

III-479 基盤の断層変位に伴う砂層の変形

(財)電力中央研究所 正員 谷 和夫、金谷 守
(株)構造計画研究所 大波正行、福田昌幸

1. はじめに 本研究は、基盤岩内の断層が地震時に変位することによって生じる、第四紀層内および地表面の変形の性状とその程度を明らかにする目的で行うものである。今回は、別途実施している砂箱模型実験を対象として行ったFEMによる変形解析の結果を、特に断層の先端部より形成され地表面に向かって伝播するせん断層の位置と形状に注目して考察した。

2. 解析方法 長さ165cm、幅40cm、高さ50cmの土槽を用いた模型実験を想定し、有限要素モデルは浅い角度($\alpha=10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$)の断層に対してはモデル1(図1(a))を、深い角度($\alpha=60^\circ, 70^\circ, 80^\circ, 90^\circ$)の断層に対してはモデル2(図1(b))を用いた。境界条件は、点Cを境に右側底面CDに $0^\circ < \alpha \leq 90^\circ$ の範囲で鉛直方向に v (上向き:逆断層、下向き:正断層)、水平方向に $u = v / \tan \alpha$ の強制変位を与え、左側底面BCは固定境界とした。また、強制変位を与えない側の側面ABは鉛直ローラー支持とし、反対側の側面DEは底面CDと等しい強制水平変位 $u = v / \tan \alpha$ をする鉛直ローラー支持とする。強制鉛直変位は1ステップあたり $\Delta v = 0.4\text{mm}$ とし、30ステップ(最終鉛直変位12mm)まで解析した。

解析に用いたプログラムは、弾-塑性論に基づいて、砂などの粒状体の単調載荷時におけるダイレイタンス特性を含むせん断挙動を表現できる非線形構成式¹⁾を適用したものである。解析に用いる物性値は、解析対象が空気乾燥豊浦砂(落下高さ50cm以上の空中落下法)を用いた1gの二次元模型実験であることを考慮し、低拘束圧平面ひずみ状態下の密詰め豊浦砂に対応する概略値を用いた(表1)。

3. 解析結果 実地盤でのトレンチ調査^{2),3)}や室内模型実験では、基盤内の断層の先端部より形成され地表面に向かって伝播する変形が極めて集中した薄い層(せん断層)が必ず観察されている。基盤岩内の断層変位は、この第四紀層内に形成されるせん断層に沿って生じる相対変位(すべり)と、その周辺の連続的変形(撓曲)によって吸収されているが、今回適用したFEM解析では以下2つの理由によって、この現象を正確にシミュレーションすることが不可能である。

- (1) すべりを表現できる要素を用いていないため、本質的に連続的変形しか取扱うことができない。
- (2) 断層変位を要素の節点変位として与えているため、断層の先端部Cで実際の基盤岩と第四紀層の境界面の変形を適確にモデル化していない(図2)。

このように、現象全体の支配的要因であるせん断層の形成が正しくモデル化されていないが、以下このせん断層が形成される位置と方向が、それぞれFEM解析結果でひずみが集中する領域と各要素の伸び縮みのない方向(zero extension direction)と一致していると仮定して、第四紀層内に形成されるせん断層の形状と位置について考察してみる。

代表的な解析結果として、図3に 10° の逆断層(10ステップ、 $v = 4\text{mm}$)と図4に 90° の鉛直断層(30ステップ、 $v = 12\text{mm}$)の(a)最大せん断ひずみ分布と(b)各要素の伸び縮みのない方向を示す。図中に書かれた破線は、ひずみの集中した領域を各要素の伸び縮みのない方向を滑らかに連ねたもので、せん断層が形成・伝播する部分であると解釈する。 10° の逆断層の場合(図3)、断層の先端Cより左右に水平に伸び、下に凸のカーブを描いて地表面に到達する2本のせん断層が存在する。なお、非常に浅い角度の逆断層の場合($\alpha < 30^\circ$)、主要なせん断層が左右2方向に形成されることは模型実験でも確認されている。また、 90° の鉛直断層の場合(図4)、せん断層は基盤よりほぼ鉛直に進展し、地表面近くで多少左側に曲がるのが分かる。このようにして求めたせん断層の位置より、断層が水平面となす角 α と w/h (第四紀層の層厚 h 、せん断層が地表面に到達する位置と断層の先端部Cの水平距離 w)の関係を求めたものが図5である。図中の実線は剛完全塑性理論

に基づく考察より得られた、不連続面が第四紀層下部で水平面となす角 α と地表面に到達する位置 w/h の関係をダイレイタンス角 $\nu=20^\circ$ として求めたもの³⁾であり、FEMの結果と多少の相違が認められる。

今後、せん断層の形成をより合理的に表現できるFEM解析を進める予定である。

参考文献 (1) Nishi, K. & Esashi, Y. (1978) "Stress-strain relations of sand based on elastoplasticity theory", Proc. JSCE, Vol.280, pp111-122. (2) 宮腰勝義 他(1988) "根尾谷断層の活動性"、電中研報告、U88052. (3) 曾根賢次、上田圭一(1990) "沖積層下の断層調査—(1)深溝断層トレンチ調査—"、電中研報告、U90029. (4) 谷 和夫、上田圭一(1991) "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。

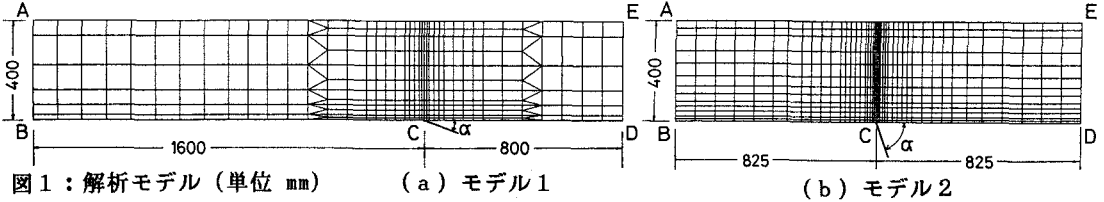
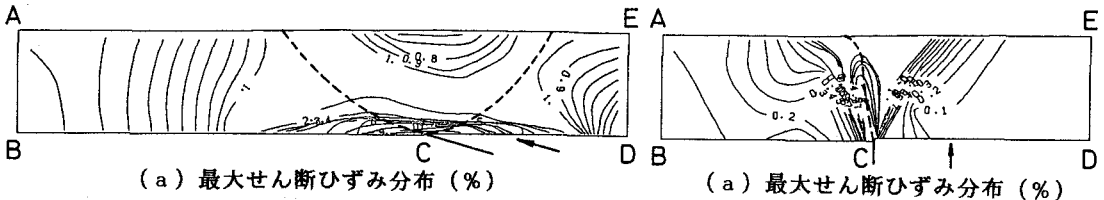


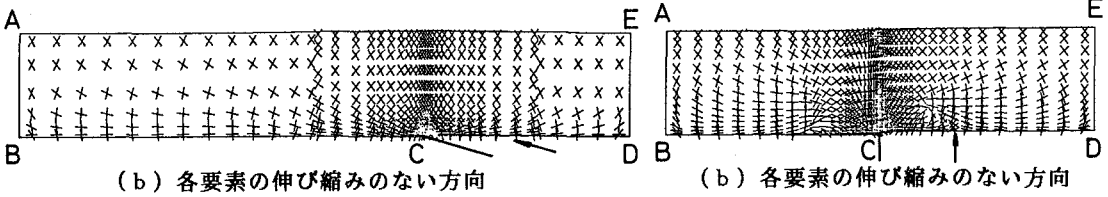
図1: 解析モデル(単位 mm) (a) モデル1

(b) モデル2



(a) 最大せん断ひずみ分布 (%)

(a) 最大せん断ひずみ分布 (%)



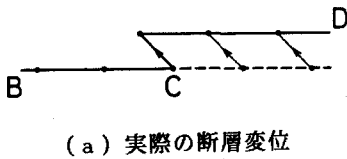
(b) 各要素の伸び縮みのない方向

(b) 各要素の伸び縮みのない方向

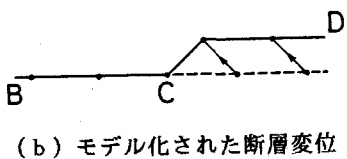
図3: $\alpha=10^\circ$ の逆断層(ステップ10, $\nu=4$ mm)

図4: $\alpha=90^\circ$ の鉛直断層

(ステップ30, $\nu=12$ mm)



(a) 実際の断層変位



(b) モデル化された断層変位

図2: 基盤岩と第四紀層の境界で与えられた断層変化

γ (gf/cm ³)	1.6	e	0.68
G	200	λ	0.01
ϕ_f	50°	χ	0.004
ϕ_m	30°	ν	0.3

表1: 解析に用いた物性値

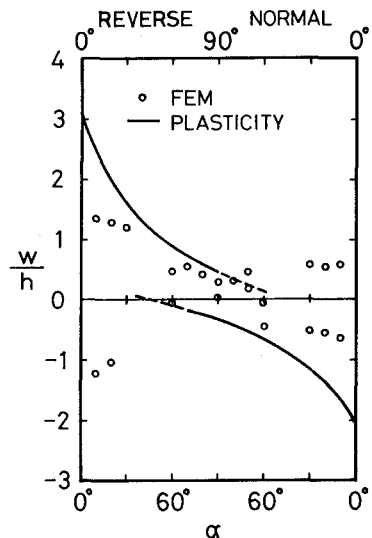


図5: $w/h \sim \alpha$