

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 10 月 22 日現在

機関番号：13903

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25630200

研究課題名(和文)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

研究課題名(英文)Investigation on the formation mechanism of the decollement zone in the viewpoint of geomechanics

研究代表者

張 鋒 (Zhang, Feng)

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) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、プレート境界断層であるデコルマの静動力学特性を把握するために、房総産シルト岩と再構成藤森粘土を用いてK0条件における静的・動的載荷試験と動的載荷試験を実施し、その力学特性と試験前後の内部組織を観察した。その結果、地震動など動的荷重が深海掘削で観察されたデコルマの巨視的・微視的特性をもたらした可能性が高いことが分かった。南海トラフの海底岩盤をモデル化し、二次元有限変形FEM静的・動的解析による数値実験も実施し、連続的な静的せん断変形と瞬間的な動的荷重を時系列的に与え、海洋プレート沈み込み過程を再現した。その結果、デコルマの形成主因として、動的外力がその一つである可能性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：Based on the assumption that cyclic loadings may be a main reason for the formation of decollement, siltstone and remolded Fujinomori clay are tested with static/dynamic loads. Meanwhile, anisotropy of magnetic susceptibility (AMS) and SEM are also measured to check the changes of micro-structure of the tested specimen. It is found that no major fabric variation happened though deformation occurred due to cyclic loadings, which is exactly the same as the characteristics of decollement. Furthermore, the process of the oceanic plate subducting beneath into continental plate and the dynamic loading of earthquake are simulated by numerical tests to investigate their influence on decollement. It is found that, the simulated results are similar to the observed micro-structural characteristics of decollement. In other words, the repeated dynamic loading due to earthquake is apparently the main mechanism to form the decollement zone.

研究分野：地盤工学

 キーワード：プレート境界断層 デコルマ プロトデコルマ 動的荷重 プレート沈み込み運動 数値実験 AMS SE
M

1. 研究開始当初の背景

日本列島周辺には4つのプレートが存在し、プレート境界の一つである南海トラフにおいては今後巨大地震が発生すると予測されている。地震発生帯形成のメカニズムを検討するために、南海トラフで、海洋プレートが大陸プレートの下に沈み込む直前と直後の地点で、日・米・欧が参加する国際深海掘削計画 Integrated Ocean Drill Program (IODP) による深海掘削が行われた。四国南方沖の南海トラフでは、海洋プレートが沈み込む際に、大陸プレートに削り取られて大陸側に付加する堆積物と、そのまま沈み込む堆積物の境界に、デコルマと呼ばれる巨大水平断層の存在が確認されている。また、海洋プレートが沈み込む直前の堆積物に含まれ、後にデコルマになるデコルマ相当層準(プロトデコルマ)の存在も確認された。しかし、主に数 mm~数 cm 程度の断層角礫で構成されているデコルマゾーンの密度と内部組織を調べると、粒子間のセメンテーションが崩壊し、圧密が進行して高密度化されているにもかかわらず(周辺地盤の密度より約15%高い)、角礫内部ではランダムファブリック構造がそのまま存在し、せん断の形跡が見あたらないことが最近の地質学研究で明らかになった。このことは断層がせん断によってできた従来の認識とは全く異なり、別の要因が存在する可能性を示唆している。

そこで、本研究では、地盤力学の実験方法と数値解析手法により、世界で初めて地球深部探査船「ちきゅう」号により採集されたデコルマ層準とプロトデコルマ層準のサンプル試料を用いて、プロトデコルマ~デコルマになる過程で、せん断ではなく、動的外力が主に寄与している大胆な仮説を立て、そのメカニズムの解明を室内試験と数値実験により試みる。

2. 研究の目的

(a) まずプロトデコルマ層準に相当する各種地盤材料のサンプルを用いた室内要素試験を名古屋工業大学で実施する。単調せん断荷重および動的荷重を与えた場合の地盤材料の力学特性および密度変化を調べ、デコルマの形成に最も影響の大きい外力の種類を割り出す。

(b) 一方、内部構造を調べるためには、SEMによる微細構造の観察、帯磁率異方性の変化を調べるなど地質学的な研究は JAMSTEC で実施する。デコルマ層準と室内試験で各種

