



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（2）

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、安定した収束性を得ることができただけではなく、様々な問題に適用が可能です。ここでは、変形問題を例にとり、変形が生じた場所とその大きさを推定した例を紹介します。

地盤内部の変形発生個所を推定

本手法を用い、地盤内部に何らかの原因で体積ひずみの変化が発生した場合の、発生した場所と体積ひずみの大きさを逆解析により推定してみます。地盤に生ずる体積ひずみ変化としては、間隙水の排出に伴う圧密や二次圧密、熱膨張や収縮、凍結膨張などが考えられます。

このような変化が生じた場所が特定できれば、対策工の選定などに貢献します。

このような体積ひずみの発生を応力 - ひずみ関係で示すと、次のようになります。

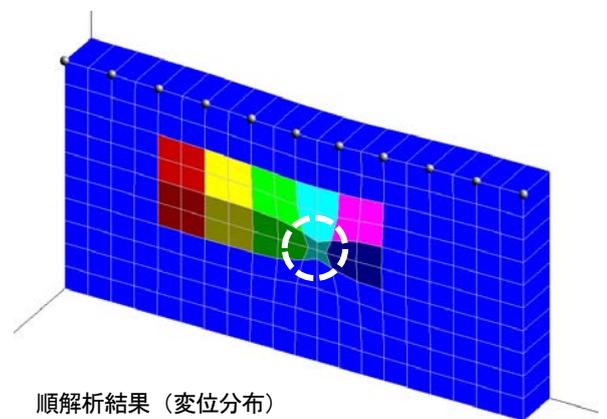
$$\sigma_m = K(\varepsilon_v - \varepsilon_v^i)$$

ここに、 σ_m は平均応力、 K は体積弾性定数、 ε_v は体積ひずみ、 ε_v^i は何らかの原因で発生した体積ひずみです。

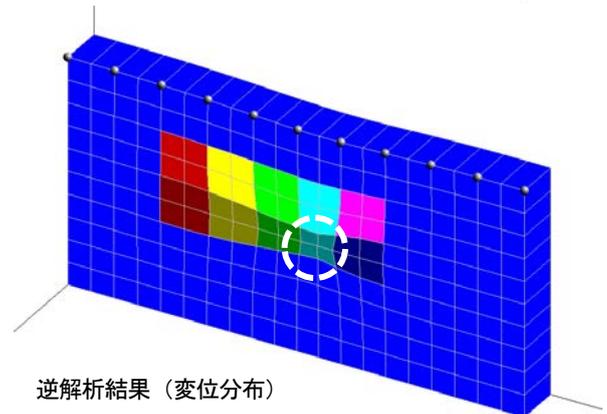
これをもとに ε_v^i を状態変数とした状態空間モデルを作成し、変位の推定値 $f(x)$ と観測行列 A を求めます。その上で、カルマンフィルタにより ε_v^i を推定します。

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個の領域の内一つに収縮の体積ひずみを発生させ、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、逆解析により体積ひずみが発生した場所とその大きさを推定してみます。ただし、体積ひずみの変化は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、下の段の右から2番目の領域に収縮の体積ひずみを発生させ、観測値を設定しました。

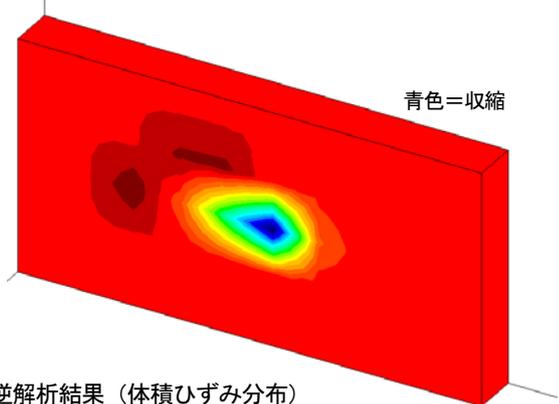
右図中央が逆解析の結果得られた変形図です。下の段の右から2番目の領域を中心に、収縮の変形が発生していることが推定されています。体積ひずみのコンターを描くと右図下のようになります（青色は収縮）。与えた収縮の体積ひずみ0.1%に対して0.07%程度の収縮ひずみが推定されています。この例では、収縮変形が発生した場所と大きさが、的確に推定されています。



