

III-352 不連続性地盤における物性定数の逆解析

○徳島大学工学部 正会員 小嶋 啓介
京都大学工学部 正会員 足立 紀尚
福井大学工学部 正会員 荒井 克彦

1. まえがき

近年、NATMに代表されるような計測工法が普及し、工事施工時に様々な計測が行われることが一般化してきた。筆者らは観測データの合理的かつ積極的な利用法として、工事施工中の現場計測変位を用いて、地盤の様々な物性定数を同定し、以後の変位予測・破壊管理を可能とする方法を検討し、多数の実地盤に適用してきた¹⁾。本報告では砂質地盤、節理性岩盤などの不連続的変形挙動が卓越する地盤を対象とする逆解析法を実際工事に適用した結果を報告する。

2. 逆解析問題の定式化

2.1 ジョイント要素の応力-ひずみ関係

地盤内に生じる滑り面などの不連続的挙動を、解析でいかに表現するかは重要な問題である。ここでは、有限要素法の枠内で扱え、材料物性を直接的に導入できる Goodmanらのジョイント要素²⁾を用いた有限要素法を用いる。また、勾配計算が必要な逆解析法の制約より、ジョイント要素の応力-ひずみ関係として、図1に示すように、ジョイントせん断変位をパラメータとする双曲線型のモデルを用いる。この場合、有限要素法で増分法を適用するための接線せん断剛性係数は次式で表される。

$$k_s^t = \frac{k_s^i s^2}{(s + k_s^i |u|)^2} \sigma_N \quad (1)$$

ここに、 k_s^t ；ジョイント要素のせん断剛性、 k_s^i ；図1の初期勾配（初期剛性係数）、 s ；せん断強度（ $\tan \phi'$ ）、 $|u|$ ；ジョイントせん断変位の絶対値を示す。一方、ジョイント要素の垂直方向の応力-ひずみ関係は、圧縮方向は剛体、引っ張り方向には強度を持たないと近似する。したがって、ジョイント要素の応力-ひずみ関係を決定する物性定数は、初期剛性係数 k_s^i とせん断強度 s の2個となる。

2.2 逆解析問題の定式化

砂質地盤、節理性岩盤などの不連続性地盤の挙動解析手法としては、連続体要素、梁要素、トラス要素、ジョイント要素を取り扱える有限要素解析を用いる。これらのうち、梁およびトラス要素は人工材料であるため、その物性定数は既知とし、連続体要素のヤング係数は $E = E_0 \cdot \sigma_m'$ （ σ_m' ；平均有効応力）と仮定する。したがって逆解析問題は、対象地盤のいくつかの地点で計測された計測変位と、解析変位の誤差の二乗和を最小とする連続体要素の弾性係数 E_0 とポアソン比 ν 、ならびにジョ

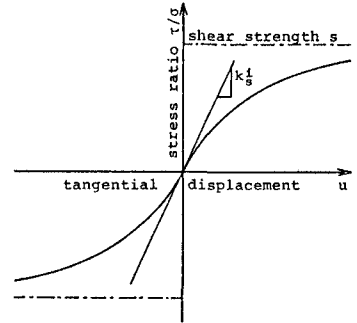


図1 ジョイント要素の構成モデル

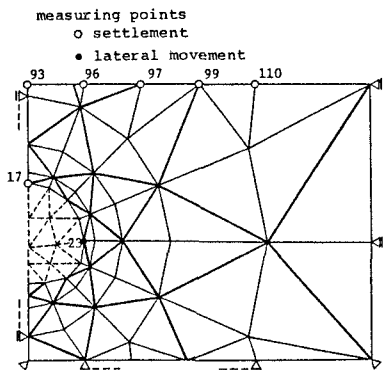


図2 有限要素分割図と変位の観測点

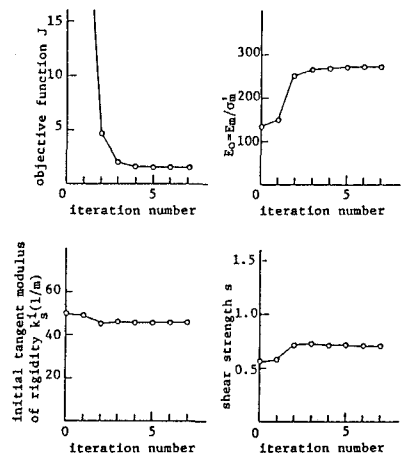


図3 全断面掘削時の逆解析結果

イント要素の初期剛性係数 k_s^i 、せん断強度 s を探索する最適化問題として次のように定式化される。

$$\text{目的関数: } J = \sum_t \sum_n (u_n^t - U_n^t)^2 \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{制約条件: } E_0 > 0.0, \quad 0.0 < \nu < 0.5 \\ k_s^i > 0.0, \quad s > 0.0 \end{aligned} \quad (3)$$

