

背面空洞を有するトンネルの変形メカニズムに関する実験的考察

首都大学東京 学生会員 柳下 丈偉
正会員 砂金 伸治
正会員 西村 和夫

1. 目的

矢板工法で施工された山岳トンネルは、地山とトンネル覆工の間、特に覆工天端部背面に空洞を有していることが多い。さらに近年では、天端だけでなく、肩部にも空洞が確認されている。空洞によって、覆工に作用する外圧が不均一になり、地震による影響を受けたり、さらに外圧が作用した場合に変状を生じたりする可能性がある。一方で、長年変状等があまり生じていない矢板工法により施工されたトンネルでは、突発性崩壊等が生じる可能性があり、それらを防ぐために「空洞充填」が実施されつつある。しかし、現在使用されている空洞充填材は、充填性や流動性等の施工性から性能が決められている場合も多く、地震時や、外力を受けた際のトンネルの挙動と充填位置や充填材の剛性との関連性への影響は、明らかにされていない面もある。本研究では、範囲等の異なる背面空洞を有するトンネルが大きな外力を受けた際の挙動を明らかにするとともに、空洞充填材に必要な特性を把握することを目的とする。

2. 模型実験

2.1 実験装置

本研究に使用した実験装置を図-1 に示す。図 1 の上下、右にある載荷用エアシリンダーを用いることで、中央の模擬地盤及びトンネル模型に等分布荷重を与えることが可能である。

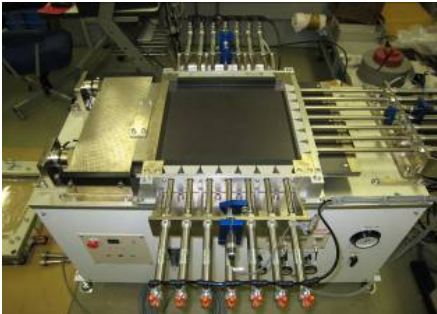


図-1 実験装置図

2.2 使用材料

(1)模擬地山:模擬地山には、扱いやすいこと、繰り返し使用しても物性の変化がなく再現性が高いことなどから長さ 40mm のステンレス棒を使用した。ステンレス棒の径や混合比に関しては「砂層内局部沈下部にかかる垂直土圧」₁₎を参考に、直径 2.5mm および 5mm のステンレス棒を重量混合比 3:2 の割合になるように混合した。緒元を表-1 に示す。

表-1 模擬地盤緒元

材質	磁性ステンレス
長さ	40mm
内部摩擦角	27°
粘着力	0kPa
単位体積	$7.54 \times 10^{-5} \text{ N/mm}^3$

(2)覆工模型:実験装置の載荷力を考慮し、覆工模型は低強度な塑性材料として、塗壁材、豊浦砂、水を質量混合比 1:8:4 で混合したものを用いた。緒元を表-2 に示す。模型寸法は、外径 80mm、厚さ 5mm、奥行 40mm の真円とした。覆工模型を図-2 に示す。



図-2 覆工模型

(3)充填材:充填材は、覆工模型と比較して弾性係数が小さく、その条件を変えるのが容易である必要があることから、今回は弾性係数の異なるばねを用いて再現を行った。その際、ばねに伝わる荷重が均等に伝達されるように銅板に図-3 に示すようにばねを配置し、充填材の模型として使用した。



図-3 充填材の模型

表-2 模擬地盤緒元

材質	塗壁材、豊浦砂、水
1軸圧縮強度	0.41MPa
弾性係数	41.7MPa
奥行き	40mm
巻き厚	5mm
打ち継ぎ目	なし

キーワード：トンネル 背面空洞 模型実験

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 公立大学法人 首都大学東京 TEL042-677-2785

3. 実験方法

実験では、実験材料を図-4 の様に配置し、1 分につき水平荷重を 3.1kPa(50N)ずつ増やしていき 94kPa(1500N)まで行った。実験の状況は装置の真上から撮影し、図-4 に示す模擬地山と模型に配置したマーカーの動きを画像解析によって追跡し、目視で模型のひび割れを確認した。また表-3 に実験ケースを示す。表-3 の背面空洞の角度に関しては、図-4 に示すように、天端を中心として、表記の角度で幅 10mm だけ地山を配置せず、空洞を模擬している。なお表-3 中に示した K は図-3 に示した充填材模型のばね定数であるが、この算定は、荷重をかける前のばねの長さとし、ばねを最大まで圧縮した荷重とその時のばねの長さの値を用いて行った。

