

レーダー探査を使用したトンネル補修設計事例

基礎地盤コンサルタンツ株式会社 ○池澤 彩、植田 健太

1. はじめに

矢板トンネルは、施工時のコンクリート打込み不良等により覆工コンクリート背面に空洞が発生しやすい。

本稿では、矢板トンネルの背面空洞に対するレーダー探査を使用した対策工設計事例について示す。

2. 対象トンネルと定期点検結果

(1) 対象トンネル

対象トンネルは、三重県が管理する矢板トンネルである。完成から50年以上経過しており、延長は284m、幅員4.5m、1車線の狭いトンネルである。(写真-1)



写真-1 起点坑口

(2) 定期点検結果

前回の定期点検の健全性診断で、「予防保全段階」はうき、漏水、目地劣化が確認されている。「早期措置段階」で覆工部の打ち継ぎ目で覆工コンクリートの穴(欠落)が確認され(写真-2)、内部を確認した結果より背面空洞が判明した。

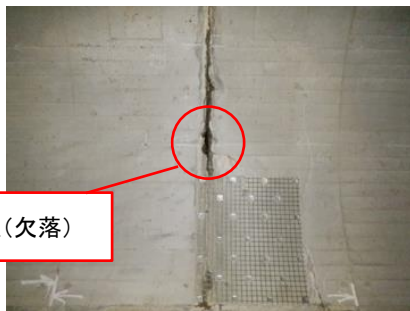


写真-2 点検時に確認された欠損

3. レーダー探査結果

(1) 穴(欠落)周辺のレーダー調査及び孔内調査

点検で確認された覆工コンクリートの穴(欠落)の天端周辺でレーダー探査を5測線及び孔内調査を4箇所で行った(図-1)、調査範囲全体で空洞が解析より推定され、最大74cmの空洞が確認された。この調査範囲での全体空洞体積は27.03m³であった。

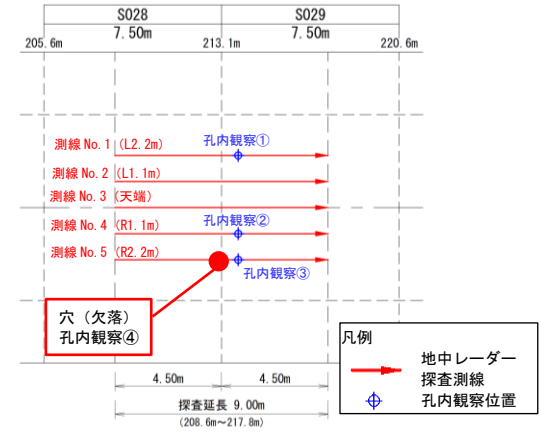


図-1 レーダー探査範囲

(2) トンネル全体のレーダー探査

覆工コンクリート欠落部周辺だけではなく調査範囲全体で空洞が確認されたため、図-2に示すトンネル全延長のレーダー調査を天端と天端から左右2m離れた車道端部真上の計3測線で実施した。解析結果より、最大空洞厚103cm、全体の空洞量は約216m³が推定された。

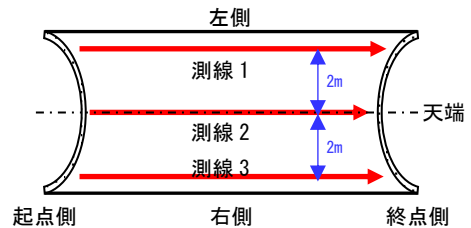


図-2 レーダー測線位置

(3) 判定方法

① 覆工内面の補強対策判定

覆工厚が不足している場合、覆工背面充填対策を実施する前に覆工内面補強対策を実施する必要がある。そこで「トンネル補修工法に関する手引き」¹⁾(図-3)を参考に、平均覆工厚と最大空洞厚より、平均覆工厚が10cm以下、もしくは最大空洞厚70cm以上の際に平均覆工厚が15cm以下の箇所を対策が必要な箇所とし、III評価とした。該当しない箇所を対策不要とし、I評価とした。(表-1)

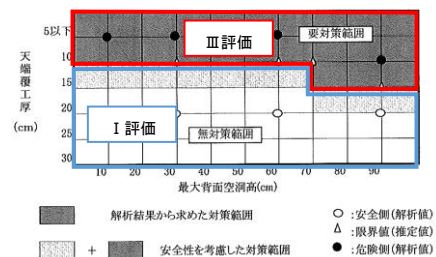


図-3 突発性崩壊の目安¹⁾

表-1 覆工内面補強対策の要否

判定基準	評価
平均覆工厚 ≤ 10 cm	III
最大空洞厚 ≥ 70 cm の時、 平均覆工厚 ≤ 15 cm	
平均覆工厚 > 10 cm	I
最大空洞厚 ≥ 70 cm の時、 平均覆工厚 > 15 cm	

