

令和 4 年 6 月 16 日現在

機関番号：12614

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K15094

研究課題名(和文) 海底表層地盤開発に向けた地盤骨格変形-流体浸透-熱輸送体系の統合

研究課題名(英文) Integration of structure-fluid-flux model for subsurface geo engineering

研究代表者

野村 瞬 (Nomura, Shun)

東京海洋大学・学術研究院・准教授

研究者番号：20705701

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：海底面と地殻に挟まれた境界部には必ず海底地盤が存在し、地球規模で見ると占有率は大きくないが、多様な物理化学現象が観察される領域である。地球ダイナミクスの解明とその産業利用に大きな期待が寄せられている当該領域の理解促進に向け、特殊な環境変化を伴う地盤状態を評価できる「土骨格-流体-熱化学連成手法の総合化」に向けた研究に取り組んだ。

研究過程では、物質溶解や地盤高温化過程を経て生じる種々の海底地盤環境の変化を評価するための地盤骨格の変形安定問題、流体浸透-物質輸送問題、熱輸送-状態変化関係の理論統合手法を検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

海底地盤の力学現象を把握するには土/水/空気で構成される多相混合体である地盤の力学体系を正記す必要がある。また、地盤中の熱や溶解物質が地盤内を運動する際、温度、圧力、濃度といった逐次変化する環境因子の中でそれらがどのように領域に伝播し波及していくか理論的に説明する必要がある。本研究では主に数理理論の構築に主眼を置き、質量保存則、混合体理論といった物理法則の根幹となる理論から理論体系の整理を行った。併せて、海洋構造物と地盤材料の境界における相互作用の理解を進めるための観察手法の構築が進み要素情報計測のための基盤技術が整った。

研究成果の概要(英文)：The seafloor ground always exists at the boundary between the seafloor and the crust, and the occupancy rate is not large on a global scale. However, it is an area where various physicochemical phenomena are observed as well other global boundaries. To elucidate the earth dynamics and promote understanding the area where great expectations are placed on its industrial use, the "soil-fluid-thermochemical coupling model" that can evaluate the spatio-temporal ground condition accompanied by special environmental changes has been developed. In the research process, I mainly tackled on (1) the deformation stability problem on the ground, (2) the fluid infiltration and material transport problem, and (3) the theoretical integration of the developed theory with the heat transportation process.

研究分野：地盤工学

キーワード：海洋地盤 数値解析 室内試験 混合体材料

1. 研究開始当初の背景

海底資源の産業利用に対する期待の拡大や、地震・津波対策に資する観測データの必要性を契機として、海底地盤の力学メカニズム解明に対する関心が高まっている。調査技術の発達により、地盤サンプルが高精度で採取できるようになり、原位置での応力測定も実施可能なレベルに迫っている。加えて、南海トラフに多量に存在するとされるメタンハイドレート以外にも、“マンガングラスト”や“レアアース泥”等、海底地盤には膨大な熱源や資源エネルギーが賦存している事実が明らかになっており、物理特性把握のための観測が日々続けられている。

地盤中の流体には、地殻から局所的に排出される希少金属を含んだ水溶性物質が溶解し、高い圧力を保ったまま地盤中を緩やかに流動している。さらに、地殻近傍の熱源からは多量の熱エネルギーが断続的に供給されており、熱拡散や化学変化を伴いながら地盤内で高い温度を保ったまま留まっている。また、地盤には海洋底層流や周期的な潮位変動による応力変化が断続的に作

