

横ずれ断層による表層地盤の変形 ―個別要素法による模型実験の解析―

埼玉大学 正会員 谷山 尚

はじめに

内陸の浅部で大きな地震が起きると、地震動による被害に加えて、地震断層によっても構造物が被害を受ける場合がある。表層が軟らかい堆積物で覆われている場合、基盤部でのずれが表層の地盤内を伝播する際に、その進展する向きを変えたり、分岐したりする。また、連続的な変形も起こる。このため、地表でのすべりや変形は表層地盤の厚さや特性、基盤の断層の性質などによって大きく異なってくる。

横ずれ断層によって表層地盤に生じるせん断帯については、砂箱を用いた実験によって形状や発達過程が調べられてきている。本研究では個別要素法を用いた解析を行い、室内模型実験の結果と比較・検討した。

解析モデル

x 方向（断層走向方向）57.6cm、y 方向（断層に垂直な水平方向）35.1cm の範囲（図-1）に直径 3mm、4mm、5mm の球形の粒子を詰めた。その際、高さ 5mm おきに接触しないように粒子を発生させて、初速度を与え、重力を加えることでパッキングした。パッキングの際には、粒子間の摩擦係数を 0 として密なモデル地盤を作成した。作成した地盤の高さ（z 方向）は、平均で 21.3cm となっている。また、x 方向には周期境界となっている。

解析に用いたパラメーターを表-1 に示す。粒子間の接触点においてモーメントも伝達するものとした（たとえば、岩下・小田<sup>1)</sup>）。モーメントは、粒子間の相対回転による変位を求めた上で、相対回転によって発生するモーメントが同じ量のすべりによって生じるモーメントと大きさが等しくなると仮定して求めた。接触点でのモーメント  $M$  が以下の不等式を満たした時にはスライダーが作動して、それ以上のモーメントを伝達しないものとした。

$|M| > \alpha B f_n$

ここで、 $B$  は接触面の長さ（直径）、 $f_n$  は粒子間接触力の法線成分である。本解析では、 $\alpha=5$  とした。このようにして作成した地盤に対して、底面の片側（幅 17.5cm）だけを 2.5cm/s で移動させて、それに伴う粒子の挙動を調べた。

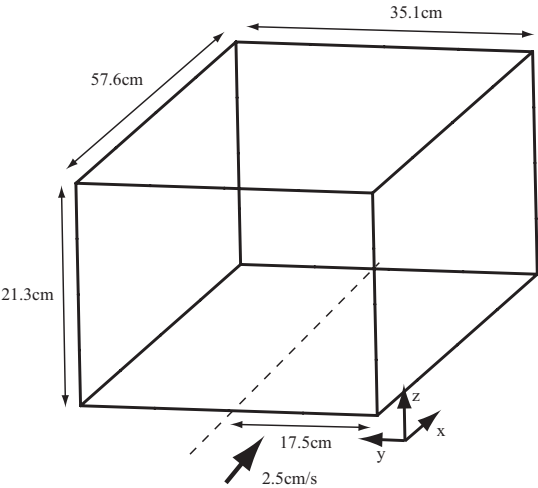


図-1 解析領域と加えた横ずれ変位

表-1 解析に用いたパラメーター

|      |       |                           |
|------|-------|---------------------------|
| 粒子直径 |       | 3mm,4mm,5mm               |
| 粒子数  |       | 887965                    |
| 密度   |       | 2400kg/m <sup>3</sup>     |
| ばね定数 | 法線方向  | 1.0 × 10 <sup>5</sup> N/m |
|      | すべり方向 | 3.0 × 10 <sup>4</sup> N/m |
| 減衰定数 | 法線方向  | 0.80 Ns/m                 |
|      | すべり方向 | 0.44 Ns/m                 |
| 摩擦係数 |       | 0.5                       |

解析結果

図-2 と図-3 に高さ 20cm における変形形状を示す。図-2 は基盤の変位量 3.4cm、図-3 は 6.4cm の時の結果である。図には、せん断ひずみが大きな領域も合わせて示している。模型実験において、地表面では、横ずれ変位の増加に

に伴い、断層の走向と斜めに交わるリーデルせん断が雁行状に現れた後、さらに変位が増すと、より低角度で断層と交差する低角リーデルせん断やPせん断が形成される。本解析においても、地表付近で、断層変位が大きくなると、せん断ひずみが大きな領域は、基盤の断層とより低角度で交差している。

図-4と図-5にひずみの分布形状を示す。図-4は基盤の変位量が0cmから0.6cmの間、図-5は1.6cmから2.2cmの間に各点で生じた最大せん断ひずみ増分( $\gamma_{\max}$ )を求め、それぞれ $|\gamma_{\max}|=0.04$ ,  $|\gamma_{\max}|=0.044$ の等値面を示している。どちらにおいても、基盤の断層の近傍において大きなせん断変形が生じているが、図-4では、それに加えて、断層の両側で斜め上方へ広がる領域においてもせん断ひずみが大きくなっている様子が見られる。一方、より大きな断層変位が加わっている図-5では、基盤の断層と斜めに交差する方向にも大きなせん断変形を起こしている領域がある。断層の両側で斜め上方へと広がる領域は、X線CTスキャナーによって観察された<sup>2)</sup>傾斜帯状せん断帯または覆瓦せん断帯に、基盤断層と斜交する領域は結合振りせん断帯と対応するものと考えられる。

