

スペクトル確率有限要素法を用いた横ずれ 断層運動に伴う地表地盤の変形に関する研究

東京大学大学院 学生会員 ○中川 英則
東京大学地震研究所 正会員 堀 宗朗

1. はじめに

近年、地表地震断層のずれによって、土木構造物が直接的に被害を受けるという問題が注目されるようになってきた。このため、断層破壊が堆積層内をどのように広がり、地表面上の何処にどのぐらいの変位を及ぼすかなどを予測することは、工学上重要な課題となる。しかしながら、地表地震断層の出現形態は、個々の活断層に限ってみても大きなばらつきがあり、震源断層の発現位置やずれ量・断層面の傾斜・変位のセンス・未固結堆積物の種類と厚さ、など多くの要因が複雑に関係していると考えられている^{1) 2)}。こうした現状を踏まえた上で、本研究では、数値解析による予測手法の開発を目指している。

本報告では、開発の一端として、基盤の横ずれ断層運動による地表地盤の変形構造、地表地盤の硬さのばらつきや厚さの違いが地表面の変形に及ぼす影響を検討している。また、既往の砂箱を用いた横ずれ断層実験の結果³⁾と比較することにより、その妥当性を検証している。

2. 数値解析の概要

断層の数値シミュレーションを行うには色々な問題設定がある。ここでは、地表地震断層の出現に伴う地変を、表層の未固結堆積物の厚さや物性を反映した幅広い地変帯であると想定した。地表付近の未固結層を弾塑性体としてモデル化し、剛性的に運動する基盤の静的ないし準静的な一方向のずれ変位によって発現する断層を扱っている¹⁾。

○スペクトル確率有限要素法

堆積物の種類が様々であっても、その硬さのばらつきにより断層破壊の地表面上への影響は異なることが、砂箱を使った模型実験結果などで報告^{3) 4)}されている。そこで本研究では、材料特性にばらつきを考慮することで生じた地表面での変位や歪の確率的な分布までも捉えることを目的に、非線形解析用に開発されたスペクトル確率有限要素法⁵⁾の地表地震断層問題への適用を行った。この手法では、数値的な工夫をせずとも断層の分岐現象が捉えられ、また、モンテカルロシミュレーションのような複数回に渡る計算を行わずに済むことが特徴となっている。

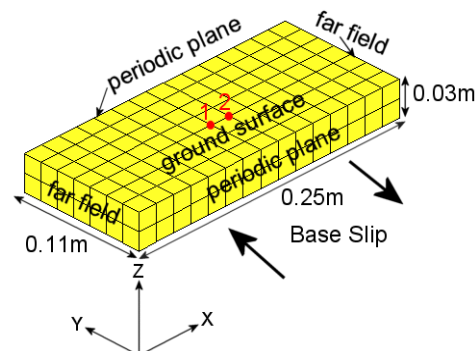
○数値シミュレーション概要

既往の砂箱を用いた横ずれ断層実験³⁾をもとに、層厚 H を 30, 50, 70mm と変えた場合(H30, H50, H70)について、図 1.のような物性をもつ地表地震断層モデル(図 2.)として数値シミュレーションを行った。解析では準静的な微小変形問題を仮定し、弾塑性構成則に軟化型の Drucker-Prager モデルを採用した。また、図 2. に示すようにモデルの前後面には周期境界条件を施しており、モデルの Y 軸方向への奥行きは、砂箱を用いた横ずれ断層実験で報告された、リーデルセン断の間隔と層厚の関係³⁾をもとに決めた。

平均弾性係数(kgf/cm ²)	3.40
密度(g/cm ³)	1.59
間隙比 e	0.65
内部摩擦角(°)	51
エネルギー開放率(kgf/cm)	4.69×10^{-5}
弾性係数の標準偏差(kgf/cm ²)	0.1
弾性係数の相関距離(cm)	50

図 1. 解析に用いたパラメータ

図 2. 解析モデル



キーワード 横ずれ断層, スペクトル確率有限要素法

連絡先 〒230-0032 東京都文京区弥生 1-1-1 東京大学地震研究所

Tel. 03-5841-5756 Fax. 03-5802-3391

また、各層厚のモデルに対しメッシュサイズは一定とし、メッシュ依存性を取り除くため、エネルギー概念に基づく定式化を降伏関数に取り込んでいる。

3. 解析結果

3.1 雁行状に並ぶ最大せん断歪の集中域

数値計算で得られた、地表面上の最大せん断歪の平均値の分布図を図3.に示す(縦横のアスペクト比は22:25). 紙面の関係上、モデル H30 を用いた場合のみの結果を示したが、モデル H50,H70 においても同様な Y 軸方向に周期性を成す最大せん断歪の集中域を得たことを記しておく. 歪が最も大きい値となっている中心域の斜交角度を、メッシュから読み取った結果、 19.47° (H30 の場合)であった. 砂箱を用いた横ずれ断層実験の報告³⁾では、リーデルせん断の斜交角度は層厚によらず $20^\circ \sim 30^\circ$ となっている. 本解析の結果でも、層厚によらず 20° 前後の値を得た.

