b, d）より大きくなっているが、SM材の緩衝材有りではほぼ一致している。3ケースとも解析のひずみ分布は、最大ひずみに若干の差はあるものの、実験のひずみ分布と類似しており、解析は亀裂近傍でのひずみ集中を表現できている。解析のSUS材の緩衝材有り・無しの場合を比較すると、緩衝材が有ることにより最大ひずみは1.5%が1%に低減しており、緩衝材によるひずみ集中緩和効果が再現できている。解析のSUS・SM材の緩衝材有りの最大ひずみを比較すると、SUS材の1%に対し、SM材は1.7%とひずみ集中が大きくなっている。このひずみ集中の差は、気密材のひずみが塑性域に達していることから、主にSUS材とSM材のひずみ硬化係数の違いによって生じたものと考えられ、弾性域を超えるようなひずみが発生する場合、気密材のひずみ分布を評価する上でひずみ硬化係数がひずみ集中に大きな影響を与えられとされる。

4. まとめ

複合構造の室内模型実験を模擬したFEM解析（ABAQUS）を行い、実験結果の裏込めコンクリートの亀裂開口幅および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、模型実験における亀裂開口挙動や気密材のひずみ分布を評価でき、解析手法として妥当であることが明らかとなった。また、気密材に弾性域を超えるようなひずみが発生する場合、気密材のひずみ集中にひずみ硬化係数が大きな影響を与えられとされる。

参考文献：1) 澤，若林，臼井，丹羽，香川，梅田，石塚：都市ガス岩盤貯蔵の適用性と技術開発について，土木学会第57回年次学術講演会講演概要集（本講演），CS1-005，2002.9. 2) 澤，若林，石塚，多田，延篠，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），土木学会第58回年次学術講演会講演概要集（投稿中），VI部門，2003.9.