

メタンハイドレート生産障害対策のための細粒分目詰まり機構の実験的検討

鹿島建設(株) 正会員 ○露木健一郎 正会員 三浦 悟
 正会員 北本 幸義 正会員 海老 剛行

1. 概要

海底の未固結砂層中に多量の存在が確認されているメタンハイドレート (MH) から天然ガスを生産する際、MH の分解で生じた水とともに砂層内の細粒分が生産井 (揚水井) 近傍に移流すると、スキン層 (低透水領域) の形成によるガス生産量の減退が懸念される。こうした生産障害を防止するため、筆者らは、目詰まり部に振動を与え、間隙を閉塞した細粒分を水とともに移流させる透水性改善手法を検討している¹⁾。本手法の効果と土質の関係を整理するには、目詰まりの予測・評価モデルが必要であり、粒度特性を考慮した目詰まり基準に着目している。今般、粘土から礫分までを含む幅広い範囲で作製した粒度分布の異なる試料で透水実験を行い、粒度特性を考慮した目詰まり基準の適用性を検討した。

2. 粒度分布を考慮した目詰まり基準と実験用試料

細粒分の目詰まりや流出には、移流可能な土粒子の径や量、骨格をなす土粒子が作る間隙径、水流速などが関与すると考えられる。土質材料の代表径に基づく目詰まり基準としてはフィルタ則が知られているが、Kenney²⁾は粒度特性を考慮した基準を提案した。これによれば、原土とフィルタ材の混合領域において、粒径 D の土粒子が安定であるには、その含有量 F に対して4倍粒径 ($4D$) の含有量が $F+H$ であるとき、 $H/F > 1$ が必要とされる (図-1)。ここで、フィルタ材を通過できる土粒子の最大径を限界間隙くびれ径 Dc^* とし、 Dc^* は混合領域の5%粒径 D_5 の

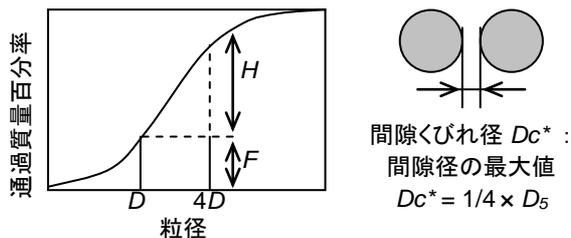


図-1 粒子の安定指標 H/F と間隙くびれ径 Dc^*

1/4倍とされる。杉井³⁾はこの基準をフィルタ材の透水試験に、また前田⁴⁾は内部侵食機構の実験に適用しており、土の工学的分類が砂に相当する試料について、拘束圧のない条件で Kenney の基準と透水実験の結果が整合すると報告されている。

今回、この基準が MH 生産時の透水性変化の予測に適用できるかを検討するために、開発対象域である東部南海トラフ海域で採取されたコアの粒度分析結果に基づき、市販の土質材料を用いて模擬試料を作製した (以下、MH 層模擬試料: 表-1)。Kenney の基準によれば、試料が目詰まりするか否かは粒度分布曲線の形状で決まり、粒径自体にはよらない。このことを確認する目的で、MH 層模擬試料より粗粒で、粒度分布曲線の形状が類似の試料 (以下、粗粒試料: 表-2) も作製した。MH 層模擬試料、粗粒試料の粒度分布を図-2に示すが、Kenney の基準では両試料ともに目詰まりの発生が見込まれる。

表-1 MH 層模擬試料

材料名	三河珪砂 7号	三河珪砂 8号	三河珪砂 9号	カオリン 粘土
質量比	0.35	0.35	0.1	0.2

表-2 粗粒試料

材料名	トーヨー 3号珪砂	三河珪砂 5号	三河珪砂 7号	カオリン 粘土
質量比	0.45	0.3	0.1	0.15

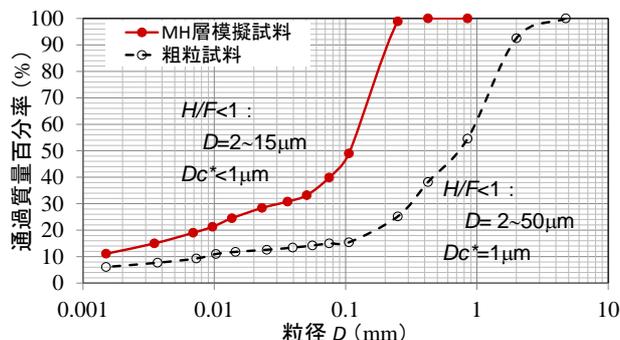


図-2 MH 層模擬試料、粗粒試料の粒度分布

キーワード メタンハイドレート, 透水, 目詰まり, 粒度分布, 絶対浸透率

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL042-489-6238

3. 透水実験による目詰まり基準の検証

前述の2種類の試料について、定水位一次元の鉛直下向き透水実験を行った。試料に作用させる動水勾配 i は給水槽の高さで管理し、 $i=5, 10, 15, 20, 30, 40$ の順で段階的に増加させた。同一動水勾配の保持時間は、MH層模擬試料で60分、粗粒試料では10分とした。実際のガス生産では動水勾配は数千以上となる可能性もあるが、図-3に示す実験結果から、MH層模擬試料、粗粒試料ともに透水係数は低下しており、動水勾配の増加に伴い内部侵食的な目詰まりが生じたものと考えられる⁵⁾。

