

トンネル覆工健全度評価のためのクラックテンソルの適用性の検討

山口大学大学院 学生会員 ○大場 諭 大成建設（株）フェロー会員 亀村 勝美
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 フェロー会員 中川 浩二

1. 目的

トンネルの変状を示す最も基本的なデータとして覆工コンクリートのひび割れや覆工からの湧水状況がある。特に覆工に発生したひび割れの情報は、トンネルの健全度を判定する目安として非常に重要視されている^{1), 2)}。しかし、この情報からトンネルの劣化状態を定量的または客観的に評価することは難しく、現場技術者の経験的判断によるところが大きい。

本研究では、覆工コンクリートに発生したひび割れの情報を用いて、ひび割れの延長、幅、方向をクラックテンソル³⁾として定量化を試みる。また、実際の3つのトンネルにおける覆工健全判定結果と比較して、トンネルの健全度評価へのクラックテンソルの適用性を検討するため、その算出式について考察する。

2. クラックテンソルの概要

岩盤力学の分野では、岩盤中のクラック密度、方向、規模が岩盤のマスの物性（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的に評価するクラックテンソルの研究が進められてきた。そこで、このクラックテンソルの考え方をトンネル覆工の劣化度評価に適用することで、劣化の進行度合や劣化パターンを定量的に評価できると考えられる。以下に著者の一人が提案している2次元のクラックテンソルの算出式³⁾と、図1に算出式の概念を示す。

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

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ひび割れの本数

$l^{(k)}$ ：k番目のひび割れの延長

$t^{(k)}$ ：k番目のひび割れの幅

$\theta_i^{(k)}$ ：k番目のひび割れの法線ベクトルがi軸
（トンネル縦断方向）となす角度

$\theta_j^{(k)}$ ：k番目のひび割れの法線ベクトルがj軸
（トンネル横断方向）となす角度

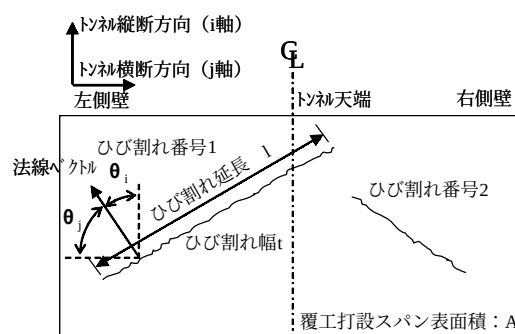


図1 トンネル覆工における
クラックテンソルの概念図

3. クラックテンソルの適用性の検討

式(1)は劣化の規模がひび割れ延長、幅の1乗に比例すると仮定した2次元のクラックテンソルの算出式である。そこで本研究では、式(1)のひび割れ延長、幅の係数に対する適用性を検討するため、ひび割れの延長と幅に重み付けをした算出式（式(2)）を用いる。また、式(2)の検討ケースを表2に示す。

$$F_{ij} = \frac{1}{A} \sum_{k=1}^m (t^{(k)})^\alpha (l^{(k)})^\beta \cos \theta_i^{(k)} \cos \theta_j^{(k)} \quad (2)$$

ここで、 α ：ひび割れ幅に関連する係数

β ：ひび割れ延長に関連する係数

クラックテンソルの算出手順を以下に示す。まず覆工展開図よりひび割れの幅・延長・角度を測定する。但し、覆工コンクリートの

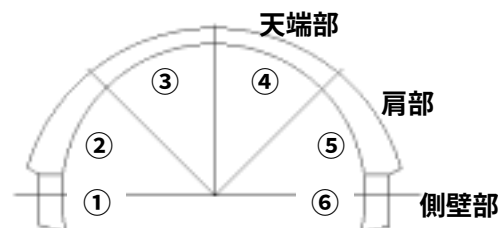


図2 覆工断面図と各部位

表2 算出式の検討ケース

① $\alpha=1/2$ $\beta=1/2$	④ $\alpha=1$ $\beta=1/2$	⑦ $\alpha=2$ $\beta=1/2$
② $\alpha=1/2$ $\beta=1$	⑤ $\alpha=1$ $\beta=1$	⑧ $\alpha=2$ $\beta=1$
③ $\alpha=1/2$ $\beta=2$	⑥ $\alpha=1$ $\beta=2$	⑨ $\alpha=2$ $\beta=2$

キーワード トンネル覆工コンクリート、ひび割れ、健全度、クラックテンソル

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台2丁目16-1 山口大学大学院 理工学研究科 TEL 0836-85-9332

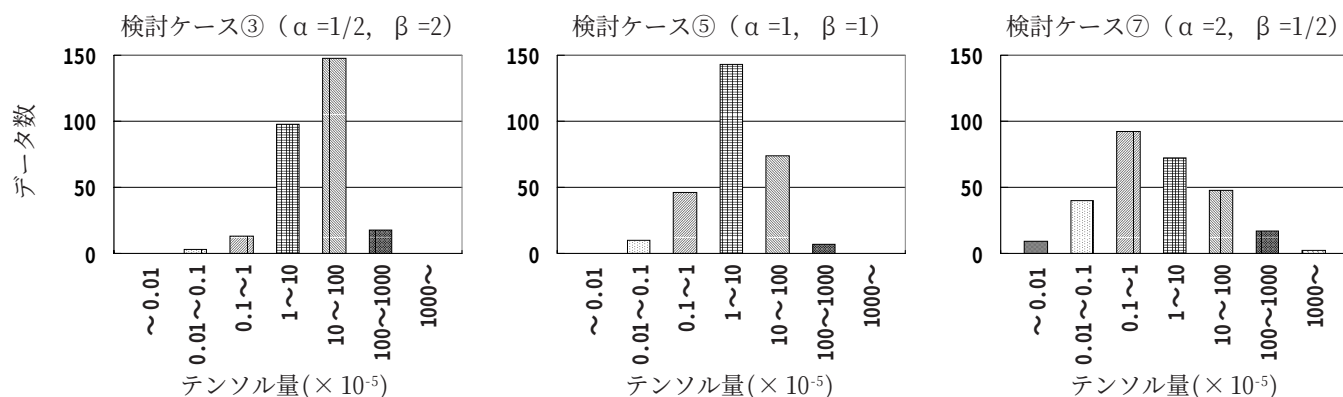


図3 クラックテンソルのヒストグラム

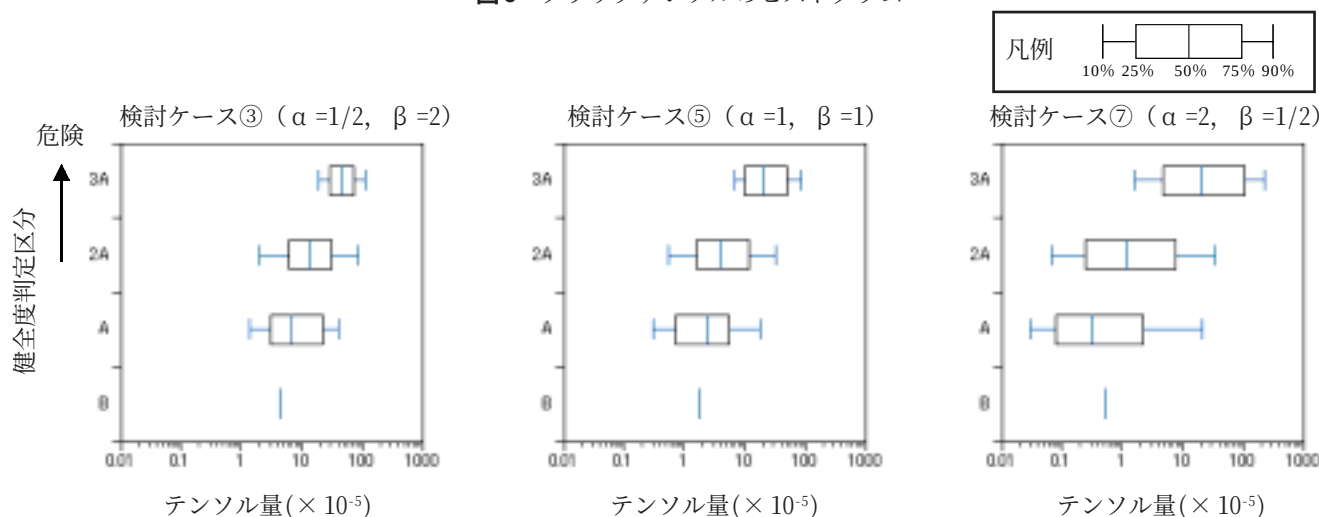


図4 クラックテンソルと健全度判定結果の関係

状況を詳細に評価するため、縦断方向は打設スパン毎、横断方向は図2に示すように側壁部、肩部、天端部に分割して行った。測定したひび割れの情報からクラックテンソルを式(2)より算出する。各検討ケースにより算出されたクラックテンソルと実際のトンネルの健全度判定結果を比較する。

4. 適用結果

検討ケース③、⑤、⑦におけるクラックテンソルのヒストグラムを図3に示す。図3からケース③、⑤に比べ、ケース⑦の方がクラックテンソルの分布が幅広くなっていることが分かる。

次に、検討ケース③、⑤、⑦におけるクラックテンソルと健全度判定結果の関係を図4に示す。図4から、どの検討ケースも健全度評価区分が危険になるにつれ、クラックテンソルが大きくなる傾向であることが分かる。また、ケース③、⑤に比べケース⑦の方が、各健全度評価区分においてクラックテンソルの取りうる値の範囲に差が表れていることが分かる。

5. まとめ

健全度判定結果が危険になるほどクラックテンソルは大きくなることから、健全度判定指標としてクラックテンソルを用いることは可能であると考えられる。また、クラックテンソルを健全度評価に用いる場合、各健全度判定区分においてクラックテンソルの値の範囲に差がある方が健全度評価が容易であることから、ひび割れ幅に重みを付けた方が現状の評価に適用性があることが分かる。

今後さらにこのようなアプローチでより多くのデータを検討し、詳細な傾向を把握することにより、内因によるひび割れと外因によるひび割れの区別するための指標として、クラックテンソルを適用することが可能であると考えられる。

【参考文献】

- 1) (財) 鉄道総合技術研究所：「トンネル補強・補修マニュアル」, 1990. 10.
- 2) (社) 日本道路協会：「道路トンネル維持管理便覧」, 1993. 11.
- 3) 亀村勝美, 須藤敏明：トンネル覆工劣化度評価のためのデータ解析の試み, 土木学会第57回年次学術講演概要集, pp.213-214, 2002. 9.