



### カルマンフィルタを用いた3次元有限要素法による逆解析（3）

カルマンフィルタと3次元有限要素法とを組み合わせた逆解析手法は、地盤中で生じている様々な変化について、その変化が生じた場所とその大きさを推定することができます。ここでは地盤の一部に剛性低下が発生した場合の例を紹介します。

#### 地盤内部の剛性低下箇所を推定

本手法を用い、地盤に何らかの原因で剛性の低下が発生した場合の、発生した場所と剛性の低下率を逆解析により推定してみます。地盤に生ずる剛性の低下の原因としては、塑性化や疲労劣化あるいは構造骨格の破壊などが考えられます。

剛性の低下を簡単な応力 - ひずみ関係で示すと、次のようになります。

$$\sigma = (1 - \alpha)E(\varepsilon - \varepsilon_0) + \sigma_0$$

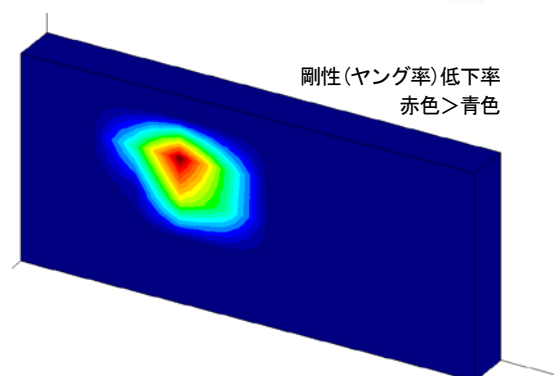
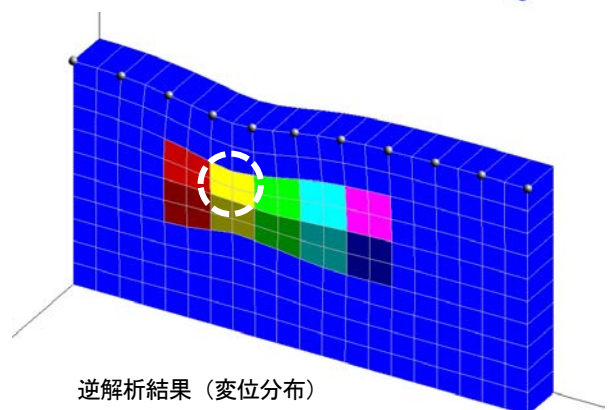
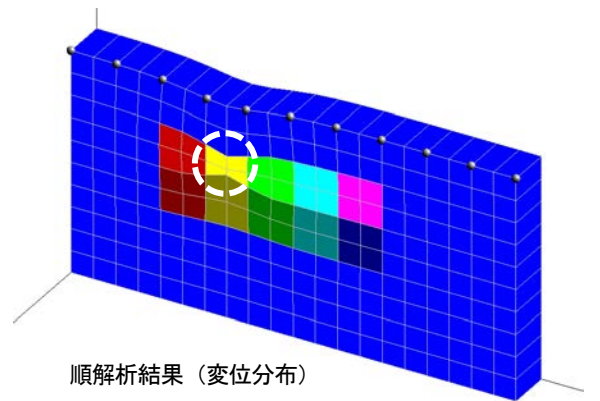
ここに、 $\alpha$  は剛性低下率、 $E$  はヤング率、 $\varepsilon_0$  は初期ひずみ、 $\sigma_0$  は初期応力です。

これをもとに、 $\alpha$  を状態変数とした状態空間モデルを作成し、変位の推定値  $f(x)$  と観測行列  $A$  を求めます。その上で、カルマンフィルタにより  $\alpha$  を推定します。

