

トンネル健全度診断システムの開発

鉄道総合技術研究所 正会員 ○津野 究
 鉄道総合技術研究所 正会員 小島 芳之
 鉄道総合技術研究所 正会員 栗林 健一
 ジェイアール総研情報システム 蒲地 秀矢

1. はじめに

近年、鉄道トンネルにおいては維持管理の効率化が図られ、さまざまな最新の検査技術も開発されてきている。一方で、トンネルの健全度を評価・判定する作業は人手により行われており、多大な労力を要するだけでなく、客観性に欠けるという問題点を抱えている。そこで、トンネルの全般検査¹⁾で得られる変状展開図やトンネルの基本的な情報を入力することにより、自動的に健全度を判定できるトンネル健全度診断システム(TUNOS)を開発した。本報では、システムの概要および判定アルゴリズムの一部について報告する。

2. システムの全体概要

システムの全体フローを図1に示す。システムの最大の特徴は、変状展開図等に記載されたひび割れの情報とトンネルの基本的な情報から、剥落に対する健全度と外力等起因する機能障害に対する健全度の両方を自動判定できることである。なお、入力した内容および判定結果は、データベースに蓄積される。

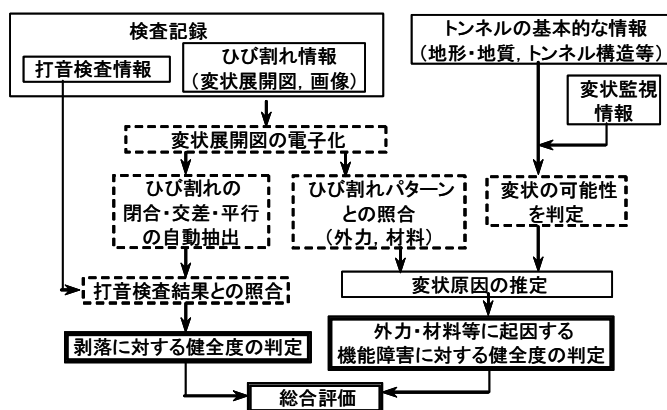


図1 システムの全体フロー

3. 入力項目

主な入力項目は、①変状展開図等に記載されたひび割れの情報、②打音検査情報、③トンネルの基本的な情報、④変状監視情報である。このうち、①および②は、システムの変状展開図(図2)に入力する方式としており、連続走査画像やCADデータからインポートすることも

可能である。一方、③および④については、表1に示すような項目があり、数字の記入やボタンを選択することにより、簡単に入力することができる。

表1 トンネルの基本的な情報および変状監視情報

	入力項目
概要	トンネル名、線名、延長、竣工年 電化・非電化、SL走行有無
構造	種別、巻厚、寸法、覆工材質、路盤(スラブ・バラスト等)、掘削工法、インバート有無、排水構造、側壁直であるか、背面空洞有無、巻厚不足の有無、ジャンカの有無
地形・地質・環境	土被り、位置、標高、地山強度比、地質あるいは岩種、特殊な地形条件であるか(斜面地形、地すべり地形、断層地形、攻撃斜面、構造線地形、崩壊歴あり)、特殊な地質であるか(亀裂性岩盤、風化地帯、断層破砕帯、土砂地山、膨張性地山)、近接施工の有無、積算寒度
対策歴	対策工種別、施工時期、施工位置、詳細な物性試験
変状監視情報	漏水の状況、軌道狂いの有無、路盤の変状、覆工材料の劣化、内空変位測定の結果

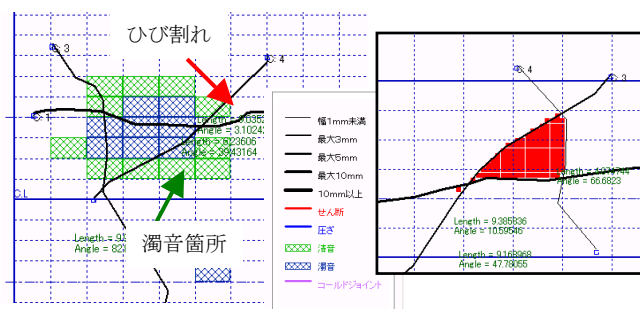


図2 システムの変状展開図 図3 閉合ひび割れの抽出

4. 剥落に対する健全度の判定

剥落に対する自動判定については、既往の研究例²⁾もある。本システムでは、これらも考慮して、電子化した変状展開図から自動的にひび割れの交差、閉合、平行を抽出し(図3)、漏水の有無や打音検査情報を考慮したうえで、剥落に対する健全度(α , β , γ)を判定する¹⁾。判定には、メッシュ(1m×1m)毎に行うものとしている。

5. 外力等起因する機能障害に対する健全度の判定

外力・材料劣化等起因するひび割れ等の変状の形態は、地形・地質等のトンネルが位置する条件や変状原因と深く関係している。本報では、特に外力に起因した変状に対する判定アルゴリズムについて説明する。

(a) 「ひび割れパターン」 との照合

外力の作用状態、構造条件や材料劣化の種別ごとに計

キーワード：鉄道トンネル、維持管理、全般検査、健全度判定、エキスパートシステム

連絡先(185-8540 国分寺市光町2-8-38・TEL 042-573-7266・FAX 042-573-7248)

50 のひび割れパターンをあらかじめ作成し、これに属するひび割れ・圧ぎの位置や角度を整理した(図4, 表3)。そして、スパン毎に各々のひび割れパターンに属する全てのひび割れ・圧ぎが存在するかを照合し、存在する場合はそのパターンが変状の候補となる。この場合、ひび割れ・圧ぎの長さ、幅、角度、位置をもとにひび割れの点数付けを行い(表2)、ひび割れの位置に応じて重み付け(図5, 表3)を行って合計点数を算出する。

