

綾瀬川断層を対象とした地震時地盤変形解析

－ ブーミング解析による深部地盤モデルと浅部地盤モデルの連結 －

(独) 産業技術総合研究所 活断層・地震研究センター	正会員	竿本 英貴
同上	非会員	安藤 亮輔
(財) 電力中央研究所 地球工学研究所	非会員	木村 治夫

1. はじめに

断層運動に伴う表層地盤の非弾性変形解析は、1990年代から土木工学・地盤工学分野を中心として有限要素法や個別要素法等によるアプローチが数多くなされてきた¹⁻⁶⁾。これらのほとんどは、表層地盤内に形成されるせん断帯の発達過程に着目した議論がなされており、表層地盤に入力される変位(境界変位)には注意がほとんど払われていない。本研究では、従来の表層地盤モデル(以下、浅部地盤モデルと記述、深度100m オーダ)と地震発生層を含むスケールの深部地盤モデル(深度10km オーダ)をブーミング解析により連結し、深部から地表に至るまでの一連の地震時地盤変形をシミュレーションにより予測することを試みた(図-1)。この過程の中で、浅部地盤モデルには、深部地盤変形解析結果を反映した境界変位を入力している。また、ブーミング解析のほか、浅部地盤モデルでは、反射法地震探査結果^{7,8)}およびボーリング調査結果、地層サンプルの三軸圧縮試験結果⁹⁾から得られた各種情報を可能な限り統合し、現実的な解析モデルを作成した。

2. 有限要素モデルと解析条件

まず、深部地盤の変位場を拡張有限要素法(X-FEM)により求めた後、浅部地盤モデル(図-2)の底部に相当する領域の変位を抽出する。抽出した変位を浅部地盤モデルの境界変位(図-3)とし、浅部の弾塑性解析を実施することで地震発生層から地表に至るまでの変形解析が完結する。ここで、浅部地盤モデルの境界変位は、深部解析結果の変位場をスケーリングし、最大変位量が0.25mとなるように調整した。入力変位量の上限値を0.25mに限った理由は、ロバストな予測値の考慮ということより手法構築の端緒として、主として有限要素法での収束計算の安定性を確保するためである(食い違い変位をうけるメッシュが大きく歪む)。地盤材料の構成式は弾塑性モデルとし、降伏条件にはDrucker-Pragerモデルを適用した。PS検層および三軸圧縮試験から得られた材料パラメータは、表-1に示すとおりである。なお、入力変位の最大量が0.25mであっても、浅部地盤モデル内に生じるせん断帯は、地表近くに到達することを確認している。

3. 解析結果と考察

図-4は、せん断ひずみの絶対値の分布を示したものであり、モデル底部から地表に向けて伸びるせん断帯が確認できる(断層の進展に相当)。地層BとCは粘着力が大きいので、局所化したせん断ひずみを周囲に分散

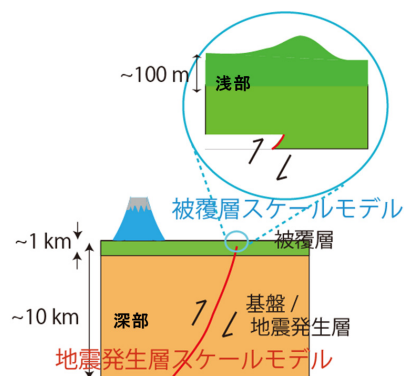


図-1 深部地盤モデルと浅部地盤モデルのスケール

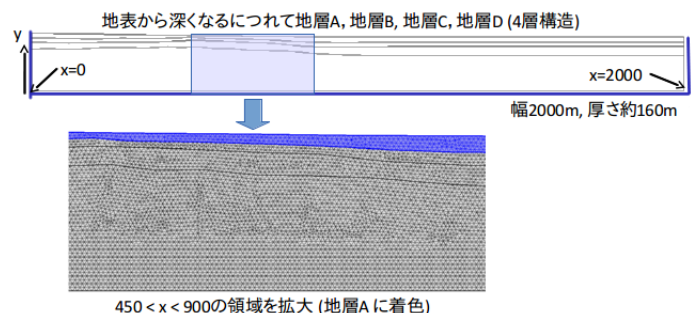


図-2 浅部地盤の有限要素モデル(幅2000m, 深さ150m)

キーワード: 綾瀬川断層, ブーミング解析, 有限要素法, 拡張有限要素法

連絡先: 〒305-8567 茨城県 つくば市東 1-1-1 中央第7, E-mail: h-saomoto@aist.go.jp

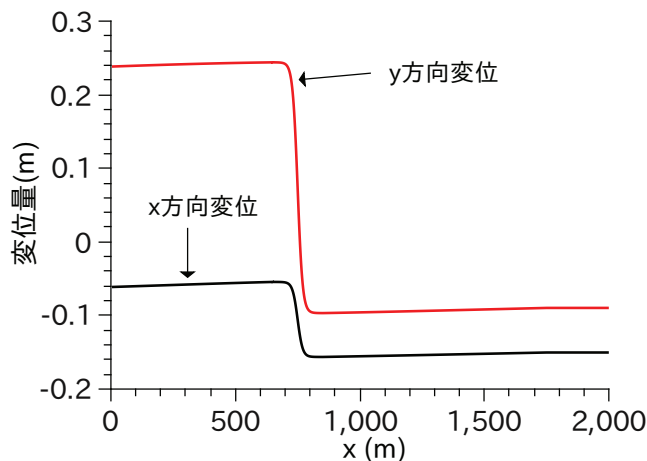


表-1 各地層の物性値

地層	ヤング率 (MPa)	ポアソン比	内部摩擦角 (deg.)	粘着力 (kPa)
A	274	0.49	15.8	7.3
B	615	0.48	15.9	128.1
C	490	0.48	14.8	77.8
D	490	0.48	38.1	10.3

