

応力測定装置を用いた降下床実験における地盤内挙動の推定

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

一層過密化の進む都市部では、地下空間の有効利用が進められている。これに伴い複数の地中構造物が近接施工される事例が増加している。そこで、トンネルなどの円形空洞を施工する場合、円形空洞の内空変位に伴う周辺地盤内の応力再配分特性を把握し、既設構造物に与える影響を明確にすることが重要である。本研究では、一般的に用いられているひずみゲージを用いた地盤内応力の測定装置（以下、応力計と称す）の開発を行うとともに、模型地盤としてアルミ棒積層体を用い、円形空洞掘削時の内空変位を降下床実験にて再現しており、地盤内変位および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。

2. 応力測定装置（応力計）の開発

アルミ棒積層体内任意の位置での応力を測定するために開発した応力計の模式図を図1に示す。地盤材料であるアルミ棒は積み方により線載荷とならない恐れがある。また十分に小さなひずみを計測する必要があるため、剛な棒に2つの円形状のゴム板(硬度70)を貼り、2点で支える構造とした。ゴム板の表面には市販の3軸型ロゼットゲージ（東京測器製 FRA-1-11-1L）を貼付し、ゴム板のひずみを直接測定する構造としている。このひずみゲージは図1に示すように3方向のひずみを測定することが可能であり、それら3方向のひずみ（ $\epsilon_a, \epsilon_b, \epsilon_c$ ）から図2のようなMohrのひずみ円を描くことができる。さらにこれらのひずみから平面応力状態かつ弾性状態を想定することにより水平・鉛直応力を算出している。

3. 応力測定装置（応力計）の検定

剛板を介して水平・鉛直荷重を載荷可能な二軸等方圧縮試験装置（図3参照）を用いて応力計の検定を行った。積層体材料には、 $\phi 1\text{mm}:\phi 1.6\text{mm}$ を重量比で3:2の割合で混合した異形アルミニウム丸棒を用いた。積層体中央部には応力計を埋設し、等方応力となるような所定の荷重を載荷し、さらに除荷を行った。この検定結果（図4参照）において載荷板外部に設置したロードセルと埋設した応力計の関係を見ると、いずれも載荷過程では線形関係、除荷過程では最大荷重が載荷された状態を頂点とする二次放物線と近似することが出来る。ただし応力計に固有の材料定数を決定することができなかったため、後述する降下床実験では、初期に土被り圧が応力計に作用していると仮定し、ヤング率・ポアソン比を算出した。加えて、本節で得られた近似曲線で測定値を補正し、初期土被り圧で正規化した値で以下議論を行っている。

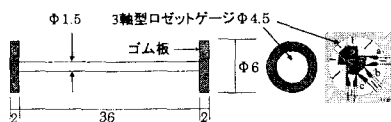


図1 応力計模式図(単位:mm)

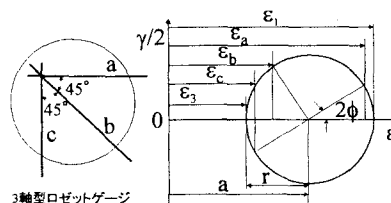


図2 Mohrのひずみ円

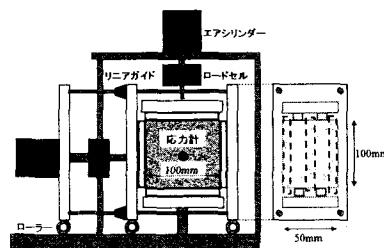


図3 二軸等方圧縮試験装置

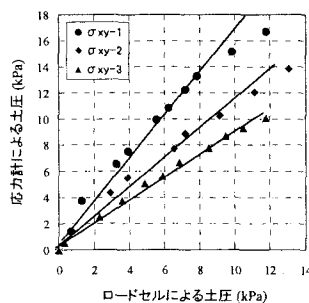


図4-1 二軸等方圧縮試験（載荷）

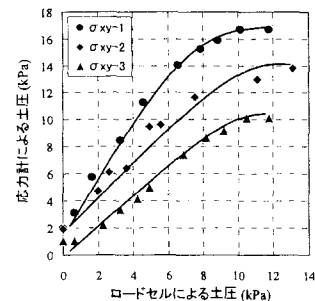


図4-2 二軸等方圧縮試験（除荷）

4. 降下床実験

応力計および画像解析装置を用い、図5に示す降下床実験を行った。この実験は降下床を下降させることで、地盤内のゆるみを再現可能である。ここでは、降下床（幅 $2B=100\text{mm}$ ）を一定速度で 5mm 降下させた。この時、応力計を装置底部から鉛直方向に $0, 50, 100, 150, 200, 250, 300\text{mm}$ 高さの位置に、またそれぞれ装置中央から 35mm 間隔で6個ずつ埋設し、鉛直・水平応力を測定した。

図6は各々の高さにおける正規化鉛直応力変化の平均値で、プロット上の短線はそのばらつきを表している。降下床直上から鉛直方向に離れるに従って、鉛直応力の減少量幅が低下傾向にある。また図6において◎で示した応力の減少から増加に転じる位置は、図7に示した変位ベクトルから推定される滑り線と良く一致している。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。滑り線は同一の土被り高さにおいて、変位量が急激に減少する位置から推定した。

また図8に示すように、水平応力についても検討したが、C.L.と推定される滑り面にはさまれる領域では、水平土圧が著しく上昇しており、埋設位置によっては、初期水平応力の2倍以上の土圧も計測された。これはアーチ作用によるものであると考えられる。特に土被りが深い位置（装置底部から $50, 100\text{mm}$ 高さ）では、水平応力が一度増加し減少に転じる傾向がみられ、アーチ作用が拡大していく過程を捉えたものと考えられる。推定される滑り線より外側では、相対的に変位は小さなものでしかないが、一様に水平応力が僅かながら減少しており、滑り線から離れるにしたがってその減少幅は低下している。これらの結果より、滑り線やアーチ作用によっておこる地盤内の不連続面を応力計は良く捉えることが出来ているものと考えられる。

5. おわりに

本研究では、アルミ棒積層体のための応力測定装置を開発し、降下床実験における模型地盤内の挙動を地盤内応力変化、地盤内変位の視点からの推定を試みた。今回開発した応力計について、応力カラムの存在など粒状体の性質等も加わり、個々の応力計の材料定数を決定するには至らなかった。しかしながら、補正曲線の設定や同条件の実験を繰り返した後、平均化することで、地盤内応力変化を定量的に把握することが可能であると考えられる。また、降下床実験においては今後、土被り高さ、降下床の下げ幅を変えることによる影響や任意の位置での地盤内応力の計測を重ね、地盤内に生ずるアーチ作用の広がりについて検討したい。

【参考文献】

- 1) 渡辺 理：ひずみゲージとその応用，日刊工業新聞社，pp240-249
- 2) 杉本知史：円形空洞施工に伴う地盤内塑性域の発達とその影響，土木学会西部支部研究発表会公演概要集，ppA412-413, 2003

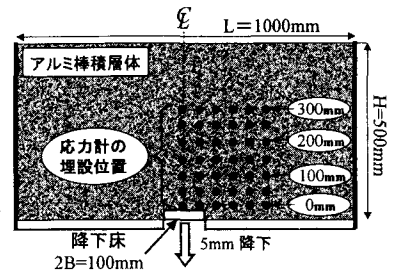


図5 降下床実験装置図

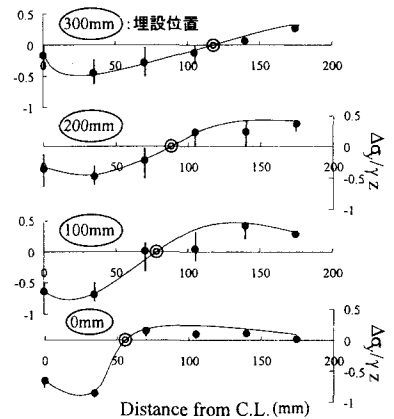


図6 正規化鉛直土圧変化(0~300mm)

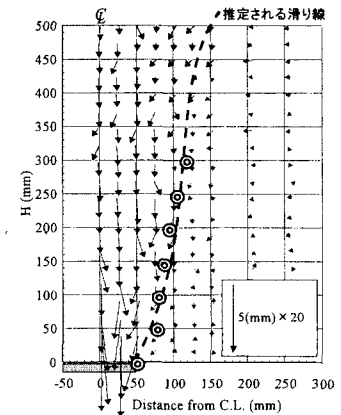


図7 変位ベクトル図

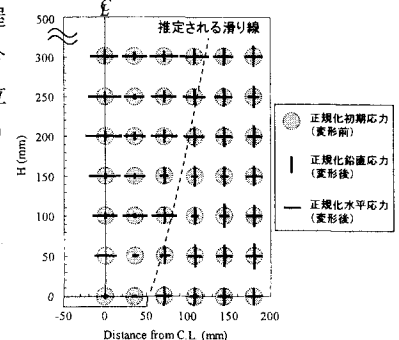


図8 正規化土圧分布