

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 23 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2010

課題番号：22760356

研究課題名（和文）メタンハイドレート分解時の海底地盤の地すべりに関する研究

研究課題名（英文）A study on the ground deformation of ocean sediments during methane hydrate dissociation

研究代表者

木元 小百合（KIMOTO SAYURI）

京都大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：70362457

研究成果の概要（和文）：

本研究では、海底地盤中に存在するメタンハイドレート含有層のハイドレート分解時の変形挙動について、そのメカニズムを検討するとともに、化学-熱-力学連成解析法を用いて分解時の土骨格の変形や流体（メタンガスおよび水）の流れに伴う環境変動の予測を行った。

まず、化学-熱-力学連成解析手法を用いて室内実験をシミュレーションし、解析手法について検証した結果、分解速度、温度変化および沈下量について、実験結果を定性的、定量的に再現可能であることが明らかとなった。また、開発した化学-熱-力学連成解析手法を用いて、海底地盤を想定したガス生産時の分解シミュレーションを実施し、分解時の地盤変形挙動の予測を行った。その結果、分解がほぼ収束した後も変形が継続し、地表面近くで局所的な変形を生じる可能性があることが明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：

Gas production process during hydrate dissociation was simulated by using a chemo-thermo-mechanically coupled analysis method in the present study. Especially, the mechanical behavior such as, the ground deformation, the flow of fluids, and the heat transfer was investigated.

Firstly, laboratory test was simulated using the proposed numerical method. From the comparison between experiments and simulations, the proposed model can well reproduced the temperature change and the displacement during the dissociation.

Secondly, the simulation was conducted for the model with seabed ground with hydrate bearing layer in order to investigate the mechanical behavior during the production process. The results show that the deformation continues after the dissociation process and localizes around the ground surface.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・地盤工学

キーワード：メタンハイドレート、地盤力学

## 1. 研究開始当初の背景

石油、石炭など従来の資源開発では地下数千メートルの岩盤を対象としているのに対し、メタンハイドレート資源開発は、海底面下最大でも500メートル以浅の未固結地盤を対象としているため、ガス抽出時には地盤変形を引き起こすと考えられる。

我が国で主な開発対象とされている東部南海トラフ海域では、砂質土とシルト質土の互層からなるタービダイトにハイドレート濃集層が存在するとされており、これまでに基礎試錐によるサンプリング試料や、人工的に作製した模擬試料を用いた強度試験や分解試験が実施されている。しかしながら、分解と変形の連成挙動、すなわち固体から流体への相変化、熱の移動、変形挙動に着目した研究例は少なく、分解時の地盤全体の挙動のメカニズムは未だ解明されていない状況である。

## 2. 研究の目的

海底地盤中に存在するメタンハイドレート含有層のハイドレート分解時の変形挙動のうち、特に緩傾斜地で生じる危険性のある地すべりについて、そのメカニズムを検討するとともに、化学-熱-力学連成解析法を用いて分解時の土骨格の変形や流体（メタンガスおよび水）の流れに伴う環境変動の予測を行う。これにより、国内外で進められているハイドレート資源開発に伴う地盤不安定化に対する検討を行う。また、資源開発時だけでなく、気候変動など自然現象によるハイドレート分解時の地すべり発生の可能性について、解析的に検討する。

## 3. 研究の方法

まず、化学-熱-力学連成解析法を用いて室内実験をシミュレーションし、解析手法について検証した。解析に用いた有限要素メッシュについては実験条件と同様に円柱モデルとし、3次元解析コードを用いて減圧法による分解時のシミュレーションを行った。

次に、開発した化学-熱-力学連成解析法を用いて、海底地盤を想定したガス生産時の分解シミュレーションを実施し、分解時の地盤変形挙動の予測を行った。特に分解に伴い地すべりが生じる可能性について、解析的に検討した。大規模な海底地盤をモデル化して地すべり予測を行うため、通常の飽和土の水-土連成解析と比較すると、未知数として各節点のガス圧、温度が加わる。また、大変形を取り扱うため、updated Lagrangian 法を用いた有限変形理論に基づいて定式化した。

