

研究成果報告書

研 究 題 目		減圧法によるメタンハイドレート生産中に生じる 出砂メカニズムの解明	実 施 年 度
			2022年度
代 表 研 究 者	所 属	山口大学 大学院創成科学研究科 工学系学域 社会建設工学分野	
	氏 名	吉本 憲正	
		印	

1. 研究の目的・背景

深海底地盤中に存在するメタンハイドレート（以下、MH と称する）は、日本が自給出来るエネルギー資源として、その開発が期待されている。エネルギー資源として開発の対象としている MH は、砂等の地盤の間隙を充填するように存在している。そのため、MH からメタンガスの生産は、地盤中で MH をメタンガスと水に分解し、メタンガスのみを生産井から取り出す方法で行われる。

生産手法については、エネルギー収支の関係から「減圧法」の利用が想定され、海洋産出試験においても適用されている。しかし、生産中に生産井に砂が流入してくる「出砂」と呼ばれる現象により、生産性の低下や生産が継続できないという問題が発生している。したがって、出砂対策は重要であり、その対策法を開発するためには、出砂が発生するメカニズムを解明する必要がある。

生産中の地盤内では、減圧法による応力の変化により、粒子破碎が生じ、その破碎した小粒子が図-1 のように移動し、出砂として生産井に流入すると考えられる。減圧法を再現した実験を実施し、実際に粒子破碎が起こるか確認し、かつ破碎により発生した小粒子の出砂の可能性を検討する必要がある。

本研究の最終目的は、図-1 に示すような減圧法による生産で問題となっている出砂に対する合理的な対策の提案、あるいは、出砂のメカニズムを踏まえた実現可能な生産手法の提案へと繋げることにある。その最終目標を達成するためには、減圧法を再現した実験を実施し、粒子破碎を確認するとともに、粒子破碎について定量的な調査をする必要がある。本研究では特に、実験を主体とした検討を行い、粒子破碎の発生量の定量的評価とその破碎粒子の移動の可能性の評価から、出砂メカニズムの解明へと繋げることを目的とする。

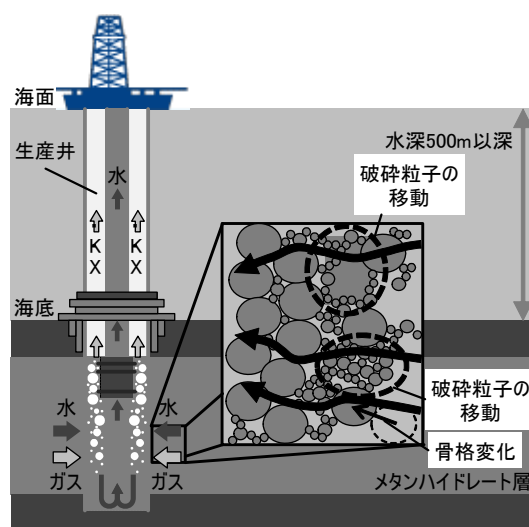


図-1 破碎粒子の移動のイメージ

2. 研究成果及び考察（申請時の計画に対する達成度合を織込む）

減圧法を適用すると、間隙水圧が減少し有効応力が増加する。その応力変化によって、粒子破碎が生じ、その細粒化した粒子が出砂に関連していると仮定し、減圧法の応力変化を実験装置内で再現した。その際の間隙水圧の変化は、減圧前 15MPa、減圧中 3MPa、水压回復後 15MPa とした。これに対応する有効拘束圧の変化は、 $5 \rightarrow 17 \rightarrow 5$ MPa である。減圧前の状態は、等方応力状態と初期せん断応力作用状態 ($q = 5, 7.2$ MPa) とし、MH の飽和率は 50% 程度である。

図-2 は、上述した応力履歴を与えた際の実験結果を示しており、軸差応力 q 、応力比 q/p' 、体積ひずみ ε_v と軸ひずみ ε_a の関係を示している。図中には、豊浦砂のみ (Case-S1、有効拘束圧 5MPa) のせん断試験結果も併せて示している。図より、初期せん断応力の値が高い程、軸ひずみや体積ひずみの発生量が多く、供試体が顕著に変形していることが確認できる。特に体積ひずみは、豊浦砂のみのせん断試験時よりも収縮側に発生量が多く、減圧による応力変化の影響が顕著に表れていることが確認できる。