載荷を受けたプロトデコルマ層準の特性を比較することにより、すでに明らかになっているデコルマの特徴である「構造が保ったまま密度が大幅に増加」の原因を突き止める。(c) 以上の二つの作業はいずれも要素レベルの実験であり、海洋プレートが大陸プレートの下に沈み込む過程でできたデコルマ層準はあくまでも境界値問題であり、要素試験だけでは説明しきれない点がいくつか存在することから、この沈み込み過程を静的・動的 FEM 解析による数値実験で検証し、せん断以外の外力が原因になる可能性を突き止める。

本研究は地盤工学と地質学の最先端技術を融合して、全く未知のデコルマ形成現象を解明しようとする挑戦的な研究であり、解明の糸口を掴めれば、海溝型地震断層の形成、エネルギーの蓄積による発展および破壊伝播過程を理解することに役立つことを目的とする。

3. 研究の方法

3.1 プロトデコルマ層準に相当する種々の地盤材料の室内要素試験および微視的構造の変化の観察

デコルマを形成する角礫内部では、ランダム組織を維持したままセメンテーションが崩壊することで高密度化し、従来の地盤工学で認識されてきた“せん断変形による大圧縮に伴う高密度化”と矛盾している。本研究では、地震動による低周波水圧変動がデコルマにおいて発生していること、構造を有する砂は振動により大圧縮するという実験事実に着目し、従来の認識とは大きく異なるプレート境界断層の初期形成メカニズムに関する仮説を立てた。すなわち、デコルマ初期形成時において支配的な役割を果たすのは、せん断変形ではなく、地震などによる動的外力であると仮定した。この仮説を検証するために、プロトデコルマとデコルマの原位置応力状態を再現し、静的載荷だけでなく数 Hz の動的載荷も可能な圧密試験装置を開発した。この試験装置を用いて、種々のコア試料に静的・動的荷重を与え、その巨視的変形特性と微視的内部組織の変化を評価し、デコルマ形成メカニズムの解明を試みる。本研究では、デコルマの初期形成時の基礎的な力学特性を理解する第一歩として、南海トラフと同じくプレート境界近傍に位置する房総半島の海溝斜面被覆層から容易に採取できる房総産シルト岩と、陸起源の海洋堆積物を模擬し

た再構成藤森粘土の 2 種類の試料を用いて K_0 条件における静的・動的載荷試験を実施した結果を報告する。デコルマの初期形成に最も影響を与える外力を割り出すために、動的荷重を受ける試料の変形特性と載荷前後の粒子配列および内部組織変化に着目した。

一方、静的載荷試験や動的載荷試験の室内要素試験は、あくまでも種々の外力を受ける際の巨視的変形特性を把握するものであり、微視的内部組織や各種物理特性の変化は岩石学と地質学の手段を用いて分析する必要がある。そこで本研究では、走査型電子顕微鏡 (SEM) 観察と帯磁率異方性測定を併用し、載荷前後の試料内部の微細組織を検討した。帯磁率とは外部から与えた磁場に対して試料が獲得した磁場強度であり、与える磁場の方向により帯磁率が異なる性質を帯磁率異方性 (Anisotropy of Magnetic Susceptibility, AMS) という。帯磁率異方性は岩石に含まれる磁性鉱物粒子の形状や寸法、配列などにより生じるものであり、材料の内部組織、特に粒子の配列方向に強く依存するため、その違いを測定することで、粒子配列の変化を把握するのに有効である。一連の室内試験により、下記のことになった：

1) 房総産シルト岩を用いた高圧条件下における K_0 動的載荷試験より、全試験ケースにおいて動的載荷を受けると塑性変形するにも関わらず、内部組織に顕著な変化は見られなかった。また、一部の試験ケースにおいては、数百回の動的載荷を受けると圧縮速度が急激に上昇する現象が発生した。これらの結果は、内部組織を維持したまま急激な密度増加を示すデコルマの力学特性と良く似ている。言い換えれば、プロトデコルマが地震などの動的外力を受けると、ランダム組織を維持したまま大圧縮するというデコルマの特性に類似した現象が室内要素試験でも観察された。ただし、房総産シルト岩が初生的にかなり異方的であることと、既に圧密し変位量が小さいことから帯磁率異方性に顕著な変化が生じなかった可能性も考えられる。

