

トンネル活線拡幅工事における覆工調査

佐藤工業（株） 正会員 ○ 山本 徹 伴 享
 正会員 篠川 俊夫 歌川 紀之
 正会員 中村 英孝

1. はじめに

近年、道路構造令の一部改正による通行車両の大型化への対応や老朽化したトンネルの改良・安全性の向上といった観点から、既設トンネル断面の拡大・拡幅のニーズが多くなってきている。こうした中、適用できる地山の範囲が広がる、工期短縮ができる、汎用機械の使用によりコストダウンが図れるといった特徴がある発破工法による活線拡幅工法が注目されてきている。本工法はトンネル覆工を発破により順次解体し同時に地山掘削を行うため、発破箇所以外の覆工の安全性を確保する必要がある、必要に応じて覆工をロックボルトで支保し覆工と地山の一体化を行う。一体化のためには、覆工背面に空洞が存在する場合には裏込め注入を行う必要がある、事前に覆工の状態や内部状況を把握する必要がある。ここでは、裏込め注入の施工前に覆工状態ならびに覆工内部の状況を把握するために行った覆工調査について報告する。

2. 調査内容

対象トンネルは、昭和 37 年に竣工し、38 年程度経過した道路トンネルである。トンネルは延長 146m であり片側 1 車線である。

調査は図-1 に示す流れで行った。電磁波レーダー調査（アイアンシーカ IRS-400）は、図-2 に示すようにトンネル軸方向に 3 測線で実施した。打音調査は、電磁波レーダーが線的な情報であることから覆工を面的に調査するために、トンネル中心の海側、山側それぞれ 1.5m の範囲について電磁波レーダーで得られた結果を参考に延長方向に 2～24m 程度の範囲を適宜定めて実施した。測定間隔は、測定範囲内を 0.5m 間隔の格子状とし、その格子点においてインパルスハンマー（ヘッド部質量 200g）で打撃し、打撃位置近傍に密着させたフード付きマイクにより打撃音の収録を実施した。

3. 調査結果

3.1 目視調査による覆工の状態

目視による調査はトンネル全線にわたって行った。覆工の状態は、トンネル両坑口でひび割れや漏水が多く見られ、本トンネルが寒冷地であることを考慮すると、凍結融解の繰り返しにより生じたものと考えられる。なお、両坑口では覆工調査の段階までパネルが取り付けられており、トンネルの安全面での配慮はなされていた。トンネル内部については、ひび割れ箇所からの漏水により覆工表面が濡れている状態の箇所も見られたが、全般的に覆工は健全であると考えられる。覆工コンクリートの強度を確認するために、コア抜きにより試験体採取し強度試験を実施したところ、 $17.6 \sim 47.4 \text{ N/mm}^2$ とばらつきは見られるものの、平均値で 29.7 N/mm^2 の結果が得られた。

3.2 電磁波レーダーによる調査

ロックボルト打設時には支保工位置を避ける必要がある、その位置を把握しておくことが必要である。トンネル延長 3 測線で測定した結果、支保工が存在しないことが確認された。また、レーダーの反射波形から、縦断方向 0.5m 間隔で覆工厚さ、背面空洞深さを算出した。この結果、覆工巻厚は、設計巻厚 350mm に対して 200mm 程度以下の薄い箇所は一部分であり極端に薄い箇所は存在しなかった。レーダー探査映像の一例を図-3 に、覆工縦断図の一例を図-4 に示す。

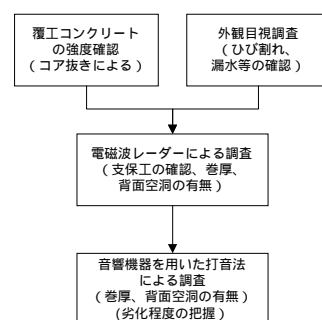


図-1 調査の流れ

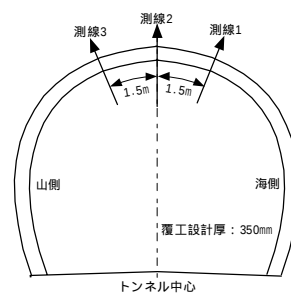


図-2 断面方向調査位置

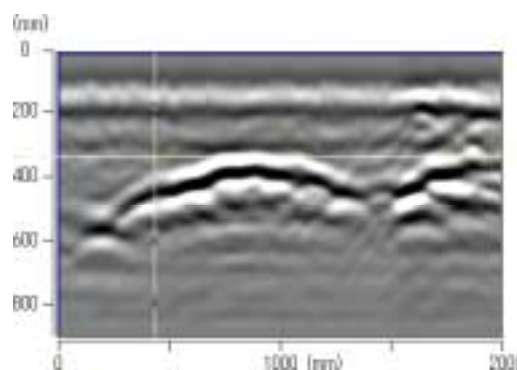


図-3 探査映像の例

キーワード：トンネル，活線拡幅，発破工法，覆工，打音法

連絡先：〒060-0809 札幌市北区北 9 条西 3-19-1 ノルテプラザ Tel:011-707-7153 Fax:011-707-7207

3.3 打音法による調査

打音法による調査は、11 箇所の調査範囲で実施した。収録した打撃音の評価は実効値を用い、打撃箇所ごとにインパルスハンマーの加力実効値で打撃音実効値を正規化した実効値比を算出した。その算出された実効値比より異常箇所を判定する方法として統計的手法を用いた。統計的手法は正規確率紙を用い、測定で得られた実効値比が正規分布しているかどうかを判定し、正規分布する部分のみ（健全箇所のばらつきを考慮した）を抽出することにより、この分布から異常判定値を定める方法を用いた。正規確率紙は、データを昇順あるいは降順に並び替えたときに、各データの累積出現確率の逆関数（正規偏差）を縦軸に、並び替えたデータの値を横軸にとったもので、あるデータ群が正規分布していれば、正規確率紙上では直線になるという性質を持っている。