図-3 深部地盤変形を考慮した浅部地盤モデルの境界変位

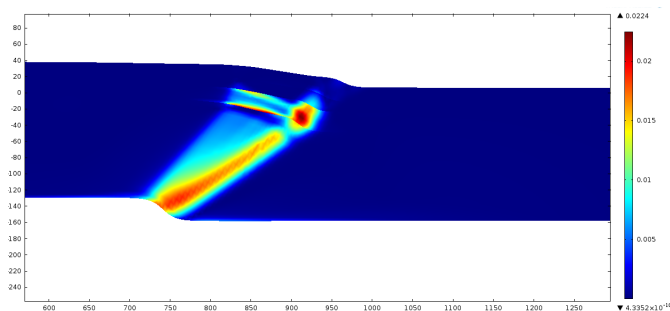


図-4 浅部地盤変形解析から得られた断層進展状況

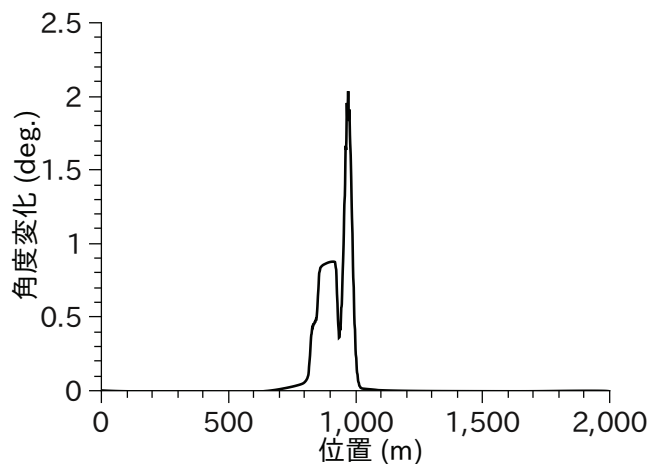


図-5 浅部変形解析から得られた地表の傾斜角度

させている様子がわかる。この結果については、実際の地盤材料のパラメータを入力したことによる影響が大きい。図-5は、数値解析で得られた地表変形について、傾斜角度を抽出したものである。断層線に直交する方向の、上盤側 200m の範囲内 ($800 \leq x \leq 1000$) で大きな傾斜が認められる。健康被害の観点では、傾斜角が 0.3° を越えると傾斜が感じられ、 2° 程度に達するとめまいや頭痛などの症状が現れるとされている¹⁰⁾ ことから、上盤側 200m の範囲内では何らかの健康被害が現れるものと推察できる。なお、傾斜角が 0.6° 程度以上で、家屋の改修が必要であるとされているため、この領域では経済的な被害も生じることが考えられる。また、下盤側ではほとんど変状が現れていないことも、これまでの被害調査結果と整合的である。

4. まとめと今後の展望

可能な限りの探査データを考慮・統合し、深部から地表に至るまでの地震時地盤変形解析を行った。結果、断層線から上盤側に 200m 程度の範囲内で健康被害および経済的被害が予測された。深部地盤内と浅部地盤の境界は明確ではなく、反射法地震探査等によって得られているデータに応じて便宜的に設定しているのが現状である。この点に関しては、どのように設定するのが合理的なのかを検討する必要がある。加えて、浅部モデル内で大変形解析が可能となるようにシミュレータを高度化する。

参考文献

- 1) Bray, J. D.: The effects of tectonic movements on stresses and deformations in Earth embankments, Ph.D dissertation, Univ. of California, Berkeley, 1990.
- 2) 谷 和夫：ジョイント要素を用いた FEM による逆断層の模型実験のシミュレーション，地盤の破壊とひずみの局所化に関するシンポジウム，pp.215-222，1994.
- 3) 中川，堀：スペクトル確率有限要素法を用いた横ずれ断層運動に伴う地表地盤の変状とその確率分布に関する研究，応用力学論文集，5，pp.573-580，2002.
- 4) Johansson, J. and Konagai, K.: Fault induced permanent ground deformations: Experimental verification of wet and dry soil, numerical findings 'relation to field observations of tunnel damage and implications for design, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol.27, pp.938-956,2007.
- 5) 竿本ほか：横ずれ断層運動に伴うせん断帯発達過程に関する DEM シミュレーション，土木学会地震工学論文集，28 巻，2005.
- 6) 堀 宗朗：断層変位のシミュレーション，活断層研究，28 号，2008.
- 7) 石山ほか：変動地形・ボーリング・反射法地震探査により明らかになった綾瀬川断層北部の撓曲変形，活断層・古地震研究報告，2005.
- 8) 木村ほか：関東平野北西縁断層帯綾瀬川断層上盤側の第四紀後期の隆起速度-大宮台地北部における S 波反射法地震探査-，地震，第 2 輯，64(3)，pp.117-131，2012.
- 9) 吉見，竿本：埼玉県鴻巣市における綾瀬川断層の被覆層の 50 m ボーリング，PS 検層および三軸圧縮試験結果，活断層・古地震研究報告，pp.1-9，2006.
- 10) 日本建築学会：住まいづくり支援建築会議 情報事業部会，<http://news-sv.aij.or.jp/shien/s2/ekijouka/health/> (2013 年 4 月 5 日アクセス)