

拡張した空洞膨張論による地盤内応力変化の推定手法の妥当性検証

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

1. はじめに

都市部での地下利用開発が進展する中、浅層地盤内に都市トンネル等の円形空洞を施工する事例が多数存在する。そのため、空洞施工時の周辺地盤の挙動を精度よくかつ簡易に推定する手法の開発は、注意を要する箇所を予測する上で有用であると考えられる。著者らは空洞断面の収縮に着目し、空洞収縮時の周辺地盤の力学的挙動を定量的に評価する手法について検討を行っている。本文では、前報¹⁾で提案した地盤内応力変化の推定手法について、模型実験と数値解析の両者により、その妥当性について検討を行っている。

2. 空洞断面の収縮を対象とした模型実験と数値解析

前報では、浅層地盤内に存在する空洞断面が収縮した場合の周辺地盤内の応力変化を推定する手法を、“Cavity Expansion Theory”(空洞膨張論)を拡張することによって提案した。本文では、前報に引き続いてその妥当性を検証するために行った、二次元模型実験およびこれを対象とした弾塑性 FEM 解析の結果について述べる。模型実験については、前報と重複するが、改めてここに記す。

アルミ棒積層体を用いた二次元模型実験は、図1、図2に示す空洞模型と応力測定装置（以下、応力計と称す）²⁾を用いて行った。図1は、半径方向に均一な変形を可能とするために新たに開発した空洞模型である。内部に駒状のシャフトを内蔵しており、制御ハンドルの回転により外周面の変形が可能な構造となっている。ゴムバンドおよび OHP シートにより、空洞のスムーズな変形と摩擦低減を行っている。応力計に関する詳細は、参考文献を参照されたい。模型地盤は、直径 1.0mm と 1.6mm のアルミニウム丸棒を重量比 3:2 で混合したものを用いて作製し、図3に示すようにアルミ棒積層時に空洞模型を所定の位置に埋設後、収縮挙動を再現した。今回行った実験では、空洞近傍での挙動を調べるため図4に示す空洞半断面の外周上の5点で応力変化の測定を行っている。実験条件は土被り高さに注目し、土被り高さ H と空洞直径 D との比（土被り比） H/D が 2.0、2.5、3.0、3.5、4.0、5.0 の 6 ケースを設定した。

一方、上述の模型実験を対象とした弾塑性 FEM 解析を行った。 $H/D=2.0$ のケースについて、解析メッシュを図5に示す。計算に用いたパラメータは、 $a_0=55.0\text{mm}$ 、 $a=50.0\text{mm}$ 、 $N=6$ 、 $E=5500\text{kPa}$ 、 $\nu=0.30$ 、 $C=0.50\text{kPa}$ 、 $\phi=20.0^\circ$ 、 $\varphi=5.0^\circ$ 、 $\gamma=19.6\text{kN/m}^3$ である。今回行った解析では、PLAXIS と呼ばれるコードを用いて行っている。ここでは空洞収縮を断面積の減少

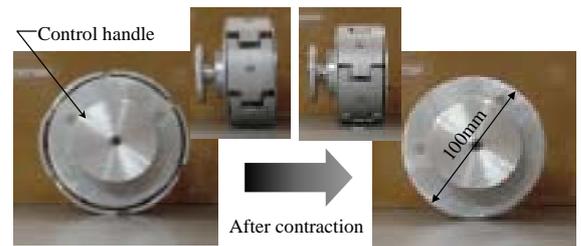


図1 空洞模型の変形の様子

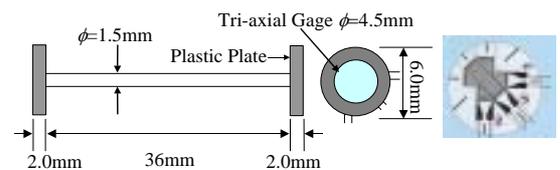


図2 応力測定装置模式図

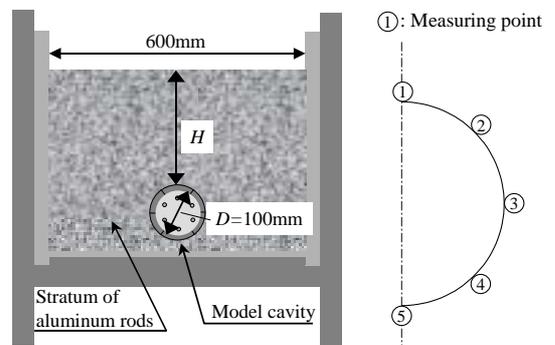


図3 実験土槽模式図 図4 応力測定点

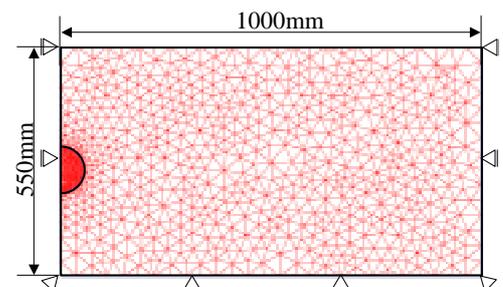


図5 解析メッシュ($H/D=2.0$)

キーワード 模型実験 地下空洞 塑性域 地盤内応力

連絡先 〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1 九州大学工学部地球環境工学科（水工） 092-642-3285

率を与えることで再現しており、解析後空洞の変形が模型実験と同様であることを確認した。

3. 推定手法の妥当性検証

本文では後述する理由から、図3に示す測定点の内、とで計測された応力変化に関する結果について議論する。図5は鉛直応力 σ_v を初期値 σ_{v0} で正規化した値と土被り比 H/D との関係を示しており、土被り比が増すほど正規化応力の減少幅が大きくなるのがわかる。一方、土被り比 H/D が5程度に至ると応力の減少幅が一定値に収束する傾向にある。このことから、ある特定の土被り高さによって応力変化に関する挙動を区別することが出来るものと推測される。本実験では $H/D=5.0$ という値が、土被りが浅いもしくは深いという表現の目安になるものと考えられる。

空洞断面収縮時の計測点およびにおける正規化鉛直応力と内空変形率との関係を図6 ($H/D=2.0$)、図7 ($H/D=4.0$)に示す。ここでは、前報で提示した拡張した空洞膨張論、模型実験および弾塑性FEM解析より得られた結果について、比較を行っている。全体の傾向としては、定性的に概ねよい一致を示していることが確認できることから、拡張した空洞膨張論が応力再配分の挙動を比較的よく再現することが出来ているものと考えられる。特に応力変化が定常状態に達した範囲では、その収束値が概ねよい一致を示している。しかしながら本文を作成している現段階では、空洞側方に位置する計測点～において安定した実験結果を得ることができておらず、空洞の天端および下端のみを議論していることに注意されたい。また実験値に注目すると、図6、図7の比較から分かるように、相対的に土被りが浅い $H/D=2.0$ のケースの結果では他の計算結果と比べ、収縮直後に生ずると考えられる急激な応力低下がそれほど顕著に現れていない。この点は、応力計の精度の問題も含め、空洞収縮量が微小なときの対応も今後検討していくべきと考えられる。

4. まとめ

今回、前報で紹介した拡張した空洞膨張論による応力変化の推定手法について、その妥当性を模型実験およびこれを対象とした弾塑性FEM解析によって検証を行った。本報告では、空洞の天端および下端においてよい一致を示していることが確認された。今後は、空洞側方および地表面と空洞間の地盤内における推定の可能性について検討を進める予定である。

【参考文献】1) 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”, 地盤工学研究発表会講演集(投稿中), 2004, 2) 川村ら, “アルミ棒積層体を用いた地盤内応力の測定方法”, 土木学会西部支部研究発表会講演集, ppA-410-411,

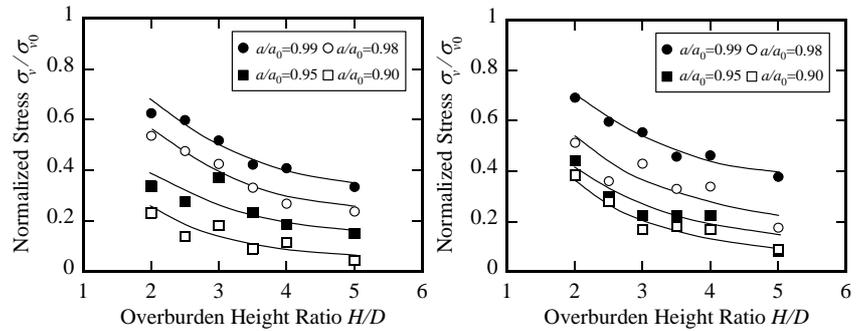


図5 作用応力と土被り高さとの関係（計測位置：左図 / 右図）

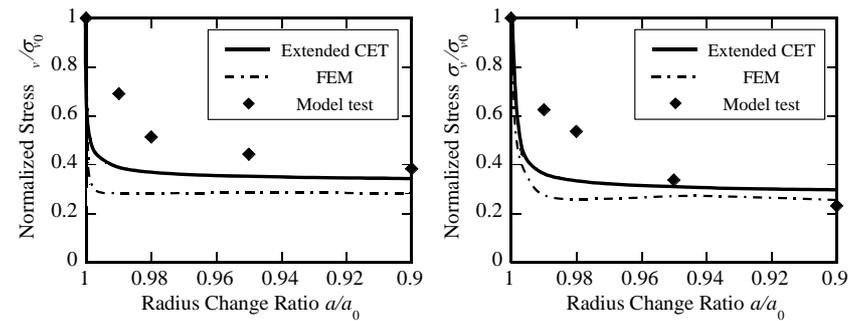


図6 作用応力と内空変形率との関係 ($H/D=2.0$, 左図 / 右図)

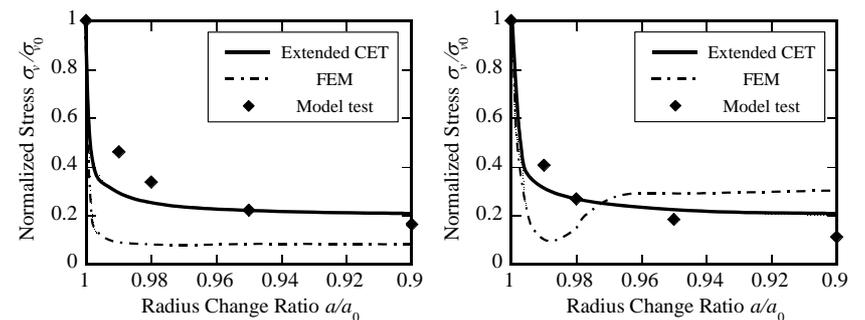


図7 作用応力と内空変形率との関係 ($H/D=4.0$, 左図 / 右図)