②空洞の突発性崩壊対策判定

空洞の突発性崩壊対策の判定は「道路トンネル維持管理便覧」²⁾ (図-4) を参考に判断した。背面空洞厚30cm 以上かつ覆工厚30cm 未満の箇所はIV評価かIII評価に該当するが、点検結果や現地踏査結果よりトンネル全体で覆工面に大きな変状が確認されていないため、覆工の性状は良いと判断し、III評価とした。背面空洞厚30cm 以上かつ覆工厚30cm 以上の箇所はIIIかIIa 評価に該当するが、レーダー探査測線が車道真上であり、突発性崩壊が発生すると車両交通に影響するため、最大空洞厚30cm以上の箇所は平均覆工厚30cm を満たしていても対策が必要と判断し、III評価とした。また、最大空洞厚が30cm 未満の箇所は覆工厚に関係無く対策不要と判断し、I 評価とした。(表-2)

表-4.2.23 突発性の崩壊のおそれに対する対策区分の目安例³⁾ (文献³⁾を加筆修正)

覆工巻厚	背面空洞深さ	
	大 ^{注3)} (30cm 以上程度)	小 (30cm 未満程度)
小 (30cm 未満程度)	III ^{注4)} 評価 IV ^{注3)}	I 評価 ^{注5)}
大 (30cm 以上程度)	III ^{注4)} 評価 IIa ^{注4)}	I 評価 ^{注5)}

注1) 本表は矢板工法による道路トンネル(二車線程度)を想定した場合の目安例である。
 注2) 判定にあたっては、背面空洞および巻厚不足箇所の平面的な広がりも考慮する。
 注3) 地山の状態や覆工の性状が比較的良好な場合は、IIIとして判定することができる。
 注4) 背面空洞が側面の場合、あるいは地山の状態や覆工の性状が比較的良好な場合は、IIaとして判定することができる。
 注5) 背面空洞の深さが30cm 未満程度の場合は、覆工の性状や土砂流出の状態によって判定する。

図-4 突発性崩壊の目安²⁾

表-2 突発性崩壊対策の要否

判定基準	評価
最大空洞厚 ≥ 30 cm	III
最大空洞厚 < 30 cm	I

4. 対策範囲と対策方針

(1) 補修対策範囲

対象トンネルは終点スパン以外の全スパンで30cm以上の空洞が確認され、最終スパンも天端で最大28cmの空洞が確認されたため、対策範囲はトンネル全体とした。

(2) 対策方針

レーダー探査の結果より、全体的に空洞があることから、地山崩壊に対する耐荷力不足が考えられるため、外力対策を行うこととした。

5. 対策工の選定

(1) 工法選定

覆工背面に空洞を有する場合は、地山崩壊等の外力が作用するとその部分に曲げが発生し、コンクリートに引張応力が発生することにより、耐荷力が不足するため、背面空洞を残したままで内面補強等の裏込め注入工以外の対策を行っても効果が期待出来ない。このことから覆工背面の空洞を充填工により無くすることが必要であるため、裏込め注入工を選定した。

また、定期点検と現地踏査の結果より、覆工表面に外力による変状は確認されず、レーダー探査より全スパンにおいて、平均覆工厚が設計覆工厚25cm以上かつ判定基準を満たしているため、覆工の状態は良好とし、裏込め注入工のみで突発性崩壊への対策は可能と判断した。

(2) 注入材の選定

対象トンネルの空洞は最大厚103cmと設計覆工厚25cmの4倍以上のものが確認されており、充填量が多い。そのため、裏込め注入工における注入材は、単位重量が小さく経済性に優れている非セメント系の発泡ウレタンを採用案とした。

なお、対象トンネルは突発性崩壊防止の空洞充填が目的であるため、協議結果より剛性が小さい40倍発泡の発泡ウレタンで問題無いと判断した。

6. おわりに

対象トンネルは定期点検時に覆工欠落箇所の背面に空洞が確認され、レーダー探査実施に至った。レーダー探査の結果、トンネル全体に背面空洞が確認されたが、覆工表面に背面空洞が想定される変状は確認されなかったことから、定期点検時に背面空洞の可能性が低い場合でもレーダー探査等を実施することで早期に背面空洞を把握し、対策検討、施工実施することに繋がる事が期待される。

《引用・参考文献》

- 1) トンネル補修工法に関する手引き(案)(2007年3月): 国土交通省中国地方整備局、p. 25
- 2) 道路トンネル維持管理便覧【本体工編】(2020年8月): 日本道路協会、p. 206