

断層の破壊進展への地盤物性・構造物の影響

Effect of soil properties and structures on the fault rupture propagation

プロジェクト代表者：谷山 尚（理工学研究科・助教）

Hisashi Taniyama, Graduate School of Science and Engineering, Assistant professor

1 はじめに

内陸の浅部で大きな地震が起きると、断層の変位によって構造物が被害を受けることがある。地表地震断層による表層地盤の変形特性を明らかにして、被害の軽減に結びつく適切な対策を取ることが望まれる。本研究では、横ずれ断層が未固結な表層地盤に覆われている場合に、基盤で生じた断層の変位によって表層地盤で生じる破壊の進展過程を明らかにし、また、地盤の変形や破壊進展過程に地盤材料特性が及ぼす影響を調べることを目的として、3次元個別要素法による解析と模型実験を行った。

2 解析および実験モデル

横ずれ断層運動によって表層地盤内で生じる破壊進展過程を調べるために、88万個あまりの球形粒子を用いた3次元個別要素法解析を行った。数々の模型実験が行われてきていることから、数値解析は模型実験を対象として行った。粒子径は3mm、4mmまたは5mmとし、相互に接触しないように粒子を発生させた後、重力をかけてパッキングした。地盤モデルの大きさは、走向(x)方向57.6cm、断層直交水平(y)方向35.1cm、平均高さ(z)23.1cmとなっている(図1)。走向(x)方向には周期境界条件を課した。粒子間の接触点において、法線・接線方向の力に加えてモーメントも伝達するものとした。一方の側壁(図1中、側壁2)と底面の片側(図1中、底面2)は固定し、もう一方の側壁(図1中、側壁1)と片側底面(図1中、底面1)を+x方向に2.5cm/sで動かすことで、地盤に左横ずれ変位を加え、地盤内で生じる変形について調べた。

また、地盤材料特性が変形や破壊進展に及ぼす影響を調べるために、砂と、軽量盛土材として利用される発泡ビーズを用いて、模型実験を行った。実験装置の主要部は長さ176cm、幅66cmの鋼製底板とアクリル製の側壁(長さ176cm、高さ25cm)からなっている(図2)。基盤の横ずれ変位を模ることができるように、鋼製底板は2つ(幅33cm)に分かれており、その一方は固定、もう一方は水平に移動可能になっている。底板の上1mの高さから乾燥砂を落下させ、12cmの高さになるまで砂を堆積させる。断層上の一部領域は発泡ビーズを用いて模型地盤を作った。発泡ビーズを用いる領域の幅を変化させて、変形形状に及ぼす影響について調べた。