2) 再構成藤森粘土の高圧条件下における K_0 動的載荷試験を実施した結果、静的圧密過程においては圧密応力の増加に伴い供試体の剛性は上昇し変形しにくくなるにも関わらず、動的載荷では応力振幅が増加すると塑性変形が大きくなることが判明した。また、高圧条件下で数百回以上の動的載荷を作用させると、塑性変形は応力振幅と振動回数に依存するが、応力経路には依存しないことも分かった。すなわち、動的外力の振幅が大き

く振動回数が多いほど大圧縮を引き起こす可能性が高いといえる。内部組織に着目すると、粘土鉱物自体の定向配列 (面構造) は認められるものの、砂粒子同士の間隙にそれらが入り込み、全体としてはランダムな配列傾向にある可能性が示唆された。

3) 房総産シルト岩と藤森粘土を用いた動的載荷試験より、これらの材料に動的外力が作用すると内部組織を維持したまま塑性変形が進行する可能性を示した。よって、本研究で開発した試験装置と試験方法を用いれば、デコルマの初期形成メカニズムを解明する可能性はある。ただし、この予備試験に用いた試料は、プロトデコルマではない。天然のプロトデコルマ試料に対して動的荷重を与えた上で同様の現象が確認出来れば、デコルマ形成メカニズムを解明する糸口が掴めたといえる。今後も様々な材料を用いて予備試験を実施したうえで、プロトデコルマ試料に対して静的・動的荷重を与え、デコルマ形成に最も寄与する外力を同定する。

3. 2 海洋プレートの沈み込む過程の FEM 解析による数値実験

デコルマの初期形成に関する仮説の妥当性を検証するために、前章において、要素レベルで動的荷重を受ける軟岩と粘土の巨視的変形特性と微視的内部組織の変化を調査した。ただし、デコルマの特性を統一的に解釈するには、室内要素試験のみの議論では不十分であり、数百年から数万年の期間における海洋プレートの沈み込み過程で発生する応力・水圧の変動と有限変形を境界値問題として考慮する必要がある。

一方、海底岩盤の力学特性を正確にモデル化することは、様々な分野において極めて重要な課題である。例えば、沖合に展開するエネルギーにかかわる各種掘削作業 (メタンハイドレートの採取や CO_2 の地下・海底貯蔵) の安全性、海底地滑りの危険性、海底岩盤の地震伝播特性などが挙げられる。しかしながら、海底岩盤の地層特性は複雑で、その物性値の確定が困難である。また、海底岩盤には、プレート沈み込み運動で堆積物が変形しつつ集積した付加体もあれば、海溝に堆積した全く変形していないタービダイトと呼ばれる陸起源の堆積物も広く分布している。さらに、海溝を挟んで、デコルマとプロトデコルマが存在する。これら岩盤の巨視的力学特性と微視的構造特性が千差万別であるため、実スケールでの力学挙動の検証が極めて困難

であり、数値実験に頼らざるを得ない。よって、予測に使われる海底岩盤の構成則の精度が極めて重要になってくる。

幸いに近年では、深海掘削調査が頻繁に行われるようになり、深海底ボーリングによる高品質サンプルが入手できるようになった。これにより、要素レベルでの海底岩盤の力学挙動を精度良く再現することが可能になりつつある。このような現状を踏まえ、回転硬化型弾塑性構成則 *Cyclic mobility model (CM model)* に基づく土・水連成有限変形静的・動的 FEM 解析プログラム（プログラム名：DBLEAVES）による数値実験を実施し、地震などの動的外力とプレート沈み込み運動に伴う海底岩盤のせん断および圧縮変形の時系列的な再現した。この数値実験により、室内要素試験のみでは解釈しきれないデコルマの初期形成メカニズムの解明を試みた。

プレート境界断層深部では、固着が解放され、材料破壊が繰返し発生している。この事実を踏まえると、デコルマの力学特性を理解するためには、海底岩盤のなかでもデコルマとプロトデコルマを弾塑性材料としてモデル化する必要がある。本章では、この材料特性を考慮したうえで、地震などの動的外力がプロトデコルマの力学挙動に及ぼす影響を数値実験で検証した。なお、解析においては、動的外力のみの影響、静的せん断外力の影響および両者が同時に作用している時の影響をそれぞれに調べた。