一連の実験後の供試体を対象に粒度試験を実施した。その際に得られた粒度分布の結果を図-3 に示す。図より、いずれの条件の実験結果も原粒度よりも、左に粒度分布がシフトしており、細粒化が進んでいることが確認される。また、初期せん断応力が高い程、その傾向が強いことも確認され、先の変形量とも良い相関がみられる。これらのことから、減圧実験中の変形量は、粒子破碎に起因して発生していると推察される。また、初期せん断応力が高

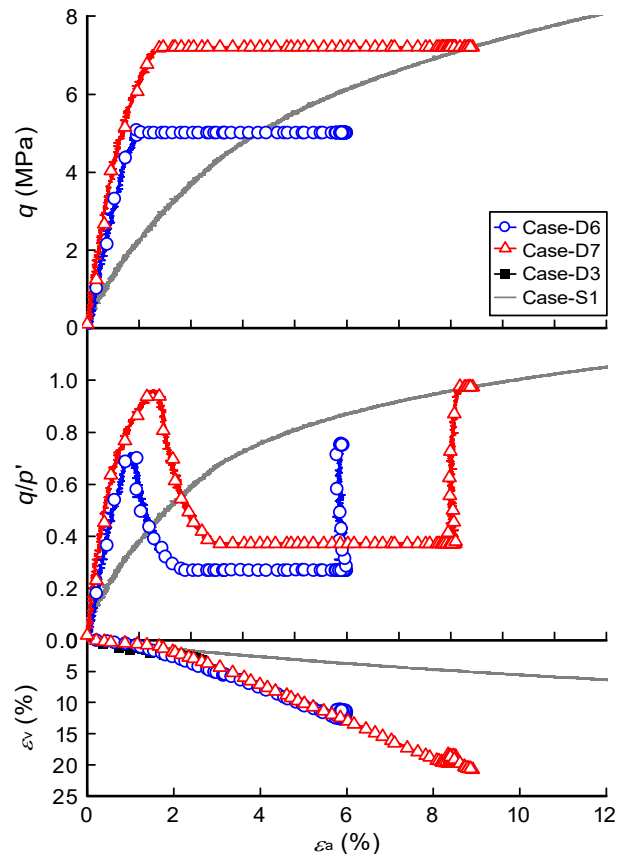


図-2 減圧時の軸差応力、応力比、体積ひずみと軸ひずみの関係

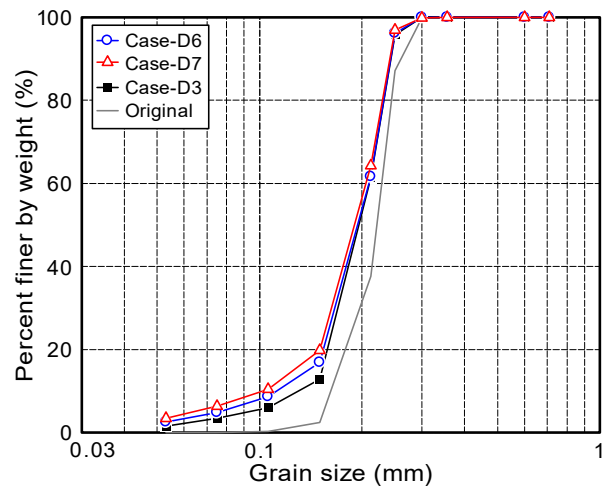


図-3 粒径加積曲線

い程，粒子破碎し易く，それにより，変形量も大きくなる．

破碎により変化した粒度分布を用い，Kenny ら¹⁾の内部浸食の指標を用いて実験前後の砂の移動のしやすさ（内部浸食のしやすさ → 出砂のしやすさ）を評価した．Kenny らは，内部浸食を起こさないためには，ある粒径 D の 4 倍の粒径 $4D$ の粒子質量含有率 H が，粒径 D の質量百分率 F 以上存在する必要があることを示している．言い換えると， $H/F < 1$ となると粒子が移動しやすくなるということである．本研究では， H/F を連続