右図上に示すモデルを用いて、逆解析の的確さを調べてみます。青色以外の色の付いた10個の領域の内の一つに50%のヤング率低下を発生させ、モデルに変形を生じさせます。地表面に配置した観測点におけるこのときの鉛直変位を観測値とし、逆解析によりヤング率の低下が発生した場所とその大きさを推定してみます。ただし、ヤング率の低下は10個の領域のどれでも生ずる可能性があるものとします。右図では、上の段の左から2番目の領域にヤング率の低下を発生させ、観測値を設定しました。ヤング率が低下した領域では自重を支えられなくなり、圧縮変形が発生することがわかります。

右図中央が逆解析の結果得られた変形図です。上の段の左から2番目の領域を中心に、圧縮の変形が発生していることが推定されています。剛性（ヤング率）低下率のコンターを描くと右図下のようになります（赤色は低下率大）。

この例では、ヤング率の低下を与えた領域に比べ、やや広い領域で低下が推定されていますが、ヤング率低下が発生した場所と大きさを推定できることが示されています。

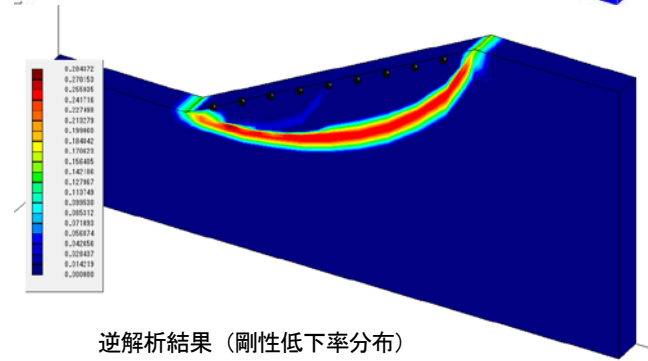
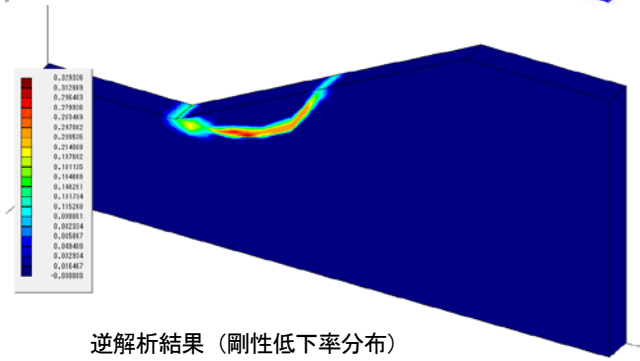
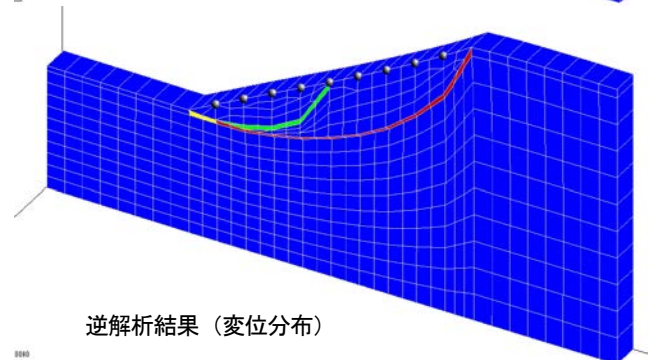
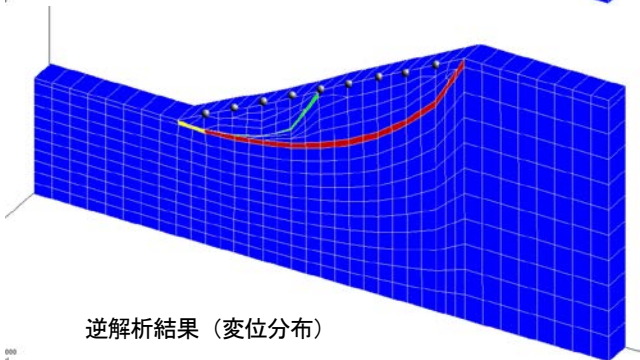
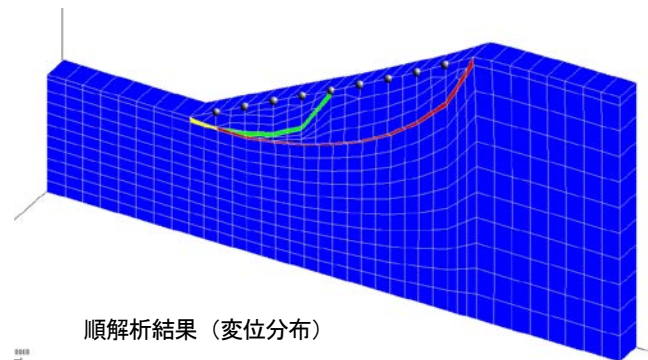
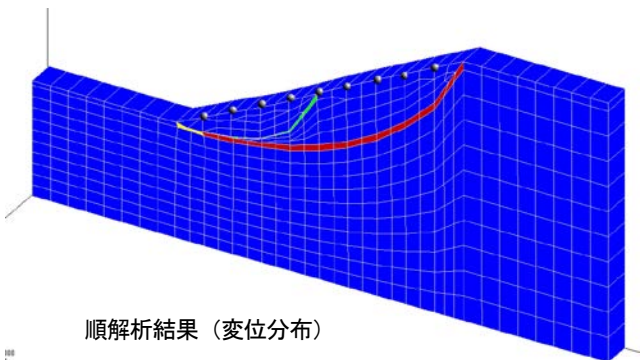
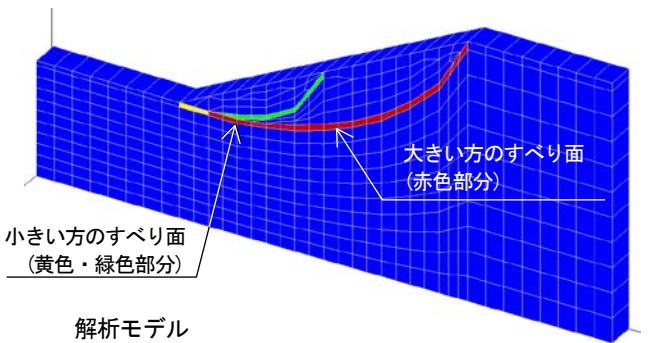


