

平成 21 年 3 月 31 日現在

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2007～2008

課題番号：19740314

研究課題名 (和文) 付加体堆積物の初期変形-物質進化とその水理特性変化

研究課題名 (英文) Deformation, physical evolution of sediments during initial accretion processes and related variation of hydraulic properties

研究代表者 山本 由弦 (YAMAMOTO YUZURU)

京都大学・大学院工学研究科・研究員

研究者番号：10435753

研究成果の概要：

付加体形成初期の変形にともなう物性変化を被っている堆積物は、肉眼や顕微鏡下で変形構造が確認されないものの、粒子の配列様式と透水特性が大きく異なることが判明した。変形に伴って物性変化を被った堆積物は、被っていない堆積物に比べ最大 25%にまで透水係数が小さくなった。また、物性変化を被った堆積物は、地震発生帯上限付近に対応する封圧 80MPa 付近において、間隙率が急減することが確認され、その深度領域において間隙水を急激に排出し、周辺の強度低下をもたらしている可能性を示した。

交付額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|---------|-----------|---------|-----------|
| 2007 年度 | 2,500,000 | 0 | 2,500,000 |
| 2008 年度 | 900,000 | 270,000 | 1,170,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 3,400,000 | 270,000 | 3,670,000 |

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・地質学

キーワード：テクトニクス, 付加体, 地震

1. 研究開始当初の背景

地震発生機構の解明を目指す研究は多いが、それらのほとんどは地震断層の挙動やそこに関わる流体の働きなど、震源そのものを扱うものである。地震を発生させる現象に対する浅部付加体変形の影響はこれまでほとんど無視されていた。しかしながら工学分野では、岩石には粒子の定向配列やクラック密度分布などに起因する強い透水異方性や力学的異方性があることが古くから知られており、堆積物粒子の回転やバルク密度の大き

な変化を伴う付加過程初期の堆積物変形（以降初期変形）がこれらを強く支配していることは明白である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、地震発生機構の解明に向けた重要な基礎研究として、付加過程初期に被る堆積物の変形（浅部付加体変形）と物性変化の相関について様式を確立すること、さらにここで被った物性変化が原位置や付加体深部、それに地震発生帯における変形と水

理特性にどのような影響を与えるのかを評価することである。初期変形をもたらす堆積物の物性（間隙率・間隙径・弾性波速度・粒子配列異方性に代表されるファブリック等）変化と水理特性（透水係数とその異方性）変化を評価し、その様式を確立すること(①)、さらに初期変形によりこれらが変化した堆積物が付加体深部や地震発生帯に持ち込まれた際、そこでの水理特性（あるいは力学特性も含む）に与える影響を評価すること(②)は、付加体浅・深部や地震発生帯付近の物質科学評価に必要不可欠である。

3. 研究の方法

初期変形-物性変化の相関について確立するために、未変成の浅部付加体としては唯一陸上に露出する三浦房総付加体 (Yamamoto et al., 2005) に着目する。この付加体におけるこれまでの地質・工学的な検討から、

(1) 付加体浅部変形の時空間的分布形態の解明とそれら微細構造の解析・一般化 (Yamamoto and Kawakami, 2005; Yamamoto et al., 2005) に成功している。さらに、(2) 全層準から得られた堆積物試料の物性検討 (大気圧条件) を行い、(3) 初期変形と物性変化の相関を確立 (Yamamoto, 2006) する研究を行ってきた。つまり、この付加体において、上記研究目的①はすでに達成している。

さらに本研究では、本付加体から得られた試料を用いて封圧下の透水試験・物性測定を行うことで、上記研究目的②を達成させる。測定には、京都大学理学部地質鉱物学教室所有のガス圧式変形透水試験機を使用した。三浦房総付加体から付加過程初期の物性変化を被った堆積岩 (図1, 2のThrust unitから得られた泥質岩) 試料を用意し、堆積物が経験した埋没深度条件下 (~1km) における物性 (間隙率と弾性波速度) と透水係数 (図1) を測定する。測定には、付加体でありながら付加変形に伴う歪みや物性変化を被っていない試料 (Upper coherent unitから得られた泥質岩; Yamamoto, 2006) も同地域から採取し、比較する。

さらに封圧を高め、堆積物が経験した以上の封圧 (付加体深部や地震発生帯を再現) をそれぞれの試料に与えることで、これらが付加体深部 (5km~) に持ち込まれる条件を人工的に作り出す。この高封圧条件下の間隙率および透水係数の測定によって、初期変形により物性が変化した堆積物が付加体深部や地震発生帯付近の水理特性にどのような影響を与えるのかを評価する。

