

I-B 237 断層運動による表層地盤の変形に関する研究

埼玉大学 正会員 谷山 尚 渡辺 啓行

はじめに 地表浅いところで活断層が動いた場合、地震動による被害はもちろんであるが、断層の変位に伴って地表で変位が生じることによって被害が生じる。断層が動いた場合にどこでどの程度の地盤の変形が生じるかということは地震防災上重要である。

我々は、模型実験により、地盤内を伝わる断層変位の位置や断層変位量との関係を調べ、実験の数値解析により解析手法の妥当性を検討し、さらに、動的な断層モデルと表層地盤モデルを組み合わせた有限要素法により、逆断層上の地盤中を伝わる滑りに関して予測を試みた。

模型実験 基盤の変位による表層地盤の変形を調べるため、岐阜砂を用いて模型実験を行った。模型は幅60cm 高さ20cm 奥行き15cm、側面はアクリル製で砂の変形が見られるようになっている。底面はアルミ製で、その片半分（30cm×15cm）は油圧ジャッキで持ち上がるようになっている。模型容器内に砂を入れて締め固めて高さ約14cmの砂地盤を作った。地盤には高さ3cm おきに色砂で線を引いた。油圧ジャッキによって底面の片半分を持ち上げ、その変位量を変位計を用いて読み、砂地盤の変形との関係を調べた。今回の実験ではジャッキによる基盤の変位は垂直に加えた。

実験結果の一例を図1に示す。図は底面の変位量が8mmの時の砂地盤の変形の結果である。底面の変位が増すにつれて、滑り線が砂地盤の下部から上部へ発達していき、上部へ向かうにつれて下盤側へ曲がっていく様子が見られた。また滑り線は1本だけではなく、1本目より上盤側に2本目が見られた。底面変位約6mmで1本目が、10mm前後で2本目が地表に現れるのが目で確認された。個々の滑り線の位置については対数螺旋形で比較的良好に表すことができた。

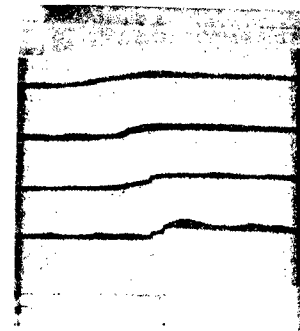


図1 底面変位による砂地盤の変形

模型実験のシミュレーション 有限要素法により実験の数値シミュレーションを行った。実験で滑り線が集めてみられたところに、谷・上田¹⁾で提案された対数螺旋形に、土岐・三浦²⁾のジョイント要素を底面から地表まで1本配して滑り線を表し、周囲の地盤はDrucker-Pragerの破壊基準とキャップを持つ、関連流れ則に従う弾塑性体で非線形挙動を表した。解析はモデルの底面に徐々に変位を加えて静的に行った。解析に用いたパラメータの値は、表1に示す値を用いた。

Density	ρ	1.59g/cm ³
Shear modulus	G	*
Poisson's ratio		0.3
Friction angle		53 (ジョイント要素は50)
Cohesion		0.33g/cm ²
parameter of hardening function	D	0.02744 (g/cm ²) ¹
	W	0.15
Elliptical ratio	R	40

* $G = \beta \times 700(2.17 - e)^2(1 + e) \times \sigma_m^{0.21}$

ただし深さ10cmで $V_s = 110\text{m/s}$

表1 解析に用いたパラメータの値

底面変位8mmのときの数値解析結果を図2に示す。底面変位を加えるに伴い下部から上部へとジョイントの破壊が進行していき、底面変位約0.4mmで地表まで破壊が達するという結果になった。実験結果と比べるとかなり速く破壊が起きているが、これは実験では目で変形を見ていることによると思われる。変形に関しては、

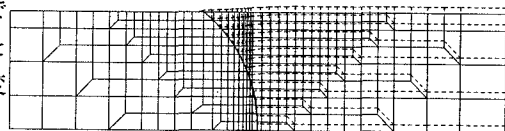


図2 地盤の変形（数値解析結果）

解析では底面変位4.5mmで地表での食い違いが認められ、実験での結果の6mmよりやや速く地表に達する結果となっており、また滑り線上での変形量が実験よ

りも大きい傾向が見られる。滑り線を1本のつながりのジョイント要素で表現していること、解析に用いたパラメーターの値による影響が考えられる。変形の形状については比較的よく表されている。