## 4. 研究成果

化学-熱-力学連成解析法を用いて室内

実験をシミュレーションし、解析手法について検証した結果、分解速度（図1）、温度変化および沈下量（図2、図3）について、実験結果を定性的、定量的に再現可能であることが明らかとなった。また、解析に用いる材料定数について検討したところ、分解速度係数についてはその値が大きいほど、数値的に不安定となることが明らかとなった。そこで、長期的な分解時の挙動を評価するため、分解速度係数を実験値の10分の1とすると、安定な数値解が得られた。

開発した化学-熱-力学連成解析法を用いて、海底地盤を想定したガス生産時の分解シミュレーションを実施し、分解時の地盤変形挙動の予測を行った。特に分解に伴い地すべりが生じる可能性について、解析的に検討した。大変形を取り扱うため、updated Lagrangian 法を用いた有限変形理論に基づいて定式化しており、変位については平面ひずみモデルで8節点アイソパラメトリック要素を用いている。実際の開発状況に近い条件で分解時の変形予測シミュレーションを行うため、生産井や海底面の傾斜を考慮した解析を行った。解析に用いた平面ひずみ有限要素モデルを図4に示す。その結果、分解がほぼ収束した後も変形が継続し、地表面近くで大きな変形を生じる可能性があることが明らかとなった（図5、図6）。

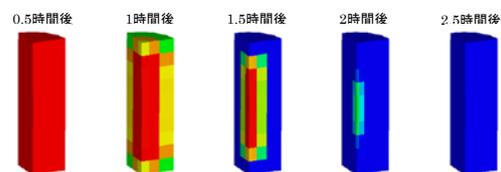


図1 ハイドレート残存度分布（解析）

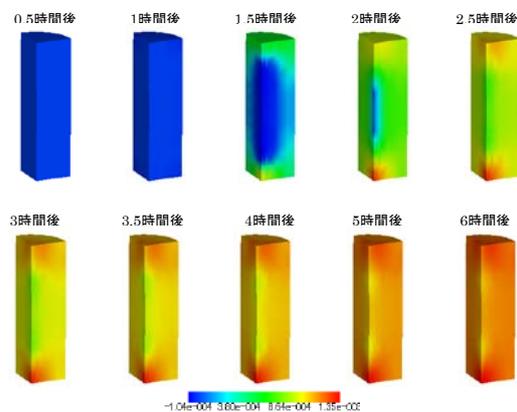


図2 体積ひずみ分布（解析）

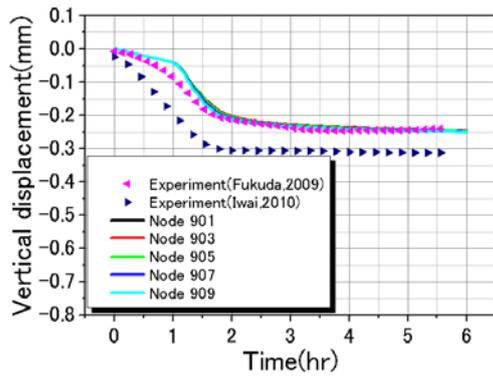


図3 垂直変位 (実験、解析)

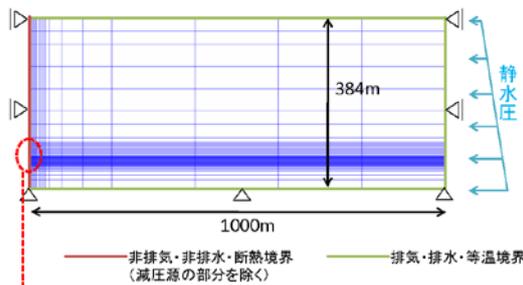


図4 解析に用いた有限要素モデル

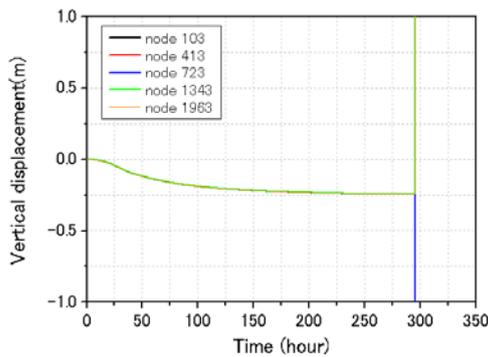


図5 海底面付近の垂直変位 (解析)

