

メタンハイドレート生産障害対策のための目詰まり機構と加振による透水性改善の検討

鹿島建設(株) 正会員 ○海老 剛行 正会員 露木健一郎
 正会員 藤田 雄一 正会員 田島 大輔
 正会員 三浦 悟

1. はじめに

未固結砂層に胚胎す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、地層内の細粒分が生産井 (揚水井) 近傍に移流・集積し、低透水領域を形成する懸念がある。こうした生産障害を防止するため、著者らは、目詰まり部に振動を与え、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きた。本手法の実適用に向けては、細粒分による目詰まり機構の解明が重要であり、粒度分布を考慮した目詰まり基準に着目した。同基準に則って作製した試料で透水実験を行い、実験結果と比較した。また、放射状流れの透水模型実験を行い、坑井部からの加振による透水性 (浸透率) 改善効果を検討した。

2. 細粒分の日詰まり・流出モデル

細粒分の日詰まりや流出には、粒子径と間隙径の比が関与すると考えられ、代表径に基づく基準としてフィルタ則が知られている。一方、Kenney¹⁾は、粒度分布に基づく安定基準を提案した。杉井²⁾はこの基準をフィルタ材の透水試験に、また前田³⁾は内部侵食機構の実験に適用した。これらの研究で検討されている粒度分布を考慮した基準は、概略以下のとおりである。原土材とフィルタ材の混合層内で原土材が安定であるためには、ある粒径Dの4倍の径4Dの粒子含有量が、Dの含有量より多いことが必要とされ、「 $H/F \geq 1$ 安定」、「 $H/F < 1$ 不安定」が提案されている (図1)。またフィルタ材を通過する移流粒子の最大径を限界間隙くびれ径 D_c^* (図2) とし、 D_c^* は混合領域の5%粒径 D_5 の1/4倍とされる。

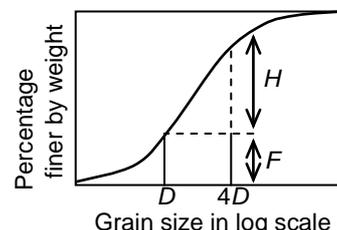


図1 地盤粒子の安定指標 H/F

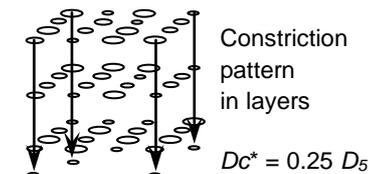


図2 間隙くびれ径 D_c^* の概念

3. 放射状流れの模型による透水実験

(1) 実験に用いた試料

Kenney の安定性指標に基づき、細粒分流出試料 (試料 A)、目詰まり発生試料 (試料 B) を作製した (表1)。試料 B について、粒径ごとに H/F の値を求めた結果を図3に示す。図中、「 $H/F < 1$ 不安定」でありかつ「限界間隙くびれ径 D_c^* 」より大きな粒子の存在が認められる。この領域の粒子は、不安定なため移流するが間隙を通過できず、途中で目詰まりを生じると推定される。

(2) 実験装置

坑井近傍の放射状流れによる粒子の移流、蓄積を再現するため、実験装置を製作した (図4)。試料部の直径は $\phi 700\text{mm}$ 、高さ $5 \sim 20\text{mm}$ (可変) であり、試料部上面を覆うアクリル板に設けた間隙圧測定孔 (6点 \times 2列、 50mm 間隔) と模型中心の坑井部圧力計により、試料内の圧力分布や浸透率の測定が可能である。

4. 放射状流れの透水実験とその結果

揚水により坑井部周辺に細粒分が集積し、低透水域が形成される現象を再現し、加振による浸透率の改善効果を検討した。試料 A, B を均一に混合して放射状流れの実験装置に充填した。装置を精製水で満たした水槽に入れ、定流量ポンプで坑井部から水を吸引し、循環させた。試料内の圧力分布が一定となった後、坑井部に取り付けた小型加振器 (周波数 430Hz) により、水吸引を続けながら 30 分間加振し、圧力や流量から浸透率

キーワード メタンハイドレート, 細粒分, 目詰まり, 透水, 振動, 浸透率

連絡先 〒107-8348 東京都港区赤坂 6-5-11 鹿島建設(株) TEL03-5544-0631

表1 実験試料

実験試料		A	B
骨格 粒子	種類	7号珪砂	7号珪砂+ 8号珪砂(1:1)
	中心粒径 μm	236	130
細粒分	種類	加リ粘土	加リ粘土
	中心粒径 μm	5.3	5.3
細粒分含有率 %		5	5

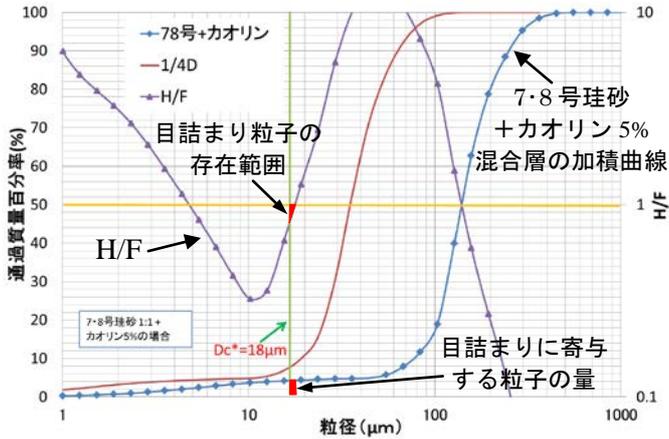


図3 実験試料 B に対する目詰まり指標 (H/F)

