

付加体モデル形成過程における 断層活動及び内部応力状態

大島 佑介^{1*}・山田 泰広¹・松岡 俊文¹

¹京都大学大学院 工学研究科社会基盤工学専攻 (〒606-8530 京都府京都市西京区京都大学桂C-1-1-118)

*E-mail: y_oshima@earth.kumst.kyoto-u.ac.jp

付加体中に地下構造物を作る場合、その複雑な地下構造が工事の支障となる場合がある。そのため先見情報として付加体の構造や応力状態を知っておく必要がある。本研究では、地質構造モデリングの手法の一つであるアナログモデル実験（以下、モデル実験）により付加体を再現し、その構造的特徴を観察した。また、モデル実験中における地質モデル形成過程を画像記録し、これに対してPIV解析と呼ばれる画像解析手法を適用することにより応力変化を調べた。その結果、付加体の大陸側に関しては、活断層付近を除いては断層活動による応力変化は見受けられなかったが、付加体には弱面となる断層が多く、地下構造物建設の際には、注意を要することが分かった。

Key Words : analogue model experiment, accretionary prism, PIV analysis, stress distribution

1. はじめに

近年、付加体の名が広く知られるようになってきたが、その内部構造など具体的な情報はあまり分かっていない。付加体は日本の土台を形成する地質構造の一つであり、地下構造物建設の際に問題となることが多々ある。そこで本研究では、付加体についての見識を深めるために、地質構造モデリング手法の一つであるモデル実験を行い、実際の付加体の物理的状態を等価に縮小した付加体モデルを再現した。この付加体モデルの構造的特徴を観察すると共に、このモデル断面写真にPIV解析なる画像解析手法を適用することで、モデル中のせん断ひずみを計算し、付加体モデル中の活断層の変遷を調べた。また、このひずみの変化量を用いて、付加体モデルの形成過程における付加体内部の応力変化を調べ、付加体中の地下構造物の安定性を検討した。

2. 付加体とは

日本の太平洋側に広がる南海トラフは、厚い堆積層で埋め立てられている浅い海溝である。この堆積層をのせたままユーラシアプレートにフィリピン海プレートが沈み込んでいる。この沈み込みの際に堆積層が海洋プレートから剥ぎ取られ、陸側にどんどん押し付けられていく。

このような付加作用の結果形成される堆積層の積み重なったものを付加体と呼ぶ。付加作用は、ブルドーザーが土砂や雪を掻き分ける運動に近似させたブルドーザーモデルで説明でき、今回の実験もこのブルドーザーモデルを利用している。

日本列島の土台を作る地質構造は、そのほとんどが付加体であり、現在地表に露出する岩石の中で、付加体構成物が占める割合は約17%に達する。このため付加体中に地下構造物を作る機会も多くなり、付加体についての深い理解が必要とされる。

3. モデル実験・PIV解析

(1) モデル実験

モデル実験とは、相似律と呼ばれる相似条件に従って実際の地質構造の形成過程を物理的に等価に縮小し、実験室で再現する地質構造モデリング手法の一つである。相似律に従えば、上部地殻の変形挙動が脆性破壊で近似できるという仮定のもとでは、図 - 1 (McClay,1990) に示されているとおり、乾燥砂が上部地殻の変形を再現するのに最も適した物性を持つ実験材料である。また、付加体には「デコルマ」というすべり面が存在するが、摩擦抵抗の少ないガラスビーズによってこの「デコルマ」を再現した。表 - 1 に一面せん断試験により測定された

ガラスビーズと豊浦砂の物性値を示す。実験はブルドーザーモデルに従い、図 - 2に示す実験装置において、毎分1cmの速度でシートを引っ張ることにより実験材料中に圧縮応力場を発生させ、実験装置内に付加体を再現した。また、実験中はモデル断面を一定時間間隔ごとに写真撮影して記録した。