解析メッシュは、室戸岬沖の南海トラフのプレート境界断層浅部（海底深下数 100 m）を想定した。南海トラフは、海洋プレートが西南日本弧の下に年間約 4 cm の速度で沈み込むプレート沈み込み帯である。解析では、海洋プレートが沈み込んだ直後のプレート境界断層を対象とし、海洋プレートの沈み込み角度を 2 度とした。大陸プレートと海洋プレートの境界であるプレート境界断層の深度は、390 m から 640 m とした。この値は、南海トラフで観測されたプロトデコルマとデコルマのそれぞれの海底深下約 400 m と約 800 m を参考にした。また、深海掘削調査 1) で明らかにされた南海トラフのデコルマ層厚約 32.6 m をもとに、プレート境界断層の層厚を 40 m とした。解析には 16226 節点および 15972 要素から構成される横幅 6000 m、深さ 2000 m の二次元海底岩盤の解析メッシュを用いた。初期応力は、飽和状態の自重応力場として与えた。動的外力は、地震などによる振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 1000 m を中心とした鉛直幅 300 m に面的振動荷重として与えた。この振動荷重は周波数 1 Hz、最大振幅 5 MPa を有する sin 波である。面的振動荷重を設定した理由は、海溝地震の震源が一般的に数十 km の深さにあり、深さ数百 m のデコルマに到達するときには、ほぼ面的に伝播することにある。なお、解析領域は、横幅 6000 m、深さ 2000 m であり、約 30 km の幅を持つ海溝と比較して小さいため、鉛直方向 2000 m 全てに振動荷重を与えるのではなく、その一部の 300 m のみに与えた。このような振動荷重の与え方は、実状況と異なる可能性があるが、振動荷重を正確に与えることを追求するのではなく、あくまでも側面に沿って水平方向に不均一な地震動が伝播してきたときのプレート境界断層の応答を数値実験で調査することを目的とする。ただし、この時の振動荷重の大きさは、常識的なレベルにあることに留意する。動的解析においては、初期剛性比例型の Rayleigh 減衰を使用し、減衰定数は堆積軟岩の場合、数%であることを参考に 0.05 と仮定した。境界条件は、海洋プレートの底面を鉛直・水平方向固定とし、解析メッシュの両側面は鉛直方向自由、水平方向固定とした。

解析で得られた結果は下記のとおりである：

- 1) プレート境界断層をプロトデコルマのような弾塑性材料とみなし、動的荷重を 200 年に一度与えるサイクルを 5 回繰返した場合、プレート境界断層で体積ひずみが 5% も発生するにも関わらず、その内部の構造と異方性に顕著な変化は見られなかった。
- 2) プレート沈み込み運動で発生するせん断および圧縮変形を静的荷重として海底岩盤に与えると、大陸プレートと接触するプレート境界断層の最上部で局所的にせん断帯が形成された。一方、せん断帯以外の領域の材料は弾性除荷挙動を示し、せん断変形による影響をほとんど受けなため、構造と異方性の喪失・発展も小さく、体積ひずみは 1% 程度しか生じないことが分かった。
- 3) 地震などによる動的外力とプレート沈み込み運動で生じる静的せん断力を同時に与える場合においても、プレート境界断層は上述した力学挙動と同様な傾向を示した。これらの結果より、プレート沈み込み運動で発生するせん断および圧縮変形は、ランダム組織かつ高密度状態であるデコルマの初期形成要因から排除できると判断した。
- 4) 本数値実験で得られた結果は、主に巨視

の力学特性を反映するものではあるが、微視的構造特性に結びつくものも多く含まれている。例えば、体積変化や構造、応力誘導異方性は、定量的な結果として時系列的に出力されている。この解析結果は、実験を通じて直接検証できないが、要素レベルの载荷試験と微視的構造解析、AMSやSEMなどを通じて間接的にその一部の検証も可能である。

5) 数値実験の結果より、地震などの動的外力がデコルマの初期形成要因である可能性は充分にあるといえる。ただし、本数値実験は、プロトデコルマについて仮想的な材料パラメータを用いていることに加え、海底岩盤の材料特性である不飽和の影響や温度・化学特性を考慮していない。今後は、海洋堆積物の試料を用いた室内要素試験より決定した材料パラメータと、不飽和材料の影響や地盤材料の温度・化学特性を考慮できる構成則に基づいた数値実験を実施し、室内要素試験と数値実験の両面から、より定量的にデコルマ形成メカニズムを検証していく。

