メタンハイドレート生産障害対策のための加振による透水性の改善手法
－加振周波数と透水性改善効果の関係－

鹿島建設(株)　正会員　○露木健一郎　三浦　悟　海老剛行　フェロー会員　北本幸義

１．はじめに

未固結砂層中の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，坑井内の水頭を低下させる減圧法が経済性の観点から有力視されている．ただし，坑井内の水頭を長期間低下させ続けると，海底地盤内の水とともに細粒分が坑井近傍に移流･集積して目詰まりを生じ，ガス生産量が減退する懸念がある（**図－1**）．その対策として，坑井内から周辺地盤に向けて振動を与え，間隙を閉塞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[1)]．これまでの研究で加振による透水性の改善効果は確認しているが，振動の周波数と効果の関係は明らかになっていない．このため，海底地盤内の透水現象を模擬する高圧の三軸透水実験装置を用いて，加振周波数と透水性改善効果の関係を検討したので，その結果を報告する．

２．海底地盤内の透水現象を模擬する実験の方法

2.1 高圧三軸透水実験装置

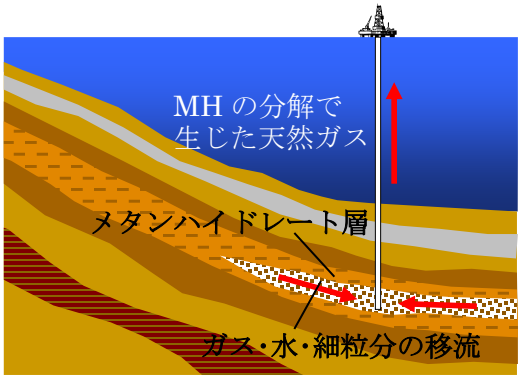
海底地盤内の透水と細粒分移流現象を模擬するため，**図－2** に示す高圧装置で三軸拘束圧下の透水実験を行った．本装置の中央に試料格納部があり，円筒状のゴム製スリーブと軸圧シリンダによって，試料に等方拘束圧を加え，海底地盤の有効応力を再現した．試料の寸法は，後述する「透水性の改善実験」では直径 5cm，長さ 10cm であり，「振動加速度の計測」では直径 5cm，長さ 28cm とした．一定流量で透水を行った際の試料上下流端に発生する差圧を測定し，ダルシー則に基づいて試料固有の透水性を表す絶対浸透率を求めた．本実験では，拘束圧は 2MPa 一定で制御し，透水流量は定流量ポンプを用い 20ml/min（間隙内流速 0.4mm/s）一定とした．試料下流側に，様々な周波数で加振する機構を取り付け，透水を行いながら振動を発生させ，差圧の変化から透水性の改善効果を確認した．また，試料から排出された水を採取し，水に含まれる細粒分の質量を調べた．さらに，実験終了後に試料を回収し，試料各部に含まれる細粒分の含有率分布を測定した．

2.2 試料に振動を加える機構

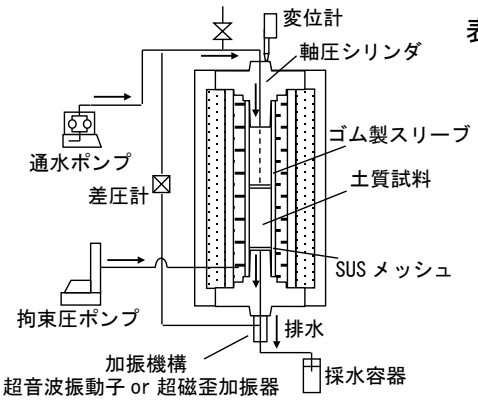
本実験では，超音波式および超磁歪式の加振機構を検討した．坑井内からの加振を模擬するため，高圧透水実験装置の下流側に加振機構を取り付け，装置内の試料に効率よく振動を伝達できるよう，振動伝達部材の寸法や圧力の封止機構を設計した．実験で検討した振動の周波数と加振機構への印加電力を**表－1** に示す．

