

度を変化させた3ケースの実験結果を図2に示す。

圧ざが一つ発生しても十分な変形性能を有するが、最初に圧ざが発生する（一次圧ざ）時の荷重は最大荷重に近いことがわかった。

本実験結果と、覆工背面側の圧ざは一般に把握できないことや既往の研究を踏まえ、本システムにおけるトンネル構造の安定性の判定法を表1に示す通りとした。

表1 トンネル構造の安定性の判定法

変状の程度 進行性 内空変位	○圧ざ ○大きなひび割れ	○中程度のひび割れ
10mm/年以上 2mm/月以上	AA	AA
3mm/年以上 10mm/年未満	A1	A1
1mm/年以上 3mm/年未満	A1	A2
進行性なし	A1	A2

3. 外力による変状原因の推定法¹⁾

原因種別は外力による主なトンネル変状原因である、

- ①「偏圧（斜め方向の地圧が卓越）」、
- ②「塑性圧（横方向の地圧が卓越）」、
- ③「鉛直圧（鉛直方向の地圧が卓越）」、
- ④「凍上圧」の4つに分類した。

分類方法としては、これまで鉄道総研で実施した载荷実験結果や研究成果等^{2), 3)}を参考に、変状原因ごとに「ひび割れパターン」（図3）を定めておき、この「ひび割れパターン」と、電子変状展開図上の覆工表面のひび割れ情報との同定作業を実施する。その際、ひび割れごとに長さや幅、発生位置等により点数付けを同時に実施し、合計点数が最も高くなった「ひび割れパターン」を変状展開図から得られた変状原因とする（図4）。

次に、過去に変状の原因となった地形や岩種等のデータをもとに、上記で得られた原因について更なる原因推定の精度を高め、この結果をもって最終的な変状原因とする。なお、一連の作業は全て自動で実施されるが、自動判定のためには、一定のデータ入力が必要なため、検査での確実なデータの取得と蓄積が重要となる。

4. システムの概要

今回開発したトンネル健全度診断システムは、鉄道山岳トンネルの覆工材質として多い無筋コンクリート覆工を対象としている。システムはデータベース機能と診断機能からなり、診断機能は、全般検査段階における健全度判定と個別検査段階における原因推定、健全度判定、措置の提案を行う。システムの全体構成を図5に示す。

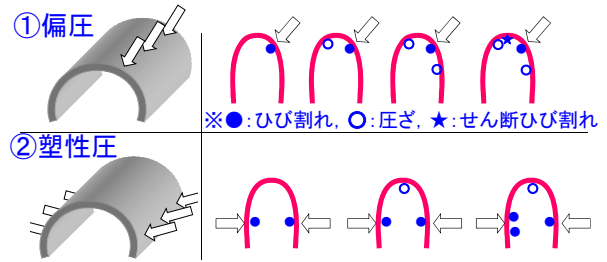


図3 偏圧と塑性圧の場合のひび割れパターン

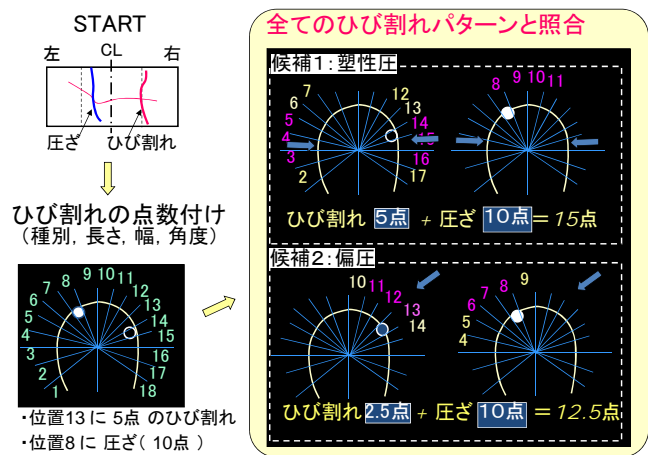


図4 変状原因の推定法

健全度判定については、文献⁴⁾に記載されている安全性に関する性能項目（①トンネル構造の安定性、②建築限界と覆工との離隔、③路盤部の安定性、④はく落に対する安全性、⑤漏水・凍結に対する安全性）ごとの照査が可能である。なお、使用性、復旧性についての健全度判定は、今回のシステムからは除外している。