順解析結果（変位分布）



逆解析結果（変位分布）



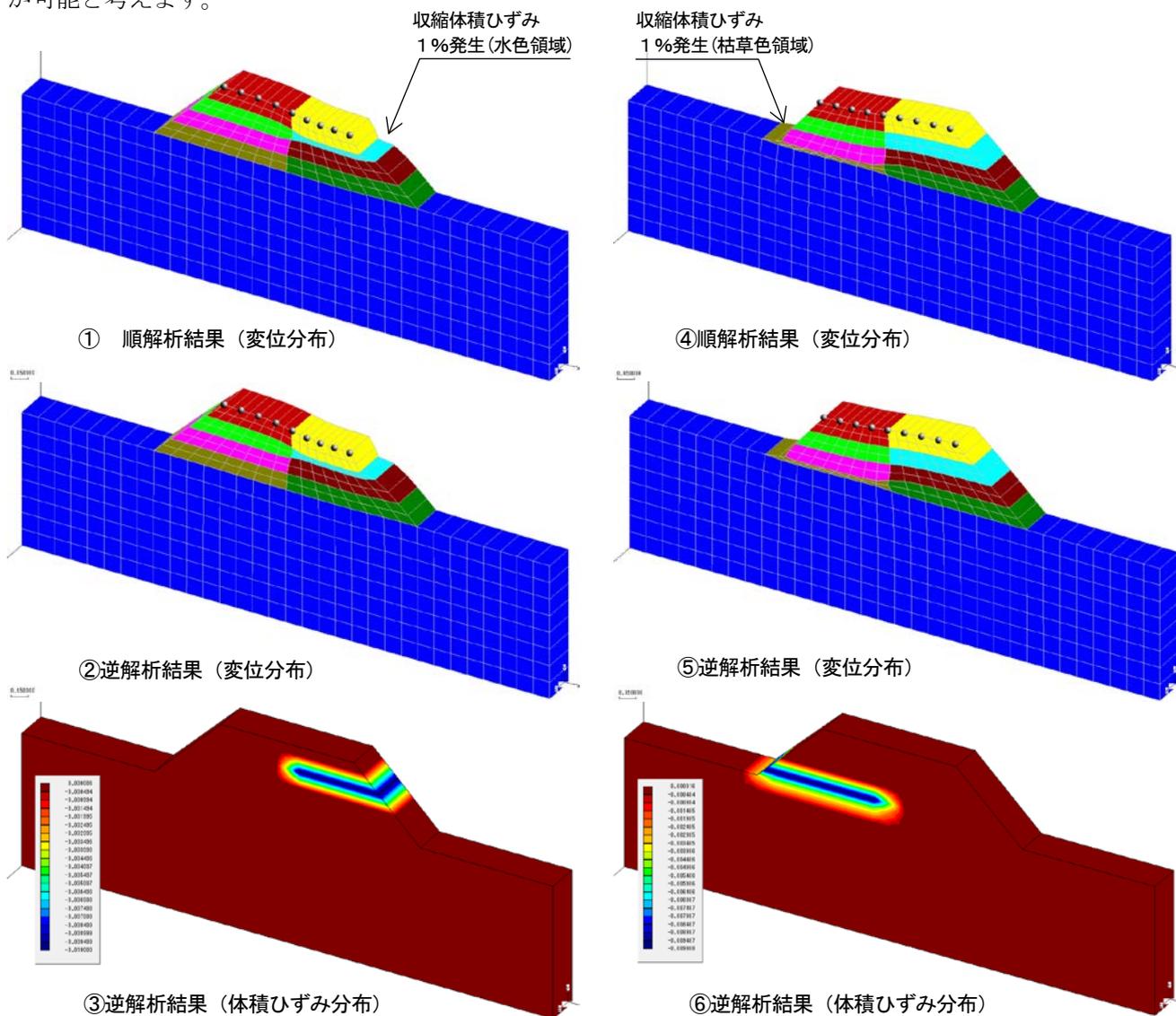
逆解析結果（体積ひずみ分布）

堤防盛土内部の損傷個所を推定

盛土の圧密や土砂の流出などを想定した逆解析の例を紹介します。下図に示すような堤防を模したモデルを用います。青色以外の色の付いた8個の盛土領域の一つに収縮の体積ひずみを発生させ、モデルに変形を生じさせます。堤防上面に配置した観測点におけるこのときの鉛直変位から、逆解析により体積ひずみ発生した盛土の場所とその大きさを推定してみます。

まず、左列図①の右側の上から2段目の盛土領域(水色領域)に収縮の体積ひずみ1%を発生させ、観測値を設定した場合は、右側の上から2段目の盛土領域を中心に、圧縮変形の発生が推定されています(②)。また、同盛土領域に約1%の収縮の体積ひずみ発生が推定されています(③)。右列図の左側の4段目の盛土領域(枯草色領域)に収縮の体積ひずみを発生させた場合を見てみます(④)。同様に、変位分布も体積ひずみの大きさも推定できています(⑤⑥)。

本例では、体積ひずみの変化を推定する盛土領域に近接して観測点を設けることができるため、推定の精度が高くなっていると判断できます。観測点の変位としてレーザスキャンングのデータを使えば、実践的な応用が可能と考えます。



<https://www.geolab.jp> お問い合わせは chisouken@geolab.jp