逆解析結果（剛性(ヤング率)低下率分布）

## 斜面のすべり面や剛性低下領域を推定

斜面のすべり面を複数仮定し、地表面の変形からどのすべり面で変形が発生したのかを逆解析により推定した例を紹介します。用いたモデルを右図に示します。黄色と緑及び赤の領域ですべりが発生するものと仮定し、すべり変形はこれらの領域の剛性（ヤング率）低下で表現します。

最初に、黄色と緑色の領域に剛性低下を発生させ、小さい方のすべり面ですべりを発生させます（左列）。このときの地表面の変形からすべりを生じた面を逆解析により推定します。逆解析の結果では、黄色と緑色の領域で剛性低下が生じてすべりが発生したことが推定されています。今度は、黄色と赤の領域に剛性低下を発生させ、大きい方のすべり変形を起こした場合の地表面変形を使った場合です（右列）。逆解析の結果では、黄色と赤色の領域で剛性低下が生じてすべりが発生したことが推定されています。



<https://www.geolab.jp> お問い合わせは [chisouken@geolab.jp](mailto:chisouken@geolab.jp)



株式会社 地層科学研究所  
 本社 〒242-0017 神奈川県大和市大和東 3-1-6 JMビル 4F Tel. 046-200-2281  
 東京事務所 〒112-0004 東京都文京区後楽 2-3-25 金子ビル 6F Tel. 03-5842-7677  
 大阪事務所 〒532-0011 大阪市淀川区西中島 5-7-19 第7新大阪ビル 301号 Tel. 06-6886-7774