

等価介在物法を応用した逆解析による地盤材料内の応力分布の取得

筑波大学 正員 亀田 敏弘

はじめに

地盤材料は自然界にもともと存在するため、不均一・非弾性材料であり、構成則の決定が困難である。等価介在物法を逆解析に応用することにより、構成則が未知の場合において、変位場と境界条件から内部の応力場を求めることが可能となる。本研究では、豊浦砂の载荷実験を行い、画像解析を用いて得られる変位場情報をもとに、非弾性変形も考慮した、領域内部の応力分布を求めることを試みる。

定式化

等価介在物法により、応力ひずみ関係は一般に次のように表すことができる。

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl}(\epsilon_{kl} - \epsilon_{kl}^*) \quad (1)$$

ここで $\sigma, \epsilon, \epsilon^*$ はそれぞれ応力, ひずみ, 非弾性ひずみ (eigen strain) である。釣り合い式 $\sigma_{ij,j} = 0$ を用いると、次式を得る。

$$\sigma_{ij,j}^* = \sigma_{ij,j}^v \quad (2)$$

ここで $\sigma_{ij}^* = C_{ijkl}\epsilon_{kl}^*$, $\sigma_{ij}^v = C_{ijkl}\epsilon_{kl}^v$ である。平面ひずみ場において、ダイラタンシーに関して定数 k を用いて $\epsilon_{12} = k(\epsilon_{11}^* + \epsilon_{22}^*)$ と仮定すると解くべき方程式は次のようになる。

$$\sigma_{11,11}^* + \sigma_{11,22}^* = \sigma_{11,11}^v - \sigma_{22,22}^v - k\sigma_{12,22}^v \quad (3)$$

$$\sigma_{12,11}^* + \sigma_{12,22}^* = \sigma_{12,11}^v + \sigma_{12,22}^v + \sigma_{11,12}^v + \sigma_{22,12}^v - k\sigma_{12,12}^v \quad (4)$$

式 (3), (4) はそれぞれ境界での $\sigma^* (= \sigma^v - \sigma)$ を境界条件とした, $\sigma_{11}^*, \sigma_{12}^*$ の Poisson's 方程式であるので数値的に解くことができる。

実験・解析の方法

図 1 に実験装置を示す。内寸 240(H) × 320(W) × 80(D)(単位 mm) のステンレス製型枠の前後面に 10mm 厚のガラスを装着し、境界条件を取得するため、40mm 厚のラバーフォームで周囲を囲んだ豊浦砂を充填する。20mm 間隔に格子点を設けたメンブレンを用いて、供試体の変形を観察する。メンブレンとガラス間には、シリコングリスを塗付し、摩擦の低減を図る。上部中央に、80mm 四方の载荷板を設置し、準静的に 800N まで圧縮荷重を加え、200N ごとに 35mm カメラで撮影を行う。

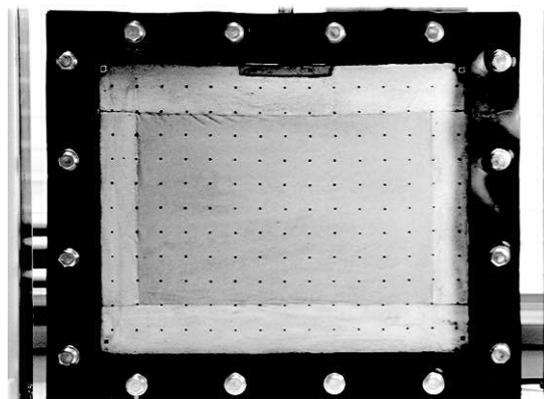


図 1. 実験装置

キーワード：逆解析, 等価介在物法, 弾塑性, 構成則, 応力場

〒 305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1 筑波大学機能工学系

TEL 0298-53-5114

FAX 0298-53-5207

e-mail: kameda@kz.tsukuba.ac.jp

撮影の後，A4版に引き伸ばした写真を600dpiのイメージスキャナで読み取り，2値化を行って格子点のみを抽出し，その移動を検出することによって，変位場を取得する．理論上は $25.4/600/20.0 = 2.12 \times 10^{-4}$ のひずみが検出可能である．境界のラバーフォームの応力ひずみ関係はあらかじめ実験により決定しておくことにより，境界の応力も同時に取得することが可能となる．このようにして得られた境界条件と変位場をもとに，式(3)，(4)を解いて(1)を用いることにより，領域内部の応力が求められる．この一連の作業を示したものが図2である．

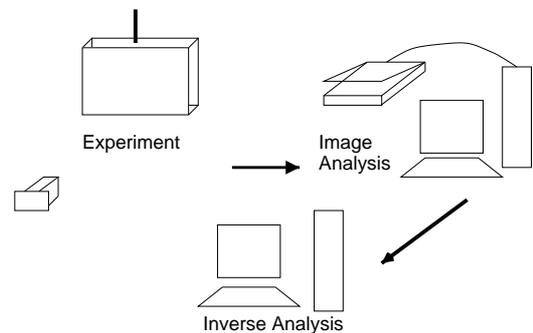


図2. 実験・解析の流れ

結果

ダイランシーの測定が不十分なため，本研究ではダイランシーは無いものとして解析を行っている．荷重800Nでの供試体の状況と得られた σ_{22} の応力場を図3，4にそれぞれ示す．Fig. 3より明らかなように，ラバーフォームの変形と比較すると豊浦砂の変形が極めて小さく，境界条件を良好に取得するためには材料の再検討が必要と思われる．

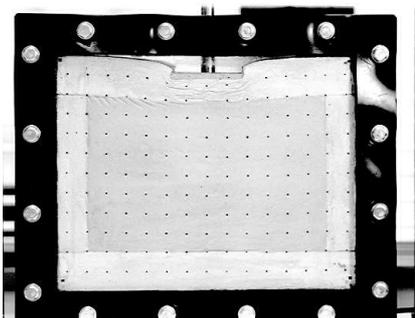


図3. 供試体の変形(800N)

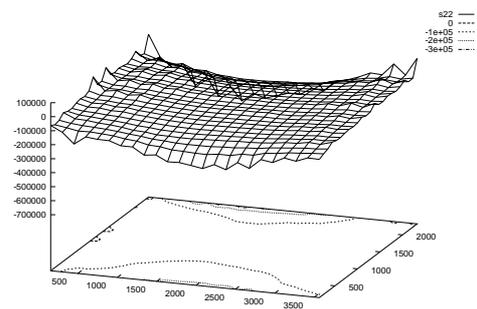


図4. 逆解析により得られた σ_{22} 応力場(800N)

おわりに

等価介在物法を応用した逆解析手法の地盤材料への適用を試みた．ダイランシーの測定，境界条件取得手法の改良など，精度の向上が今後の課題である．

参考文献

Eshelby, J. D., (1957), *Proc. Roy. Soc. A*, **241**, 376-396

Nemat-Nasser, S. and M. Hori, (1993), *Micromechanics: Overall Properties of Heterogeneous Materials*, North-Holland, London

M. Tanaka and G. S. Dulikravich, (1998), *Inverse Problems in Engineering Mechanics*, Elsevier, 225-234.

Hori, M., T. Kameda and N. Hosokawa, (1999), *Structural Eng./Earthquake Eng., JSCE*, **16**, 21-30.