なお計画段階では、2007年度に採取される予定であった紀伊半島沖の南海付加体 (現世の付加体) の試料も用いる予定であったが、航海そのものが延期となり (2009年度実施)、本研究では検討できなかった。

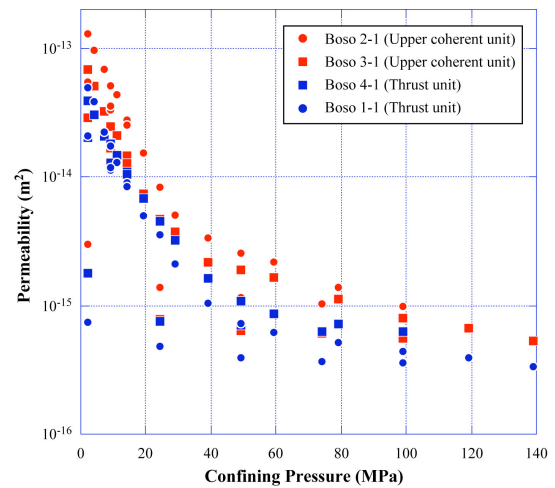


図1. 三浦房総付加体から採取した泥質岩の透水係数。付加過程初期の物性変化を被った試料 (Thrust unit: 青印) は、被っていない試料 (Upper coherent unit: 赤印) とくらべ、透水係数が最大で25%に低下している。ただし、両試料は、断層や堆積構造など、肉眼で確認できる違いはない。

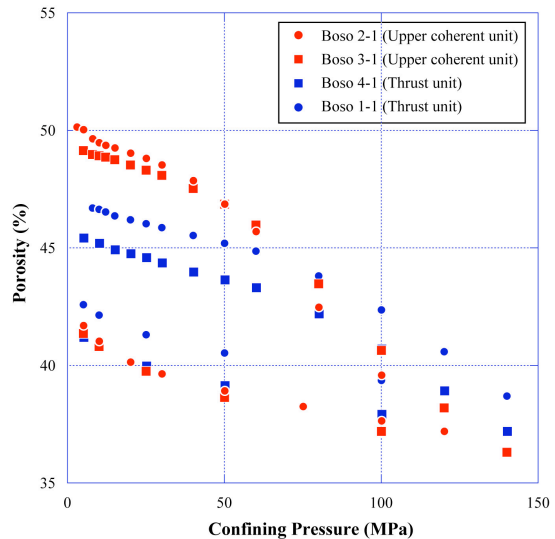
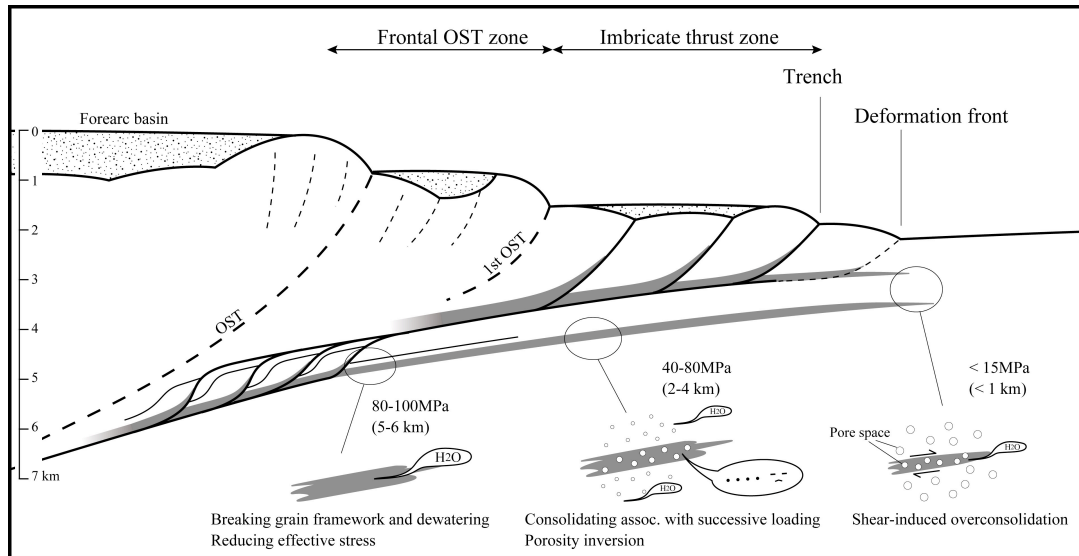