4. 研究成果

本研究は地盤工学と地質学の最先端技術を融合して、全く未知のデコルマ形成現象を解明しようとする挑戦的な研究である。要素試験と最先端の数値実験（いままで聞き慣れない専門用語かもしれない）により、デコルマ形成メカニズムをある程度解明する道筋が得られたと言えよ。ただし、これはあくまでも第一歩を踏み出したばかりであり、今後さらなる研究を重ね、全容解明を目指す。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 10 件)

【国際会議論文 (査読有)】

- 1) Yuhei Kurimoto, Yuzuru Yamamoto, Hide Sakaguchi and Feng Zhang: Numerical experiments on the influence by shear deformation to the formation of décollement zone, 1st International Conference on Computational Engineering and Science for Safety and Environmental Problems, pp.150-153, Sendai, Japan, 2014.04.13-16.
- 2) Yuhei Kurimoto, Yukimasa Saeda and Feng Zhang: Numerical tests on formation mechanism of plate boundary décollement zone due to plate tectonics and earthquake-induced dynamic force, 6th Japan-China Geotechnical Symposium, Vol.1, No.3, pp.11-16, Sapporo, Japan, 2015.08.30-09.01.
- 3) Yuhei Kurimoto, Yuzuru Yamamoto, Hide

Sakaguchi, Feng Zhang and Yukimasa Saeda: Mechanical properties of soft sedimentary rock under K0 and isotropic cyclic loading conditions, The 15th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Vol.2, No.12, pp.498-503, Fukuoka, Japan, 2015.11.09-13.

【国内会議論文 (査読有)】

- 4) 栗本悠平, 西村友宏, 小枝幸真, 包小華, 張鋒: 数値実験による巨大水平断層 (デコルマ) 形成メカニズム解明の試み, 日本計算工学会第 18 回計算工学会講演会, G-4-6, 東京都目黒区 東京大学生産技術研究所, 2013.06.19-21.
- 5) 栗本悠平, 小枝幸真, 張鋒, 阪口秀, 氏家恒太郎, 山本由弦: 動的繰返し荷重による堆積軟岩の帯磁率異方性発達の実験検証, 第 25 回中部地盤工学シンポジウム, 3-2, pp.91-94, 愛知県名古屋市長 名古屋大学, 2013.08.09.
- 6) 栗本悠平, 山本由弦, 阪口秀, 張鋒: 数値実験によるデコルマ形成メカニズムの探求, 日本材料学会東海支部第 8 回学術講演会, pp.61-62, 愛知県名古屋市長 名城大学 名駅サテライト, 2014.03.03.
- 7) 栗本悠平, 山本由弦, 阪口秀, 張鋒: 有限変形 FEM を用いた数値実験によるデコルマ形成メカニズムに関する研究, 日本計算工学会第 19 回計算工学会講演会, F-1-4, 広島県広島市長 広島国際会議場 (平和記念公園内), 2014.06.11-13.
- 8) 栗本悠平, 小枝幸真, 山本由弦, 阪口秀, 氏家恒太郎, 張鋒: K0 および等方応力条件下で繰返し荷重を受ける堆積軟岩の力学特性, 第 26 回中部地盤工学シンポジウム, 3-3, pp.95-98, 愛知県名古屋市長 名古屋大学, 2014.08.08.
- 9) 栗本悠平, 小枝幸真, 張鋒: プレート沈み込み運動と地震等の動的外力が複合的に作用するプレート境界断層の力学挙動, 日本計算工学会第 20 回計算工学会講演会, F-4-4, 茨城県つくば市長 つくば国際会議場, 2015.06.08-10.
- 10) 栗本悠平, 小枝幸真, 王乾, 張鋒: プレート沈み込み運動と地震力の複合作用に起因するプレート境界断層の力学挙動, 第 27 回中部地盤工学シンポジウム, 2-5, pp.65-75, 愛知県名古屋市長 名古屋大学, 2015.08.07.

〔学会発表〕(計 14 件)

【国内発表 (ワークショップ)】

- 1) 栗本悠平, 張鋒, 阪口秀, 山本由弦: 地盤工学と地質学を融合した学際的研究による地震発生メカニズムの探求, 第 3 回深海底表層地盤の研究ワークショップ, 神奈川県横須賀市長 海洋研究開発機構, 2013.08.23.
- 2) 栗本悠平, 張鋒, 阪口秀, 山本由弦: 数値実験によるデコルマ形成メカニズムの探求, 第 4 回深海底表層地盤の研究ワークショップ,

栃木県那須塩原市 五洋建設株式会社 技術研究所, 2013.11.08-09.