実効値比の統計処理の結果を図-5 に示す。図中(a)が全データを正規確率紙上にプロットしたものである。線形近似式の線形相関の指標である R^2 値は 0.152 であり、正規分布ではないと判断できる。次に、実効値比の大きい順にデータを削除し、正規分布していると判断できるような R^2 値(0.95 以上)となる近似式を探索した結果が図中(b)である。この結果より、正規分布のしきい値（平均値+3 σ =0.00337）を定め、測定結果の異常箇所の抽出を行った。

トンネル起点側坑口付近、中央部、終点側坑口付近の打音異常箇所分布図を図-6～8 に示す。図中のハンチングされた部分が、本手法によって抽出された異常箇所である。

この結果から、起点側坑口付近が 20m 程度、終点側坑口付近が 12m 程度の範囲において通常起こりうるばらつきの範囲外のデータが多く存在することが分かり、打撃による応答が大きい、すなわち覆工厚さが他の箇所と比べて薄いあるいは背面空洞の存在などが考えられる箇所が多く存在することがわかる。一方、トンネルの中央部においても、しきい値以上と判定される箇所は存在するが、その箇所は測定範囲内の一部分であり部分的に振動しやすい箇所が存在することが分かる。このように、両坑口はトンネル内部と比べてひび割れ、漏水等が多く劣化が激しい箇所が所々見られ、打音調査を実施し統計的手法を用いて異常箇所の判定を行ったところ、目視調査による覆工の劣化程度と、打音測定結果で異常箇所と判定される範囲とがある程度対応する結果となった。

4. おわりに

拡幅工事に際し裏込め注入の施工前に覆工状態ならびに覆工内部の状況を把握するための覆工調査を実施した。その結果、本トンネルは寒冷地という厳しい環境条件により、坑口では凍結融解と見られる劣化現象が見られた。電磁波レーダーによる探査結果からは、覆工厚さが極端に薄い箇所は存在しないが、覆工背面の空洞の存在が推定された。また、覆工内に支保工は存在しないことが分かった。打音調査結果からは、トンネル内部と比較してトンネル両坑口付近で、異常箇所と判定される領域が多く存在し、凍結融解の繰り返しによる覆工の劣化状態との関連性が見られた。今後、施工時には本調査結果の整合性を確認するために覆工状況の観察を行う予定である。

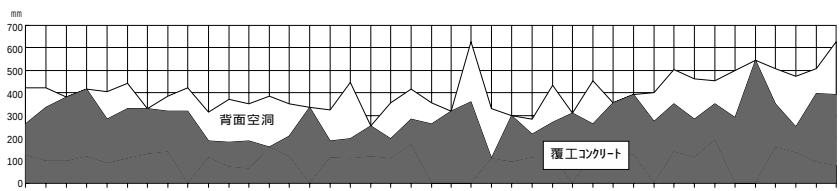
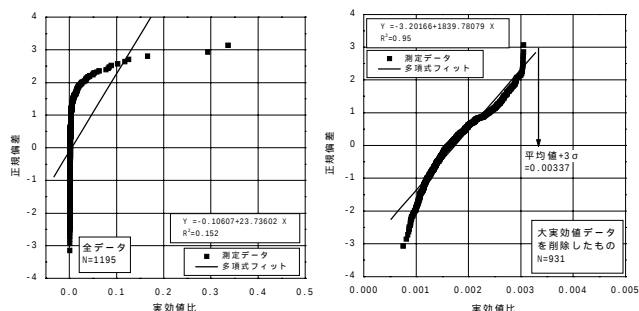


図-4 覆工縦断面図（起点側坑口、トンネル天端）



(a)全データの分布 (b)データ削除後

図-5 正規確率紙（実効値比～正規偏差の関係）

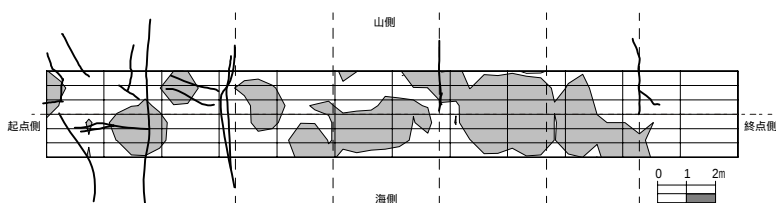


図-6 打音異常箇所分布図（起点側坑口）

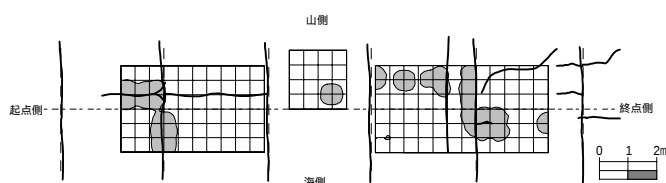


図-7 打音異常箇所分布図（中央部）

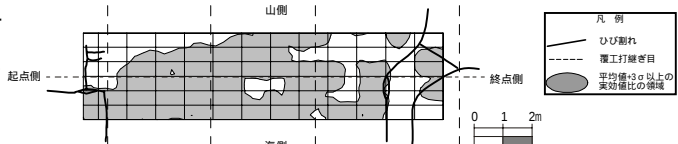


図-8 打音異常箇所分布図（終点側坑口）