3.2 断層水平変位量と層厚の関係

モデル底面に与えた断層水平変位量(Δu)と図2.に示す地表面上の2点(1と2)における Y 方向変位の食い違い量との関係を各層厚(H)ごとに図4.に示した. モデル H30 と H50 に見られる食い違い量のジャンプは、モデル底面の断層線付近から徐々に広がってゆく塑性領域が地表面に到達した時点に対応している. H70 では、解析に用いた断層水平変位(Δu)の範囲においてそのようなジャンプは現れなかった. 図4.に示す破線は、分岐現象が生じ地表面に雁行状を成す最大せん断ひずみの集中域(図3.)が現れた時点を示している. 表1.から、想定した弾性係数の平均値が低かったため、せん断モードが発達するのに必要な断層水平変位量(Δu)自体は全体的に小さめに出たが、寸法効果の傾向は砂箱実験の結果³⁾と近いことが分かる.

4. まとめ

想定したモデルの剛性が低く、せん断モードが発達するのに必要な断層水平変位量が全体的に小さめに出たが、せん断モードが断層線と成す角度、せん断モードが確認されるまでの断層水平変位量(Δu)と層厚(H)の関係など定性的な特徴は、砂箱実験の結果と近い傾向が得られた. 簡単な弾塑性モデルを用いての解析結果が調和的であることから、断層挙動を予測する上で、本手法は有効な手段になり得ると考えられる.

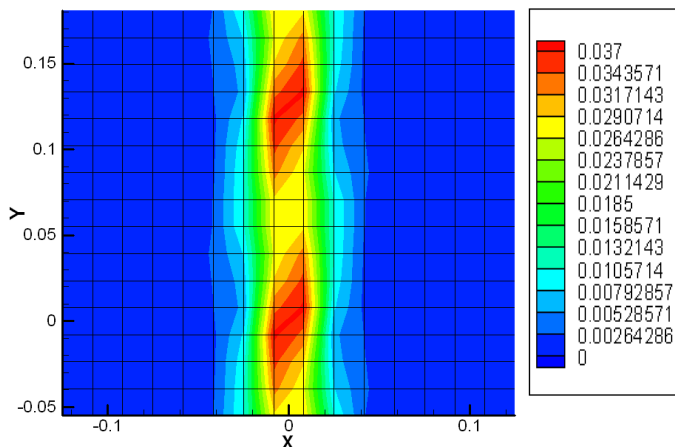


図3. 最大せん断歪の平均値の分布(H30 の場合)

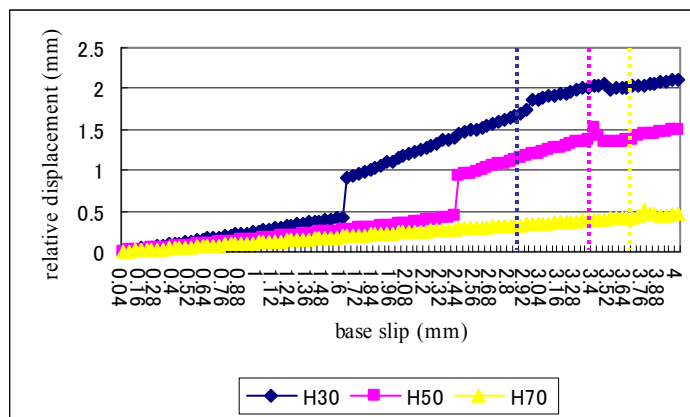


図4. 断層水平変位～Y 方向変位の食い違い量

R _i =断層水平変位量(Δu_i)/層厚(H _i) の変化 (i=30,50,70)			
モデルの種類	層厚 30mm	層厚 50mm	層厚 70 mm
R _i (砂箱実験)	0.17	0.14	0.11
R _i /R ₃₀ (砂箱実験)	1	0.82	0.65
R _i (数値解析)	0.098	0.070	0.054
R _i /R ₃₀ (数値解析)	1	0.70	0.54

表1. リーデルせん断が地表に現れた時の断層変位量(Δu)と層厚(H)の関係

5. 参考文献

- 1) 谷和夫, 上田圭一他: 土木学会論文集, No.568, III-39, 21~39
- 2) 損害保険料算定会, 日本の地震と地震工学, 地震保険調査研究 45
- 3) 小山良浩, 谷和夫: 第28回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, III-97
- 4) 宮島昌克, 北浦勝: 第一回日本地震工学研究発表会・討論会梗概集, 2001, p.p.244
- 5) M.Anders&M.Hori: Stochastic finite element method for elasto-plastic body, Int.J.Numer.Meth.Engng, 46, 1897-1916 (1999)