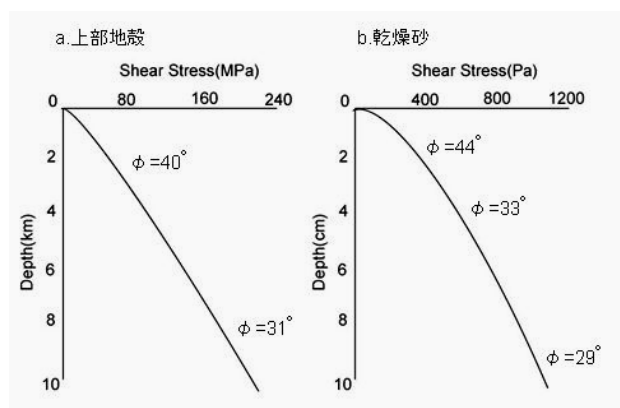


図-1 上部地殻(a)と乾燥砂(b)のせん断強度プロファイル

表-1 一面せん断試験により測定された物性値

	粒径 (μ m)	内部摩擦角(°)
ガラスビーズ	45～63	25
豊浦砂(乾燥砂)	106～300	34

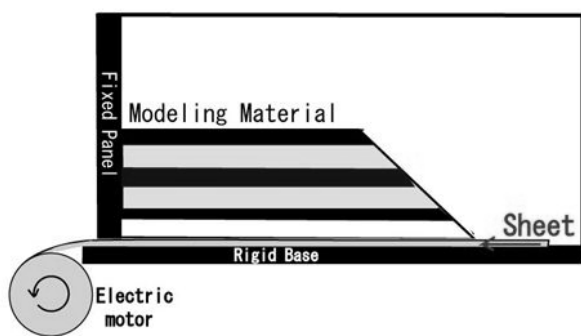


図-2 実験装置概略図

(2) PIV解析

PIV解析とはある二時刻の連続画像について、対象の領域の画像間の移動量を、各画像の輝度値についての相互相関関数を用いて評価するものである。第一、第二画像中の輝度値パターンをそれぞれ $f(X,Y),g(X,Y)$ とすると、相互相関関数は(1)式で表される。この値を

図 - 3のように第二画像中の $(\Delta X, \Delta Y)$ の各位置で計算し、相互相関関数を最も大きくする $(\Delta X, \Delta Y)$ が第一画像の検査領域からの変位量として決定される。

このPIV解析を一連のモデル断面写真に適用することで変位値を計算し、さらに算出された変位データからせん断ひずみを計算した。断層はせん断変形するため、このせん断ひずみを調べれば、活動している断層が分かる。また、このひずみ変化量から、応力 - ひずみ関係式に従って応力変化量を計算し、付加体形成過程における応力の変化を調べた。

$$C_{fg}(\Delta X, \Delta Y) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N f(X_i, Y_j) g(X_i + \Delta X, Y_j + \Delta Y) \quad (1)$$

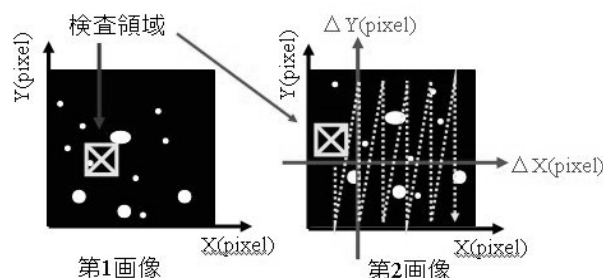


図-3 PIV解析概念図

4. 付加体の構造的特徴

実験は毎分1cmの短縮量シートを引っ張り、その間30秒ごとに写真撮影を行なった。図 - 4にモデル実験において再現された付加体の断面写真を示す。写真はそれぞれ上から、実験開始から9.5cm, 15.5cm, 23cm, 26cm短縮時のものである。楔形の先端方向（前縁地）へ行くほど海溝側となる。付加体の形成は、楔先端部分（海溝側）では、堆積物が次々に付加されていく形態をとった。一方、陸側（後背地）では、圧縮により新しい層が古い層の下にもぐりこみ、古い層が持ち上げられた。この古い層には（堆積物が付加される際に形成された）複数の小規模断層が存在し、これにより断層が細かく交差し、海溝側よりも複雑な構造形態をとることが分かった。