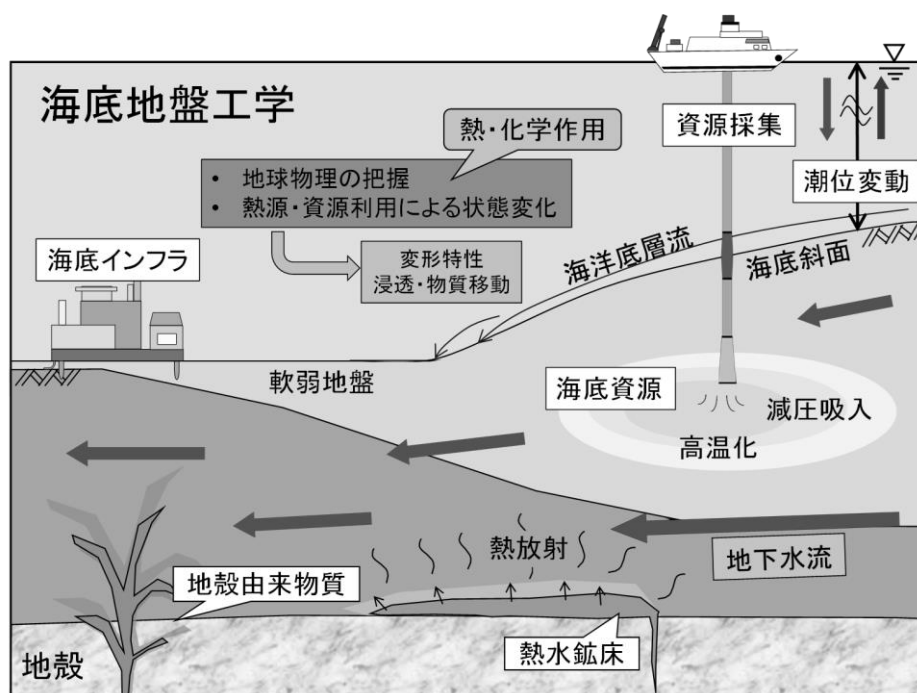


図-A 深海底地盤で生じる種々の力学現象

用しており、海底地盤災害のリスク管理が懸案事項となっている (図-A)。

海底地盤環境の特殊性が徐々に明らかになる一方、資源採取や災害観測のためのインフラ設営過程で地盤に作用する力学的インパクトによる①地盤骨格-流体の相互作用、地盤の環境変化によって引き起こされる②熱・化学作用による材料物性の変化を評価し、工学的に応用するための技術開発は十分に進んでいない。そのため、今日に至るまで、具体的な資源掘削技術の確立はおろか、海底災害に直結しかねない周辺地盤環境のマネジメント手法は十分に確立されていない。

2. 研究の目的

海底地盤の変形、浸透、物質輸送に関する研究は、地質学や岩盤工学、流体工学の専門家が現象を個別に分割し、独自に理論を構築してきた。

しかしながら、混合体材料である地盤の力学モデルを整理する際は、応力・水分含有量によって逐次変化する地盤骨格の変形特性と間隙流体の流動特性を分離して整理することは不可能であり、関係性が適切に考慮されていない理論の重ね合わせでは、複合的に生じる地盤骨格と間隙流体の相互作用を十分に評価できないという問題を根本的に有してきた。

研究過程では、これまでに構築してきた飽和/不飽和土地盤-間隙流体連成の理論に、モデル実験・数理論から得られる事実を実装することで体系化を進めることを念頭に、海底地盤で生じている特殊な諸現象をより俯瞰的な立場から、総合的に評価できる数理モデルの確立を目的とし研究を進めた (図-B)。

3. 研究の方法

海底地盤開発やインフラ整備に資する具体的な技術提案を視野に入れ、①地盤の変形安定性、②間隙溶液による物質輸送現象、③温度・圧力変化による気体-液体間相変化を評価するための基礎実験等を進め、得られた成果をもとに理論体系を構築し(図-B)、環境影響評価のためのツールの開発や観察技術の高度化を進めた(図-C)。

また、海底を大規模に移動する低層流の一部である海底乱泥流の実態把握のため、水路実験を通して当該流れの運動性を把握するとともに、流れの機構を支配する要因について、各種観測機器を用いて検討した。

4. 研究成果

開発を進めた数理モデル(図-B)をもとに、地盤の移流拡散現象の評価を行った。地盤内の動水勾配と空間の物質勾配に従って物質が移動する様子を確認することができた(図-D)。また、一次元の数値解析結果と理論解を比較したところ、両者の整合性は極めて高く、複雑な現象に対しても計算が精度良く行えていることが確認できた。

より現実的な挙動評価として、空間的に透水係数にばらつきのある地盤における物質移動の様子を再現した。地盤の透水係数のばらつきにより物質の広がりや異方性が生じることが確認された(図-E)。

別途、海底表層の低層流の評価のため、海底での大規模斜面崩壊の後に生じる海底乱泥流の実験的研究を進めた。実験により、初期に一定の濃度で放出された粒子混じり懸濁液(泥水)が周辺水との密度差によって領域下方に向かって低速で移動する様子を観察することができた。また粒子の濃度や領域への流入量とその継続時間を変化させることにより、流れの形態が多様に変化することが確認された。加えて、適切な観測機器を用いることで流動中の流体の内部構造や密度差に起因して発揮されている流速、流れが通過する際に事案との相互作用によって運搬・堆積する土砂量等の推定が可能になることが明らかになった。

研究を通して得られた知見は、海洋地盤に断続的に生じている複雑な諸現象を評価・観測するためのツールとして適切に高度化を進めることができた。研究を経て得られた基盤技術は継続的にその計算アルゴリズムや観測技術の改良等が進められている。

