

矢板工法で建設されたトンネル覆工のひびわれ発生 メカニズムに関する研究

長崎大学大学院生産科学研究科
菅原 健太郎

日本の高度成長期に数多く建設されたトンネルでは、老朽化が進み維持管理の重要性が増している。その対象となるトンネルの多くは、矢板工法により建設されている。矢板工法で建設されたトンネル覆工にひびわれが観察された場合には、供用時の地山変状などに起因する、いわゆる外力が原因と判断される場合がほとんどである。ひびわれの原因が外力であれば、長期的には覆工や地山の不安定化が懸念され、大規模な補強工が必要となる。一方、コンクリートの硬化過程に原因があるものであれば、表面剥離を防止できるような簡素な補修工で済ますことができる。このような対策工の選別が可能となれば、トンネルの維持管理の合理化に大きく貢献すると考えられる。このためには、ひびわれの発生原因が外力かそれ以外かを区別しなければならない。

既往の研究では、外力に起因するトンネル覆工のひびわれの特徴は明らかとなっている。また、NATMを対象とした近年の研究では、覆工コンクリートの硬化過程における体積収縮によりひびわれが発生することが明らかとなってきている。

本研究では、NATMとは異なる特徴を有する矢板工法で建設されたトンネル覆工コンクリートについて、外力ではなく、この硬化過程で発生するひびわれの原因と特徴を明らかにすること、覆工形状の精密計測結果を診断情報に加えることで、ひびわれの発生原因が外力かそれ以外かをより明確に区別することを目的とした。

矢板工法を対象としたトンネル覆工の硬化過程で発生するひびわれは、三次元熱伝導-変形連成解析により解析的検討を実施した。覆工天端部では打設時から地山と覆工背面は分離し、その後乾燥収縮などの影響で地山と覆工背面の分離が進行する。これにより天端表面では引張応力が増加し、短期的な観点から潜在的にひびわれが発生しやすい状態となることが明らかとなった。これは背面の拘束効果が大きいほど顕著であった。長期的には、ひびわれが顕在化するケースが見られた。矢板工法で施工されたトンネルでは、竣工した時点ではひびわれが見られなかったものでも、数年でひびわれが発生する事例が見られている。このような場合は、何らかの外力が作用してひびわれが発生したと判断しがちである。本研究の結果に基づけば、外力が作用していなくても覆工コンクリートの硬化過程による変形でひびわれが発生する場合があり、ひびわれの原因の判断については十分な注意が必要であると考えられる。

また、このような判断を下す際の診断情報として覆工形状計測を試みた。実施した解析的検討結果をもとに、外力以外で発生する変形の特徴を捉えるためには既往技術の精度向上が必要であることがわかった。これを実現するため、Z+F社製のレーザスキャナを搭載するとともに、覆工壁面に対する垂直照射を可能としビーム径による誤差を理論的に最小化した。トンネル内で得られた三次元点群データは、その座標はすべて相対値であり、レーザスキャナやIMUに起因するノイズも含まれる。このようなデータから覆工形状の特徴を抽出するために新たなロジックを考案した。この手法により、ひびわれが観察されている実際のトンネルを対象として覆工形状を詳細に計測し、得られた三次元点群データから、その特徴とひびわれとの関連性を調べ、ひびわれの原因を推定する方法を検討した。覆工コンクリートの曲率半径を求めたところ、トンネル軸方向の分布が各スパンで類似の形状となった。

覆工コンクリートの曲率半径分布が各スパンで類似の形状となる理由は二つ考えられる。一つは、覆工コンクリート打設に用いられた型枠の形状が反映されている場合、二つ目は覆工コンクリートの形状がその硬化過程での変形を反映している場合である。形状計測でこれら二つを分離することはできないが、型枠の形状は各スパンで同一であることは自明である。また、実施した解析結果からは、隣接する覆工コンクリートの収縮変形が進むにつれた分離が生じ、これらの相互作用を受けないため、覆工コンクリートの硬化過程の変形も各スパンで類似しているものと考えられる。仮に、覆工コンクリートに生じているひびわれが外力によるものであれば、局所的な変形や特定のスパンに偏った変形が生じ、覆工コンクリートの曲率半径のトンネル軸方向分布は各スパンで共通とはならない。

本研究の結果、矢板工法で建設されたトンネル覆工でひびわれが見られている場合に、ひびわれのパターンや覆工形状の各スパンにおける特徴的な曲率半径分布の共通性が認められた際には、ひびわれの原因が外力ではなく、覆工コンクリートの硬化過程で発生したものである可能性が高いことがわかった。本研究のまとめとして、矢板工法で建設されたトンネル覆工で観察されたひびわれの原因を特定するためのフローを提案し、本研究の成果が、トンネルの維持管理の合理化に貢献することを望むものである。