

令和 2 年 6 月 15 日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03304

研究課題名(和文)地質学・地盤工学的見地から海底岩盤の力学挙動の高精度モデル化

研究課題名(英文)High-precision modeling of mechanical behavior of seabed rock from the viewpoints of geoen지니어ing and geology

研究代表者

張 鋒 (Feng (Ho), ZHANG (Cho))

名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：70303691

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、プロトデコルマ層準とそうでない深海底堆積物を用いて静的・動的載荷と境界値問題の数値実験を実施し、以下の知見が得られた。最大圧密応力が圧密降伏応力 p_c の1.6-4倍の動的載荷を与えると面構造が発達する性質はプロトデコルマ層準とそうでない層準が共通である。4 p_c を動的載荷すると面構造の発達には振動回数に依存しないプロトデコルマ層準の特有性質が確認できた。沈み込み過程を時系列的な数値実験を実施し、デコルマを形成させる支配的な要因は静的せん断力ではなく、地震などの動的載荷である仮説を境界値問題としてもある程度検証できた。即ち精巧な海底岩盤力学モデルの確立がある程度できたといえる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地質学と地盤工学の見地からデコルマ形成メカニズムを解明するため、種々の室内力学要素試験、電子顕微鏡による微視的構造の観察と帯磁率異方性測定により、その巨視的力学特性と微視的構造の内在関係を調べた。また、地震荷重、プレート沈み込み時のせん断力を同時に受けた際、海底地盤の挙動を数値実験で調べた。その結果、微視的構造変化も適切に反映できる精巧な海底岩盤力学モデルの確立がある程度できた。従来の理論で全く解釈できない断層付近の種々の力学特性、例えば、静岩圧に近い間隙水圧の分布や、デコルマが高密度化にもかかわらず構造が保たれる現象の解明に繋がり、地震伝播メカニズムを解明する一つの手がかりとなる。

研究成果の概要(英文)：Following conclusions can be given: (1) If dynamic loading of 1.6-4 times p_c , then obvious anisotropic structure will be formed both in PD and non PD sediments; (2) If dynamic loading with a maximum pressure of 4 times p_c , no further development will be seen in PD sediments even if the dynamic loading is applied ceaselessly, a clear distinct characteristics different from non PD sediments, which largely supports the assumption that formation of dcollement is basically caused by dynamic loading not static shearing occurred in continuous subduction process of ocean plate to continent plate (SPOPCP); (3) Numerical simulations indicated that volumetric strain more than 5% did happened when PD sediments were subjected simultaneously to periodic earthquake loadings and continuous shearing due to SPOPCP, yet the structure of PD sediments remained undisturbed, a quite similar phenomenon of dcollement, that is, high density but random fabric kept unchanged.

研究分野：地盤工学、岩盤工学、耐震工学

キーワード：海洋工学 地質学 土壌圏現象 地震工学 解析・評価

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

プレート境界断層(デコルマ)の初期形成過程に関連する力学特性やその内部構造変化を理解することは、海溝型地震の発生メカニズムを検討する手掛かりとなる。なかでも、デコルマは内部組織を保持したまま高密度な状態にある特性を有しているが、そのメカニズムが解明されておらず、本研究グループはこれを解明するために、デコルマの形成過程で支配的な要因は静的せん断力ではなく、地震などの動的な有効応力変動であるという仮説を立て、房総産シルト岩や藤森粘土、三重県近海の自然堆積粘土を用いて要素レベルで動的荷重を受ける試料の巨視的変形特性を調査した。また、載荷前後における試料の内部組織を観察し、その微視的構造の変化も併せて観察してきた。これらの研究より、立てた仮説の検証およびデコルマ形成のメカニズムの解明に繋がる糸口になり得ることが示唆された。

2. 研究の目的

本研究ではこれらの研究を踏まえ、紀伊半島沖海溝付近で同じサイト採取したプロトデコルマ試料とそうでない海底堆積物試料を用いて、今まで使ってきた手法と同様に、 K_0 条件下での静的・動的載荷試験を実施した。また、載荷前後の内部組織変化を帯磁率異方性(AMS)測定で評価し、巨視的変形特性と微視的構造の変化に及ぼす影響を調べ、仮説を立証する。さらに、プロトデコルマを用いた圧密試験と三軸圧縮試験により、プロトデコルマ試料の材料常数を決め、我々が提案した水土連成静的・動的一貫したFEM解析を実施し、動的外力(地震)と静的せん断(プレート沈み込み)を時系列的に受けるプロトデコルマの力学挙動の数値実験により、境界値問題であるデコルマの形成過程のメカニズムを究明する。

