

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。従って、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。

これまでに、室内での静的な載荷実験により、断層変位が地盤内をどのように伝わり、どのような位置で地表に出現するかについて検討がなされてきた¹⁾²⁾。また、有限要素法による、静的に変位を加えた場合の検討もされている³⁾。

我々は、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ついて検討を加えてきた⁴⁾ので、その結果を報告する。

解析モデル 傾斜角 45° の逆断層上に100mの堆積層がある場合について解析を行った。断層長に比べて堆積層厚が薄いため、まず、図1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2）の底面にそれらの値を入力することで表層地盤の変形に関する解析を行った。

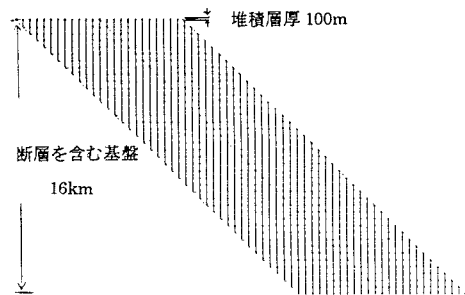


図1 モデル1：断層－堆積層の有限要素モデル



図2 モデル2：堆積層の有限要素モデル

断層のモデル化は、断層と仮定したところに、土岐・三浦⁵⁾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3.a）を与えて行った。また、側面には三浦⁶⁾の粘性境界を与えた。

堆積層については、ドラッカー・プラガー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モデル化し、また、地盤の剛性は国生⁷⁾の結果に合うようなRamberg-Osgoodモデルの骨格曲線に従うとした。また、断層変位により堆積層内で不連続な滑りがもっとも生じやすいと考えられる所にジョイント要素を配置し、ジョイント上では図3.bに示す構成関係を与えた。この滑り線の位置は谷・上田⁸⁾においてダイレタンシー角 ν と内部摩擦角 ϕ が等しいとして与えた。表層地盤内を不連続な滑りがどう伝播するかに着目し、解析は主としてこの滑り線上のジョイント要素の挙動に着目して行った。

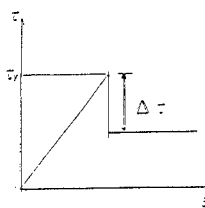


図3a 断層上のジョイント要素の構成関係

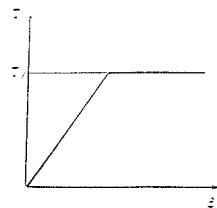


図3b 堆積層のジョイント要素の構成関係

解析は、表1に示すように、1. 断層長を変えて地震の大きさを変えた場合、2. 堆積層として粘性土を考えた場合と砂質土を考えた場合、3. 堆積層内の初期水平応力と垂直応力の比を変えた場合と、4. 堆積層の初期剛性として $V_s=200\text{m/s}$ として与えた場合と、応力に応じて変えた場合、について行い、4つのそれれによる影響を調べた。

解析は有限要素法で行った。解析に用いたパラメータの値を表2に示す。

地震の大きさ			堆積層		初期応力		初期剛性	
case1	断層長	19km	case1	粘性土	$\sigma_v = pgh$	case1	$G = \rho V_s^2$	
	応力降下	30bar			case1	$\sigma_h = 0.43 \sigma_v$		
case2	断層長	7km	case2	砂質土	case2	$\sigma_h = 1.0 \sigma_v$	case2	$G = 700 f(e) (\sigma')^{0.5}$
	応力降下	30bar			砂質土については0.5と0.7			$f(e) = (2.17 - e)^2 / (1 + e)$

表1 本解析で検討したケース

	bedrock	alluvium
density	2.0g/cm ³	1.7g/cm ³
Vs	3km/s	200m/s
poisson's ratio	0.25	0.3
cohesion	-	0.01kgf/cm ²
friction angle	-	26.6°
damping constant		

表2 解析に用いたパラメータの値

解析結果 断層長を19km、断層面上の応力降下量を30barとすると約10mの断層変位が生じ、断層長を7kmとすると約4m変位が生じた。10mの断層変位を生じる地震動を、粘性土で、初期剛性を $V_s=200\text{m/s}$ として与えた場合の堆積層の下面に入力したところ、初期応力比 $\sigma_h/\sigma_v=0.43$ の場合でも $\sigma_h/\sigma_v=1.0$ のばあいでも堆積層下面から地表面に達する滑りが生じた。

一方、4mの断層変位量の地震動の場合には初期応力 $\sigma_h/\sigma_v=0.43$ の場合、滑りは堆積層下面付近でのみ起こり、初期応力として $\sigma_h/\sigma_v=1.0$ とすると下面から地表面に達する滑りが生じた。これを表にまとめたのが、表3である。

表中の数字は滑りが堆積層下面から地表

面に達した時の基盤上面での断層変位を値を表し、一は堆積層内の途中までしか滑りが生じなかったことを表している。

砂質土の場合については、いずれの場合にも堆積層下面から地表にまで達する滑りは生じなかった。初期応力比を $\sigma_h/\sigma_v=0.7$ とし、断層上変位10mの入力を加えた場合、砂の初期剛性を深さによらず $V_s=200\text{m/s}$ として与えると下面10m程度滑りが生じていたのに対し、初期剛性を応力に応じて変えたと35m程度滑りが生じた。初期剛性の違いによって結果にかなり影響を与える。

また、いずれのばあいにも、堆積層下面からの滑りが地表面に達する前に、地表で破壊条件に達するという結果が得られた。

まとめ 今回の解析で以下のような結果が得られた。

1. 粘性土の厚さ100mの堆積層に対して10m程度の逆断層の変位が生じた場合、地表まで滑りが生じる。一方、4m程度の変位の場合は、応力状態によっては地表に達する可能性がある。
2. 砂質土の堆積層の場合は、10m程度の逆断層変位が生じても地表までは滑りが生じない。
3. 滑りの達する深さは地盤の初期剛性、初期応力状態によって影響を受ける。
4. 下面からの滑りが地表まで達しない場合でも、伝播する波動によって地表付近が破壊条件に達する可能性がある。

参考文献 1) Cole, D.A. & Lade, P.V, Influence zones in alluvium over dip-slip fault, ASCE pp.599-615, 1984 2) 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 3) Jonathan D.B., et.al., Analysis of Earthquake Fault Rupture Propagation Through Cohesive Soil, ASCE, pp.562-580, 1994 4) 谷山尚・渡辺啓行, 断層運動に伴う表層地盤の挙動に関するシミュレーション, 土木学会第49回年次学術講演会, 1-B, pp.1324-1325, 1994 5) Toki, K. and Miura, F. Simulation of a fault rupture mechanism by two dimensional finite element method, J.P.E, pp.48-511, 1985 6) 三浦房紀・沖中宏志, 仮想仕事の原理に基づく粘性境界を見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 7) 国生剛治, 土の動的変形特性と地盤の非線形振動応答に関する研究, 1982

	$\sigma_h/\sigma_v=0.43$	$\sigma_h/\sigma_v=1.0$
断層長19km	4.5m	2.4m
断層長7km	-	2.1m

表3 堆積層下面から地表まで滑りが達したときの基盤上面での断層変位量(粘性土、初期剛性を $V_s=200\text{m/s}$ として与えた場合)