

地表面変位情報を用いた地盤内体積変化および応力の逆解析に関する研究

京都大学	学生員	谷屋秀一
鹿島建設	正会員	脇田伸吾
京都大学	正会員	岸田潔
(財)地域地盤環境研究所	フェロー	足立紀尚
LBNL		D.W.Vasco, Kenzi Karasaki

1.はじめに 地下水の移流や地盤の変形により生じる地盤内の体積変化を特定することができれば、地上構造物の建設や地下空洞の掘削が周辺地盤に及ぼす影響や斜面の安定性を監視することが可能となる。近年の高精度の傾斜計やGPSの開発を契機に、地盤内の体積変化を算定する手法である地表面変形情報を用いた逆解析手法の構築がなされてきた¹⁾。本研究では、トンネル掘削を模擬した3次元降下床実験を行い、計測された地表面変位を用いて逆解析を行い、地盤内の体積変化、土圧および地表面変位を算定した。本稿では、これらの算定結果と実験結果を比較し、本逆解析手法の有効性と問題点について検討する。

2.実験概要 本実験で用いた3次元降下床実験装置を図-1に示す²⁾。図-1(b)に示すような土槽の底部に設置された降下床(150×150cm)の下降により、トンネル掘削を模擬する。地盤材料には乾燥した豊浦珪砂を用い、気中落下法により模型地盤を作成した。模型地盤の相対密度は88%である。

地表面の変位は土槽上部に設置した地表面変位計測システムにより計測した。また、土槽底面各部に設置した土圧計により降下床およびその周辺部の土圧分布を計測した。本実験では、土被り $H = 0.5D, 1.0D, 1.5D, 2.0D$ (D : 降下床幅)の4パターンに対して実験を行った。図-3に降下床中心線上における地表面沈下形状の一例を示す。図より、降下床直上の地表面で、降下床の下降に伴って沈下が生じている。

3.解析の概要 本解析では、一様で均質な多孔質半無限弾性体内において、微小要素における間隙内の流体変動によりひずみが生じ、それが地表面まで伝播し、変形が生じると考える¹⁾。したがって、地表面変位 $u_j(x,t)$ は、体積変化が生じている地点 t の弾性応答関数 $G_j(x,t)$ に比例し、最終的に、

$$u_j(x,t) = \frac{B}{\rho_0} \int_V G_j(x,t) \Delta m(t) dV \quad (1)$$

となる。式(1)を近接する体積変化は滑らかであるという先験情報を賦与した線形最小二乗法で解くことで、体積変化を算定する。解析領域は常に土槽底面とし、模型地盤は乾燥砂のため間隙圧係数 $B = 0.0038$ とした³⁾。

地盤内応力は、算定した地盤内体積変化を用い、次式から算定する。

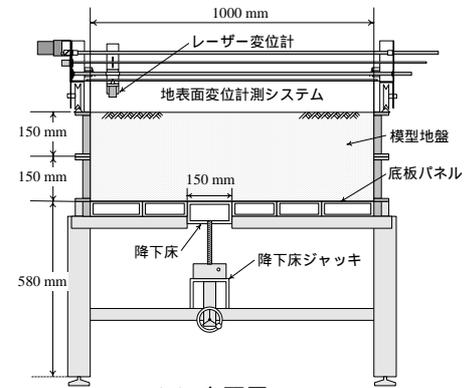
$$\sigma_{ij} = \frac{B}{\rho_0} \int_V g_{ij}(x,s) \Delta m(s,t) dV - \frac{B}{\rho_0} \Delta m(s,t) \delta_{ij} \quad (2)$$

ここで、

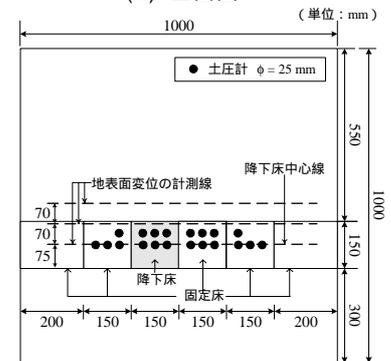
$$g_{ij} = \mu \left(\frac{\partial G_i}{\partial x_j} + \frac{\partial G_j}{\partial x_i} \right) + \lambda_u \frac{\partial G_k}{\partial x_k} \delta_{ij} \quad (3)$$

