

個別要素法を用いた地盤の大変形解析 (横ずれ断層による表層地盤の変形)

谷山尚

埼玉大学 理工学研究科

目的: 地滑り、液状化に伴う流動、断層による変形など、地盤が大きく変形することによって構造物が被害を受けることがある。地盤の大変形時の構造物被害を軽減するためには、地盤が大きく変形する際の挙動の把握が重要である。本研究では、地盤の大変形の中で断層による変形を対象とし、基盤の断層が動くことによって、表層地盤内部を断層のすべり（せん断帯）がどのように進展し、それによって表層地盤がどのように変形するかを明らかにすることを目的として解析を行った。断層の中でも、横ずれ断層によって形成される表層地盤内部のせん断帯は、3 次元的にねじれた形状を持ち、また、基盤の断層の変位が増すと 2 次的なせん断が形成されるなど複雑な様相を示し、その発達のプロセスやメカニズムは完全には解明されていない。本研究では、1995 年兵庫県南部地震の際に野島断層（右横ずれ成分が主）で観察された地表地震断層を解析の対象とした。個別要素法は、地盤などの対象物を、粒子（本解析では球形粒子）の集合体として表現し、要素間の接触・滑動を考慮して、個々の粒子の動きを逐次求める解析手法であり、連続体に加え不連続体を解析することが可能であることから、解析には個別要素法を用いた。

方法: 直径 9cm から 12cm の球形粒子をランダムに発生させ、それらの粒子を 10.9m×34.6m の領域に堆積させて、初期地盤を作成した。野島断層上の表層地盤（未固結被覆層）の厚さは、場所によって異なるが、4m から 10m 程度と見積もられており²⁾、230 万個あまりの粒子を用いて厚さ約 4.9m の地盤を作った。地盤底面と側面には変位を拘束した粒子を配しており、それらの粒子を断層走向方向に相対速度 1m/s（断層面より一方を 0.5m/s、もう一方を逆向きに 0.5m/s）で動かすことで、模型地盤に右横ずれ変位を加えた。断層走向方向には周期境界条件を課している。解析モデルの概略図を図 1 に、解析に用いたパラメータを表 1 に示す。