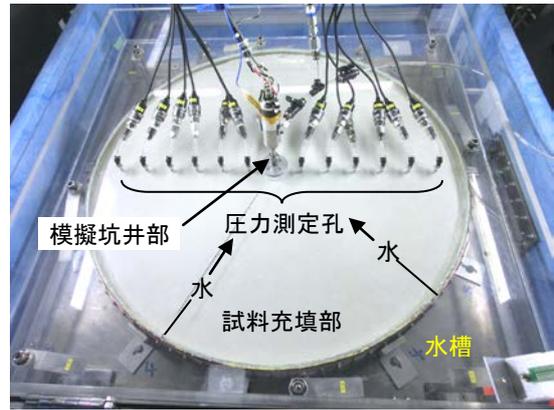


図4 放射状流れの実験装置

変化を求めた。定量ポンプ設定流量は5ml/min, 試料の初期間隙率は44.6%であった。

図5は、試料 B に対する透水実験中の試料内圧力分布の変化を示したものである。本図で、横軸の中央が坑井部を表し、両端が模型外周部に対応している。通水開始から72時間までの圧力分布を点線で示す。中央の坑井部で圧力が最も低く、隣り合う圧力測定点を結ぶ圧力勾配は、中央部が最も大きく、他の場所では緩い勾配となっている。このことから、中央の坑井部から50mm以内に浸透率の低い領域が形成されたと考えられる。

坑井部で加振を行うと、模型中心部の圧力勾配は緩くなったことから、坑井部近傍の浸透率が改善されたと推定される。また、多点圧力センサ間の差圧から、放射状流に関する Darcy の法則より2次元の絶対浸透率を算出した結果を図6に示す。図より、加振により半径150mm以内、及び半径300mm以内の2次元浸透率が増加していることが分かる。また、濁度についても、加振直後に急激な増加が見られ、加振により坑井近傍の細粒分の流出が促進されたと推定できる。

5. おわりに

粒度分布を考慮した目詰まり判定基準に基づいて、透水試験による目詰まり過程の観察と、加振による細粒分の移流促進実験を行った。その結果、目詰まりの進行や加振による細粒分除去の評価と効果予測に、同基準が利用できると考えられる。

謝辞 本報は経済産業省マサントレート開発促進事業に係る『スキ形成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。マサントレート資源開発研究 Consortium, 産業技術総合研究所に深く謝意を表します。

参考文献 1) Kenny T.C. et.al : Permeability of compacted granular materials, *Can. Geotech. J.*, 21(4), pp.726-729, 1984.
 2) 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.
 3) 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.

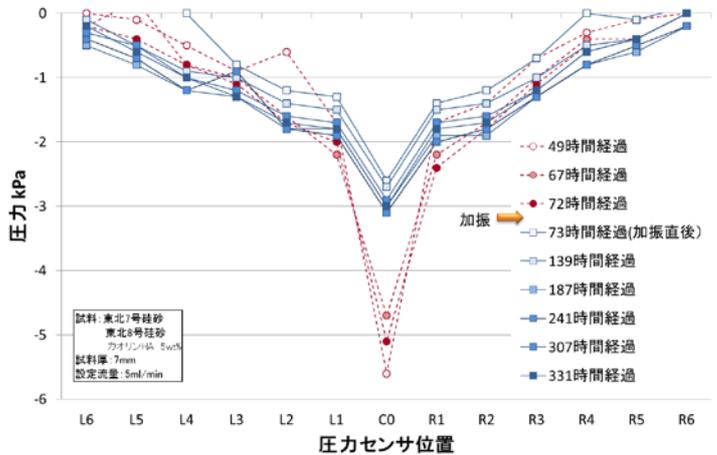


図5 試料 B に対する透水実験中の試料内圧力分布の変化

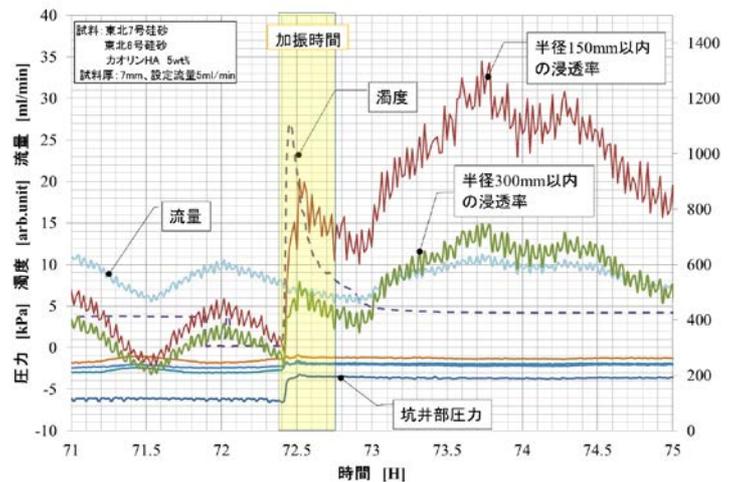


図6 試料 B に対する透水実験中の2次元浸透率変化