図2. 三浦房総付加体から採取した泥質岩の封圧下の間隙率。大気圧下では、付加過程初期の物性変化を被った試料 (Thrust unit: 青印) は、被っていない試料 (Upper coherent unit: 赤印) とくらべ、間隙率が5%程度小さくなっている。しかし、付加過程初期の物性変化を被っていない泥質岩が、30-40 MPa以降間隙率を急減させるのに対し、物性変化を被った泥質岩は高間隙率を80-100 MPa付近まで保っており、そこから急減に転じる。

4. 研究成果

付加体形成初期の変形にともなう物性変化を被っている堆積物は、肉眼や顕微鏡下で



変形構造が確認されないものの、粒子の配列様式と透水特性が大きく異なることが判明した。

付加体形成初期の変形にともなう物性変化を被っていない泥質岩は、上載荷重により粘土鉱物の長軸が地層と水平方向（重力方向に直交）、方位はランダムに、短軸は地層に直交方向に配列しており、約 50%の間隙率を保持している (Yamamoto, 2006)。

一方、付加体形成初期の変形にともなう物性変化を被った泥質岩は、粘土鉱物の長軸が地層に水平かつ北西-南東方向に定向配列、短軸は北西-南東方向を極とするガードル分布を示した。これは、粘土鉱物粒子が北西-南東方向を軸に回転したことを示している。構造地質学的研究 (Yamamoto et al., 2005) によると、この地域の付加に関連した衝上断層の運動方向は、北東-南西（古地磁気を考慮すると、初生的には北北西南南東方向）であり、長軸が定向配列している北西-南東方向は直交方向である。間隙率は 40-45%程度まで低下しており、径の大きな間隙が消滅していることが報告された (Yamamoto, 2006)。つまり、付加体形成初期の変形にともなう物性変化を被った泥質岩は、肉眼ではその変化が認識されないものの、粒子が剪断によって回転しており、その回転により径の大きな間隙が消滅し、間隙率が低下していることが明らかになった。

変形に伴って物性変化を被った堆積物は、被っていない堆積物に比べ最大 25%にまで透水係数が小さくなっている (図 1) が、段階的に封圧を上昇させても両者は同様の挙動を示す (埋没深度が増しても、両者の相対的な関係は変わらないことを示す)。

封圧下の間隙率測定からは、変形に伴って物性変化を被った/被っていない堆積物で挙動が大きく異なることが示された。付加過程図 3. 付加過程初期の物性変化メカニズムと

その付加体深部および地震発生帯近傍にもたらす影響。

付加過程初期に剪断によって粒子が回転し、大きな間隙が破壊され低間隙率層準が形成される（過圧密化）。これら堆積物が沈み込み、封圧が 40 MPa 程度になると周辺の付加過程初期の物性変化を被っていない堆積物が間隙水をはき出し、間隙率が逆転する（未圧密化）。その後地震発生帯上限付近（80-100 MPa）に達するとこれら付加過程初期の物性変化を被った堆積物が間隙水をはき出し、周辺の岩石の強度を下げると考えられる。

初期の物性変化を被っていない泥質岩は、30-40 MPa 以降間隙率を急減させるのに対し、物性変化を被った泥質岩は高間隙率を 80-100 MPa 付近まで保っており、そこから急減に転じる。80-100 MPa は、地震発生帯上限付近に対応する封圧である。この間隙率の急減は、地震発生帯上限付近において、付加過程初期の物性変化を経験した堆積物が間隙水を排出することで、周辺岩石の強度低下をもたらしている可能性を示している。なお、80-100 MPa 付近の挙動は、過圧密から正規圧密曲線への連続的な移行を示しており、付加過程初期の物性変化を経験した堆積物には粒子間のセメント物質の影響がほとんど見られないことが明らかになった。つまり、付加過程初期の物性変化は、ほぼすべてが堆積物粒子の回転による物理的な変化であり、粒子間に二次鉱物が沈殿して補強するなどの化学的な過程はほとんど起こっていないことが判明した。

図 3 は、沈み込み帯における付加過程初期の物性変化のメカニズムとそれらが付加体深部および地震発生帯付近において与える影響について模式的に表したものである。

沈み込み帯前縁部、海溝よりも海側の埋没

深度 1 km 以浅において、初期付加過程が始まる。これに伴う剪断によって堆積物粒子は回転し、大きな間隙が破壊され、低間隙率層準が形成される。これは、堆積物がテクトニックな剪断によって正規圧密状態よりも圧密されるという意味で、テクトニックに過圧密化する過程といえる。

これら堆積物が沈み込み、封圧が 40 MPa 程度（埋没深度 2-3 km）になると周辺の付加過程初期の物性変化を被っていない堆積物は、正規圧密曲線に沿って連続的に間隙水をはき出し、間隙率を減少させていく。ところが、付加過程初期の物性変化を被り過圧密化した堆積物は、封圧が上昇しても間隙率を維持し、ほとんど間隙水を放出しないために両者の間隙率の関係が逆転する。これは、正規圧密状態に達している付加過程初期の物性変化を被っていない堆積物よりも圧密が進行できないという意味で、未圧密化が起こったといえる。