2.3 実験試料

MH 貯留層の模擬試料は，市販の土質材料を混合して作製した．本研究では，ガス生産の対象に相応しい



図－1 ガス生産に伴う細粒分の集積



図－2 高圧三軸透水実験装置

表－1 加振周波数，印加電力

加振周波数	印加電力	
600Hz		
14kHz	20W	30W
20kHz	1 回目	2 回目
40kHz		

表－2 MH 貯留層の模擬試料

材料名	東北珪砂 7 号	カオリン粘土 HA
質量比	0.9	0.1

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，周波数
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

100mD 以上の初期浸透率となるように材料構成を選定した．このため，MH 貯留層の力学特性に関する既往研究 [2]で用いられた材料構成とは異なっている．模擬試料の材料構成と粒度分布を**表－2** に示す．なお，粒度特性に基づいて地盤構成粒子の安定性を評価する Kenney の基準 [3]によれば，本試料は“不安定かつ細粒分が流出する”と判定される．

３．実験結果

3.1 透水性の改善効果と試料に含まれる細粒分分布の変化

20kHz の超音波振動を試料に加えた場合の浸透率の変化を**図－3** に示す．加振前に 200mD 程度であった浸透率は，1350min 付近の加振により 300mD 程度に増加した．試料からの排出水を 2 分間隔で採取し，水中の細粒分の質量を調べた結果，加振直後から 10 分程度で，試料に元々含まれる細粒分のうち約 30%が排出された（**図－4**）．さらに，実験終了後に試料（L =10cm）を回収し，1cm 分ずつ輪切りにして，各区分に含まれる細粒分の乾燥質量を求めた．細粒分の含有率分布を**図－5** に示す．細粒分の流出は下流側で顕著で，下流端から 7cm 程度までは，細粒分含有率が初期状態より低下しており，加振の効果が認められた．同様の実験を異なる周波数（**表－1**）について行った結果，加振周波数が 20kHz と 14kHz の場合に，加振源から最も遠くまで影響を与えられることが分かった（**図－6**）．

3.2 試料内の振動加速度の分布

試料内に超小型加速度センサを設置して，試料内を伝わる振動の加速度を測った（**図－7**）．その結果，加振周波数が 20kHz と 14kHz の場合に加速度は最大であった．加振源から 150mm 程度の距離でも周波数と加速度の関係は同様であった．超磁歪加振の場合は，超音波加振と比べて 1～2 桁小さい加速度であった．

４．まとめ

MH 貯留層に近い初期浸透率をもつ模擬試料を作製し，原位置の有効応力や想定される間隙内水流速を与えながら，様々な周波数で加振した際の透水性改善効果とその影響範囲を調べた．今回実験の範囲では 14～20kHz の周波数で加振した場合に，浸透率改善効果は最も高く，その影響範囲は 7cm 程度であることが分かった．

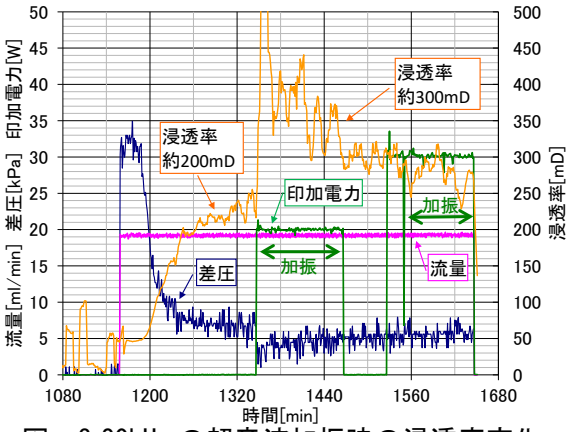
謝辞　本研究は，経済産業省「国内石油天然ガスに係る地質調査・メタンハイドレートの研究開発等事業（メタンハイドレートの研究開発）・生産手法開発に関する研究開発」の一部として実施された．メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム，（国研）産業技術総合研究所に深く謝意を表します．

