

トンネル覆工劣化度評価のためのデータ解析の試み

大成建設（株）土木設計第一部 フェロー会員 亀村 勝美
正会員 須藤 敏明

はじめに

トンネルの変状状態を示す最も基本的なデータとして、覆工のクラックや湧水状況がある。通常のトンネル覆工調査の中でも詳細に実施され、莫大な情報が記録されている。実際多くの鉄道トンネルにおける保守点検の実績に基づいてまとめられた「変状トンネル対策工設計マニュアル」においても覆工各部に発生したクラック（ひび割れ）の情報が様々な判断の元となっている。しかしながら、これらのデータからトンネルの劣化状態を定量的あるいは客観的に評価することは難しい。ここでは、クラックの進展 = 劣化の進行 と見なしたとき、点検データからどのようにしてクラックの進展状況を評価、判断するのかについて検討する。

1. クラックの幾何特性と透水性

トンネルでは覆工からの湧水状況でその劣化状態を判断することがある。これは覆工からの湧水量がクラックの状態と密接な関係にあるためである。今、図1のようなクラックが覆工に生じているとすると、このクラックを通してトンネル内部に浸透してくる水の流量は以下のように表せる。

$$Q = \frac{1}{12\mu} \cdot \frac{P}{d} \cdot l \cdot t^3$$

ここに、 Q : このクラックを通る流量

μ : 水の粘性係数

P : 覆工背面に作用する水圧

d : クラック深さ（覆工厚）

l : クラック長さ

t : クラック幅

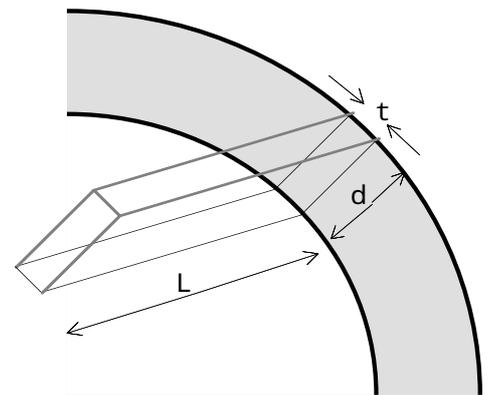


図1 覆工クラックの概念

である。この式は湧水量がクラックの本数と長さとの三乗に比例していることを示している。すなわち、ある覆工のクラックの本数が倍に変化したとしても、湧水量は倍にしかならないが、幅が例えば0.1 mmから1 mmに変化したとすると、湧水量は実に1,000倍になる。このように、覆工の湧水についてはクラックの幅が非常に大きな影響を与えることが判るが、覆工の力学的な安定の支配因子についてはクラックデータの定量的な評価を行った上での検討が必要となる。

2. クラックテンソルによるクラックの評価

覆工のクラックのパターンとしては、土木学会：「トンネルコンクリート施工指針（案）」に示されているような以下のパターンが代表的なものとして挙げられる。

- (1) トンネル軸方向に直線的に伸びるクラック (2) トンネル軸直角方向に直線的に伸びるクラック
(3) 継ぎ目部近傍でトンネル軸方向に伸びるクラック (4) 甲状あるいは網目状のクラック

一方岩盤力学の分野では、岩盤中のクラックの密度、方向、規模が岩盤物性（変形係数、透水係数）に大きく影響するため、これらの影響を定量化する研究が進められてきた。そして、クラックテンソルと呼ばれるクラックの密度、方向、規模を定量化する指標が導出されている。トンネル覆工の劣化評価に関しても、クラックテンソルの考え方をいれれば、劣化の進行度合や、劣化パターンの定量化に用いることができると考えられる。

キーワード：覆工コンクリート、クラック、劣化、クラックテンソル

連絡先：東京都新宿区西新宿 1-25-1 大成建設（株）土木設計第一部 tel 03-5381-5296

図2のように覆工のクラック状況を2次元の平面に展開し、劣化の規模はクラック長の1乗、クラック開口幅の1乗に比例するものと仮定すれば、2次元のクラックテンソルは以下の形に変形できる。

$$F_{ij} = \frac{1}{A} \sum_{k=1}^m (l^{(k)})(t^{(k)}) \cos \theta_i^{(k)} \cos \theta_j^{(k)}$$

