

矢板工法により施工された老朽化トンネルの調査・評価

1. はじめに

仁方隧道は1938年に矢板工法により建設された、広島県呉市が管理する延長262m、幅員5.5mの道路トンネルです。定期点検時に構造安定性への影響が懸念される変状等が確認されたことや補修モルタルにより覆工本体の損傷状況等の把握が困難であったことなどから、平成31年3月にトンネルとしては全国初の直轄診断が行われました。本稿では仁方隧道の直轄診断におけるいくつかの調査や評価のポイントについて紹介します。



写真-1 仁方隧道

2. 突発性崩壊の危険性に関する調査・評価

トンネルの覆工背面と地山の間に空洞（背面空洞）が存在し、かつ覆工の品質が十分でない場合、現時点では空洞が安定的に残存していたとしても、将来的な地山の劣化や地震などにより地山が緩み、覆工が突発的に崩壊するおそれがあります。この突発性崩壊は、発生の兆候の把握が困難なうえに、発生時にはトンネル内空の閉塞に至るおそれがあることから、危険性を調査して予防的に対策を講じていくことが重要です。

仁方隧道は、一般に背面空洞が発生しやすい矢板工法により建設されており、定期点検時に覆工の一部で欠損が確認されるとともに、その背面に空洞が確認されたことから、突発性崩壊の危険性の調査として、①背面空洞、②覆工の品質及び③背面の地山状況の調査を行いました。

2.1 背面空洞

背面空洞については、電磁波探査と削孔調査を実施しました。その結果、トンネル全線でアーチ部に背面空洞が存在することや大部分の覆工巻厚が

30cm以下であることなどが確認されました。

電磁波探査は広範囲の空間調査に有効な技術であり、周波数が高いほど精度は高くなる一方で探査深度は浅くなる特徴を示します。今回の調査では、建設時や補修時の覆工の構造に関する資料が残っていなかったことから、最初に覆工及び背面の概況を400MHzの探査によって把握したうえで、詳細な状態を把握するために900MHzの探査を実施しました。また、電磁波探査の測線上で実施した削孔調査（ドリル削孔及びコア削孔）の結果により電磁波探査結果を補正しています。このように、非破壊試験を適用する場合には、適用性を踏まえて目的を明確にして用いるとともに、必要に応じてサンプリング（破壊）試験の結果と組み合わせることにより精度を高めることが有効です。

2.2 覆工の品質

仁方隧道の覆工の表面は大部分がモルタルにより補修されており、近接目視や打音検査による覆工本体の品質や損傷状況の把握が困難であったことから、覆工本体の品質を調査するため2.1の削孔調査で採取したコアを分析しました。コア削孔位置の選定にあたっては、電磁波探査の測線上のほか、施工当時の技術水準ではコンクリート品質のばらつきが大きいと想定されたため、ひび割れ発生箇所等を中心に縦断及び横断方向に複数箇所を設定しました。その結果、全てのコアで写真-2のようにジャンカや空隙等の内部の品質の問題が確認されました。さらに、一軸圧縮試験によりコアの強度を計測したところ、一部で15N/mm²を下回るなど、覆工の強度が十分でない部分が存在することが示されました。また、側壁部に比べてアーチ部の覆工の品質が劣っている傾向等も確認されました。コア調査で確認された内部の品質の問題は、施工時の締固め不足やコールド

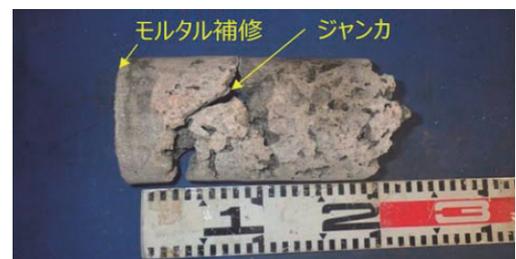


写真-2 覆工のコアの状況（φ100mm）

現場に学ぶメンテナンス No. 26

ジョイントによるものと推定されます。このように、調査の計画や評価にあたっては、施工当時の技術の状況を考慮することが有効です。

2.3 背面の地山状況

削孔箇所から背面空洞をカメラで撮影し、背面の地山状況などの確認を実施しました。その結果、背面の地山は比較的安定しているものの、一部で亀裂や風化が存在することが確認されました。

