メタンハイドレート生産坑井周辺の細粒分目詰まり機構に関する実験

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．はじめに

未固結砂層に胚胎するメタンハイドレート（以下 MH）から天然ガスを生産する手法として，生産井で減圧を行うことにより MH の分解を促す減圧法が，経済性の観点から最有力とされている．減圧によって，水とともに地盤内の細粒分が生産井（揚水井）近傍に移流・集積すると，坑井周辺の地盤の透水性が低下し，ガス生産量が減退することが懸念されている(**図－1**)．その防止のため，筆者らは目詰まり部に向けて振動を与え，坑井の周囲に集積した細粒分を水とともに坑井内へ移流させる透水性の改善手法を開発中である．本手法を実際の生産井に適用するうえでは，細粒分によってどのような場所にどの程度の目詰まりが発生するかといった物理機構の解明が重要である．このため，深海底の原位置環境を模擬する大型の高圧実験装置を開発して，放射状流れの透水実験により目詰まり機構を検討したので，その結果を報告する．

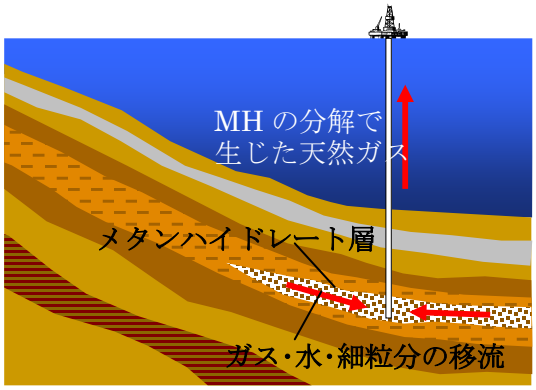
２．深海底の井戸周辺の放射状流れを模擬する実験

2.1 実験装置

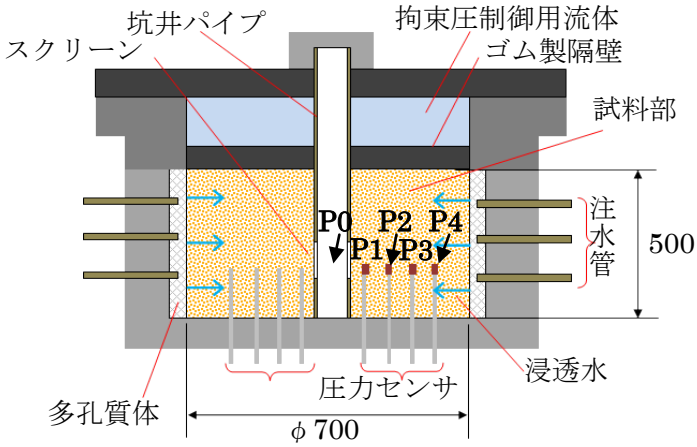
坑井での減圧（集水）に伴う放射状流れ，地盤の骨格粒子に作用する有効応力（海底の土かぶり圧に相当）といった原位置の環境を模擬し，細粒分の移流，蓄積を再現するための実験装置を開発した（**図－2**）．試料部の直径は φ700mm，高さ 500mm，内容積 192 リットル，常用圧力は 13MPa である．土かぶり圧に相当する最大 3MPa の有効応力を試料に加えるため，円盤状のゴム製隔壁内に水を充填して加圧する機構を試料上面に設けた．また試料部の中央には，坑井を模擬するスクリーンパイプが取り付けられ，底面には試料の間隙圧など各種のセンサを容器内に挿入する経路が計 8 箇所設けてある．試料を浸透する水は，高圧の定流量ポンプを使って，外周部から試料に圧入される．これらの構造により，試料に原位置の有効応力を加えながら，放射状流れの透水実験を行い，試料内の圧力分布などを測定可能である（圧力測定点 P0～P4 を図中に示す）．

2.2　実験に用いた試料

本研究では，2013 年の海洋産出試験で採取されたコア試料の粒度分析結果に基づき，市販の土質材料を混合して，同試験海域の MH 層模擬試料を作製した（**表－1**）．模擬試料に対し，細粒分の目詰まりや流出を説明するモデルとして知られる Kenney の基準 [1−3]を適用し，目詰まり判定を行った．その結果，MH 層模擬試料については，不安定となる粒度範囲が存在し，移流する粒子が間隙を通過できないという判定になることから，試料内で目詰まりが生じると推定された．



図－1 ガス生産に伴う細粒分集積の概念



図－2 深海底地盤内の水浸透を模擬する実験装置

キーワード　メタンハイドレート，細粒分，目詰まり，透水，放射状流，差圧
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．放射状流れの透水実験の結果