参考文献

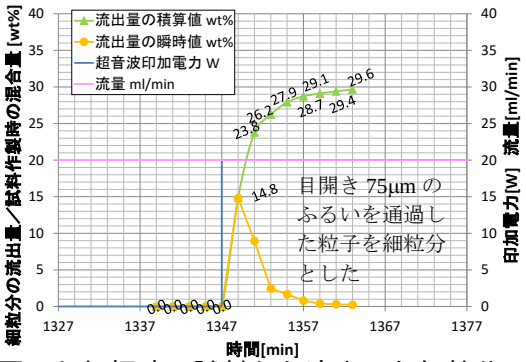
1) 海老剛行，露木健一郎，藤田雄一，田島大輔，三浦悟：メタンハイドレート生産障害対策のための目詰まり機構と加振による透水性改善の検討，土木学会第 70 回年次学術講演会講演概要集，Ⅲ-153，pp. 305- 306，2015.

2) 梶山慎太郎，兵動正幸，中田幸男，吉本憲正，日下部真佑：種々のﾎｽﾄ粒子から成るﾒﾀﾝﾊｲﾄﾞﾚｰﾄ胚胎砂のせん断特性，第 7 回ﾒﾀﾝﾊｲﾄﾞﾚｰﾄ総合ｼﾝﾎﾟｼﾞｳﾑ，pp.142-145，2015.

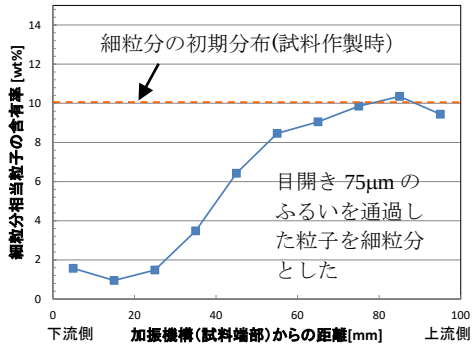
3) Kenney T.C. et.al : Permeability of compacted granular materials, *Can. Geotech. J.*, 21(4), pp.726-729, 1984.



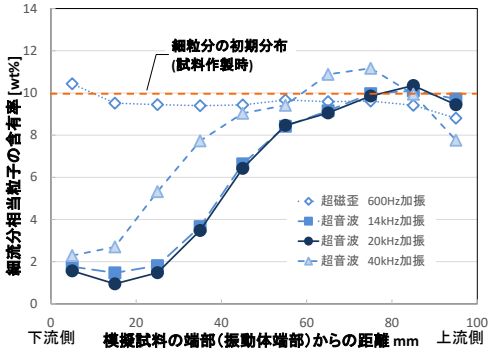
図－3 20kHz の超音波加振時の浸透率変化



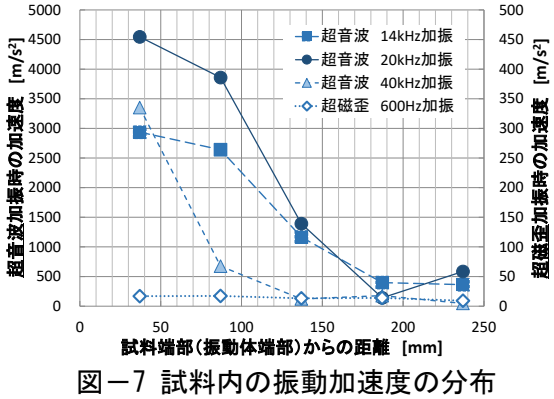
図－4 加振時に試料から流出した細粒分



図－5 加振後の試料の細粒分分布



図－6 周波数と加振後の細粒分分布の関係



図－7 試料内の振動加速度の分布