実際の地震への適用 傾斜角 45 度の逆断層上に堆積層がある場合について、動的な断層モデルと表層地盤モデルを組み合わせた有限要素法で検討を試みた。断層長に比べて薄い堆積層を考えているため、図3のように断層と堆積層を含み堆積層は荒いメッシュ分割となっているモデル1で断層破壊の解析を行い、堆積層下面での変位、速度、加速度を求めた後、堆積層内を細かく分割したモデル2（図4）の底面にそれらの値を入力することで表層地盤の解析を行った。

断層のモデル化は、断層と仮定したところに、土岐・三浦のジョイント要素を配し、ジョイント要素には破壊応力に達すると応力降下を起こす構成関係（図5a）を与えて行った。また、側面には三浦³⁾の粘性境界を与えた。

堆積層については、実験の解析同様のキャップモデルで地盤をモデル化し、断層変位による不連続な滑りが最も生じやすいと考えられる所にジョイント要素を配し、ジョイント上では図5bに示す構成関係を与えた。

解析は断層長、断層上での応力降下量を変えて垂直変位量 2 m から 8 m の地震動を作成し、それらを砂層を想定した堆積層厚 50m、75m、100m の表層地盤に入力し、主として滑り線上のジョイント要素の挙動に着目して行った。解析に用いたパラメーターの値を表2に示す。

解析の結果、50m、75m の場合は数パーセントから 10 パーセント弱の垂直変位量があると地表まで達する滑りが生じ、100m の場合には今回作成した地震動では地表に達しないという結果になった。

まとめ

今回の実験及び解析から以下のような結果が得られた。

1. 実験から基盤の変位に伴って滑りが下部から上部へ発達していく様子が見られ、滑り線は対数螺旋形でよく表すことができる。
 2. ジョイント要素とキャップモデルを用いた有限要素法解析で実験のシミュレーションを行った結果、破壊がやや速く進むものの、変形形状など実験結果と比較的良好に一致した。
 3. 砂地盤の場合、堆積層厚が 50m、75m の場合層厚の数パーセントから 10 パーセント程度の逆断層変位が生じると、地表まで滑りが達する可能性があり、100m の場合はさらに変位が必要となる。
- ただし、数値解析の結果については、パラメーターの値に依存する部分が大きいため、今後さらに検討を加える必要があると考えている。

参考文献

1) 谷和夫・上田圭一、基盤の断層変位に伴う砂層内の不連続面の形状と位置、第 26 回土質工学研究発表会、pp.1185-1188, 1991 2) Toki, K. and Miura, F. Simulation of a fault rupture mechanism by two dimensional finite element method, J.P.E, pp.48-511, 1985 3) 三浦房紀・沖中宏志、仮想仕事の原理に基づく粘性境界を用いた三次元構造物地盤系動的解析手法、土木学会論文集、pp.395-404, 1989

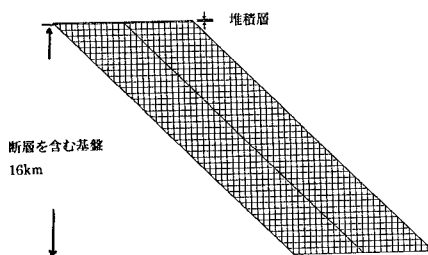


図3 モデル1：断層—堆積層の有限要素モデル



図4 モデル2：堆積層(層厚 100m)の有限要素モデル

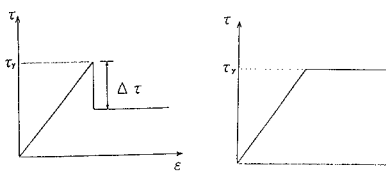


図5a 断層上ジョイント要素 図5b 堆積層上ジョイント

の構成関係		要素の構成関係	
		Bedrock	Alluvium
Density	ρ	2g/cm ³	1.7g/cm ³
Vs		3km/s	200m/s
Shear modulus	G	ρV_s^2	ρV_s^2
Poisson's ratio		0.25	0.3
Friction angle			45 (ジョイント要素は42)
Cohesion			0.01kgf/cm ²
parameter of hardening function	D		0.01078 (kgf/cm ²) ^{1/2}
	W		0.03
Elliptical ratio	R		40
Damping constant	h	0.01	0.01

表2 解析に用いたパラメーターの値