ここで、 A : 対象とする覆工の面積

m : 対象とする覆工に存在するクラック本数

l(k) : k 番目のクラックの長さ

t(k) : k 番目のクラックの幅

i(k) : k 番目のクラックの法線外角が i 軸となす角度

j(k) : k 番目のクラックの法線外角が j 軸となす角度

また、 $F_0 = F_{11} + F_{22}$ は、クラックテンソルの不変量であり、考慮している範囲内の劣化量の総和とみなすことができる。

今、1打設長 10 m、周の長さ 30 mの覆工のクラック展開図があるとする。この覆工に、図3に示すようなクラックパターンについてクラックテンソルを求めると、以下のような結果となる。

表1 クラックテンソル計算結果 (× 10⁻⁵)

NO	長さ(m)	幅(mm)	F11	F12	F22	F0
1	10	1	0	0	3.33	3.33
2	20	0.5	3.33	0	0	3.33
3	2.5	1	0	0	3.33	3.33
4	1	1	1.67	0	1.67	3.33

このように、4つのクラックパターンは同一の F₀ 値となっており、劣化の度合としてはほぼ同一である。また、テンソル各成分の大きさを比較することで、方向や分布のパターンを定量的に評価することができる。

おわりに

ここに示したように、覆工の点検データとして得られたクラックデータを定量的に評価することにより、具体的に劣化の進行を捉えることが可能である。今後このようなアプローチをより多くのデータに対して適用するとともに他の点検、調査データ、特に力学的な評価データとの相関を検討することにより劣化進行の予測モデルの構築を行いたい。

【参考文献】 1) (財) 鉄道総合技術研究所：「変状トンネル対策工設計マニュアル」、1998

2) 土木学会：「トンネルコンクリート施工指針(案)」、コンクリートライブラリ 102、2000.7

3) 山辺、小田、亀村：一般化クラック・テンソルによる亀裂性岩盤の非線形弾性解析、岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、Vol.18th、pp.181-185、1986

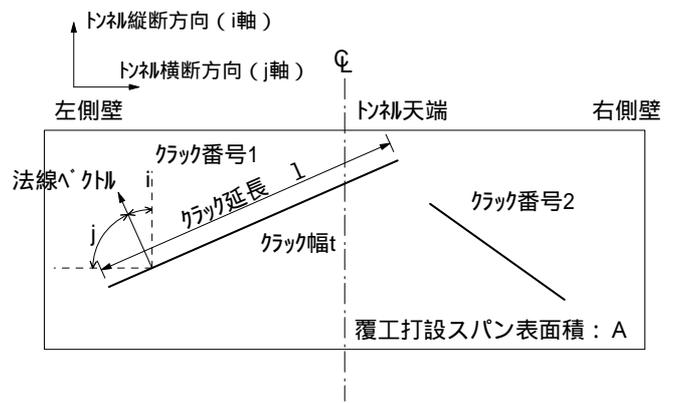
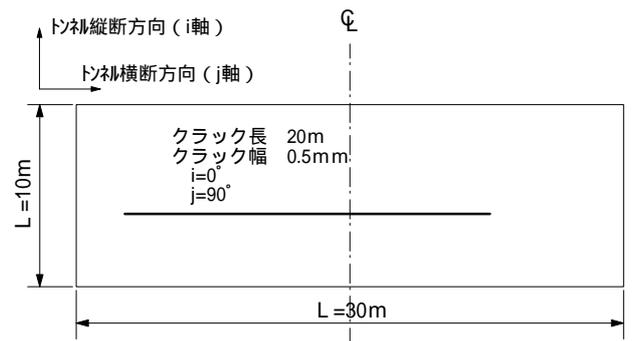


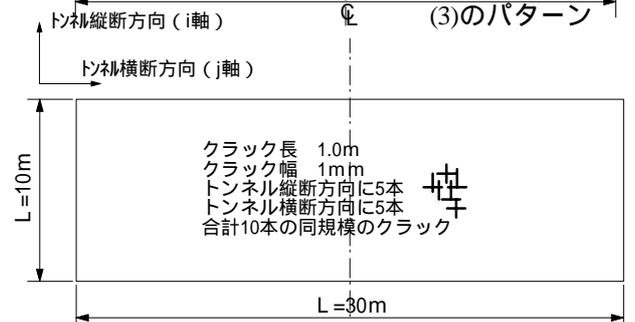
図2 トンネル覆工における劣化クラックの概念図



(2)のパターン



(3)のパターン



(4)のパターン

図3 クラックのモデル