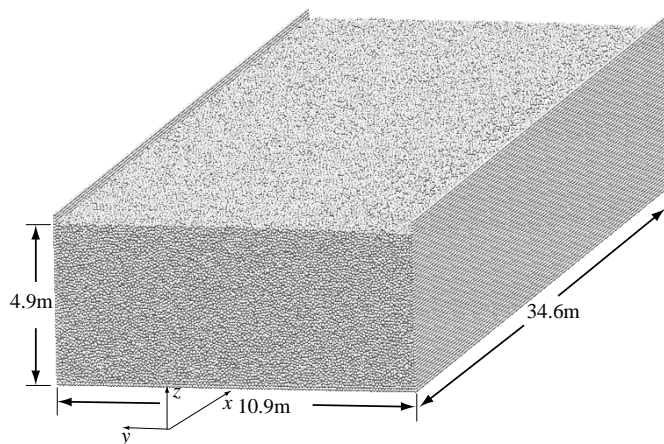


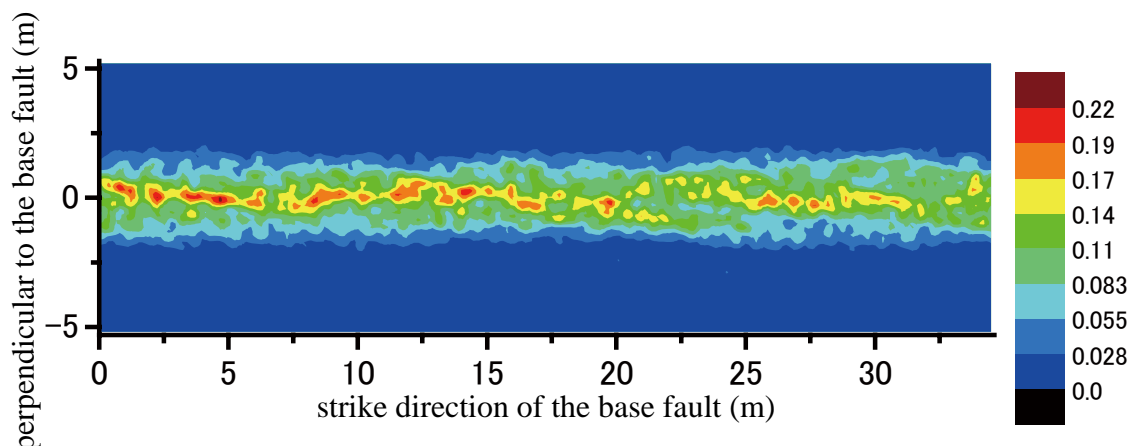
図.1 解析モデル

表 1 解析に用いたパラメタ

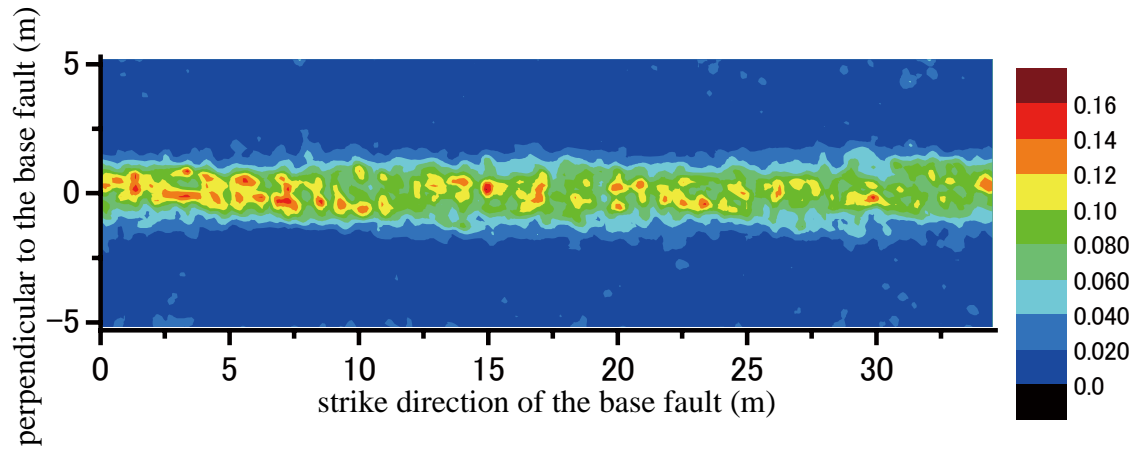
Number of particles	2,368,000
Radii of particles	9 – 12cm
Spring constant (normal)	1.0×10^7 N/m
Spring constant (tangential)	3.0×10^6 N/m
Spring constant (rotation)	3.0×10^6 N/m
Damping coefficient (normal)	1.0×10^3 Ns/m
Damping coefficient (tangential)	6.0×10^2 Ns/m
Coefficient of friction	0.5
Rotational coefficient	0.5

結果: 一例として、ひずみ分布 (最大せん断ひずみ増分) を図2に示す。図2(a)は高さ1.5m (深さ3.4m) における基盤変位100cmから120cmの間の増分、図2(b)は高さ4.5m (深さ0.4m) における基盤変位140cmから160cmの間の増分量を図示したものである。断層直交方向0mが基盤の断層位置に当たる。また、図3には、基盤変位110cmから130cmの間のひずみ増分の3次元的な分布形状を示す。これらの変形段階では、主な変形は基盤断層位置を挟んだ3m程度の範囲で起きている。その変形領域の中に、基盤断層を横切る形状のひずみが大きな領域が見られる。本解析において横ずれ断層で見られる雁行状のせん断帯が再現されている。大ひずみ領域と基盤断層との交差角度(水平面内)は7度から11度程度となっており、また、隣接する領域との間隔はおおよそ10mとなっている。