的に評価するために，通過質量百分率が 50% となる粒径 D_{50} と各ケースにおける最小粒径の差を 1000 等分し，それぞれの粒径に対して H/F を求めた．評価結果を図-4 に示す．なお，検討結果に大きな影響はないため， H/F が 10 以上の値は省略している．実験後の破碎した粒度であっても， $H/F > 1$ を示しており，粒子が移動することは考えにくい結果となった．しかしながら，同じ粒径では，初期せん断応力が高い程， H/F の値は低下しており，粒子が移動しやすい方向へと変化していると考えられる．

以上より，減圧法を想定した検討の結果，粒子破碎が生じることが確認された．加えて，初期せん断応力が高い程，粒子破碎量が多くなることも確認された．破碎により変化した粒度に対して，粒子の移動のしやすさを検討した結果，移動する可能性は低いことがわかった．粒径の揃った破碎の生じにくい豊浦砂での結果であるため，実地盤で採取される試料によっては，粒子の移動が想定される可能性もあるといえる．

参考文献

- 1) Kenney, T. C., and D. Lau.: Internal stability of granular filters: Reply., Canadian Geotechnical Journal, Vol.23, (3), pp. 420-423, 1986.

【申請時の計画に対する達成度合】

本研究成果は，当初計画の約 90% を達成できたと判断している．達成できなかった 10% は，装置開発に時間を要し，実験結果が予定より少ないことによる．

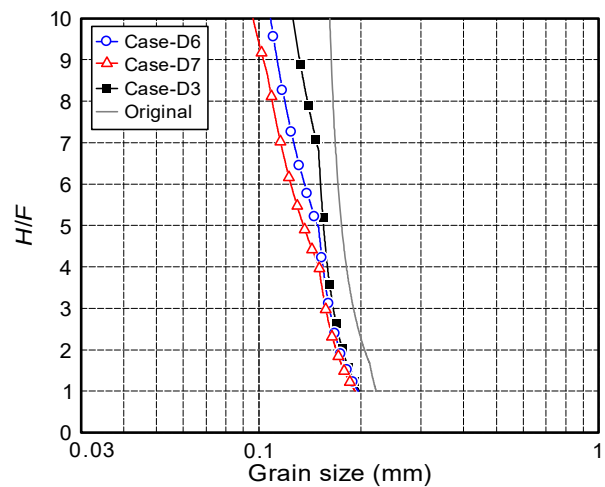


図-4 初期せん断量の異なる条件下の実験後の H/F の比較

3. 経費の使用状況（申請時の計画に対する実績を記述）

設備備品費については、供試体体積変化計測装置を新規に増設することを計画していたが、物価高や納期の問題から、現有装置の移設と機能回復の修理などで対応することとした。それに伴い、消耗の激しかった既存装置の一部の部品を更新することとした。

それ以外の消耗品や旅費などについては、若干の変動はあるものの、概ね、当初の計画に即して使用することができた。

若干の用途変更はあったものの、研究は問題なく遂行できた。

4. 将来展望（今後の発展性、実用化の見込み等について記述）

本研究では、減圧法の応力変化を実験装置内で再現した実験を行い、粒子破碎の発生量の定量的評価とその破碎粒子の移動の可能性について評価した。実験前に仮定した通り、減圧法を想定した実験の結果、粒子破碎が生じることが確認された。加えて、初期せん断応力が高い程、粒子破碎量が多くなることも確認された。しかしながら、破碎により変化した粒度に対して、粒子の移動のしやすさを検討した結果、実験前の想定とは異なり、移動する可能性が、低いことがわかった。したがって、本研究の条件では、出砂のメカニズムに粒子破碎は関係ないと考えられる。

しかしながら、本研究では、実地盤の試料の入手が出来なかったため、豊浦砂を使用して実施した。豊浦砂は粒径が揃っており、粒子を構成する鉱物もシリカが大半を占めている特性を持っている。実地盤の試料が、豊浦砂とは異なり、様々な粒径で構成されるなどらかな粒径加積曲線を有する、粒子を構成する鉱物も多様であるなどであれば、粒子破碎量もより顕著になり、破碎粒子の移動のしやすさも変わってくる可能性がある。したがって、出砂のメカニズムの解明には、引き続き、実地盤に即した試料での検討を行う必要があると思われる。

5. 成果の発表（学会での発表、学術誌への投稿等を記載。予定を含む）

学術誌に投稿するための原稿を作成中です（投稿予定 2023 年 9 月）。