キーワード：逆解析，降下床実験，地表面沈下，地盤内体積変化，土圧

連絡先：〒606-8501 京都市左京区吉田本町 京都大学大学院工学研究科 TEL 075-753-5106



(a) 立面図



(b) 上面図

図-1 実験装置(土槽底面図)

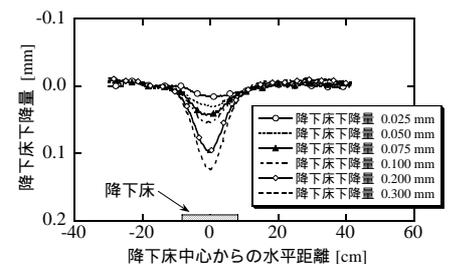


図-2 地表面形状(H=1.0D)

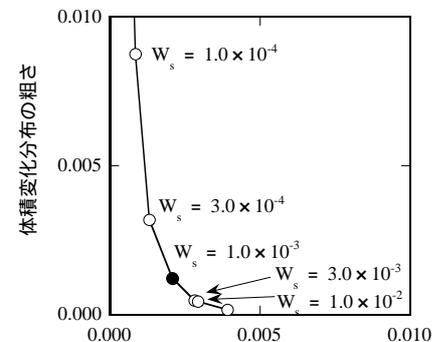


図-3 トレードオフ曲線

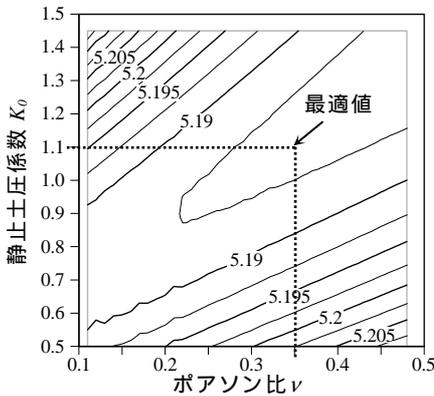


図-4 入力定数の決定方法

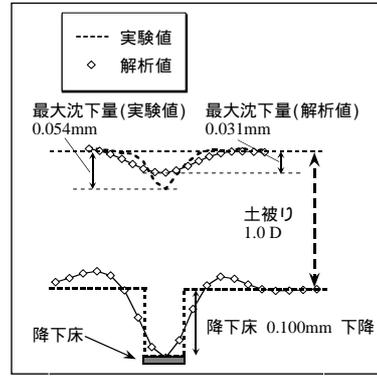


図-5 地表面沈下と地盤内体積変化関係 (H=1.0D)

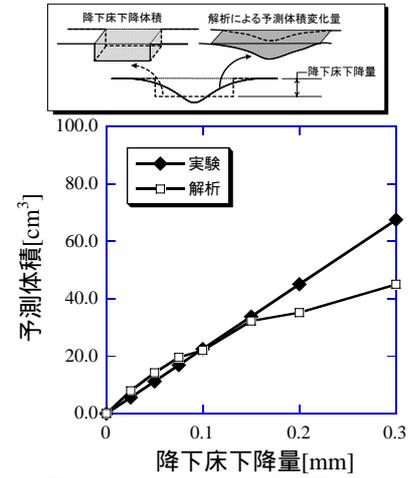
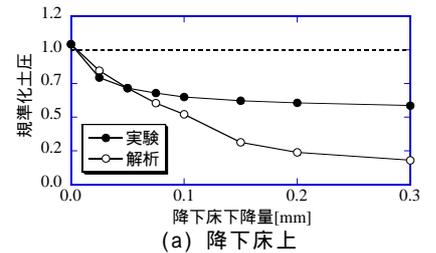
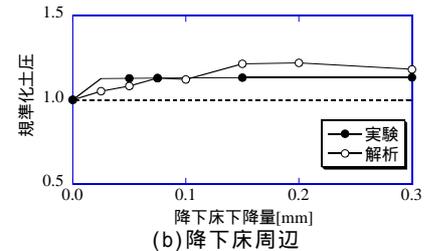


図-6 降下床下降体積比較図(H=1.0D)



(a) 降下床上



(b) 降下床周辺

図-7 規準化土圧比較図(H=1.0D)

4. 解析結果と考察 式(1)を線形最小二乗法で解く際、地表面沈下量の予測誤差と体積変化分布の粗さはトレードオフ関係にある。図-3に土被り $H=1.0D$ 、降下床下降量 $\delta_s=0.025$ mmにおけるトレードオフ曲線を示す。図より W_s を決定の際、予測誤差と解の粗さが同等に小さくなるように、原点からトレードオフ曲線までの距離が最小点($W_s=1.0 \times 10^{-3}$)を選んだ。

図-4にポアソン比 ν および静止土圧係数 K_0 を変化させたときの、土圧の実験値と解析値の誤差の二乗和分布を示す。図より、誤差が最小となるポアソン比 $\nu=0.35$ 、静止土圧係数 $K_0=1.1$ を本実験における模型地盤の最適な地盤定数とした。以後、これらの値を用いた解析結果を示す。

図-5に降下床下降による体積変化形状と地表面沈下形状について実験値と解析値の比較の一例を示す。図-5より、降下床下降位置を的確に特定できている。しかしながら、実験では降下床下降部分のみの局所的な体積変化形状となるのに対して、解析では体積変化は滑らかに起こると仮定しているため、体積変化は広範囲で確認された。そのため、体積変化から順解析によって求められる予測値表面沈下形状についても、実験値とは若干の差異が見られた。

図-6に降下床下降体積について実験値と解析値の比較を示す。図より降下床下降初期(降下床下降量 $\delta_s=0.15$ mmまで)においては、降下床下降による体積変化量を的確に推定できる。一方、それ以降では解析値が実験値を下回る。これは、降下床下降に伴ってグランドアーチが形成され、逆解析に用いる地表面沈下が抑制されるためであると考えられる。

図-7(a),(b)に、土被り $H=1.0D$ における降下床上および降下床周辺部における規準化土圧について実験値と解析値の比較を示す。なお、規準化土圧とは、各計測時の土圧を初期土圧で除した値のことである。図より降下床の下降が進行するにつれ、降下床上では規準化土圧は減少し、降下床周辺部では規準化土圧が増加する傾向が表現できていることがわかる。また、降下床下降初期(降下床下降量 $\delta_s=0.10$ mmまで)では精度良く予測ができていたことがわかる。しかし、図-7(a)において、降下床の下降が進行するにつれて解析値が実験値を下回る。これは、降下床の下降の進行に伴い、地盤の塑性的な挙動が卓越するためであり、本解析では、地盤材料を弾性体と仮定しており、弾塑性的な挙動を追従できないためであると考えられる。

5. まとめ 地表面変位、土圧の誤差および体積変化の粗さをそれぞれ最小にすることで、静止土圧係数 K_0 を決定できた。また、降下床下降量がごく微小な時は、降下床下降による体積変化量および土圧変化量を推定できていると考えられる。しかし、降下床の下降が進行するにつれ、地盤が塑性的な挙動を呈するようになり、解析値と実験値は異なる結果となった。また、体積変化形状については解析値と実験値が異なる結果となり、そのため体積変化から順解析によって推定した予測地表面沈下形状も実験値と異なる結果となった。

参考文献 1)D.W.Vasco,et al.: *J. Geotech. Geoenv. Eng.*, ASCE, Vol. 124, No.1, pp.29-37,1998. 2)足立紀尚ら:土木学会論文集, No.694/ -57,土木学会,pp277-296,2001,12. 3)Lamb: *Soil Testing for Engineering*, John Wiley and Sons, New York,1951.