前述の模擬試料を実験装置に充填し，放射状流れの透水実験を行った．試料への水浸透は，高圧ポンプの流量を 400ml/min 一定で行い，圧力の経時変化を測定した．装置内に充填した試料の間隙率は 39.9%と計算されたことから，坑井スクリーンパイプ外側での間隙内流速は 0.4mm/s と推定される．試料に加える上載圧（有効応力）は 2MPa 一定で保持した．

透水実験中に測定された各点の差圧を**図－3** に示す．図より，坑井（P0）と直近の圧力測定点（P1）の差圧が経時的に増加しており，他の測定点同士の差圧（P2-P1, P3-P2, P4-P3）はほぼ一定であった．このことから，坑井から P1 センサまでの距離 40mm 以内の領域で，細粒分の集積が顕著に生じた可能性が高いと考えられる．

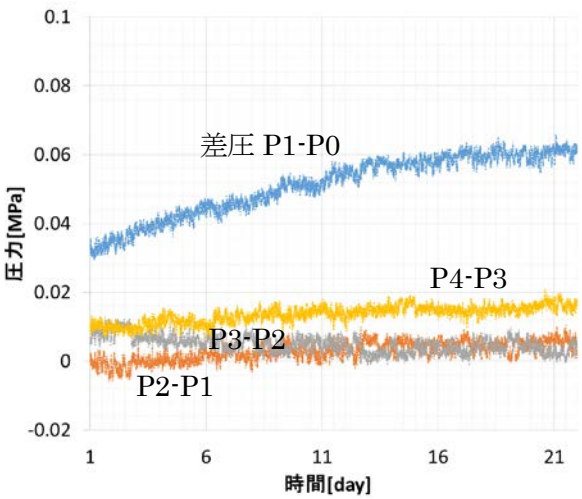
実験終了後に，実験装置内の試料からサンプルを抜き出し，各部に含まれる細粒分の質量含有率を調べた．試料採取は，坑井からの距離が異なる 4 箇所で行った（**図－4**）．細粒分含有率の分析に用いた試料は，坑井パイプに設けたスクリーン部と高さが同じ位置から採取した．目開き 75 ミクロンのふるいを使って試料を湿式で分級し，ふるいを通過した粒子をガラス繊維ろ紙により捕集した．予め量っておいたろ紙の乾燥質量との差から，細粒分の質量を求めた．細粒分含有率の分布を**図－5** に示す．図より，試料の初期状態の細粒分含有率と比べて，坑井に近い場所ほど細粒分の含有率が高くなっていることから，坑井周辺への細粒分の集積が確認された．

４．おわりに

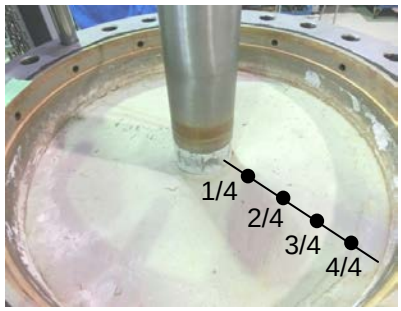
海洋産出試験海域コアの模擬試料を作製し，原位置の有効応力と間隙圧を保持しながら，放射状流れの透水実験を行った．その結果，坑井近傍への細粒分の集積が確認され，試料の粒度から決まる Kenney 判定とも一致した．このことから，同海域で長期間のガス生産を行うと坑井周辺に目詰まり領域が形成される懸念がある．今後は，本研究で使用した実験装置を利用して，加振による透水性の改善効果について検討する予定である．

表－1　MH 層模擬試料

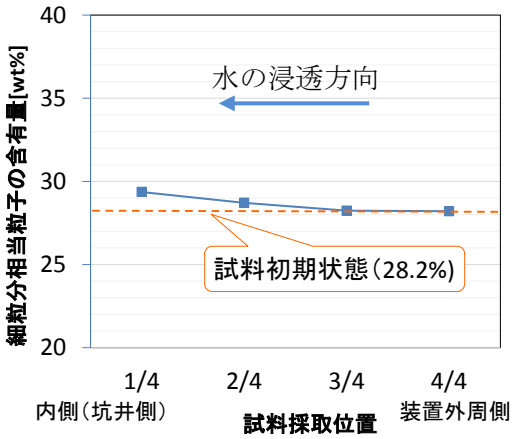
材料名	三河珪砂 7 号	三河珪砂 8 号	三河珪砂 9 号	カオリン粘土
質量比	0.35	0.35	0.1	0.2



図－3　透水実験中の試料各部の差圧変化



図－4　透水実験後の試料採取位置



図－5　透水実験後の細粒分含有率分布

謝辞

本報は経済産業省ﾒﾀﾝﾊｲﾄﾞﾚｰﾄ開発促進事業に係る『細粒砂移流による貯留層障害対策技術の開発』の研究成果に基づくものです．ﾒﾀﾝﾊｲﾄﾞ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.