3. 研究の方法

3. 1 プロトデコルマ試料を用いた検証

本試験には、紀伊半島沖で採取(掘削計画:IODP Expeditions 333)されたプロトデコルマ層準と推定される試料 Site C0011D-00012H-02-WR (以下、S1)と試料 Site C0011D-00018H-06-WR (以下、S2)を用いた。試料は直径 49.7 mm×高さ 20 mm に端面整形し、S1の整形残土を用いて物理試験を実施した。

S1の基礎的な力学特性および静的・動的荷重が内部構造へ与える影響を把握するために、原位置の応力状態である K_0 条件下で動的載荷試験を実施した。瞬間最大応力が圧密降伏応力を超えない Case A とそれを確実に超える Case B、および振動回数を増やした Case C である。なお、試験には K_0 載荷装置を使用し、全過程において両端排水条件で実施した。 K_0 動的載荷試験から得られた鉛直変位量～振動回数関係を Fig. 1 に示す。なお、図中の縦軸は動的載荷開始直前の変位を 0 mm とした鉛直変位の値である。Case A では瞬間最大応力が圧密降伏応力を超えていないにも関わらず、動的載荷による鉛直塑性変位が約 0.2 mm 生じている。さらに、Case B では約 0.75 mm、Case C では約 0.96 mm 発生している。Fig. 2 に載荷試験前後で測定した AMS の結果を示す。図中の L 値、 F 値はそれぞれ粒子の配列方向が線構造または面構造であることを間接的に把握する指標である。試料の初期状態に着目すると、 L 値と F 値がほぼ対称軸上に位置しており、等方的な粒子配列であることが分かる。一方、定ひずみ速度圧密試験実施後の測定では、圧密により面構造が発達していることが確認できる。Case A～Case C の測定結果に着目すると、すべての試験ケースにおいて塑性鉛直変位が発生しているにも関わらず、面構造の発達が見られない。また、 K_0 動的載荷試験に用いた試料は動的荷重を与える直前に初期圧密応力として p_c 付近まで静的載荷を受けているにも関わらず、面構造は一切発達していない。これらの結果から、圧密降伏応力は面構造の発達に関与していないと考えられる。言い換えれば、面構造が発達する「閾値」が p_c よりも大きな荷重レベルに存在する可能性がある。

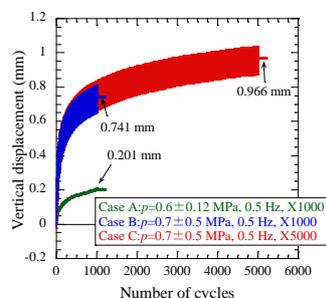


Fig. 1 K_0 動的載荷試験結果

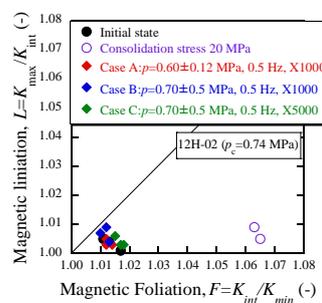


Fig. 2 AMS 測定結果

S2を用いて定ひずみ速度圧密試験を実施した。得られた結果より、S2の圧密降伏応力は 0.95 MPa であると推定できる。得られた圧密降伏応力を踏まえ、上述の「閾値」を調査することを目的に Case S-02 では $2p_c$ (1.9 MPa) まで載荷した。図には示していないが、載荷後の Case S-02 の AMS 結果に着目すると、僅かながら F 値が発達していることが分かる。すなわち、荷重が $2p_c$ に達した時点で「閾値」を超えていると判断できる。前節で、「閾値」は p_c よりも大きな荷重レ