谷ら²⁾は、淡路島の梨本地区では3カ所で水田や畑に現れた断層を調査し、場所によって7度から38度の斜交角度を持つ地震断層(リーデルせん断)が1.5mから10mの間隔で出現したことを報告している。本解析結果はそれらの内の梨本1の調査結果(未固結被覆:砂層・砂礫層約10m、リーデルせん断の斜交角度7度から14度、間隔8.1mから10.7m)に近い。地盤厚さ(本解析では約4.9m)の近い梨本3(未固結被覆:粘土砂礫層4mから6m、リーデルせん断の斜交角度22度から35度、間隔4.2mから5.1m)とは異なった結果となった。特に、せん断帯の間隔に関しては、本解析では、粒径の大きな粒子を用いていることによる影響を受けている可能性が高い。また、走向方向の解析領域が、せん断帯の形成間隔の3から4倍程度でしかないことも、せん断帯の形状や発達過程に影響を与えている可能性もある。



(a) 高さ1.5m (深さ3.4m)。基盤変位100cmから120cm



(b)高さ 4.5m(深さ 0.4m)。基盤変位 140cm から 160cm

図. 2 最大せん断ひずみ増分分布

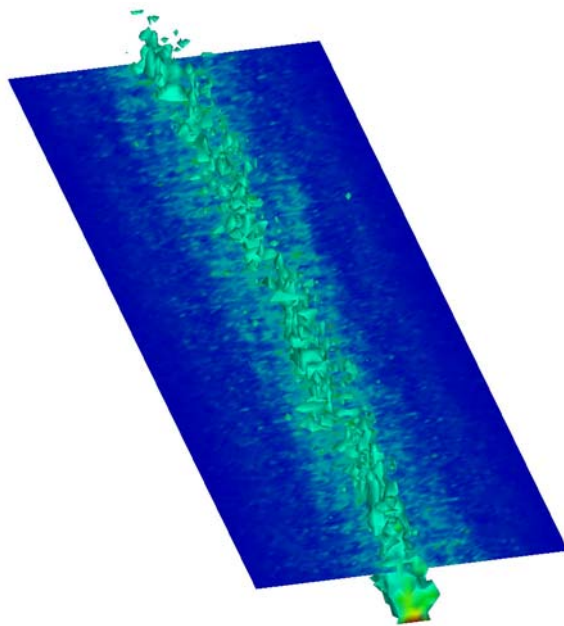


図. 3 最大せん断ひずみ増分分布。基盤変位 110cm から 130cm。等数值 (ひずみ 0.1) ボリューム図と、高さ 2.2m (深さ 2.7m) での等高線図。

結論: 野島断層を対象とした解析を、個別要素法を用いて行った。230 万個あまりの直径 9cm から 12cm の球形粒子を用いた解析により、表層地盤で雁行状に形成されるせん断帯 (地震断層) を再現した。せん断帯の形状などについては、ほぼ同じ地盤の厚さを持つ地点で地表で観察された値とは一致しなかったが、野島断層で観察された値の範囲内におさまる値であった。実験やフィールドでは観察しづらい地盤内部でのせん断帯の 3 次元的形状や進展過程をふくめて表層地盤の変形の様子を明らかにすることができた。今後、様々な断層の地盤内進展プロセスやメカニズムを解明し、さらに、それらを通して断層のすべりや地盤の変形による構造物被害の軽減に役立てていきたいと考えている。

参考文献

- 1) Cundall, P. A., Strack, O. D. L.: A discrete numerical model for granular assemblies, *Géotechnique*, 29(1), 47-65, 1979
- 2) 谷ほか: 野島地震断層で観察された未固結な表層地盤の変形構造, *土木学会論文集 No. 568/III-39*, 21-39, 1997