5. せん断ひずみ及び応力変化

(1) せん断ひずみ

図 - 5にPIV解析によって得られたせん断ひずみ分布を示す。この4枚の画像はそれぞれ図 - 4の各実験写真を解

析したものとなっている。白い部分がせん断ひずみの強い領域を表す。断層はせん断変形によって形成されることより、せん断ひずみが強い領域はその時点で活動している断層を示していると考えられる。実験を通して、陸側へ傾く変形前縁の断層（フォアスラストと呼ぶ）が常に活動し、この断層に伴って、その付け根から派生する海溝側へ傾く断層（バックスラストと呼ぶ）も活動することが分かった。フォアスラストは陸側へ傾いているため、陸地の地下構造物との距離は大きく、直接的な被害は少ないと考えられる。しかしフォアスラストに付随して活動するバックスラストは、海溝側に傾いているため地下構造物との距離が近い可能性があり、直接的な被害を受ける可能性も高い。また、バックスラストは小規模ではあるが、複数形成されており、陸側で断層が分断され複雑に交差しているのは、既存の断層にこのバックスラストが交差したことが原因であると考えられる。

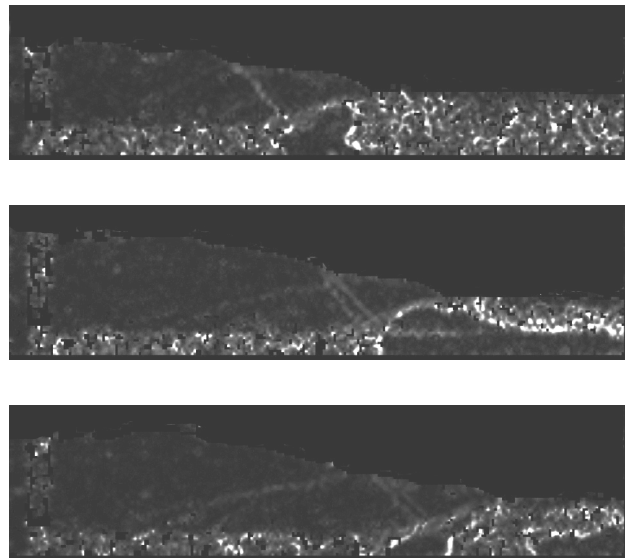


図-5 せん断ひずみ画像

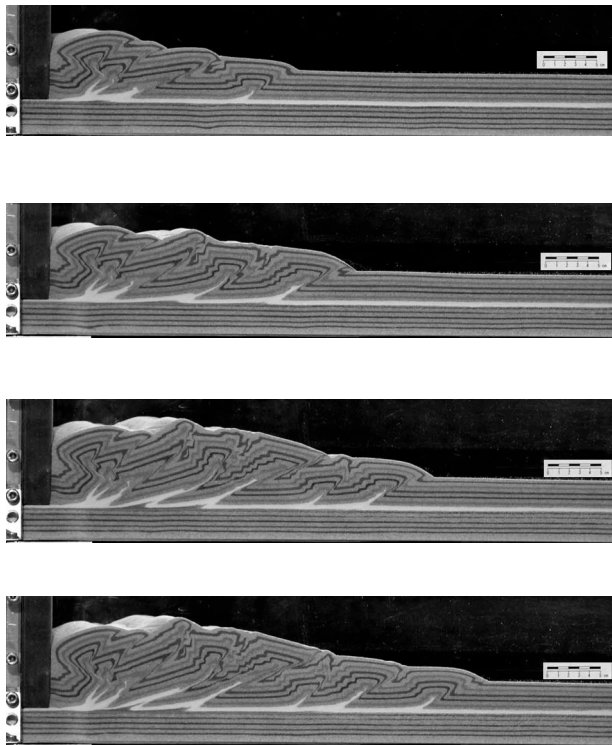


図-4 モデル断面画像

(2) 応力変化

図 - 6, 図 - 7にPIV解析によって得られた応力変化の分布を示す。これらは共に図 - 4, 図 - 5の三枚目の画像と同時刻における応力変化量を示している。応力の変化量の計算は、水平方向のひずみ、重力方向のひずみ変化量を求めた後、応力 - ひずみ関係式に従って計算した（ポアソン比は0.3で一定とした）。付加体モデル中の黒い部分が応力変化の強い領域を表す。その結果、応力変化が大きいのは水平方向、重力方向共に活断層の付近のみであり、それ以外の場所では応力の変化はほとんどないことが分かった。この結果、活断層付近を避ければ、地下構造物周辺の応力状態が大きく変わることはないと考えられる。

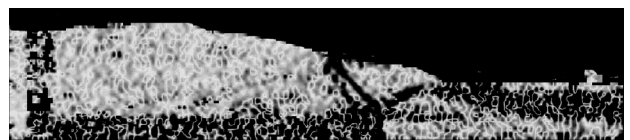


図-6 応力（水平方向）変化



図-5 せん断ひずみ画像

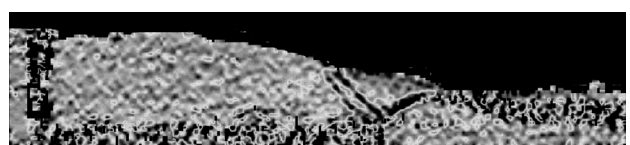


図-7 応力（重力方向）変化

6. まとめ

PIV解析によって得られた応力変化画像の結果から、付加体中に大きな応力変化が生じるのは活断層付近であり、それ以外の領域では大きな応力変化は生じないということが分かった。しかし、付加体の陸側は複数形成される小規模のバックスラストにより既存の断層が分断され、断層が入り乱れる複雑な構造となっていることが分かった。これらの断層群の中で活動している断層は、せん断ひずみ画像からごく少数ということが分かっているが、活動していないといえども弱面である断層が数多く存在していることは、付加体中に地下構造物を建設する際の大きな問題点である。また、せん断ひずみ画像からも分かるように、バックスラストは（間欠的にだが）フォアスラストよりも頻繁に形成し活動するため、バックスラストの形成には特に注意しなければならない。