全般検査の目視等で得られたひび割れ情報が入力された電子変状展開図をもとに、打音調査が必要な箇所を提示し、それに基づいて実施される打音調査結果等をもとに、はく落に対する健全度判定を行う。また、安全性等に対する健全度判定は、電子変状展開図により判定できるものは自動で行い、それ以外のものについては判定結果を手動で入力する。

健全度 A と判定とされたものについては、個別検査で得られるトンネル内空変位速度等の詳細な調査データをもとに、変状原因の推定、詳細な健全度判定、対策工の提案を行う。対策工は変状原因によって異なるため、変状原因ごとに標準設計の提案をすることとした。工法については、文献⁵⁾に記載されている標準設計での対策を基本とし、現在の変状程度や変状の進行性から補強ランクを決定し、それに対応した標準的な補修・補強案の提案を行う。

なお、変状原因が凍上圧の場合、変状程度や変状の進行性の把握が難しいため、補強ランクという考え方ではなく、一律で対策工の提案をすることとした。

具体的な対策工の決定方法は、補強ランクを自動判定が可能なよう、変状程度を電子変状展開図上のひび割れ情報等で、変状の進行性をトンネル内空変位速度で決定し、それに対応する対策工を提案する。なお、補強ランク IV に該当する場合には、変状の程度が大きく、現象や構造に応じて対策工の選定も慎重に行う必要があるため、対策工の提案は実施しない。

データベース機能は、各種テキスト情報はもちろんのこと、変状写真、管理図面等も保存が可能のため、台帳管理システムとしても活用できる。

本システムの特徴としては、①電子変状展開図上のひび割れ情報に、CAD システムとの互換性を持たせた、②タブレットによるタッチペンでの入力を可能とし、既存の電子変状展開図の有効活用や、ひび割れ情報入力時の効率化が図れる、③自由記載欄を設けることにより、検査員が変わっても構造物の状態等を引継げる、等が挙げられる。