その後地震発生帯上限付近（80-100 MPa）に達すると、未圧密状態に陥った付加過程初期の物性変化を被った堆積物も、ようやく間隙水をはき出し、その後は連続的に間隙率を減少させていく。この急激な間隙水の吐き出しは、周辺の岩石の強度を著しく下げると考えられる。

本研究を通じて明らかになったことは、付加過程初期の物性変化を被った堆積物は、透水係数の挙動こそ変化を被っていない堆積物と差はないものの、注目すべきは封圧が上昇しても間隙率の変化が極端に小さいということである。つまり、付加過程初期に引き起こされる堆積物の物性変化によって、大量の間隙水が地震発生帯付近まで運ばれていることが、本研究の実験を通じて明らかになった。間隙水の存在は、岩石の強度を著しく下げる働きがあり、地震発生機構に重要な役割をもっている可能性がある。今後は、現世沈み込み帯（紀伊半島沖の南海付加体）から得られる同様の物性変化を被った、かつ風化をしていない新鮮な試料を用いて、検証することが求められる。

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 5 件）

- ① Yamamoto, Y., Nidaira, M., Ohta, Y. and Ogawa, Y., 2009. Formation of chaotic rock-units during primary accretion processes: examples from the Miura-Boso accretionary complex, Central Japan. *Island Arc*, in press, IAR-676.

査読あり。

- ② Flemings, P.B., Long, H., Dugan, B., Germaine, J., John, C.M., Behrmann, J.H., Sawyer, D., and the Expedition 308 Scientists, 2008. Pore pressure penetrometers document high overpressure near the seafloor where multiple submarine landslides have occurred on the continental slope, offshore Louisiana, Gulf of Mexico. *Earth and Planetary Science Letters*, **269**, 309-325. 査読あり。
- ③ 山本由弦・坂口有人, 2007. 地震が作り出した芸術: 巨大乱堆積物. *地質News*, **10**, 12-12. 査読なし。
- ④ 山本由弦・栗原敏之・常盤哲也・植田勇人・中江訓・脇田浩二・原英俊・内野隆之・上野光・鎌田祥仁・山田泰広・宮川歩夢・辻健, 2007. 千倉層群畑層中に見られる大規模コンボリュート葉理と火炎構造. *地質学雑誌*, **113**, XVII-XVIII. 査読あり。
- ⑤ Yamamoto, Y., Ogawa, Y., Uchino, T., Muraoka, S., and Chiba, T., 2007. Large-scale chaotically mixed sedimentary body within the Late Pliocene to Pleistocene Chikura Group, Central Japan, *Island Arc*, **16**, 505-507. 査読あり。

[学会発表] (計 7 件)

- ① Yamamoto, Y., Yamaguchi, H., Kameda, J., Deformation characteristics of 2-3 km buried Hota accretionary complex, central Japan. AGU, San Francisco, USA, December 15, 2008.
- ② 山本由弦・山口はるか・亀田純・千葉淳一, 深度 2-3 km 領域におけるプレート境界断層の変形, 地質学会 115 大会, 秋田, 2008 年 9 月 20 日。
- ③ 山本由弦, 沈み込み帯表層の乱堆積物-地質から古地震イベントを見出すために一, 日本地球惑星科学連合大会, 幕張, 2008 年 5 月 30 日。
- ④ Yamamoto, Y., Suzuki, K., Earthquake-induced submarine sliding on the

trench-slope basin within the Late Pliocene to Pleistocene Chikura Group, Central Japan, AGU, San Francisco, USA, December 13, 2007.

⑤山本由弦・鈴木清史, 地震が誘発する巨大海底地すべりとその内部構造, 地質学会 114 大会, 札幌, 2007 年 9 月 11 日.

⑥ 山本由弦, 三浦・房総半島の陸域地質構造と伊豆弧衝突テクトニクス: 南関東アスペリティ地域掘削に向けた地質情報の整理, 日本地球惑星科学連合大会, 幕張, 2007 年 5 月 24 日.

⑦山本由弦, Derek Sawyer, IODP Exp. 308 乗船研究者. 巨大地滑りによる物性とファブリックの系統的变化: IODP308 次航海. 日本地球惑星科学連合大会, 幕張, 2007 年 5 月 24 日.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山本 由弦 (YAMAMOTO YUZURU)
京都大学・大学院工学研究科・研究員
研究者番号: 10435753

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし