

I - A97

雁行状断層モデル実験の数値シミュレーション

学生会員 日本工営 水谷 俊夫

正会員 東京大学地震研究所助教授 堀 宗朗

1. 研究の背景と目的

地震挙動予知のための手法の一つとして断層の数値シミュレーションが挙げられる。解析に際しては断層の形状・構成則・応力状態等に関する情報が必要であるが、地下深くの情報を知るのは容易ではない。一方、地表に現れる地表地震断層の形状や物性は比較的容易に推測することができるため、地表地震断層の解析が数値シミュレーション開発の第一歩となる。

地表地震断層では、亀裂が断層線に沿って一本の直線となって現れるよりは短い線が斜めに連続した雁行状断層となって現れるものが多い。雁行状断層では、基盤と地表の境界線に複互構造が形成され、基盤の一つの断層面から複数の亀裂が発生することが知られている。数値シミュレーションではこのような分岐現象を再現することが必要となる。

本研究では、分岐解析を再現する数値シミュレーションを開発し、地表地震断層のモデル実験であるリーデル線発生実験の再現を試みる。

2. モデル実験概要

リーデル線の発生実験では、ひずみや応力等をできるだけ一様にするのが要求される。そこで、発生実験として円盤状供試体のねじりせん断試験を行った。なお、供試体の材料としてゼラチンを用いた。また、供試体の変形をビデオ撮影し画像解析することで、表面の変位分布やひずみ分布を得ることができる。図-2.1 は供試体の8×10cm程度の部分を撮影したもので、図-2.2 は表面の最大せん断ひずみの分布である。ひずみは亀裂に集中し、ある一定の角度と周期性をもって現れている。

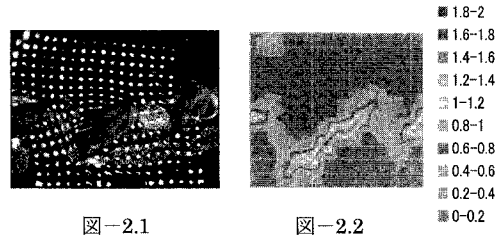


図-2.1

図-2.2

3. 数値シミュレーション概要

本研究の数値シミュレーションで用いる有限要素法の特徴を以下に挙げる。

- 1) 8 節点ソリッド要素。要素分割はアンバイアス。
- 2) 亀裂を塑性ひずみが局所化したものと仮定する。
- 3) 降伏応力のばらつきを考慮した構成則を用いる。
- 4) 修正ニュートン法を用いて外力の増分ごとに反復計算によって収束点を求める。

4. ばらつきを考慮した構成則

数値シミュレーションでは分岐現象という非線形問題を解かなくてはならない。有限要素法の非線形解析では不連続または滑らかでない関数を扱うことは難しく、通常の弾塑性解析の場合では図-4.1 のような傾きの不連続性を生じてしまうことが問題となる。この問題を解決する一つの方法として、弾性除荷と塑性載荷が滑らかに起こるように近似するのが効果的である。具体的な方法として、降伏応力のばらつきを考慮した構成則を提案する。降伏応力が適当な確率分布にしたがってばらつきと仮定すると、構成則や応力の期待値は図-4.2 のように滑らかな関数となる。

キーワード：ばらつき、分岐

連絡先：〒113-0032 東京都文京区弥生 1-1-1

東京大学地震研究所 03-3814-5751(ex.5740)

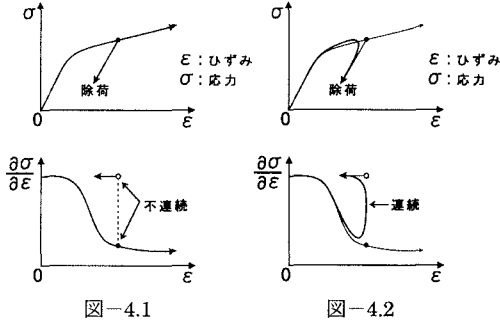


図-4.1

図-4.2

実際の数値シミュレーションでは、降伏応力に対応する降伏関数を設定し、得られる構成則の期待値を用いて解析する。

5. 数値シミュレーション結果

図-5.1 に示すように、単純せん断をモデルとした数値シミュレーションを行った。サイズは $20 \times 50 \times 1\text{cm}$ とし、要素数は $10 \times 20 \times 5$ とした。また、一軸圧縮試験よりヤング率を 33kPa 、ポアソン比を 0.3 とし、構成則として降伏応力 5.2kPa を持つフォンミーゼスタイプの降伏関数を仮定した。なお、画像解析から得られた変位分布から応力分布を逆解析し、ひずみと応力の関係を調べて構成則を推定した。

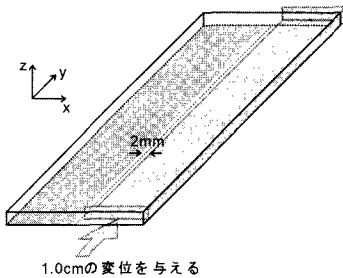


図-5.1

次に、降伏応力のばらつきを設定する。本研究では図-5.2のような5個の降伏応力と図-5.3のような簡単な確率分布を設定した。

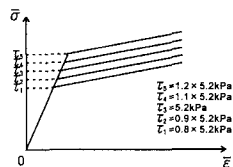


図-5.2

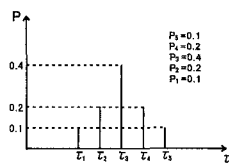


図-5.3

図-5.4 に数値シミュレーションの結果（表面の最大

せん断ひずみ分布）を示す。(a)はばらつきを考慮しない通常の解析、(b)はばらつきを考慮して解析した結果である。通常の解析ではひずみの集中は真直ぐにしか現れないが、ばらつきを考慮した解析ではひずみの集中は上下に分かれ、少しねじれたような形となって現れている。実験結果のような明確な角度や周期性は見られないものの分岐解析が行われていることを示している。

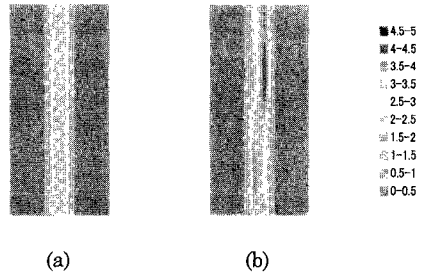


図-5.4

6. 結論

本研究の目的は、数値シミュレーションプログラムを開発し、モデル実験の再現を試みることであった。ばらつきを考慮した構成則を用いることで、分岐現象をある程度再現することに成功した。アンバイアスの要素分割でこのような過程をシミュレートできたことは大きな成果である。

さらに、モデル実験の定量的な再現性を求めるためには、大規模数値計算や幾何学非線形の取り扱いなどが挙げられる。また、雁行状断層の数値シミュレーションを行うためには、それに加えて地盤に近いタイプの構成則を導入することが必要である。

参考文献

- 1) 後藤 寛英, リーデル線のねじりせん断試験と高精度画像解析による変位場測定, 1997
- 2) M. Hori and S. Munasighe, Generalized Hashin-Shtrikman variational principle for boundary-value problem of linear and non-linear heterogeneous body, 1998