建設後約80年にわたり覆工には外力による著しい損傷は生じていないことや、地山は比較的安定していると推定される状況を踏まえ、仁方隧道で直ちに突発性崩壊が発生することは考えにくいと評価しました。一方で、地山の一部で亀裂や風化が確認されたことや3. に示す変状の要因から、地山の劣化が今後進展するおそれがあるため、突発性崩壊の予防対策が必要であると評価しました。

2.4 対策の検討

仁方隧道では、突発性崩壊の予防対策として背面空洞の充填及び覆工の補強が必要であることに加え、補修モルタルのうき・はく離等の変状への対策も必要でした。対策の検討にあたっては、補修モルタルを撤去する際の既設覆工への影響や施工時の安全確保に懸念があることから、補修モルタルを撤去せずに覆工内面の補強を行うことができる内巻補強工と裏込め注入を提案しました。このように、対策の検討にあたっては、複数の変状への対策として合理的となる方法の検討が望まれます。

3. 外力の影響が疑われる変状の調査・評価

仁方隧道の終点側坑口付近では、モルタルで補修された覆工の打継ぎ目に4～10mm程度の段差が確認されました。外力の影響が疑われることから、段差及びその周辺の変状の分析、文献調査、現地踏査等の結果を勘案して評価を行いました。

まず、段差や変状が写真-3のように補修モルタルやチョーキングのあとをまたいでいることから、補修や点検の実施後に変形が進行したものと考えられ



写真-3 覆工打継ぎ目に発生した段差

ます。しかし、段差等の発生箇所はアーチ部の一部のみで、路面、路肩等を含むトンネル断面全体での変状でないことや段差ひび割れがトンネル周方向であること、比較的安定した背面地山が確認されたことなどから、直ちに構造安定性に影響を及ぼす状況にはないと考えられました。

過去の災害記録では、呉市内において震度5弱以上の地震や土砂災害を伴う豪雨が確認されました。また、図-1に示す地形図から終点側坑口周辺の集水地形が確認され、現地踏査においても流水跡・湧水・水溜まりが確認されました。これらのことから、段差は、地震又は豪雨による短期的な外力により発生した可能性が推定されました。

以上のように、外力の影響が疑われる変状の評価にあたっては、変状の状態に加えて、周辺構造の変状や地山状況、地形状況、過去の災害履歴等を調査し、多角的・総合的に評価することが重要です。なお、外力による変状の進展の有無は今後の健全性評価における重要な要素であり、今後も定期的な観察や計測による変状の進展状況の調査が必要であるとしています。

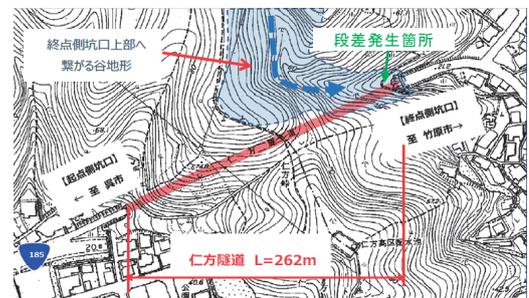


図-1 周辺地形図

4. おわりに

トンネルの変状に関する調査や評価には様々な種類があり、今回示したように、調査の特徴を理解し、適切に組み合わせて、変状のメカニズムや状態を総合的に評価することが重要です。なお、仁方隧道では、平成31年度から国による修繕代行業として修繕を行うことが定められ、令和2年度に対策工事に着手する予定です。

国土交通省中国地方整備局道路部道路保全企画官 藤原浩幸
執筆当時 国土交通省中国地方整備局広島国道事務所副所長、
現 坂町技監(兼)建設部長 荒木 勲
国土交通省国土技術政策総合研究所
道路構造物研究部 構造・基礎研究室長 七澤利明
土木研究所
道路技術研究グループトンネルチーム 上席研究員 日下 敦