

京都大学 学生員 ○脇田伸吾, 谷屋秀一
 京都大学 正会員 岸田 潔
 京都大学 フェロー 足立紀尚

1. はじめに 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、地盤内の体積変化を算定した。さらに算定された体積変化を用いて、順解析を行い地表面変位量を算定した。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に示すような土槽の底部に設置された降下床(150×150mm)の下降により、トンネル掘削を模擬する。

地盤材料には豊浦硅砂を用い、気中落下法により模型地盤を作成した。実験は、土被り H を 0.5D, 1.0D, 1.5D, 2.0D (D : 降下床幅) の4通りに変化させて行い、降下床下降に伴って生じる地表面沈下を、図-1に示す土槽上部に設置した地表面変位計測システムによりレーザ式変位センサ²⁾を用いて計測する。計測範囲は、土槽中心部分の約850mmであり、降下床中心部を含む3本のラインの計測を行った。本研究では、降下床の下降に伴う地表面変位、特に降下床下降初期における詳細な挙動を把握するため、降下床下降初期段階で細かく計測を行った。また、計測される地表面変位は、解析における入力データであるため、振動等による計測誤差を極力防いで計測を行った。図-2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おり、地表面沈下量を明確に計測できていると考えられる。

3. 解析の概要 本解析¹⁾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。したがって、地表面変位 $u_j(x, t)$ は、半無限弾性体内で体積変化が生じている地点 t の弾性応答関数 $G_j(x, t)$ に比例する。最終的に地表面変位 $u_j(x, t)$ は、

$$u_j(x, t) = \frac{B}{\rho_0} \int_0^t G_j(x, t) \Delta m(t) dV \quad (1)$$

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、地盤内の体積変化を算定する。図-3に解析領域を示す。図-3に示すように、解析領域は常に土槽底面とする。また、模型地盤は乾燥した豊浦硅砂であるため、地盤定数として、ポアソン比 $\nu = 0.33$ 、間隙圧係数 $B = 0.0038$ を用いる。

図-4(a)～(c)に $H = 1.0D$ の場合の降下床中心線上における体積ひずみ変化、計測沈下量と予測沈下量の関係およびトレードオフ曲

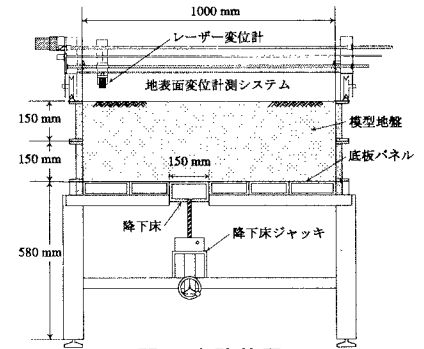


図-1 実験装置

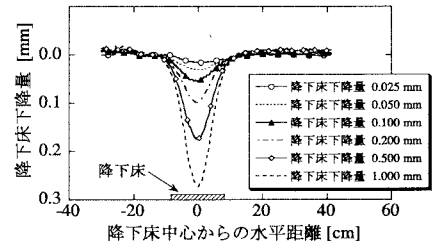


図-2 地表面沈下形状

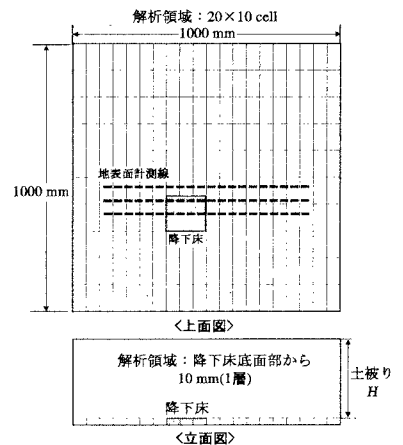


図-3 解析領域

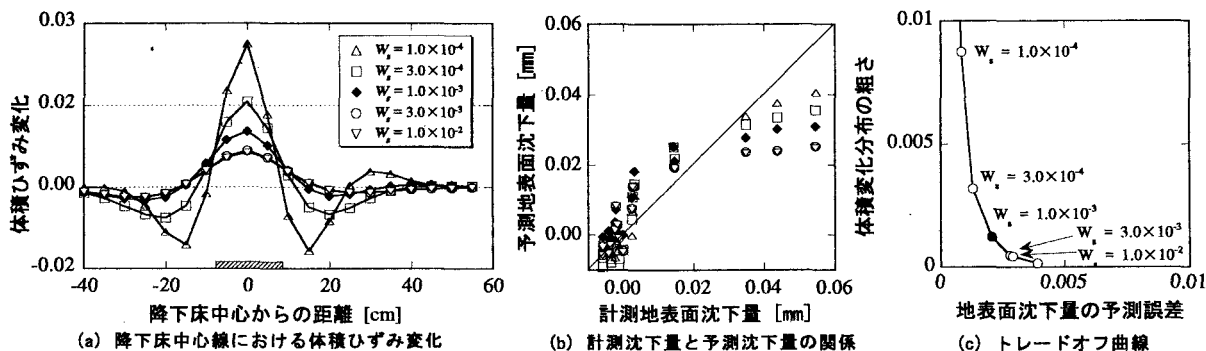


図-4 最適な W_s の決定 (土被り $H=1.0D$, 降下床下降量 $0.1mm$)

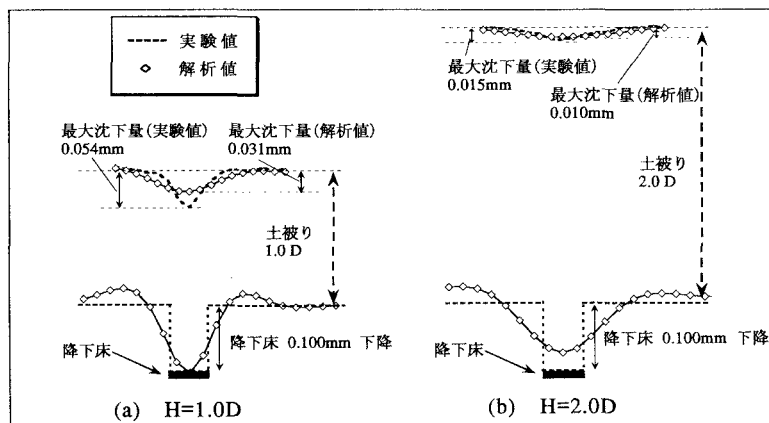


図-5 降下床下降量 $0.100mm$ 時の体積変化形状と地表面沈下形状についての
実験値と解析値の比較 (土被り $H=1.0D, 2.0D$)

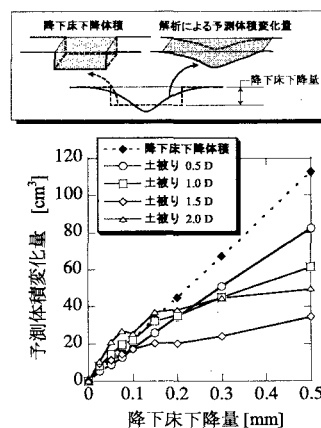


図-6 降下床下降体積と
予測体積変化量の比較

線を示す。図-4 より、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り、 W_s の値が大きいほど、体積変化分布は滑らかに、また、予測誤差は大きくなる。そこで、最適な W_s は図-4 のグラフより総合的に判断し、 $W_s = 1.0 \times 10^{-3}$ に決定した。

4. 解析結果と考察 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 より二つの土被りとも降下床下降位置を的確に特定できていることがわかる。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、体積変化は広い範囲で確認された。そのため体積変化から順解析によって求められる地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 に降下床下降体積と予測体積変化量の比較を示す。同図より、降下床下降初期では、土被りによらず降下床下降による体積変化量を的確に推定できることがわかる。一方、それ以降では解析値が実験値を下回ることがわかる。これは、降下床の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と考えられる。また、土被りが大きいほど、実験値と解析値の差異が顕著になるが、これは土被りが大きいほど明確にグランドアーチが形成されるためであると考えられる。

5. まとめ 降下床下降量がごく微小な時は、土被りによらず降下床下降による体積変化量を推定できると考えられる。しかし、体積変化形状については解析値と実験値とは異なる結果となり、そのため体積変化から順解析によって推定した地表面沈下形状も実験値と差異が見られた。

参考文献 1) Vasco, et al.: Monitoring of fluid injection and soil consolidation using surface tilt measurements, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, Vol. 124, No. 1, pp.29 - 37, 1998. 2) 足立ら：トンネル掘削過程を考慮したトンネルおよび周辺地盤の力学挙動の解明, 土木学会論文集, No.694/III-57, 土木学会, pp277 - 296, 2001, 12.