- 3) 栗本悠平, 張鋒: 地盤工学と地質学を融合した学際的研究による地震発生メカニズムの探求, 第 34 回地盤工学若手セミナー, 京都府京都市西京区 洛西ふれあいの里保養研修センター「ふれあい会館」, 2013.11.08-10.
- 4) 栗本悠平, 張鋒: K0 および等方応力条件下で繰返し荷重を受ける堆積軟岩の力学特性, 第 35 回地盤工学若手セミナー, 鹿児島県霧島市霧島高原国民休養地, 2014.11.21-23.
- 5) 栗本悠平, 王乾, 張鋒, 山本由弦, 阪口秀: 動的荷重を受けるプレート境界断層の力学特性に関する研究, 第 6 回深海底表層地盤の研究ワークショップ, 兵庫県神戸市灘区 神戸大学, 2015.06.19.
- 6) 栗本悠平, 王乾, 張鋒, 山本由弦, 阪口秀: 数 MPa 条件下で動的荷重を受ける軟岩と粘土の力学特性, 第 7 回深海底表層地盤の研究ワークショップ, 静岡県熱海市 熱海リフレッシュセンター, 2015.10.16-17.
- 7) 栗本悠平, 王乾, 張鋒, 阪口秀, 山本由弦: 巨大水平断層の巨視的変形特性と微視的構造特性に関する研究, 第 36 回地盤工学若手セミナー, 茨城県つくば市 筑波研修センター, 2015.10.23-25.

【国内発表 (査読無)】

- 8) 小枝幸真, 栗本悠平, 阪口秀, 氏家恒太郎, 山本由弦, 張鋒: 動的繰返し荷重による堆積軟岩の帯磁率異方性発達の実験検証, 第 48 回地盤工学研究発表会, 849, 富山県富山市富山国際会議場, 2013.07.23-25.
- 9) 栗本悠平, 山本由弦, 阪口秀, 張鋒: 有限変形 FEM を用いた数値実験によるデコルマ形成メカニズムに関する研究, 第 49 回地盤工学研究発表会, 246, 福岡県北九州市 北九州市国際会議場, 2014.07.15-17.
- 10) 小枝幸真, 栗本悠平, 山本由弦, 氏家恒太郎, 阪口秀, 張鋒: K0 および等方応力条件下での動的繰返し荷重による堆積軟岩の帯磁率異方性発達の実験検証, 第 49 回地盤工学研究発表会, 248, 福岡県北九州市 北九州市国際会議場, 2014.07.15-17.
- 11) 小枝幸真, 王乾, 栗本悠平, 山本由弦, 阪口秀, 張鋒: K0 動的荷重を受ける未固結シルト岩の微視的・巨視的挙動, 平成 26 年度土木学会中部研究発表会, III-31, 愛知県豊橋市豊橋技術科学大学, 2015.03.06.
- 12) 栗本悠平, 小枝幸真, 王乾, 山本由弦, 阪口秀, 氏家恒太郎, 張鋒: K0 条件下で数 Hz の動的荷重を受ける藤森粘土の微視的・巨視的挙動, 第 50 回地盤工学研究発表会, 252, 北海道札幌市 北海道科学大学, 2015.09.01-03.
- 13) 小枝幸真, 栗本悠平, 王乾, 山本由弦, 阪口秀, 張鋒: デコルマ形成メカニズムの数値実験による検証, 第 50 回地盤工学研究発表会, 253, 北海道札幌市 北海道科学大学, 2015.09.01-03.
- 14) 福岡純一, 王乾, 栗本悠平, 山本由弦, 阪口

秀, 張鋒: K0 条件下で動的荷重を受ける自然堆積粘土の微視的・巨視的挙動, 平成 27 年度土木学会中部研究発表会, III-16, 愛知県豊田市 豊田工業高等専門学校, 2016.03.04.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

張鋒 (Zhang Feng)

名古屋工業大学・工学研究科・教授

研究者番号: 70303691

(2) 研究分担者

(a): 阪口 秀 (Sakaguchi Hide)

独立行政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

研究者番号: 10235145

(b): 山本由弦 (Yamamoto Yuzuru)

数理科学・先端技術研究分野 分野長代理

研究者番号: 10435753

(3) 連携研究者

()

研究者番号: