

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 8 日現在

機関番号：14501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K14305

研究課題名(和文) 深海底デコルマ帯の固着域形成と破壊すべりの弾塑性理論

研究課題名(英文) An elasto-plastic theory for formation of stick-slip and failure in decollement zone under the deep seabed

研究代表者

飯塚 敦 (IIZUKA, Atsushi)

神戸大学・都市安全研究センター・教授

研究者番号：40184361

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、デコルマ帯の滑り込み部表層を対象に、スメクタイトからイライトへの変質を考慮した弾塑性構成モデルを開発し、土/水連成の力学体系に組み込んだ。プレート沈み込みを想定して、せん断力を受けながらデコルマ帯が変質する場合の数値シミュレーションを行なった。変質に伴う過剰間隙水圧の発生が現れ、この過剰間隙水圧の発生は、デコルマ帯付近で観測された事実と良く整合していた。さらに、変質に伴い過圧密化することにより、せん断力を受け続けるとやがて軟化して強度が低下することが分かった。このことは、デコルマ帯で固着が生じ、ゆっくり地震が発生するメカニズムに一致する。

研究成果の概要(英文)：In this study, we developed an elasto-plastic constitutive model considering the alteration from smectite to illite of clay minerals for the surface layer of the sliding part of the decollement zone, and incorporated it into the soil / water coupling system. Numerical simulation was carried out in the case where the decollement zone alters while receiving shear stress assuming plate subduction. The occurrence of excess pore water pressure accompanying alteration of clay minerals was in good agreement with the fact observed near the decollement zone. In addition, it was found that such alteration of clay minerals brings over-consolidation to the decollement zone and results in strain softening during shearing. This is consistent with the mechanism that sticking occurs in the decollement zone and an earthquake occurs slowly.

研究分野：地盤工学

キーワード：デコルマ帯 リップ地震 粘土鉱物の変質 地盤力学 弾塑性構成式 土/水連成解析 アスペリティー スロース海溝型地震メカニズム

1. 研究開始当初の背景

海洋プレート沈み込み境界断層部のデコルマ帯における固着域は、最近までアスペリテイと呼ばれていたが、この破壊すべりが海溝型地震を巨大化させることが分かってきた。デコルマ帯は海洋性沈殿鉱物を源とするスメクタイト系粘土からなるが、海溝部でのプレートの沈み込みに伴って、温度と圧力環境変化によって、イライト系に変質していることも分かってきた。この変質とアスペリテイ形成/破壊の関係の解明が、スロースリップ現象と関連して、地震学の最新課題のひとつとなっていた。

2. 研究の目的

固体地震学における海洋プレート沈み込み境界断層部のデコルマ帯における固着域の生成とその範囲、破壊すべりを定量化するための理論構築を行うものである。デコルマ帯は海洋性沈殿鉱物を源とするスメクタイト系粘土からなるが、海溝部でのプレートの沈み込みに伴って、温度と圧力環境変化によって、イライト系に変質していることが分かってきた。スメクタイト系粘土は、土粒子密度が小さく、粒状特性が顕著でなく、吸水膨張性が著しいが、強度は低い。イライト系粘土は、地盤工学で扱う通常の粘土に近く、ダイレタンシー特性を有し、強度が比較的高い。低強度の弾完全塑性体からダイレタンシー特性を有する弾塑性体として連続的に変化する数理モデルを得れば、近年の地震学の知見と整合した合理的な理論体系を構築できる。

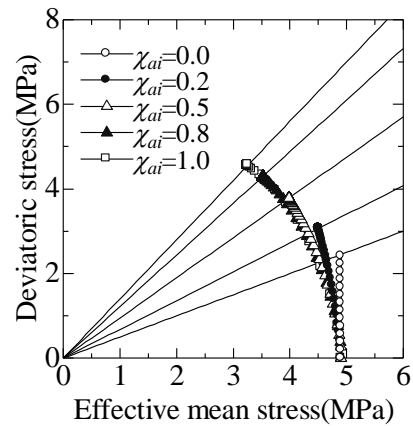
3. 研究の方法

本研究は、地盤力学の土/水連成弾塑性構成理論により、デコルマ帯の固着と破壊に合理的な説明を与えようとする。デコルマ帯のスメクタイトからイライトへの変質に伴い、変質パラメータによって、強度の低い弾完全塑性体から強度の高い弾塑性体に連続的に変化する構成理論を構築する。これにより、変質による強度上昇により固着域の形成を説明できる。また、イライト化に伴って、ダイレタンシー特性の発現も顕在化するから水圧の変化も説明できる。さらに、固着域破壊(滑り)後には、DRY側での吸水軟化によって、さらなるプレートの沈み込みにおいて固着域は形成されない(固着域の形成が限られた深度・領域で生じている)ことも合理的に説明できる。よって、本研究は、「これまでの知見の整理」、「スメクタイトのイライト化変質の弾塑性構成モデル化」、「初期値・境界値問題の定式化とFEコード化」、「デコルマ帯固着域形成、破壊すべりシミュレーションとその高度化」の順で研究に着手する計画を立てた。