ベルに存在すると示されていることも考慮すれば、上記の「閾値」は p_c から $2p_c$ の間に存在する可能性がある。この結果を踏まえ、動的荷重によって瞬間的に「閾値」を超える場合の力学特性と内部組織変化を観察するために、 K_0 動的載荷試験を実施した。 p_c を初期圧密応力として瞬間最大応力が「閾値」を超えているであろう Case D と、より明確な内部構造変化を観察するために最大 $4p_c$ まで荷重を与える Case E である。 K_0 動的載荷試験から得られた、鉛直変位～振動回数関係を Fig. 3 に示す。1000 回の動的載荷により Case D では約 0.96 mm、Case E では約 0.91 mm の塑性鉛直変位が発生していることが分かる。また、 K_0 動的載荷試験後に実施した AMS 測定の結果を、定ひずみ速度圧密試験後の結果と合わせて Fig. 4 に示す。Case D に着目すると、1.9 MPa の静的荷重を作用させた Case S-02 における F 値の発達とほぼ同等の結果が得られていることが分かる。つまり、静的・動的荷重を問わず「閾値」を超えた荷重が作用した場合、面構造が発達し始めると考えられる。また、Case E では Case S-02 や Case D の測定結果よりも大きく F 値が発達していることが確認できる。すなわち、「閾値」を大きく超える荷重が作用する場合、面構造の発達が顕著になると言える。

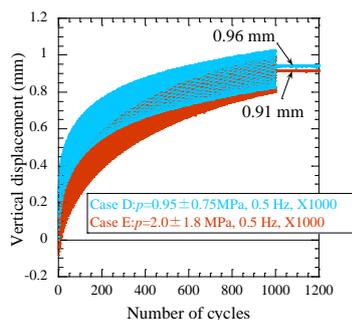


Fig. 3 K_0 動的載荷試験結果

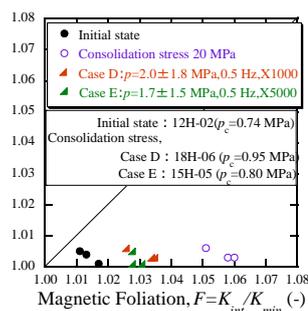


Fig. 4 AMS 測定結果

3. 2プロトデコルマでない海底堆積物試料を用いた検証

(1) 静的・動的載荷試験

3. 1 でプロトデコルマ試料を用いた検証を行った結果、以下の可能性が示唆された：

- 圧密降伏応力付近において、面構造が発達し始める動的荷重の閾値が存在する
- 最大圧密応力を圧密降伏応力の 4 倍とした動的載荷において、面構造の発達は振動回数の増加に依存しない

これらの結果が「弱く粒子間セメントが発達している泥質岩で特徴付けられるプロトデコルマ層準特有の性質」であるかを検証する必要がある、それとは異なる深海底堆積物試料を用いた K_0 条件下での静的・動的載荷試験と、その前後において AMS 測定を同様な手法で実施した。本試験には、室戸岬沖で採取されたデコルマ層準の直上に位置する深海底堆積物試料 C0023A-38R-04 を使用した。試験は全過程において両端排水条件で実施した。プロトデコルマ層準試料を用いた動的載荷試験では、①圧密降伏応力の 1.62 倍の荷重を作用させた場合、面構造は発達せず、②圧密降伏応力の 4 倍の荷重を作用させた場合、面構造が発達した。これらの結果に基づいて、本試験では、最大圧密応力を圧密降伏応力の 1.62 倍（最大 16.5 MPa）と 4 倍（最大 40.8 MPa）した Case 2 と Case 3 を設定した。また、動的載荷の前後で AMS 測定を実施するため、各ケースで同一試料を使用し、面構造の振動回数依存性を検証する。例えば、Case 2 では 1000 回の動的荷重を載荷した後に、AMS 測定を実施し、その後 4000 回、5000 回の動的荷重を作用させた。この場合、Sample No.2 は合計 10000 回の動的荷重が作用したことになる。