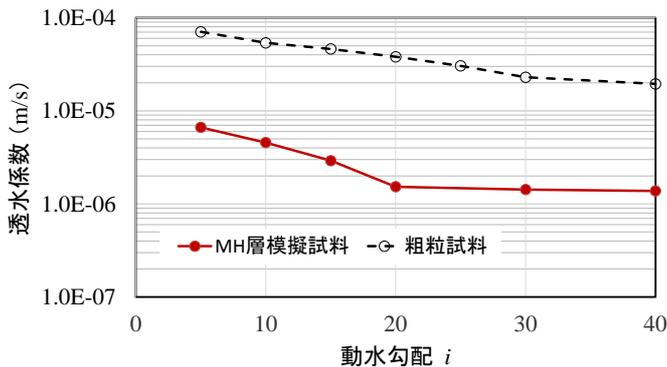


図-3 MH層模擬試料、粗粒試料の透水実験結果

4. 三軸拘束圧下の透水実験

MH層模擬試料を用いて、より実際に近い条件で目詰まり評価を行うために、図-4に示す装置で三軸拘束圧下の透水実験を行った。本装置の中央部に格納された試料(直径5cm, 長さ10cm)には、ゴム製スリーブと上端部の軸圧シリンダによって周囲から等しい拘束圧が加えられ、海底地盤の有効応力を再現した。また、水の浸透に伴って試料の上下流に発生する差圧を測定して、ダルシー則に基づき試料固有の透水性を表す絶対浸透率を求めた。本実験では、拘束圧を2MPa、通水流量は10ml/minとした。

図-5に示す三軸拘束圧下の透水実験結果から、

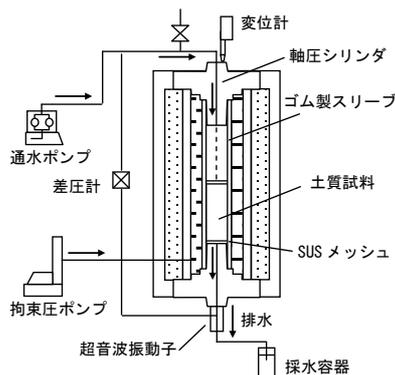


図-4 三軸拘束圧下の透水実験

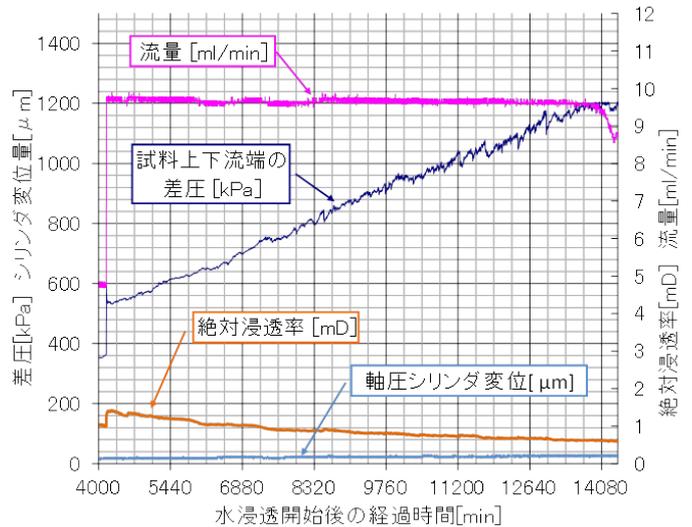


図-5 拘束圧下でのMH層模擬試料の透水実験結果

透水性を表す絶対浸透率の値は経時的に減少していることがわかる。また、軸圧シリンダの変位に顕著な変化は見られないことから、試料は軸方向(鉛直方向)に変形しておらず、絶対浸透率の低下は試料の圧密変形によるものではなく、細粒分の移流・集積によって生じたものと推定される。

5. まとめ

MH海洋産出試験コアの粒度分布を模擬する試料を作製し、Kenneyの基準による目詰まり判定を行うとともに、透水実験により試料の透水性変化を調べた。その結果、粘土から礫分までを含む幅広い粒度範囲で、また試料に三軸拘束圧を作用させた条件でも、Kenneyの基準と整合する透水性の低下が見られ、MH層からのガス生産の際、生産井周辺に低透水領域の形成される可能性があるかと推定される。

謝辞 本報は、経済産業省メタンハイドレート開発促進事業に係る『スキニングによる生産障害に対する対策技術の開発』の研究成果に基づくものです。メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム、(国研)産業技術総合研究所に深謝の意を表します。

参考文献 1) 露木健一郎, 戸梶慎一, 鈴木肇, 三浦悟: 超音波による生産障害対策技術の研究—超音波照射条件の影響について—, 第3回メタンハイドレート総合シンポジウム, pp.175-179, 2011. 2) Kenney T.C. et.al: Permeability of compacted granular materials, *Can. Geotech. J.*, 21(4), pp.726-729, 1984. 3) 杉井俊夫, 山田公夫: 粒状性フィルター材の透水性挙動の評価, 中部大学工学部紀要, 第44巻, pp.1-9, 2008. 4) 前田健一, 近藤明彦: 粒度分布形状に起因する内部侵食メカニズムに着目した細粒分のダイナミクスに及ぼす間隙構造の影響, 土木学会論文集 A2(応用力学), vol.70, No.2, I_507-I_517, 2014. 5) 佐藤真理, 桑野玲子: 一次元浸透試験による内部侵食発生要因の検討, 生産研究, 66巻4号, pp.331-335, 2014.