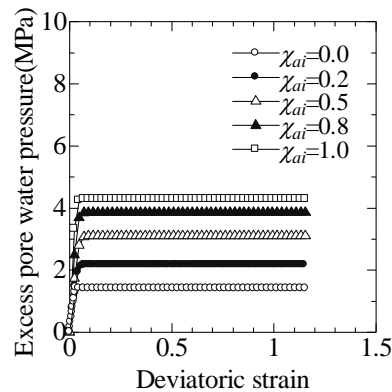
4. 研究成果

本研究では、土/水連成の力学体系に、スメ

クタイトからイライトへの変質を考慮したモデルを組み込んだ。考慮した項目は、スメクタイトの層間水の脱水、イライト化に伴う摩擦特性の変化及び、ダイレタンシー特性の変化である。図-1(ここに、 $\chi_{ai}$ は変質の進行を表すパラメータであり、0.0で変質なし、1.0で完全に変質した時を表す)に示すように、本研究で提案した弾塑性構成モデルでは、イライト含有量が多いほどせん断強度が大きくなり、このことは実験事実と整合する(図-2)。

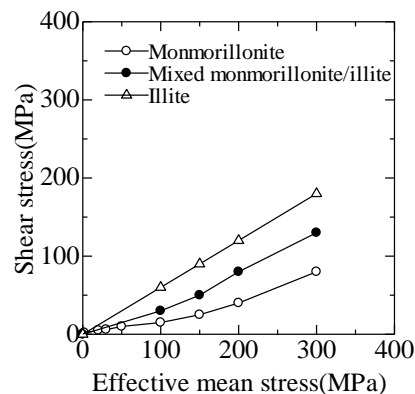


(a) 有効応力変化



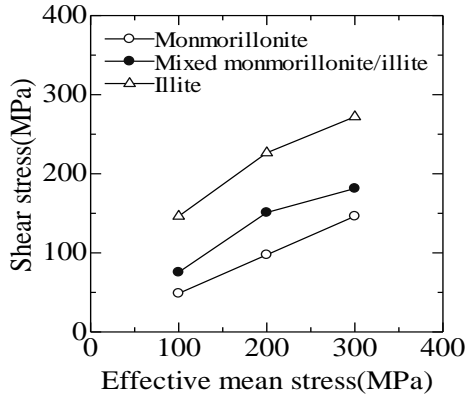
(b) 過剰間隙水圧変化

図-1 提案モデルの非排水せん断挙動



(a) 非排水せん断試験結果 (実験)

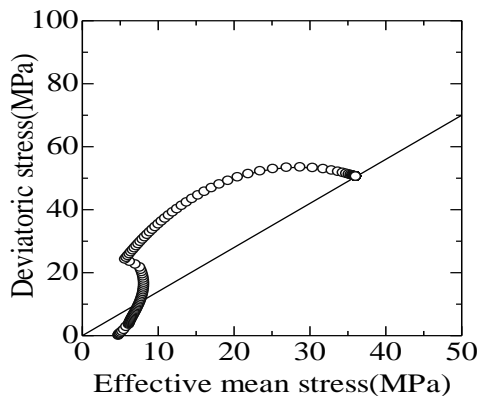
Morrow et al(1992)



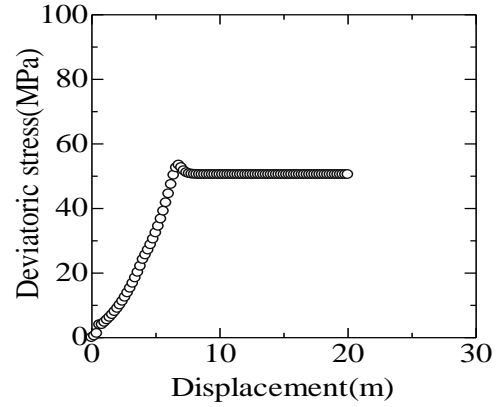
(b) 非排水せん断試験結果 (提案モデル)

図-2 非排水せん断におけるスメクタイトとイライトの強度増加率

また、実際のデコルマ帯では、プレート沈み込みに伴うせん断力を受けながら変質していると考えられるが、このような条件を満たした実験は行われておらず、長期間の力学挙動は未解明である。そこで、プレート沈み込みを想定して、せん断力を受けながら変質した場合の力学挙動について調べた。その結果、変質に伴い過剰間隙水圧が発生し、観測事実と同様の傾向を示した。さらに、変質に伴い過圧密化することにより、変質しながらせん断力を受けることでひずみを蓄積し、せん断力を受け続けるとやがて軟化して強度が低下することが分かった。このことは、デコルマ帯で固着が生じ、ゆっくり地震が発生するメカニズムに一致する。このように、スメクタイトのイライト化を表現することで得られた力学挙動から、デコルマ帯における固着とゆっくり地震を連続的に説明することができた (図-3)。