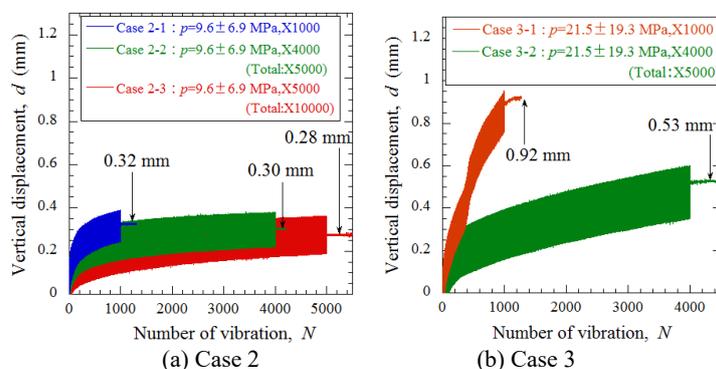


Fig. 5 鉛直変位量～振動回数関係

静的載荷試験 (Case 1) で得られた e - $\log p$ 関係から試料 C0023A-38R-04 の圧密降伏応力は、三笠法で求めると 10.2 MPa となった。一方、動的載荷試験 (Case 2-1～2-3) の鉛直変位量～振動回数関係を Fig. 5(a) に示す。図中の縦軸は、動的載荷開始直前の変位を 0 mm とした鉛直変位の値である。各ケースにおける塑性変位量は、Case 2-1 で約 0.32 mm、Case 2-2 で約 0.30 mm、

Case 2-3 で約 0.28 mm 発生した。この結果から、圧密降伏応力の 1.62 倍の荷重が 1000 回以上作用した場合の塑性変位量は、振動回数の増加に依らず同程度であると考えられる。動的載荷試験 (Case 3-1 および 3-2) の鉛直変位量～振動回数関係を Fig. 5 (b) に示す。本試験ケースで発生した塑性変位量は、それぞれ 0.92 mm と 0.53 mm である。Case 3 は、最大圧密応力が $4p_c$ であり、Case 2 の最大圧密応力と比較して大きいため、変位が大きく発生したと考えられる。

(2) 帯磁率異方性測定

AMS 測定は、試料に含まれる磁性鉱物の形状異方性の優位な方向を示し、間接的に内部構造の変化を調べることが可能な指標である。 F 値が大きいほど、粒子配列方向が面構造に発達したことを意味する。プロトデコルマ層準試料 C0011D-12H-02 および C0011D-18H-06、C0011D-15H-05 の結果 Fig. 2 と Fig. 4 と Fig. 6 に示す本試験で測定された AMS 測定結果を比較して (Fig. 2 対 Fig. 6 (a); Fig. 4 対 Fig. 6 (b))、下記の事実が見えてくる。プロトデコルマ層準試料に着目すると、最大圧密応力が $1.62p_c$ の動的載荷試験 (Case B, C) では、載荷後の F 値の発達は認められない。一方、最大圧密応力が $4p_c$ の動的載荷試験 (Case D, E) では、振動回数の増加に依存しない F 値の発達が確認された。次に本試験の AMS 測定結果である Fig. 2 (a) に着目すると、静的載荷試験 (Case 1) と最大圧密応力が $1.62p_c$ の動的載荷試験 (Case 2) では、初期状態と比較して載荷後の面構造の発達は認められない。一方、Fig. 2 (b) & (c) に着目すると、最大圧密応力が $4p_c$ の動的載荷試験 (Case 3) では、振動回数の増加に伴って F 値の発達が確認された。これは、圧密降伏応力の約 10 倍の 80 MPa が作用する Case 1 において F 値が発達しなかったことを踏まえると有意である。これらの結果から、「①最大圧密応力が $1.62p_c$ の動的載荷において、面構造は発達せず、②最大圧密応力が $4p_c$ の動的載荷においては、面構造が発達する」性質は、プロトデコルマ層準と共通であると考えられる。また、「最大圧密応力を圧密降伏応力の 4 倍とした動的載荷においては、面構造の発達は振動回数の増加に依存しない」性質は、Case 3 の振動回数の増加に伴って面構造が発達する傾向と対照的である。言い換えれば、プロトデコルマ層準特有の性質だと考えられる。

