

トンネル覆工に発生するひび割れの分類と原因の推定

山口大学大学院 学生会員 ○大場 諭 山口大学工学部 正会員 重田佳幸
山口大学工学部 正会員 進士正人 山口大学工学部 フェロ-会員 中川浩二

1. はじめに

トンネル構造として最も重要な機能は、安全かつ快適な空間を確保することである。しかし、現在供用中のトンネルの中には、覆工や路盤に変状が認められるトンネルが数多く、中には危険な状態のものもあり、維持管理上の大きな問題となっている。

トンネル変状は、トンネル周辺の地形・地質条件といった外的要因と、トンネル覆工の構造的条件（単線・複線の違いによる断面形状の差、巻厚、インバートの有無、順巻・逆巻きの違い、背面空洞の有無など）といった内的要因とが相互に関連し、発生すると考えられており¹⁾、変状発生状態の特徴から覆工に作用している地圧の分布・大きさ・方向など変状の原因を特定することは技術的に難しい。そのため現在では、過去の類似例や経験豊富な技術者の経験的判断に基づき、対策が検討されていることが多い。しかし、技術者の経験は多種多様であり、統一적かつ合理的な判断がなされているかどうかは不明瞭である。トンネル変状対策を行う上で、トンネル覆工変状の原因を推定するシステムを確立することが望まれており、研究が進められている²⁾。

そこで本研究では、多数あるひび割れ原因のうち、外力によるものを対象として、トンネル変状事例の展開図を基にひび割れのパターンを分類し、トンネル覆工に作用する荷重の位置・方向をパラメータとした3次元数値解析から、パターンに見合うトンネル覆工に作用している外力を推定することを目的とする。

2. 事例の整理とひび割れの模式化

トンネル覆工に発生しているひび割れの状況を把握するために、事例のひび割れを模式化し、パターン分類を行った。対象トンネルは、既往の文献のうち展開図の添付があった21本のトンネルである。

これらのトンネルデータの展開図から主要なひび割れの個所、種類、方向に着目し、模式化した。ひび割れ個所はトンネル覆工断面において、側壁部、アーチ部、天端部に分類し（図-1参照）、ひび割れ種類は展開図に記述されていた圧ざ、せん断ひび割れ、引張ひび割れに分類した。なお、ひび割れの方角については、奥行き方向に発生するひび割れを縦断ひび割れ、覆工断面に対して水平方向に発生するひび割れを横断ひび割れ、奥行き方向もしくは水平方向に対して15°を超えるひび割れを斜めひび割れとする（図-2参照）。以上の手法によりパターン分類した模式図の一例を表-1に示す。21トンネルのうち7トンネルが縦断ひび割れ、6トンネルが横断ひび割れ、8トンネルが斜めひび割れとなった。

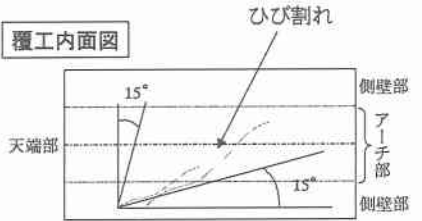
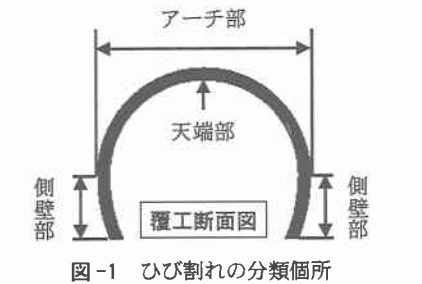


表-1 模式図と展開図の一例

分類区分	事例数	トンネル名 (一例)	展開図	模式図
縦断ひび割れ	7	中山		
横断ひび割れ	6	第2西岡山		
斜めひび割れ	8	大原		

3. トンネル覆工に作用する外力の推定

(1) 推定方法

ここでは、事例により分類した3種類のひび割れパターンに作用する外力を3次元FEM解析を用いて検討する。モデル化は鉄道トンネル（新幹線）の標準断面を参考にし、覆工巻厚0.6m、トンネル外径10.7m、奥行き10.5mとした。物性値は朝倉らの実験で使用した物性値を用いた。

荷重は作用方向、位置、鉛直荷重と水平荷重のバランスをパラメータとして64ケースの解析を行った。また部分的な沈下を模擬するために、脚部支持条件を変更し計66ケースの解析を行った。図-3に荷重ケースの一例を示す。