(a) 変質を伴いながらせん断される時の有効応力変化の一例



(b) 変質を伴いながらせん断される時の応力ひずみ関係の一例

図-3 デコルマ帯のせん断シミュレーション結果の一例

本研究で提案したモデルは、地質学や地球物理学において、変質の際にキーポイントとされる熱力学や Kinetic 理論は考慮しておらず、スメクタイト-イライト相転移だけでなく、石英-クリストバライト相転移や、その他鉱物の変質が及ぼす影響等、考慮できていないことも多くある。そのため、本研究で用いたモデルでは十分にデコルマ帯で生じる現象を表現できているとはいえないが、スメクタイトのイライト化という土質性状の変化を理論化することで、デコルマ帯におけるゆっくり地震を説明することができた (図-4)。

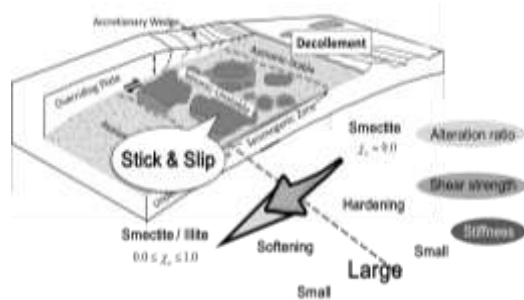


図-4 沈み込みに伴うデコルマ帯の力学特性変化のイメージ図

また、変質速度を変化させた変質を伴うせん断シミュレーションを行うと、完全にイライト化するまでの間に、ある変質率の状態にある土がそのときの限界応力状態に達して歪が解放され、その後また変質しながらせん断力を受けることで強度が増加して再度限界状態に達する、という力学挙動が得られる可能性があることが分かった。

<引用文献>

Morrow, C., Radney, B. and Byerlee, J.,  
Frictional strength and the effect  
pressure law of Montmorillonite and illite  
clays, FAULT MECHANICS AND TRANSPORT  
PROPERTIES OF ROCKS, Chapter3, ISBN  
0-12-243780-2, 1992

Bilek, S.L. and Lay, T., Tsunami  
earthquakes possibly widespread  
manifestations of frictional conditional  
stability, Geophys. Res. Lett., 29 (14),  
1673, 2002

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者に  
は下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

- 1) Chen, J., Takeyama, T., O-tani, H.,  
Fujita, K., Motoyama, H. and Hori, M.:  
Using high performance computing for  
liquefaction hazard assessment with  
statistical soil models, International  
Journal of Computational Methods, 2017,  
doi:10.1142/1840005
- 2) Sugiyama, Y., Tachibana, S.,  
Sakaguchi, H, and Iizuka, A.: Analytical  
investigation of disturbance on  
seabed-sampled soil specimens and its  
influence on unconfined strength, Soils  
and Foundations, 査読有, Vol. 58, No. 3,  
2018 (掲載決定)

[学会発表] (計 3 件)

- 1) 小松美樹, 杉山友理, 橋 伸也, 飯塚 敦:  
デコルマ帯におけるスロースリップの弾  
塑性論的解釈, 第 52 回地盤工学研究発表  
会 (名古屋国際会議場), 地盤工学会, E-  
00, pp. 303-304, 2017. 7
- 2) 田窪 堯, 岡田真理子, 杉山友理, 橋 伸也,  
飯塚 敦: 深海底地盤からのサンプリング  
試料のモデル化に関する考察, 第 52 回地  
盤工学研究発表会 (名古屋国際会議場),  
地盤工学会, E-02, pp. 587-588, 2017. 7
- 3) 麻生 勇人, 妹川 賢司, 杉山 友理, 橋 伸  
也, 飯塚 敦: デコルマ帯におけるせん断  
破壊モデル, 第 52 回地盤工学研究発表会  
(名古屋国際会議場), E-02, pp. 655-656,  
2017. 7

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称:  
発明者:  
権利者:

種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

○取得状況 (計 0 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
取得年月日:  
国内外の別:

[その他]  
ホームページ等

#### 6. 研究組織

- (1) 研究代表者  
飯塚 敦 (IIZUKA, Atsushi)  
神戸大学・都市安全研究センター・教授  
研究者番号: 40184361
- (2) 研究分担者  
竹山 智英 (TAKEYAMA, Tomohide)  
神戸大学・工学研究科・准教授  
研究者番号: 00452011
- (3) 連携研究者 該当なし  
( )  
研究者番号:
- (4) 研究協力者 該当なし  
( )