参考文献

- 1) 山田泰広：地質学雑誌，第 112 巻 補遺，pp.153-159，2006.
- 2) Jo Lohrmann, Nina Kukowski, Jurgen Adam, Onno Oncken : The impact of analogue material properties on the geometry, kinematics, and dynamics of convergent sand wedges. *Journal of Structural Geology* 25, p.1691-1711, 2003
- 3) 可視化情報学会編：PIV ハンドブック，pp.63-77，pp.126-129，森北出版株式会社，2002.
- 4) 兼田心：モデル実験を用いた南海トラフ付加体形成過程に関する研究，京都大学学位論文，2004.
- 5) Buiter, S. J.H. and Schreurs, G.(eds) : Analogue and Numerical Modelling of Crustal-Scale Processes. *Geological Society, London, Special Publications*, 253, p.1-27, 2006.

FAULT ACTIVITY AND INTERNAL STRESS IN DEFORMATION PROCESS OF ACCRETIONARY PRISM MODEL

Yusuke OSHIMA, Yasuhiro YAMADA and Toshihumi MATSUOKA

The complex internal structure of accretionary prisms obstructs the progress of construction when an underground structure is built within the prism. We thus need to understand the structure and stress state of the accretionary prism. Our analogue model experiments, a technique of geological structure modeling, showed characteristic feature of the modelled accretionary prism. The stress state calculated from the model results with PIV image correlation technique reveals that the stress around the faults is actively fluctuating