

長崎大学大学院 学生員 今長谷秀亮 長崎大学工学部 正会員 棚橋由彦
長崎大学工学部 正会員 蔣 宇静 長崎大学大学院 学生員 杉野秀一

1. はじめに

大規模な地下開発利用が注目されている中、今後多数の地下空間が開発される可能性が大きく、近接する空間の相互影響を考慮した上で安定性を検討する必要がある。また、用地取得の観点からできるだけトンネル等の地下構造物を近接施工することが有利であると思われる。

本研究は、深さや地山の強度などを考慮した上で、近接施工された地下空洞の相互影響を底面摩擦模型実験装置を用いて実験的に評価することを目的とする。

2. 実験材料と実験条件

連続性地盤のモデル材料として、Karlsruhe 大学で開発された混合試料(硫酸バリウム：酸化亜鉛：ワセリンを重量比で 70 : 21 : 9 で配合)を用いた。モデルは、この配合試料をある一定圧力で密度 ρ が 2.0g/cm^3 になるまで押し固め、 $46\text{cm} \times 30\text{cm}$ の地盤モデルを作製した(図-1 参照)。ここに、幾何スケールは $\Lambda = 150$ 、モデルの厚さは $t = 2.0\text{cm}$ 、モデルとプレートとの間の摩擦係数は $\mu = 0.685$ であるため、応力スケールが $\Sigma = 5.47$ と求まった。原地盤およびモデルの力学的特性はそれぞれ表-1 に示す。本模型に直径 $D = 9\text{m}$ の既設空洞を地表面下 40m に掘削した場合を想定した。模型の上部からジャッキにより上載圧を、側部から側圧を与えた。実験は、既設トンネルと新設空洞の中心間距離 B を $1.5D$, $2.0D$, $2.5D$ (D は空洞直径)と変化させ、その中で地山が破壊を生じたパターンに対して新設トンネルの深度を変化させるパターンと補強を考慮したパターンを併せ行った(表-2 参照)。なお、本研究では空洞内に支保(弾性バネ)を設置することにより空洞の変形挙動に対する補強効果を定性的に把握する。

3. 実験結果と考察

写真-1 に、空洞の深さ比を $h/H = 1.0$ 一定とし、中心間距離を変えた場合の亀裂の進展状況を示し、図-2 に空洞直上レベルでの沈下量を示す。これらにより空洞の中心間距離による相互の影響度合いが相当に違うことがわかる。(a)H15D では、両空洞に多数の亀裂が生じ、ピラー部にも両空洞をつなぎあわせる亀裂が生じピラー部は完全に破壊した。これに対し、(b)H20D、(c)H25D では相互の影響は小さく、ピラー部に亀裂は見られず安定であった。沈下量も H20D、H25D の場合は安定しているため沈下は小さいが、H15D の場合はピラー部の破壊により大きな沈下が見られる。特に、ピラー部 ($-0.5 < (\text{ピラー中心からの距離}/\text{ピラー幅}) < 0.5$) の沈下量が大きく、H20D、H25D の約 2 倍沈下している。以上より、空洞の中心間距離が $2.0D$ より小さければ、空洞が相互に影響し、空洞周辺地山は不安定になることがわかる。

キーワード：深部地下，近接施工，相互影響，補強効果

連絡先：長崎市文教町 1 - 14 長崎大学工学部社会開発工学科，Tel：095 - 847 - 1111，Fax：095 - 848 - 3624

表-1 模型と原地盤の力学的特性

	モデル	原地盤
$\rho (\text{g/cm}^3)$	2.0	2.5
$\sigma_c (\text{MPa})$	0.138	0.756
$c (\text{MPa})$	0.049	0.268
$\phi (\text{deg.})$	32	32
$E (\text{MPa})$	11.25	61.54

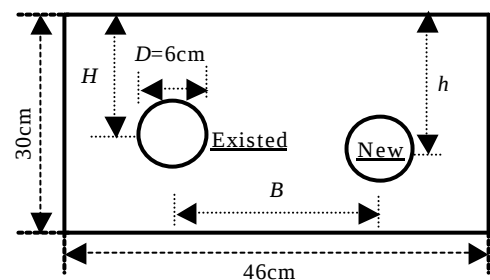


図-1 連続性地盤モデル

表-2 実験パターン

実験名称	中心間距離 B	深さ比 h/H	補強の有無
H15D	$1.5D$	1.0	無
H20D	$2.0D$	1.0	無
H25D	$2.5D$	1.0	無
A15D	$1.5D$	0.6	無
B15D	$1.5D$	1.4	無
PH15D	$1.5D$	1.0	有
PB15D	$1.5D$	1.4	有

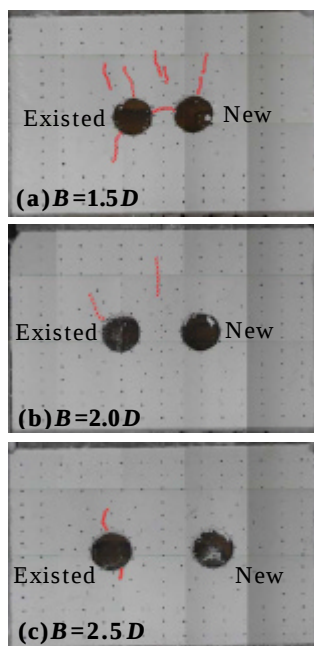


写真-1 空洞周辺の亀裂進展状況

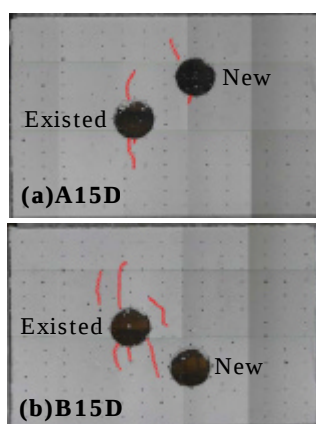


写真-2 深さ比を変化した場合の亀裂進展状況($B=1.5D$)

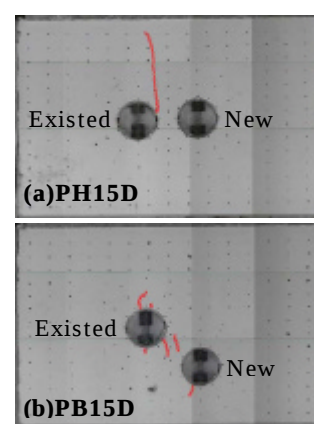


写真-3 補強を行った場合の亀裂進展状況($B=1.5D$)

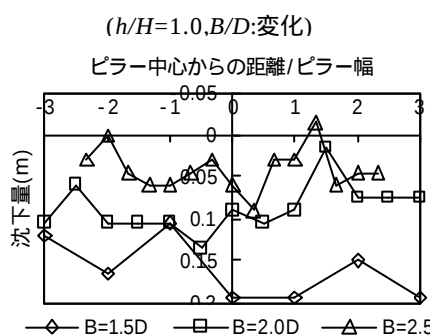


図-2 空洞直上方の沈下量 ($h/H=1.0$)

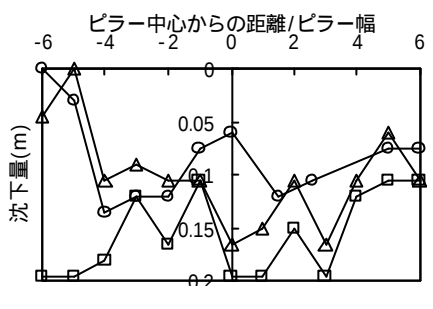


図-3 空洞直上方の沈下量($B=1.5D$)

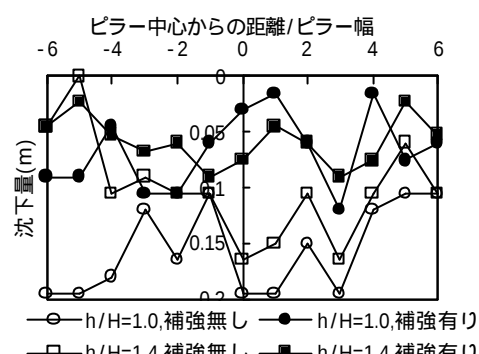


図-4 空洞直上方の沈下量(補強有り)

写真-2 に、空洞の中心間距離 $B=1.5D$ と一定にし、新設空洞の深度を変えた場合の亀裂進展状況を示す。また、図-3 にその場合における空洞直上方の沈下量を示す。沈下量では、 $h/H=1.4$ の場合は、 $h/H=0.6$ の場合よりも小さく沈下している時もあるが、ピラー部周辺において大きく沈下した。亀裂進展状況から判断して $h/H=0.6$ の場合は既設、新設ともに空洞周辺の地山が安定しているといえる。一方、 $h/H=1.4$ の場合は、ピラー部を除く場所での沈下量は $h/H=0.6$ の場合とあまり変わらないが、両空洞の深度が等しい場合と同様にピラー部や既設空洞周辺に多数の亀裂が生じた。以上より、既設空洞よりも新設空洞を上部に掘削する場合は、相互の影響を受けにくく、下部に掘削する場合は相互の影響を受けやすいことがわかる。

写真-3 は $H15D$ 、 $B15D$ において、補強を考慮した空洞の亀裂進展状況を示し、図-4 に空洞直上方の沈下を示す。いずれも沈下抑制効果が得られた。 $PB15D$ では $PH15D$ ほどの沈下の抑制も見られず、またピラー部に亀裂が多数生じた。以上より、補強効果が顕著に現れるのは両空洞が同深度のときといえる。

4. おわりに

以上の実験結果より、下記の知見が得られた。

亀裂進展領域がピラー部に分布している場合、相互の影響が大きく、空洞周辺地山は不安定となる。なお本実験において、両空洞が同深度ならば中心間距離を $2.0D$ まで近接させることが可能であった。

既設空洞よりも新設空洞を上部に掘削した場合はピラー部の亀裂進展領域の分布は小さく相互の影響はあまり見られないが、下部に掘削した場合はピラー部に広範囲で分布し、空洞周辺地山は不安定となる。

補強効果においては、並列して近接施工した場合は変形に対する抑制効果が見られたが、既設空洞よりも新設空洞を下部に掘削した場合はあまり効果が見られなかった。