4. 実験結果

図-5,6 に模型における、内空断面の垂直方向の変形量を示す。図は、模型内部の上下の 2 点に配置したマーカー(図-4 に示した)の変位を示しており、拡大する方向を正とした。

図-5 より、背面空洞を有しているケース 2~4 に関して、35~45kPa の荷重において急激に垂直方向の変形が大きくなり、変形が大きくなった時にひび割れも発生していることが分かる。また、ケース 4 を除いたものは、模型下部に配置したマーカーの変位は 1mm 未満と非常に小さい値であったが、ケース 4 のみに関しては、模型下部に配置したマーカーや、その周辺の模擬地山も約 3mm 上側へ変位した。

図-6 より、空洞を充填したケース 5~7 に関しては、ケース 3 と比較して、緩やかに変形し、変形量も少ないことが分かる。またケース 5,6 の順にひび割れが入り、ケース 7 はひび割れが発生しなかったことから、ばねの剛性が大きいと変形が小さくなる傾向にあると考えられる。また、水平方向の変形も同じ傾向にあった。

5. 結論

本研究では、模型実験によって背面空洞の範囲、充填材の剛性による挙動の違いを示した。背面空洞が小規模な場合は局所的な荷重による変位を、大規模な場合はトンネル全体への変位を及ぼす恐れがあるため、変状対策として背面空洞に対する配慮を優先すべきである。また、充填材料の剛性(弾性係数)が極端に小さい場合は、変位抑制が期待できない可能性があるため、現場ごとに実際の空洞規模や地山条件を検討し、適切な充填材を採用する必要がある。

6. 参考文献

1)村山朔郎：砂層局部沈下部にかかる垂直土圧,pp.1=7,京大防災研究所年報第 11 号 B,昭和 43 年度

表-3 実験ケース

	背面空洞	充填
ケース1	無し	—
ケース2	60°	無し
ケース3	90°	無し
ケース4	120°	無し
ケース5	90°	ばね① (K=0.37N/mm)
ケース6		ばね② (K=1.43N/mm)
ケース7		ばね③ (K=8.50N/mm)

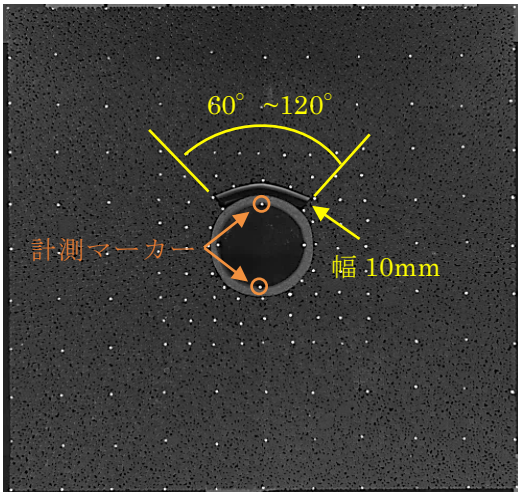


図-4 実験材料とマーカーの配置

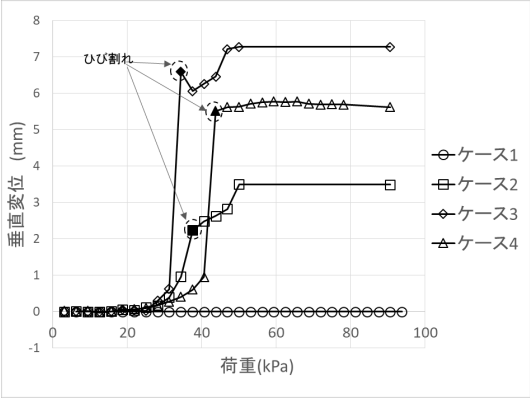


図-5 空洞規模が異なる場合の垂直変位と荷重

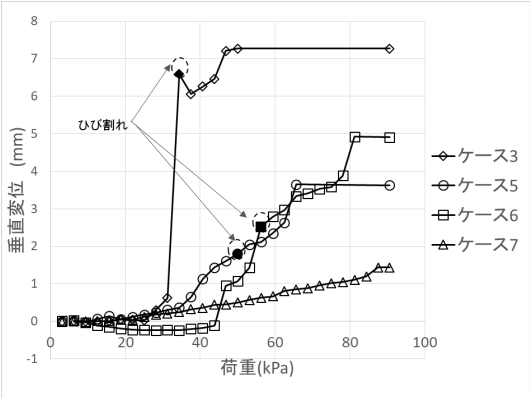


図-6 充填材が異なる場合の垂直変位と荷重