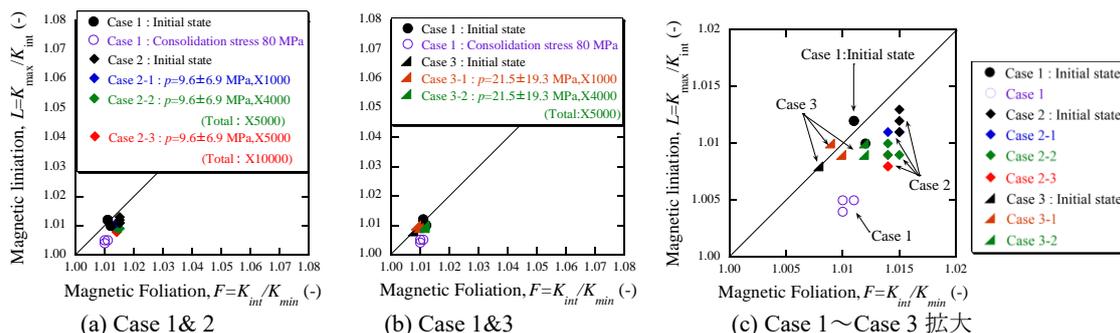
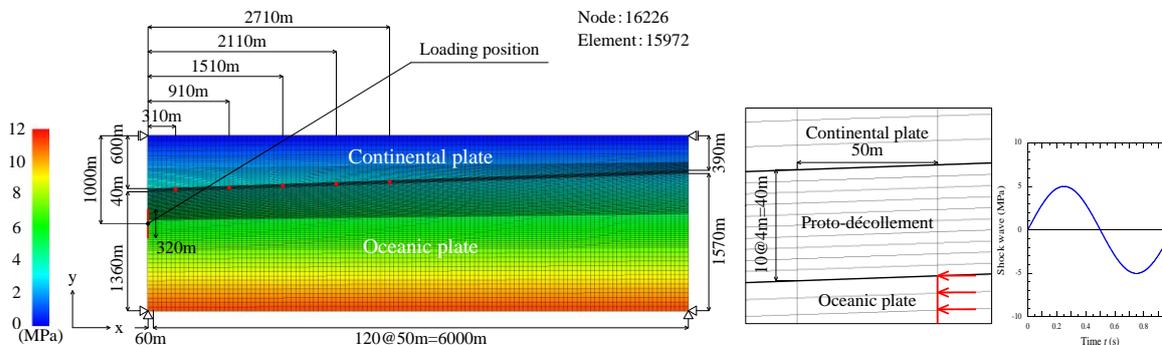


Fig. 6 深海底堆積物試料の AMS 測定結果

3. 3 動的外力(地震)と静的せん断(プレート沈み込み)を受けるプロトデコルマの力学挙動の数値実験

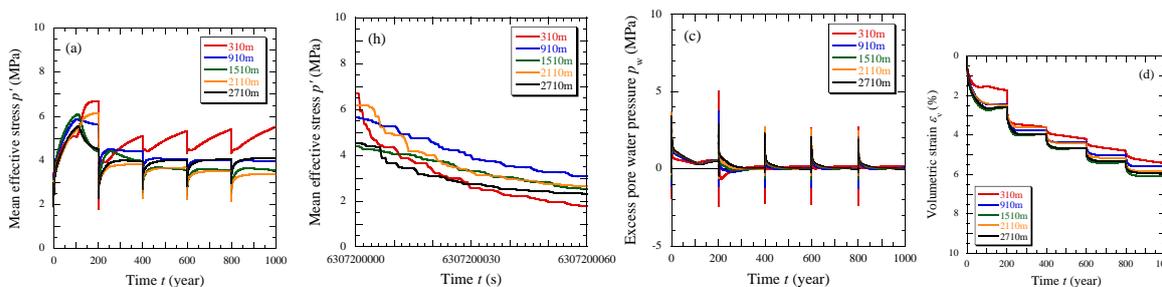
南海トラフで観察されたデコルマは、プレート沈み込みによる常時のせん断と瞬間的な地震動を長期間受けることで形成されたものと考えられる。本章では、プロトデコルマを含んだ海底岩盤に対してこれらの外力を同時に作用させ、その応答を時系列的に検証した。解析では、連続的に発生する静的荷重と断続的に繰り返し発生する動的荷重を時系列に沿って複合的に作用させた。Fig. 7 に解析に用いられた FEM メッシュと載荷等の境界値条件を示す。動的外力は、地震動が遠方より伝播してくることを想定し、解析メッシュの左側面に位置する海底面下 1000m を中心とした鉛直幅 320m の岩盤に水平方向の面的振動荷重を 200 年一度繰り返し与え、Fig. 7 (c) に示す周波数 1 Hz、最大振幅 5 MPa を有する 1 波の sin 波である。また、南海トラフの海洋プレートの沈み込み移動を忠実に再現するために、Fig. 7 (b) に示す年間 4 cm のプレート移動量を海洋プレートの両側面だけでなく、赤線上に位置する全ての節点に対して、1000 年間に与え続けた。初期応力は、飽和状態の自重応力場として与えた。海底地盤は飽和状態と仮定し、水土連成静的・動的一体化 FEM 解析を実施した。解析の要となる地盤定数の設定について、プロトデコルマと過去の海溝付近のサンプル試料を用いた排水三軸圧縮試験結果に基づき決定した。ここに言う地盤材料は回転硬化型弾塑性構成則(Cyclic Mobility model)に含まれるパラメータである。Fig. 8 に解析で得られたプロトデコルマ (せん断帯を構成する地盤材料) の各要素の力学挙動を示す。過剰間隙水圧に着目すると、地震動荷重が作用する度に急激に変化するが、プレート沈み込み運動の過程で消散していく。一方、平均有効応力は、過剰間隙水圧の消散に伴い回復し、上昇傾向にある。なお、平均有効応力は、動的荷重を受ける度にパルスのような応答を示しているが、拡大図 Fig. 8 (b) から分かるように単なる時間スケールの問題であり、解析結果はスムーズに変化していることが分かる。ここで、プロトデコルマで発生した体積ひずみに着目す