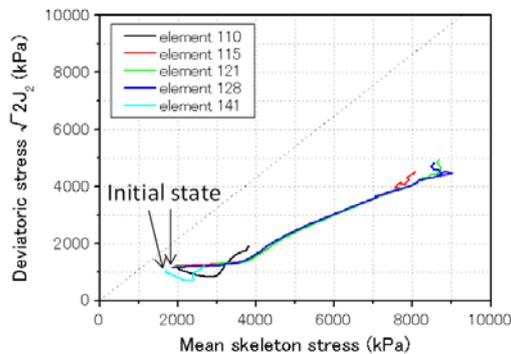


図6 減圧源付近の応力経路 (解析)

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 4 件)

① Kimoto, S., Oka, F., Miki, Y., Fukuda, T. and H. Iwai, A Chemo-Thermo-Mechanically Coupled Behavior during Gas Hydrate Dissociation and its Numerical analysis, 査読無, 2011, 85-92.

② Oka, F., Kimoto, S., Kitano, T., Iwai, H., and Higo, Y., A Numerical Analysis of Hydrate-Bearing Subsoil during Dissociation using a Chemo-Thermo-Mechanically Coupled Analysis Method, Proceeding of 4th International Conference GeoProc2011, 査読有, 2011, 論文番号 GP060.

③ Kimoto, S., Oka, F., Miki, Y., Fukuda, T., Iwai, H., Kitano, T., A chemo-thermo-mechanically coupled analysis of hydrate bearing sediments, The 14th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 査読有, 2011, 論文番号 TC103-5.

④ Kimoto, S., Oka, F., Fushita, T., A chemo-thermo-mechanically coupled analysis of ground deformation induced by gas hydrate dissociation, International Journal of Mechanical Sciences, 査読有, Vol.52, 2010, 365-376.

〔学会発表〕 (計 8 件)

① 木元小百合, 化学-熱-力学連成解析法によるメタンハイドレート海洋産出時の地盤変形シミュレーションに関する研究, 第3回メタンハイドレート総合シンポジウム CSMH-3, 2011年11月30日, 東京.

② 福田知晃, 木元小百合, 化学-熱-力学連成解析法を用いた CO<sub>2</sub> ハイドレート分解実験の三次元変形解析, 第46回地盤工学研究発表会, 2011年7月5日, 神戸.

③ 北野貴士, 木元小百合, 化学-熱-力学連成解析法を用いたメタンハイドレート海洋産出試験のシミュレーション, 第46回地盤工学研究発表会, 2011年7月5日, 神戸.

④ 木元小百合, 化学-熱-力学連成解析法によるメタンハイドレート開発時の地盤変形シミュレーションに関する研究, 第2回メタンハイドレート総合シンポジウム CSMH-2 2010, 2010年12月2日, 東京.

⑤ 木元小百合, A Chemo-Thermo-Mechanically Coupled Numerical Analysis during Gas Hydrate Dissociation, The Twenty-Third KKCNN Symposium on Civil Engineering, 2010年11月14日, Taipei.

⑥ 木元小百合, 多相連成解析法を用いた減圧法による CO<sub>2</sub> ハイドレート分解実験のシミュレーション, 第65回年次学術講演会, 土木学会, 2010年9月1日, 札幌.

⑦岩井裕正, 木元小百合, 減圧法による CO2  
ハイドレート含有砂試料の分解実験, 第 65  
回年次学術講演会, 土木学会, 2010 年 9 月 1 日,  
札幌.

⑧岩井裕正, 木元小百合, CO2 ハイドレート  
含有地盤の分解実験及び分解変形解析, 第 45  
回地盤工学研究発表会, 2010 年 8 月 18 日, 愛  
媛.

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

なし

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

木元 小百合 (KIMOTO SAYURI)

京都大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号: 70362457

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし