

小型応力測定装置の移動床実験への適用と地盤内応力の推定

九州大学大学院 学 川村 顕大 九州大学大学院 F 落合 英俊  
九州大学大学院 正 安福 規之 九州大学大学院 学 杉本 知史

1. はじめに

一層過密化の進展する都市部では、地下空間の有効利用が求められている。その一手段として、都市トンネルに代表される円形空洞の施工が増加しているのが現状である。このような円形空洞の施工の際、内空変位や相対的な浮き上がりに伴う周辺地盤内の力学的挙動を把握することは、安全性、経済性の観点からも重要である。このような問題に対し、これまでアルミ棒を用いた移動床実験は数多く行われてきているが、境界面上でしか土圧を評価できない等の課題があった。そこで本研究では、**図 1** に示すひずみゲージを用いた小型応力測定装置(以下、応力計と称す)を開発し<sup>1)</sup>、移動床実験における模型地盤内の応力変化を定量的に測定した。また変位計測や DEM 解析の結果と合わせ、地盤内応力変化の視点から周辺地盤の力学挙動の解明を試みるものである。

2. 小型応力測定装置(応力計)を用いた移動床実験

応力計および画像解析装置を用い、**図 2** に示す移動床実験を行った。

この実験は移動床を下降・上昇させることで、円形空洞の内空変位・相対的な浮き上がりを模擬するものである。地盤材料には、 $\phi 1:\phi 1.6$  (mm) = 3:2 (重量比) で混合したアルミニウム丸棒を用いた。また、土被り高さを 500mm とし、移動床(幅 D=100mm)を一定速度で 5mm 下降・上昇させた。応力計の埋設位置は、土槽底部から鉛直方向に 50mm 間隔で 400mm 高さの位置まで、またそれぞれ土槽中央(C.L.)から 35mm 間隔で 6 個ずつ埋設した。さらに、同条件で数回にわたって、繰り返し地盤内応力を測定し、その平均値を以下の議論に用いている。

3. 個別要素法を用いた移動床実験シミュレーション

次に移動床実験を模擬した DEM 解析を行った。**表 1** に解析条件を示す。移動床の幅は実験と同じ D=100 mm、移動量は下降・上昇とも一定速度で 5mm までである。なお解析には PFC2D(Itasca 社)<sup>2)</sup>を用いた。

4. 移動床実験における実験結果と解析結果

**図 3** は土槽底部からの埋設高さ(h=0~400mm)における正規化鉛直応力変化( $\Delta\sigma_v/\sigma_0, \sigma_0=\gamma z$ )であり、太い実線が解析値、プロットおよび細かい実線が実験値と

土槽サイズ: 幅×高さ (mm)	900×500	
粒径 (mm)	3 ~ 4.8	
粒子数	31000	
パネ定数 (N/m)	法線方向 $K_n$	1.00E+08
	接線方向 $K_s$	5.00E+07
粒子間摩擦係数	0.5	
粒子密度 ( $kg/m^3$ )	2130	

表 1 解析条件

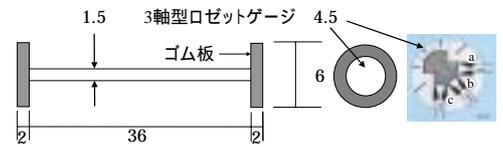


図 1 応力計模式図(単位;mm)

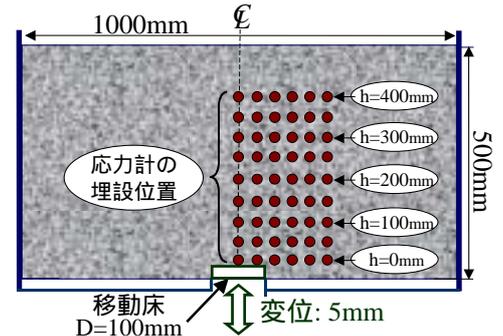


図 2 移動床実験模式図

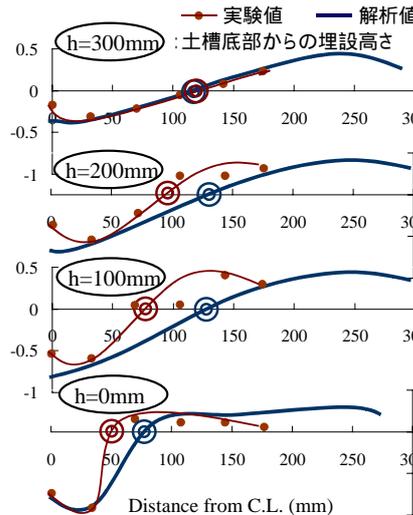


図 3-1 鉛直土圧変化(降下床)

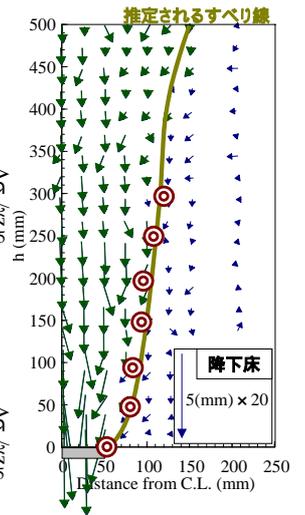


図 4-1 変位ベクトル図

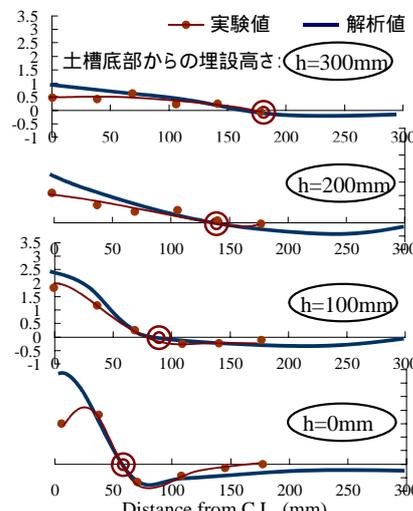


図 3-2 鉛直土圧変化(上昇床)

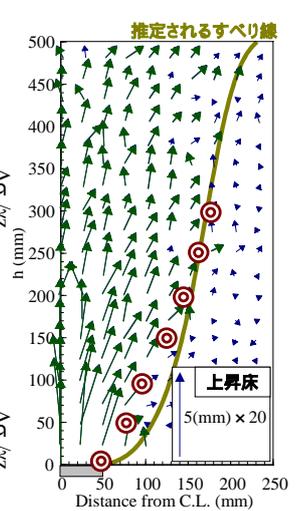


図 4-2 変位ベクトル図

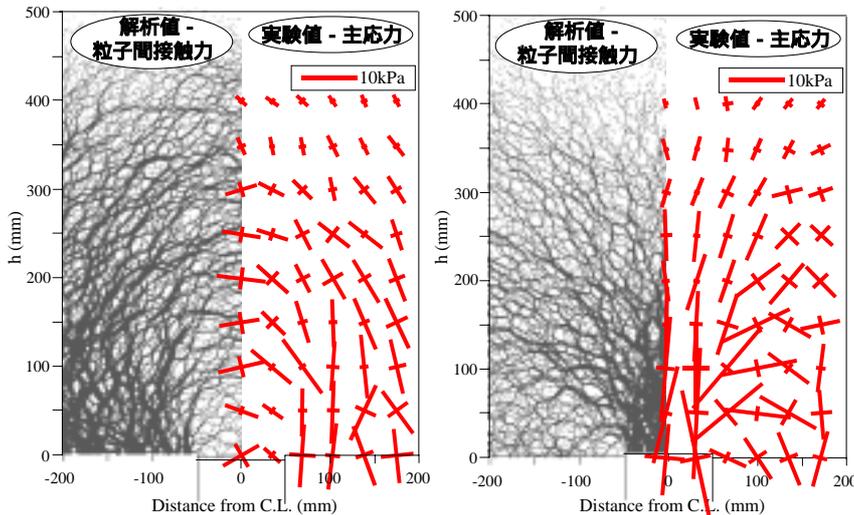


図 5-1 地盤内応力のカラム (降下床) 図 5-2 地盤内応力のカラム (上昇床)

なっている。実験・解析値とも降下床直上から鉛直方向に離れる ( $h$  が大きくなる) に従って、鉛直応力の変化量  $\Delta\sigma_v/\gamma z$  は減少傾向にある。また図 3 において応力の増加と減少が転じる位置を  $\phi$  で示したが、地盤内のすべり面によって起こる応力の不連続面を表す指標と考えており、理論上はすべり面に働くせん断応力によって大きな変化を示す位置であると考えられる。しかしながら、離散的な位置で応力測定を行っている上、実験結果に関しては、同条件で繰り返し行った実験値の平均値を表示しているため、便宜上、応力変化が 0 であるように表示した。

実験結果の (図 3) は、図 4 に示した変位ベクトル (実験値) から推定されるすべり線と良く一致することがわかった。ここで、変位ベクトル長は 20 倍されており、変位 0.5mm 以上は太線で表示している。

図 5 は解析により得られた粒子間の接触力分布を左側に、実験で得られた主応力分布を右側に示している。図 5-1 からは、降下床実験における粒状体のアーチ作用がはっきりと現れている。また、主応力の大きさに着目すると、降下床上から  $h=100\text{mm}$  程度までの領域では、主応力の値自体が小さく、降下床上  $h=100\sim 200\text{mm}$  前後と比較してアーチ作用があまり働いていないことがわかる。図 5-2 においては、上昇床上は鉛直方向へ力が卓越し、さらに側方へと押し広げる力の様子が視覚的に確認することが出来ている。

図 6 は、地盤内の応力変化 (単位: kPa) の分布を示している。鉛直応力については、実験値と解析値に関して良い対応が見られ、鉛直応力の増加・減少が起こる領域が視覚的に明確になった。また、図 6-1 に示す降下床実験の水平応力分布では、実験結果からはアーチ作用によって起こる応力増加の領域が  $h=200\text{mm}$  前後にはっきりと現れている。

5. おわりに

これまで、アルミ棒積層体内の応力変化を測定するための装置を開発し、移動床実験へ適用性を確認した。主な結果として、鉛直応力変化の視点からすべり線をおおよそ推定可能である、降下床実験においては、降下床上かつ  $h=200\text{mm}$  前後にアーチ作用の卓越する領域があり、降下床上かつ  $h=100\text{mm}$  程度までの領域では比較的主応力が小さくなることが確認できた。今後の課題として Terzaghi の土圧理論を踏まえ、鉛直・水平土圧分布の理論的考察および新たな推定式の提案を行う。

【参考文献】1) 川村ら：応力測定装置の降下床実験への適用と地盤内挙動の推定，土木学会第 59 回年次学術講演会，2004 2) Itasca：PFC2D ver.2.0 User's Guide, Itasca, 1999. 3) 杉本ら：浅層地盤内の円形空洞断面収縮時における地盤内応力変化の推定手法，第 39 回地盤工学研究発表会，2004

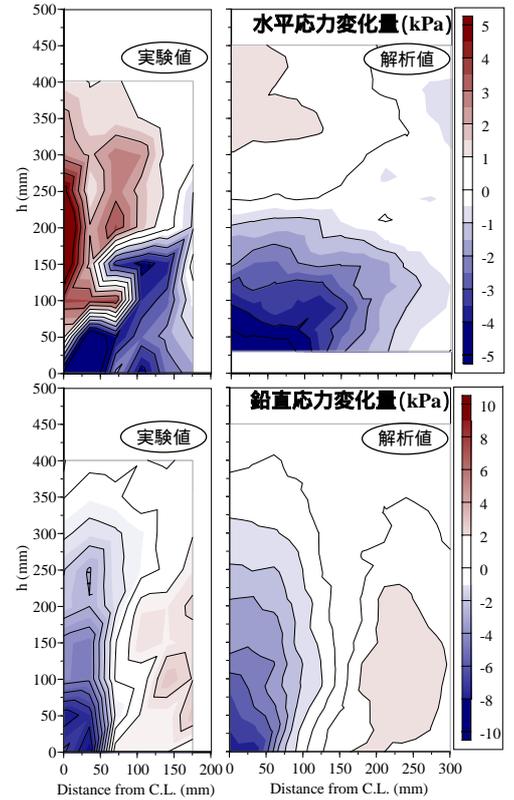


図 6-1 応力分布図 - 降下床

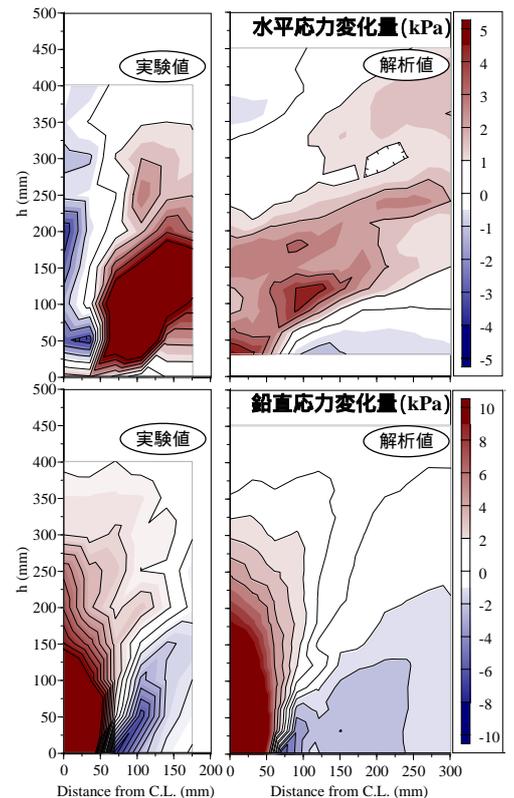


図 6-2 応力分布図 - 上昇床