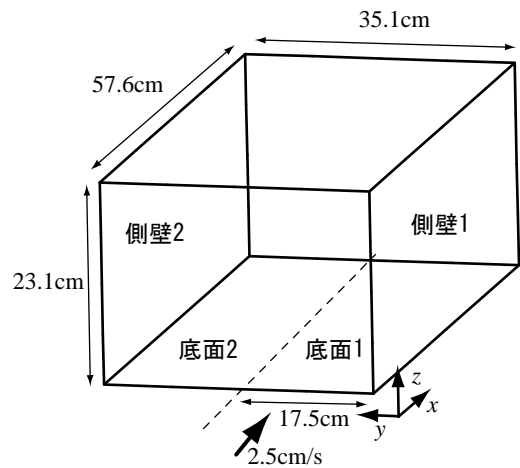


図1 解析モデル

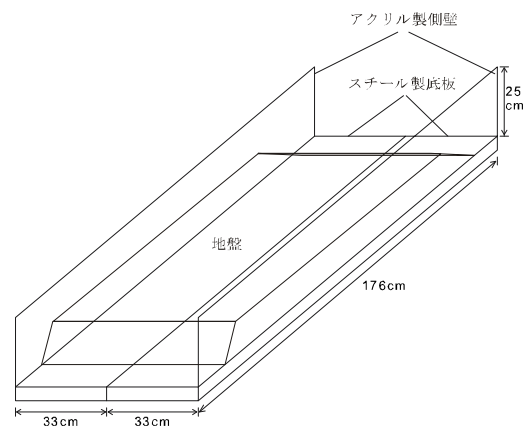


図2 実験装置の概略図

3 結果

(1) 数値解析結果

地盤内部のせん断帯の発達過程を見るために地盤内部のひずみ分布を調べた。図3は基盤変位0.4cmから1.0cmの間の最大せん断ひずみ増分 ($\Delta\gamma_{\max}$) が0.07の分布を示す。地盤底部付近では断層線周辺でひずみが大きくなっている。ひずみの大きな領域は、地盤底部の断層線付近から断層の両側で斜め上方へ広がるように伸びていつている。砂箱を用いた模型実験において、初期段階では断層線から上方へ広がる花弁状構造を持ったせん断帯が形成されることが報告されており、上で述べた斜め上方へと伸びるひずみの大きな領域はこれらに対応するものと考えられる。図4は基盤変位1.6cmから2.2cmの間の $\Delta\gamma_{\max}$ が0.11の分布を示す。断層の変位が大きくなると、ひずみの大きな領域は上方へと進展していくが、断層を横切る方向にもひずみの大きな領域が見られるようになる。基盤の変位が増すと共に、この断層を横切るひずみの集中領域は浅部へと進展する。基盤変位が4cm程度以上になると地表面において、断層線と斜めに交差するように変形の大きな領域が分布するようになる。図5に基盤変位量が4.6cmの時の地表面での粒子の変形形状と歪み分布を示す。歪み分布は基盤変位が4.0cmから4.6cmの間のせん断歪み増分 ($\Delta\gamma_{xy}$) が0.045の分布を表している。ひずみの大きな領域は断層を横切るように斜めに分布しており、粒子の分布図においても該当領域では変形が大きくなっている様子が見られる。基盤変位量が6cmを超えると断層線に近いところで、断層線と低角度で交差するように変形が起こるようになった。

数値解析において、断層線から両側に斜め上方へと伸びるせん断帯が形成された後に、断層を横切る形でせん断帯が形成され、それが地表にまで達する結果が得られた。また、断層と斜交するせん断帯が形成された後、さらに低角度で基盤の断層と交差するせん断帯が形成される結果が得られたが、いずれも実験で観察される現象であり、実験で観察されるせん断帯の発達過程を数値解析で再現できたといえる。

(2) 模型実験結果

発泡ビーズを、断層を挟んだ広い範囲 (幅10cm) に用いると、ビーズを用いた領域全体に渡る変形が起きて、砂だけを用いた場合よりもすべり面が形成されにくくなった。一方、発泡ビーズを、断層を挟んだ狭い範囲 (幅6cm) に用いると変形がビーズ部分に集中し、周囲の地盤に変形が起こりにくい領域が形成される結果を得た。

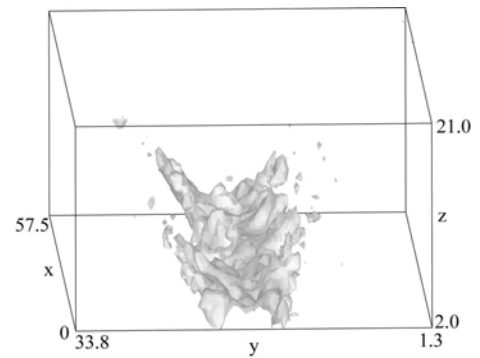


図3 基盤変位0.4cmから1.0cmの間の $\Delta\gamma_{\max}=0.07$

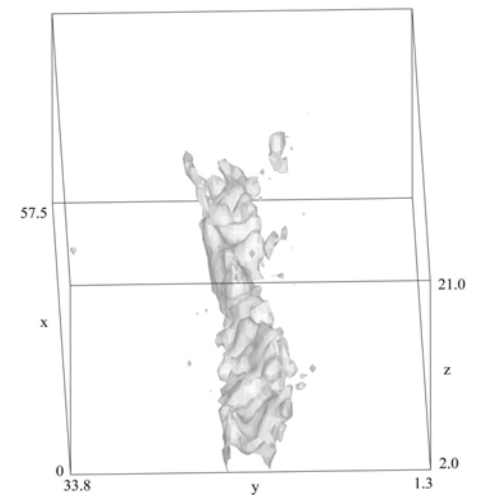


図4 基盤変位1.6cmから2.2cmの間の $\Delta\gamma_{\max}=0.11$

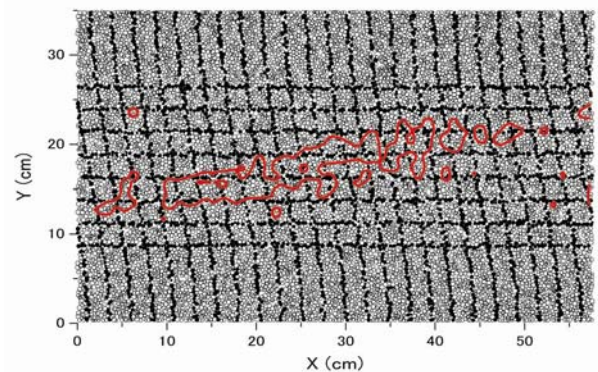


図5 基盤変位4.6cm時の地表変形形状と、変位4.0cmから4.6cmの間の $\Delta\gamma_{xy}=0.045$