ると、プレート沈み込み運動の過程においても若干の体積圧縮挙動を示すが、プレート沈み込み運動の過程で発生する体積ひずみの大部分は、動的荷重で発生した過剰間隙水圧の消散（圧密）に寄与するもので、プレート沈み込み運動によるプロトデコルマの大圧縮にはほとんど寄与していないことがわかる。一方、1000年間に発生した体積ひずみは、既に6%にも達しているが、内部の構造や応力誘導異方性に顕著な喪失と発展は見られない（図には示していないが）。したがって、常に作用している沈み込みせん断に加え、複数回の地震動荷重が海底岩盤に作用するとプロトデコルマは内部組織を維持したまま、大圧縮が起こりうる可能性が極めて高いことを示した。すなわち、デコルマを形成させる支配的な要因は静的せん断力ではなく、地震などの動的載荷であるという仮説を境界値問題としてある程度検証できたと言える。



(a) 南海トラフの海底岩盤 (b) 沈み込む静的せん断力 (c) 繰り返し発生する地震荷重

Fig. 7 南海トラフ沈み込み過程に発生する静的せん断力と瞬間的な地震荷重を時系列に沿った再現解析



(a) 平均有効応力 (b) 拡大図(200年付近の60秒間) (c) 過剰間隙水圧 (d) 体積ひずみ

Fig. 8 繰り返し地震動とプレート沈み込み運動を受ける海底地盤の力学挙動の解析結果

4. 研究成果

本研究では、プロトデコルマ層準とそうでない深海底堆積物を用いた K_0 条件下での静的・動的載荷と境界値問題の数値実験を実施した。以下に得られた知見を示す。

- 「最大圧密応力が圧密降伏応力の1.62倍の動的載荷において、面構造は発達せず、②その4倍の動的載荷においては、面構造が発達する」性質はプロトデコルマ層準と深海底堆積層準で共通である。
- 「最大圧密応力を圧密降伏応力の4倍とした動的載荷においては、面構造の発達は振動回数の増加に依存しない」と言う、同一振動条件下における面構造発達の限度は、プロトデコルマ層準特有の性質である。
- また、沈み込み過程を時系列的な数値実験を実施し、デコルマを形成させる支配的な要因は静的せん断力ではなく、地震などの動的載荷であるという仮説を境界値問題としてある程度検証できたと言える。但し、解析メッシュがまだ粗く、時間もせいぜい1000年であることから、今後はより細かいメッシュと長いスパン（10万年オーダー）で検証していく必要がある。