ここに、 u_n^t ；物性定数を仮定し有限要素法で計算した、解析ステップ t 、節点 n の計算変位、 U_n^t ； u_n^t に対応する観測変位を示している。最適物性定数の探索手法としては、数値計画法の共約勾配法を用いている。

3. 数値解析結果

対象工事は北総線栗山トンネルの愛宕工区であり、解析断面は高砂駅起点3km860mの地点である。土被りが5mから15mという、典型的な未固結地盤中の被りの浅い都市トンネルである。図2に有限要素分割図と変位の観測地点を示すが、太い線で示した部分にジョイント要素を配置している。トンネルの掘削のシミュレートは上半部の要素を3段階、下半部の要素を2段階で除去することによって行った。地盤内変位はトンネル内空変位のみであるが、切羽到達以降のデータしか得られていないので、切羽到達以前の初期応力の解放を考慮して10/3倍した値を用いた。図3は全断面を掘削した時点までの観測データを用い、ボアソン比を0.33に固定した場合の逆解析結果である。図4は地表面沈下の経時観測値と、同定された物性定数による解析値との比較である。図5は全断面掘削時の地表面沈下の観測値と、同定された物性定数による解析値との比較である。図6は上半掘削終了時までのデータによる逆解析結果である。図7は図6の結果を用いた以後の予測変位である。

4. あとがき

本逆解析法は比較的少ない観測データから、不連続変形挙動が卓越する地盤の挙動解析が可能な同定値が得られることを示した。今後、圧密現象を考慮可能とするとともに、施工中の多数の実験工事に本逆解析法を適用し、妥当性や有効な利用法を検討していく方針である。

参考文献

- 1) Arai, K., Ohta, H. and Kojima, K. (1987): "Estimation of nonlinear constitutive parameters based on monitored movement of subsoil under consolidation," Soils and Foundations, Vol.27, No.1, pp.35-49.
- 2) Goodman, R. E. and St. John, C. (1977): "Finit Element Analysis for Discontinuous Rocks," Numerical Methods in Geotechnical Engineering, Desai, C. S. and Christian, J. T., Eds., McGraw-Hill, New York, pp.148-175.

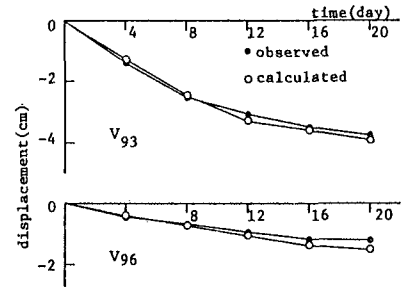


図4 地表面沈下の経時変化

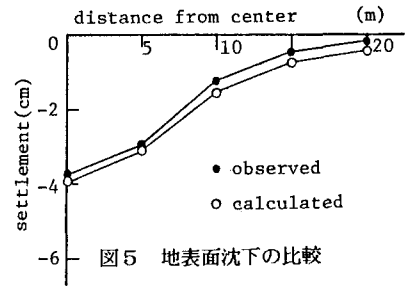


図5 地表面沈下の比較

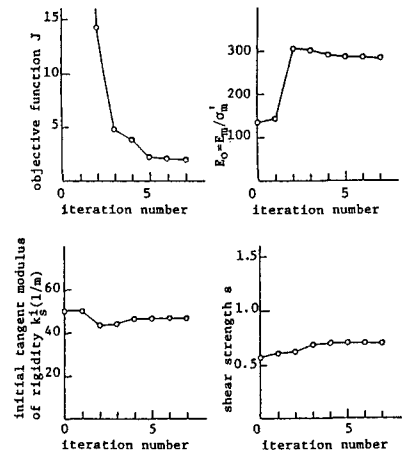


図6 上半掘削時の逆解析結果

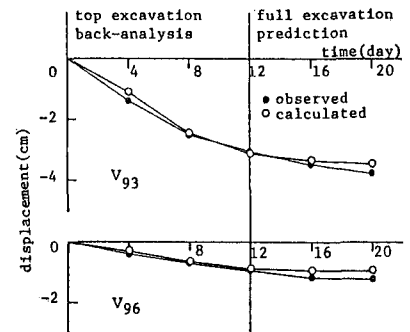


図7 地表面沈下の経時変化