

円形空洞の変形に伴う地盤内塑性域の発達とその影響

九州大学大学院 学○杉本知史 フェロ 落合英俊 正 安福規之 正 山田正太郎
財団法人地域地盤環境研究所 正 今西肇

1. はじめに

都市部での地下利用開発の進展に伴い、浅層地盤内にトンネル等の円形空洞を掘削する事例が国内でも多数存在する。しかしながら、その近接施工に伴う影響を定量的には明らかとされていないのが現状である。これまでの一連の研究をもとに、地表面沈下も含めた空洞周辺の地盤の変形と地盤内応力の変化について、これらを定量的に評価することを目指している。著者らは、空洞断面の変形に伴う周辺地盤の塑性域の範囲と土被り高さを影響要因と考えている。本報告では、空洞の変形を模型地盤内で再現するための空洞模型の開発と、この装置による二次元模型実験から得られた空洞収縮に伴う地表面沈下量と土被り高さとの関係について考察する。

2. 空洞模型の開発

本研究は、半径方向に一樣な膨張あるいは収縮を生ずる円形空洞を対象としている。そこで、2次元模型実験向けに図1に示すような空洞模型を作製した。この模型の動作模様を図2に示す。直径115mm、幅50mm、外周セグメントのストロークが最大8mmとなっており、装置内部に存在するゴムバックに空気圧を加減することによって、装置外周の拡大収縮することが可能である。これをもって、空洞施工時の内空変位の発生を再現するものとしている。

実験土槽の模式図を図3に示す。地盤材料には直径5、3、1.5mmのアルミニウム丸棒を重量比3:1:1で混合したものを用いている。土槽上部には変位計が設置されており、模型地盤の地表面沈下量を測定することが可能である。また任意の位置のアルミ棒端面にインクで印を付すことによって、地盤変位の計測を可能にしている。本実験は、任意の土被り高さまでアルミ棒を積層した後、図1に示す空洞模型を模型地盤内に設置し、空洞の内空変位を与えて変位量を測定する、という手順で行われている。次節では、土被り高さ H を $1D$ 、 $1.5D$ 、 $2D$ 、 $2.5D$ 、 $3D$ だけ与え、空洞模型を収縮させたケースに関する結果を示す。

3. 模型実験の結果と考察

a)地盤内空洞の収縮に伴う地盤変状 空洞収縮前後に生じる模型地盤断面の変形の様子を図4に示す。土被りの違いによって比較をするため、前者に $H=1D$ 、後者に $2.5D$ の結果を示している。変形量を表すベクトルは、実際の3倍の長さで表している。両者とも、空洞直上を中心に地表面まで空洞に向かって変位が生じていることが確認される。破線は、模型地盤内で相対的に変位が大きな範囲を表している。両者とも、空洞側方からおおよそ仰角 $45^\circ + \phi/2$ で広がりをみせ、土被り高さが極端に浅い(a)の場合はそのまま地表面に達し、(b)では約 $2D$ の一定の幅で地表面まで広がっていることが確認され、このような範囲で塑性域が発生しているものと推察される。

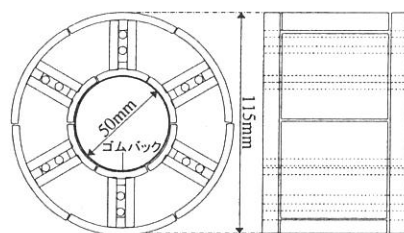


図1 空洞模型模式図

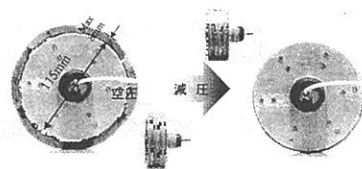


図2 空洞模型収縮時の様子

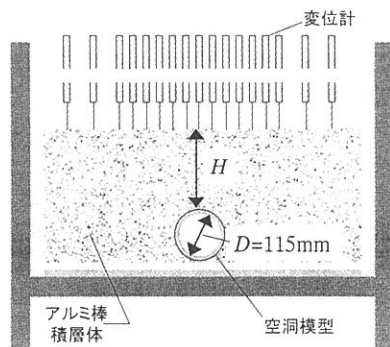


図3 実験土槽模式図

b) 地盤内空洞の収縮に伴う地表面沈下 空洞直上の地表面沈下量に着目して、土被りと沈下量の関係をまとめたものを図5に示す。土被り比 H/D は空洞天端からの土被り高さを空洞直径で正規化した値であり、 S_s/S_t は空洞直上の地表面および空洞天端部の沈下量の比である(図6)。この結果から、空洞上部の土被り高が増えるに従い地表面沈下量は次第に減少する傾向がみられ、空洞の比較的近傍の範囲に空洞収縮の影響が大きく表れることがわかる。また、併記した曲線 $S_s/S_t = (H/D)^{-0.8}$ は、橋本ら¹⁾がシールドトンネル掘削時の様々な現場から得られた実測値に基づいて得たものであり、概ね良い一致を示している。

c) 実験値と理論値との比較 本研究では、Yu²⁾による「空洞膨張理論」を適用することにより、浅層地盤内における空洞変形時の周辺地盤の地盤変位や土圧分布を定量的に表現することを目指している。空洞膨張理論では、初期応力状態として等方圧分布を仮定しているため、ここで想定しているモデルへ適用するためには、本来、土被り圧を考慮した考察を必要とする。しかしながら本報告では、土被りを考慮しない代わりに、等方圧 p_0 を空洞中心深さに作用する土被り圧として行った計算結果を図5に、理論値として併記している。実験値と理論値を比較すると、土被りの浅い H/D が1~1.5付近では比較的良好一致を見ることができ、土被り高が増すに従い、両者は大きく離れる傾向がみられる。これは、地表面からの深さによる土被り圧の変化を考慮していないため当然の結果といえるが、土被り高が大きくなるに従い空洞収縮の影響が小さくなる傾向は捉えている。また、「浅層地盤」という定義について考えた場合、地表面沈下量が一定値に収束している H/D が5程度より浅い範囲と考えることができるものと考えられる。

4. おわりに

本報告では、新たに開発した半径方向に変形可能な空洞モデルの開発と、これを用いた空洞収縮に伴う地盤の変形と土被り高さとの関係について述べた。特に地表面沈下量は、土被り高さに大きく依存するという結果を示した。今後、塑性域の広がりを地盤内応力の視点から定量的に検討するとともに、空洞膨張理論を本研究で想定しているモデルに適用するための土被りの効果を取り入れる工夫を試みる予定である。

【参考文献】1. 橋本ら, "砂・砂礫地盤のシールド掘進に伴う応力解放率と地盤変形について", 第35回地盤工学会発表講演概要集, pp2125-2156, 2000

2. 例えば Hai-Sui Yu, "Cavity Expansion Method in Geomechanics", Kluwer Academic Publishers, pp1-94

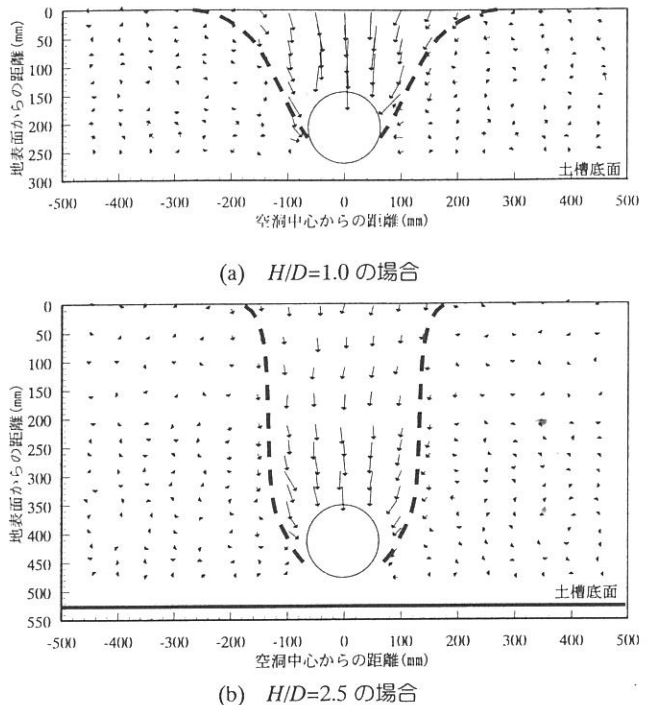


図4 空洞収縮に伴う地盤断面の変形

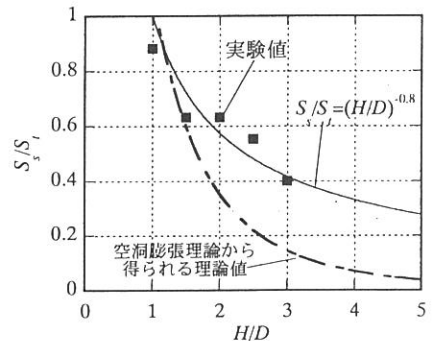


図5 土被り～沈下量関係

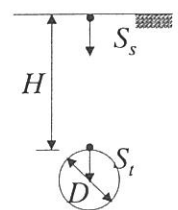


図6 沈下量の定義