(2) 結果と考察

解析結果から主応力の種類、方向、作用位置によりひび割れ発生状況を分類し、事例により分類したひび割れパターンと比較・検討を行った。解析結果の主応力図の代表例を図-4に示す。図-4(a)では、天端部における主応力の分布状況は横方向の圧縮応力が縦方向よりも卓越しているため、天端部には縦断方向のひび割れが発生する可能性が高いと考えられる。また、側壁部における主応力の分布状況は横方向の引張応力が縦方向の引張応力よりも卓越しているため、側壁部にも縦断方向のひび割れが発生する可能性が高いと考えられる。このような主応力のケースを縦断ひび割れと判定した。また同様に(b)、(c)のような主応力のケースをそれぞれ斜めひび割れ、横断ひび割れと判定した。

以上のような手法で得られた結果より、64ケースの荷重ケースのうち、43ケースが縦断ひび割れ、21ケースが斜めひび割れであった。縦断ひび割れのケースの大半は、トンネル覆工周面に対して法線方向に荷重が作用するケースであった。また斜めひび割れの全ケースが、奥行き方向に斜め荷重が作用するケースであった。横断ひび割れは、脚部の支持条件を変更し、脚部が沈下した場合にのみ発生した。

4. おわりに

本研究ではトンネル覆工の変状からその原因を評価するシステムを確立することを目的とし、その第一歩として、事例調査によりひび割れをパターン分類し、数値解析によりそのひび割れパターンとなる外力の推定を行った。その結果、ひび割れと外力の方向、作用位置に関して、以下に示す知見が得られた。

- ①縦断ひび割れはトンネル覆工周面に対して垂直に荷重が作用していると考えられる。
- ②斜めひび割れは奥行き方向に斜め荷重が作用すると発生する傾向にあると考えられる。
- ③横断ひび割れは荷重パターンにあまり影響されず、局所的な脚部沈下で発生すると考えられる。

参考文献

- 1) 朝倉俊弘：山岳トンネルの変状メカニズムとその対策に関する研究，鉄道総合技術論文誌，No.13，1997.3.
- 2) (財) 鉄道総合技術研究所：トンネル補強・補修マニュアル

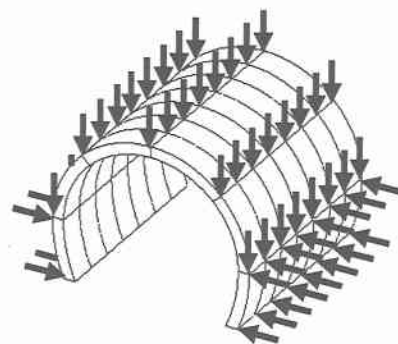


図-3 荷重ケースの一例

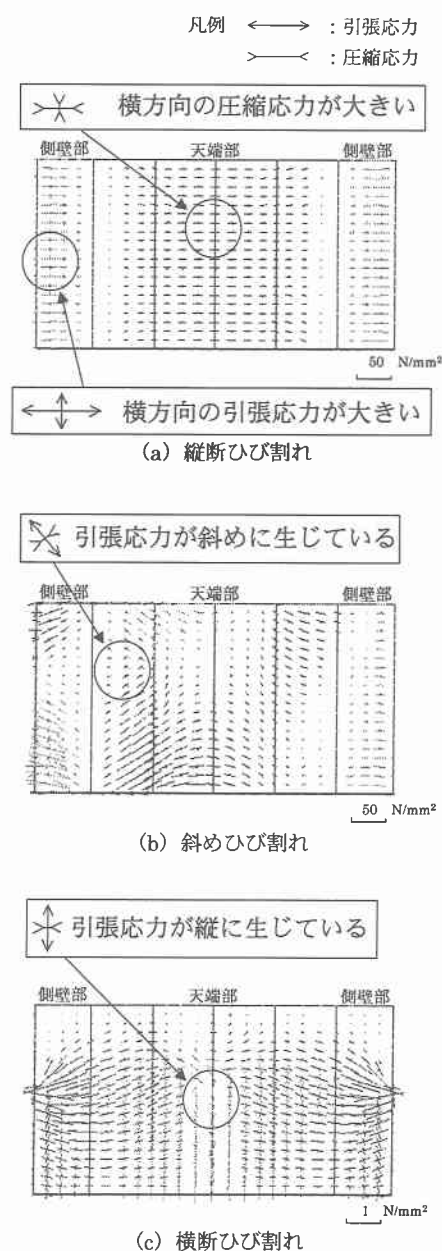


図-4 主応力図