【例】右アーチ部 R10 にトンネル軸となす角が 20° の 5 点のひび割れ, 左アーチ部 L8 に圧ぎがある場合: 合計点数 = $1 \times 5 \text{ 点} + 1 \times 10 \text{ 点} = 15 \text{ 点}$

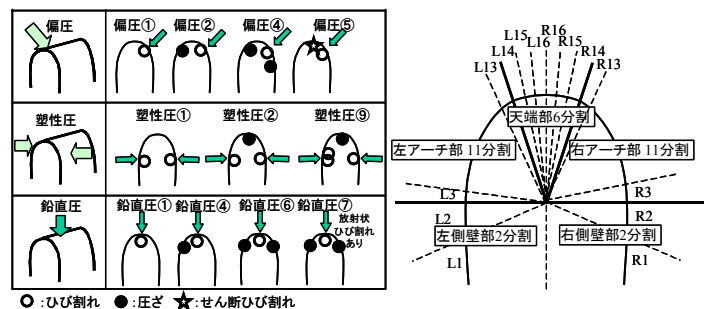


図4 主なひび割れパターン 図5 トンネルの部位の分割

表2 ひび割れの点数付け

長さ		ひび割れ (ひび割れ幅)			せん断ひび割れ・圧ぎ
		1~3mm	3~5mm	5mm 以上	
5m 未満	スパン跨らない	0点	1点	5点	10点
5m 未満	スパン跨る	0点	5点	5点	10点
5m ~ 10m	スパン跨らない	0点	5点	5点	10点
10m	スパン跨る	1点	5点	10点	10点
10m 以上		1点	5点	10点	10点

表3 ひび割れパターンに属するひび割れ・圧ぎと位置による重み付けの例 (偏圧パターン②の場合)

属するひび割れ	トンネル軸となす角度	ひび割れの位置					
		L3	L4 ~ L15	L16	R15	R14 ~ R5	R4
右アーチひび割れ	0~30°	0.0	0.0	0.0	0.5	1.0	0.5
	30~45°	0.0	0.0	0.0	0.3	0.5	0.25
左アーチ圧ぎ	0~45°	0.5	1.0	0.5	0.0	0.0	0.0

注: ひび割れの位置は、図5による。R4~R15の位置 (右アーチ部) にひび割れ, L3~L16の位置 (左アーチ部) に圧ぎがある場合に、「偏圧パターン②」に該当することとなる。

(b) 変状の可能性の判定

既往の現地調査等の知見を整理し、変状が発生しやすい条件について分析を行った。そして、各変状種別 (塑性圧, 偏圧, 地すべり, 鉛直圧, 凍上圧, 材料劣化) 毎にトンネルの基本的な情報から、変状の可能性を判断するフローチャートを作成した。一例を図6に示す。

(c) 変状原因の推定

(a) より得られたひび割れパターンと合計点数, および (b) より得られた各変状現象ごとの変状発生の可能性の両方を勘案して、変状原因を特定する。

(d) 健全度判定

ひび割れパターンと健全度の関係を整理した表をもとに健全度診断を行う。偏圧の場合について、一例として表4に示す。なお、健全度の判定においては、インバートの有無や構造欠陥の有無等の構造条件, 地形・地質条件, 変状監視データも勘案するものとしている。

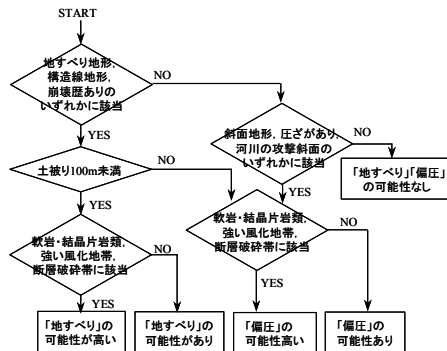


図6 変状の可能性を判定するフローの一例 (偏圧)

表4 ひび割れパターンと健全度の関係 (偏圧の例)

ひび割れパターン	合計点数	S	C	B	A2	A1	AA	備考欄
偏圧①	5点未満 5点以上							
偏圧②	-----							
偏圧④								
偏圧⑤								

注) 背面空洞やインバートの有無等も適宜考慮して、判定ランクを設定する。

6. 診断結果の出力

診断結果は、剥落に対する健全度と外力等に起因する機能障害に対する健全度を同時に全スパン一括出力する。一方で、選択したスパンに関して、さらに詳細な判定結果 (健全度, α あるいは β の位置等), 変状原因, およびコメントを出力できる機能も付けている。

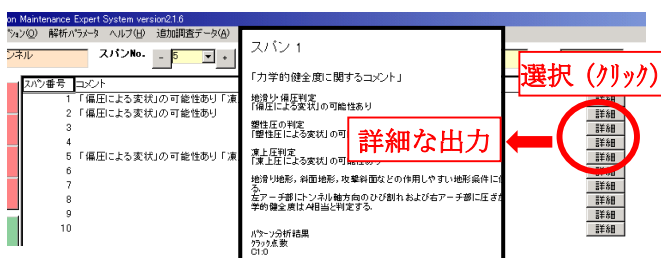


図3.19 判定結果の出力例

7. おわりに

本研究では、トンネルの健全度を検査記録から自動的に評価・判定できる健全度診断システムを開発した。今後は、本システムを実現現場を対象に運用し、使用性を向上させていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所: トンネル保守マニュアル (案), 2000.5
- 2) 朝倉 他: 走行式トンネルコンクリート点検システムに関する研究 (その4) - 剥落危険度統合評価システムの開発 -, 土木学会年次学術講演会講演概要集第5部, Vol. 56巻, pp. 868-869, 2001