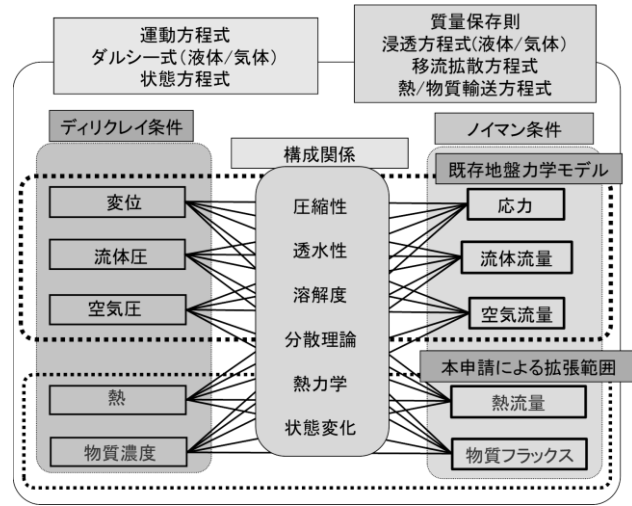


図-B 数理理論体系の概念図

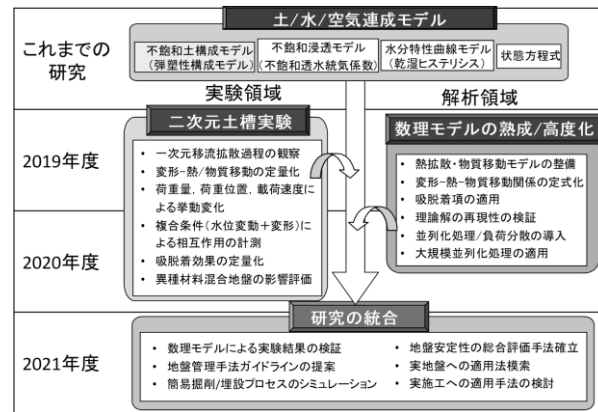


図-C 研究計画フロー(計画当初のもの)

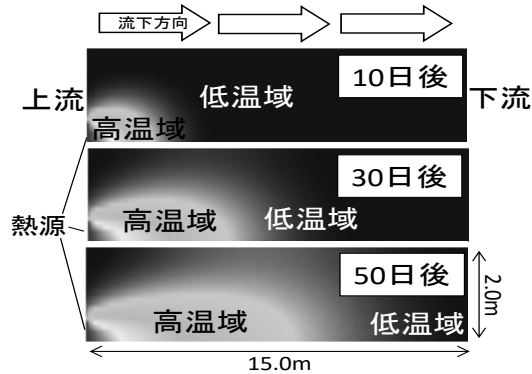


図-D 対流条件による高温域の拡大計算

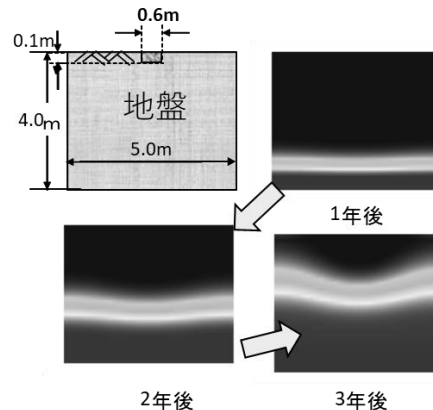


図-E 複雑な地盤条件における物質移動の例

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Nomura Shun, De Cesare Giovanni, Furuichi Mikito, Takeda Yasushi, Sakaguchi Hide	4. 巻 35
2. 論文標題 Quasi-stationary flow structure in turbidity currents	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Sediment Research	6. 最初と最後の頁 659 ~ 665
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijsrc.2020.04.003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Hitomi Jumpei, Nomura Shun, Murai Yuichi, De Cesare Giovanni, Tasaka Yuji, Takeda Yasushi, Park Hyun Jin, Sakaguchi Hide	4. 巻 136
2. 論文標題 Measurement of the inner structure of turbidity currents by ultrasound velocity profiling	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Multiphase Flow	6. 最初と最後の頁 103540 ~ 103540
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijmultiphaseflow.2020.103540	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Iizuka Atsushi, Tachibana Shinya, Takeyama Tomohide, Sugiyama Yuri, Nomura Shun, Ohta Hideki	4. 巻 6
2. 論文標題 Extension of unsaturated soil mechanics and its applications	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Geotechnical Research	6. 最初と最後の頁 156 ~ 176
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1680/jgere.18.00004	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 岩瀬良一, 野村瞬
2. 発表標題 音響層別流速計 (ADCP) 長期観測データの復旧と解析
3. 学会等名 第41 回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ryoichi Iwase, Shun Nomura
2. 発表標題 179th Meeting of the Acoustical Society of America
3. 学会等名 Long-lasting acoustic resonant signal associated with the turbidity current triggered by the 2003 Tokachi-oki earthquake (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野村瞬, 笠谷貴史, 阪口秀
2. 発表標題 有限要素法によるコーン貫入の数値解析
3. 学会等名 第55回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------