以上の成果に踏まえ、「地盤工学的見地からのプレート境界水平断層（デコルマ）形成メカニズムの解明」という研究目的で、地質学と地盤工学の見地から、デコルマの形成メカニズムを解明するための力学モデルに関する仮説を打ち立て、種々の室内力学要素試験、電子顕微鏡（SEM）による微視的構造の観察および帯磁率異方性（AMS）の測定により、地盤材料の巨視的力学特性と微視的構造の内在関係を綿密に調べ、地震荷重、プレート沈み込み時のプレート境界付近に発生したせん断作用など様々な外力を受けた場合のデコルマの挙動を数値実験で調べた。その結果、申請者らが提案した数値モデルの合理性は少なからずあることがわかってきた。このような誰も取り込んでいない難題に挑み、学際的研究により、微視的構造変化も適切に反映できる精巧な海底岩盤力学モデルの確立を一步前進させたことは当初目指した目標がある程度達成できたと言え、地盤工学と地質学に貢献できることは間違いない。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計19件（うち査読付論文 19件／うち国際共著 19件／うちオープンアクセス 19件）

1. 著者名 Wang Zhen, Gu Linlin, Shen Mingrong, Zhang Feng, Zhang Guokai, Deng Shuxin	4. 巻 43
2. 論文標題 Influence of Shear Rate on the Shear Strength of Discontinuities with Different Joint Roughness Coefficients	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Geotechnical Testing Journal	6. 最初と最後の頁 20180291
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1520/GTJ20180291	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 Zhang Feng, Xiong Yong-lin, Itani Yusuke, One Eishi	4. 巻 4
2. 論文標題 Thermo-elasto-viscoplastic mechanical behavior of manmade rock and its numerical modeling	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Underground Space	6. 最初と最後の頁 121 ~ 132
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.undsp.2018.12.003	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 220.Y. L. Xiong, G. L. Ye, Y. Xie, B. Ye, S. Zhang and F. Zhang	4. 巻 14
2. 論文標題 A unified constitutive model for unsaturated soil under monotonic and cyclic loading	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Acta Geotechnica	6. 最初と最後の頁 313-328
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1007/s11440-018-0754-2	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 Morikawa Yukihiko	4. 巻 18
2. 論文標題 NUMERICAL ANALYSIS ON MECHANISM OF DEWATERING AS A MITIGATION METHOD AGAINST LIQUEFACTION	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of GEOMATE	6. 最初と最後の頁 68-75
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.21660/2020.66.9407	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 Kamiya Nana, Yamamoto Yuzuru, Zhang Feng, Lin Weiren	4. 巻 29
2. 論文標題 Vitrinite reflectance and consolidation characteristics of the post middle Miocene Forearc Basin in central and eastern Boso Peninsula, central Japan: Implications for basin subsidence	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Island Arc	6. 最初と最後の頁 1-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1111/iar.12344	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 Ma Junnan, Xiong Xi, Yang Jiangtao, Mikami Ryota, Shi Zhenming, Zhang Feng	4. 巻 8
2. 論文標題 Element tests on hydraulic-mechanical behavior of saturated/unsaturated landslide dam materials	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Geotechnical Society Special Publication	6. 最初と最後の頁 360 - 365
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.3208/jgssp.v08.j30	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 KAMIYA Nana, ZHANG Feng, FUKUOKA Junichi, KATO Yushi, LIN Weiren	4. 巻 69
2. 論文標題 Strain Softening of Siltstones in Consolidation Process	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Society of Materials Science, Japan	6. 最初と最後の頁 250 - 255
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.2472/jsms.69.250	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

〔学会発表〕 計1件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 加藤優志, 福岡純一, 栗本悠平, 山本由弦, 阪口秀, 岩井裕正, 張鋒
2. 発表標題 K0条件下で種々の載荷を受ける海洋堆積物試料の力学特性と内部構造変化
3. 学会等名 地盤工学会研究発表会
4. 発表年 2018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
研究 分担者	山本 由弦 (Yamamoto Yuzuru) (10435753)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・数理科学・先端技術研究分野・分野長代理 (82706)	
研究 分担者	岩井 裕正 (Iwai Hiromasa) (80756908)	名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・助教 (13903)	
研究 分担者	阪口 秀 (Sakaguchi Hide) (10235145)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・数理科学・先端技術研究分野・分野長 (82706)	削除：2018年7月25日