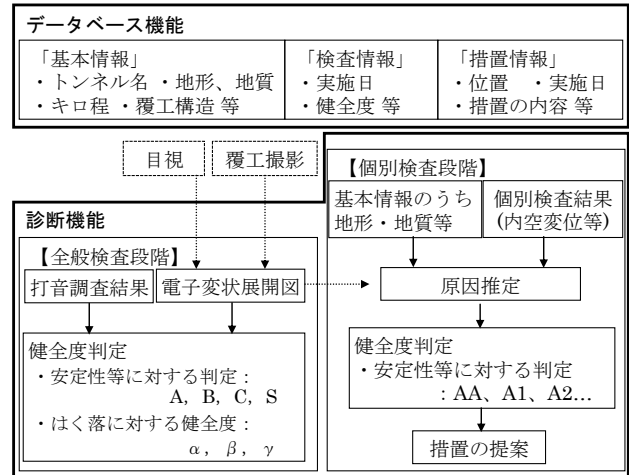


図5 システムの全体構成

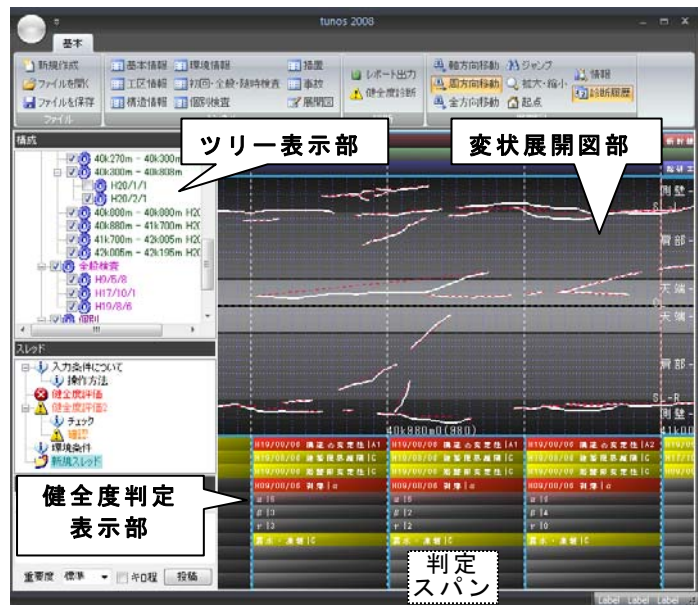


図6 システムの標準画面

システムの標準画面を図2に示す。電子変状展開図の下に判定区間に対応した健全度が要求性能項目ごとに表示される。なお、電子変状展開図上のひび割れについては、幅の違い等により色分けして表示され、左側のツリーにある検査日を選択すると、それに対応したひび割れが表示される。

5. 判定結果の出力

判定結果の出力については、検査結果の詳細について判定スパンごとに出力される機能や、判定した全スパンについて一括して出力する機能などを設けた。

検査結果の詳細出力機能では、判定したスパンごとに、これまでに述べた方法で判定、提示した「健全度」「変状原因推定」「対策工提案」が出力され、出力後の保存方法を考慮し、判定スパン1箇所がA4サイズ1枚に記載されるようにしている。また、変状原因に対しては、補助機能として、根拠に関するコメントを示す。判定スパンの出力例を図7に示す。

全箇所一括の出力機能では、トンネル全箇所の健全度と、個別検査の実施、変状原因などを確認することができ、トンネル全体の変状割合をグラフ化することにより視認することができる。また、直近の検査結果の履歴も記載されるため、前回検査との比較により、判定箇所ごとの変状の進行性等も確認可能である。

6. まとめ

今回、鉄道トンネルの維持管理における課題である、検査精度の客観化、定量化、個人差の解消を目的として、「健全度判定」「変状原因推定」「対策工選定」の大部分を自動的に実施できるトンネル健全度診断システムを開発した。

参考文献

- 1) 津野究, 小島芳之: トンネル健全度を自動判定できる診断システムの開発, 日本鉄道施設協会誌, Vol. 43, No. 8, pp. 37-39, 2005. 8
- 2) 野城一栄, 小島芳之, 藤井大三 他: 欠陥を考慮したトンネル覆工押し抜き模型実験, トンネル工学論文集, Vol. 14, No. 5, pp. 123-130, 2004. 11
- 3) 朝倉俊弘, 小島芳之, 安藤豊弘 他: トンネル覆工の力学挙動に関する基礎的研究, 土木学会論文集, No. 193/III-27, pp. 79-88, 1994.
- 4) (財)鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等維持管理標準・同解説(構造物偏)トンネル, 丸善, 2007. 1
- 5) (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

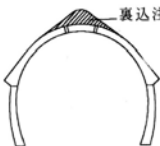
TUNOS 診断		詳細判定	
トンネル名称 A TUNNEL			
線名			
判定位置			
個別検査			
健全度			
トンネル構造の安定性 健全度: A1 進行中の変状等が有り, 性能低下も進行, 早急に措置が必要	建築限界と覆工との離隔 健全度: A2 性能低下の恐れがある変状があり, 必要な時期に措置が必要		
変状原因推定			
地滑り・偏圧判定 「地圧による変状」の可能性あり	塑性圧の判定 「塑性圧による変状」の可能性あり		
地山の緩みの判定 「地山の緩みによる変状の可能性無し	凍上圧判定 「凍上圧による変状」の可能性無し		
※変状原因に対するコメント			
「塑性圧による変状」 地山強度比が5未満でかつ土被りが40m以上あり, 「塑性圧による変状」の可能性がある。右側壁にトンネル軸方向のひび割れがあるため, 外力によるトンネル軸方向のひび割れが発生している。			
偏圧に対する対策工案			
補強ランク	I		
アーチ部の変状状況	圧ざ		
内空変位速度	3mm/年未満		
対策工案	裏込注入		
			

図7 詳細結果出力例