### まとめ

横ずれ断層の模型実験を対象とした解析を個別要素法により行い、模型実験で観察された現象をある程度再現できることを示した。定量的な議論やせん断面の形成・発展のメカニズムの検討については今後の課題である。

### 謝辞

本研究のために、東京大学地震研究所地震予知情報センターの計算機システムを利用しました。

### 参考文献

- 1) 岩下和義, 小田匡寛 (1999), 粒子接点での転がり抵抗を考慮した個別要素法によるせん断帯の微視的変形機構, 応用力学論文集, 2, 401-411.
- 2) 谷和夫, 小山良浩 (2004), 横ずれ断層の模型実験で観察された砂地盤の内部に発達するせん断帯の構造分析, 土木学会論文集 No.757/III-66, 235-246.

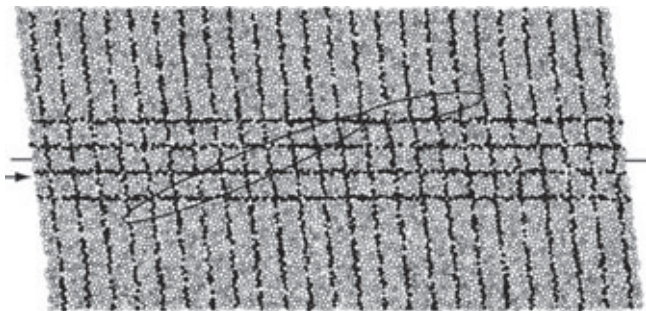


図-2 高さ20cmにおける変形形状。基盤変位3.4cm。

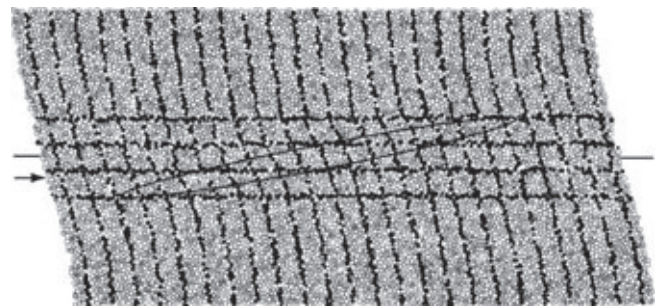


図-3 高さ20cmにおける変形形状。基盤変位6.4cm。

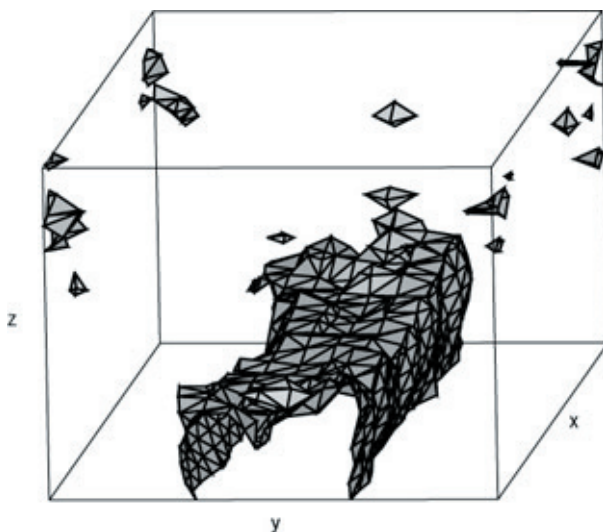


図-4 ひずみ分布 ( $|\gamma_{\max}|=0.04$ )。基盤変位0.6cm。

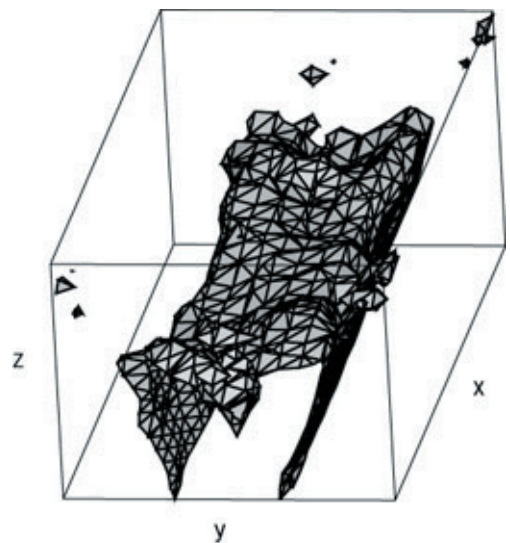


図-5 基盤変位1.6cmから2.2cmの間のひずみ増分分布 ( $|\gamma_{\max}|=0.044$ )。