

VI-57

トンネル診断エキスパートシステム
(TIMES-1)の開発

鉄道総合技術研究所 正会員 松本 吉雄
同上 正会員 河田 博之
同上 八賀 明

1. はじめに

トンネルの構造的な安定は、周辺地山の強度や土被り、地形・地質、気象条件、経年、トンネルの建設方法等により異なり、現時点では定量的な評価が難しい分野である。従って、変状トンネルの検査・診断等については、経験の豊富な専門家の診断に委ねられる場合が多い。一方、コンピュータ技術の新しい展開としてAI技術が注目されており、いわゆる”エキスパート・システム”がいろいろな方面で開発されつつある。この開発研究は、トンネルのスペシャリストとシステムエンジニアが協力して、トンネルの検査・診断用のAI技術の展開を試みたものである。

2. トンネル変状診断技術に関する研究経緯

当研究室ではこれまでに変状トンネルの現地調査^{1)~3)}、各種模型実験⁴⁾⁵⁾を行ない変状原因と現象の関係について知見を積み重ねてきた。これまでに行なわれた主な研究、調査項目を次にあげる。

- ①現地調査によるトンネル変状の傾向分析
- ②トンネル周辺地山とトンネル掘工の相互作用を考慮した模型載荷試験と解析
- ③鉄道トンネルの震災事例調査と分析
- ④地山の凍上性について室内凍上試験と解析
- ⑤トンネル凍害対策工法の研究(二重巻掘工の力学的挙動について)

3. TIMES-1の機能およびシステム構成

4つの主な機能から構成されている。

- ①変状原因の推定
- ②健全度の判定
- ③詳細検査項目の提示
- ④専門用語の解説

ハードウェア構成を図1に示す。

本システムは端末パソコンにより鉄道総研のホストコンピュータに接続し利用できる。

4. 変状原因の推定機能

TIMES-1の核をなす機能である。これまでプロトタイプから実用システムの構築まで、何度かルールの変更を実施し現在に至っている。現在のルール構成は現地に発生している変状現象より原因候補の推定をおこない(推定ルール)、環境条件(地質・地形条件、気象、災害歴)、工事記録等によりさらに推定原因を確定するものであるが(検定ルール)、これらについても幾つかの問題点があげられており、目下ルール変更を考えている。ここでは現システムの原因推定機能、並びにルール構築の得失等について述べる。

(1) 現システムの変状原因推定ルール

(a) 変状原因の分類と推論方式

変状原因は大きく分けて外因(外圧現象、人為的災害、自然災害、材質劣化)によるものと、内因(施工不良、設計不適切)によるものに分類される。ここでは外因(14項目)、内因(12項目)に分類し、推論方式についても知識表現(変状現象、環境条件と変状原因との関連性)にテーブルを用い、該当項目にその関係の密接度に応じ重みを配点し、得点比率による原因推定を行なっている。

表1 変状原因の分類(TIMES-1で取り扱う)

外 因	内 因
①断続圧 ②偏圧・斜面掘削 ③地すべり ④地山の緩み による鉛直圧 ⑤永圧 ⑥凍上圧 ⑦地震	⑧支持力不足 ⑨地盤沈下 ⑩近接工事 ⑪凍害 ⑫塩害 ⑬埋害 ⑭有害水 ⑮設計不適切 ⑯施工不良 ⑰掘削直 ⑱陥きコンクリート ⑲インバート無し ⑳湧水工不良 ㉑断熱工無し
	⑳逆巻掘り不良 ㉑鉛直掘り不良 ㉒材料不良 ㉓防水不良

図1 TIMES-1 ハードウェア構成

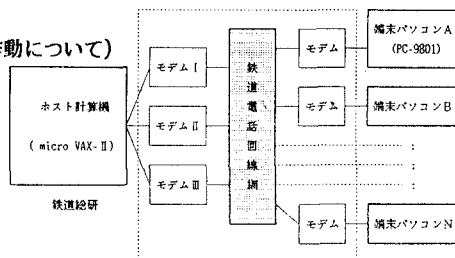


表2 推定ルール(一部)

変状現象	外 因	内 因	推 定	
			外 因	内 因
断続圧	○	○	○	○
偏圧・斜面掘削	○	○	○	○
地すべり	○	○	○	○
地山の緩み	○	○	○	○
鉛直圧	○	○	○	○
永圧	○	○	○	○
凍上圧	○	○	○	○
地震	○	○	○	○
支持力不足	○	○	○	○
地盤沈下	○	○	○	○
近接工事	○	○	○	○
凍害	○	○	○	○
塩害	○	○	○	○
埋害	○	○	○	○
有害水	○	○	○	○
設計不適切	○	○	○	○
施工不良	○	○	○	○

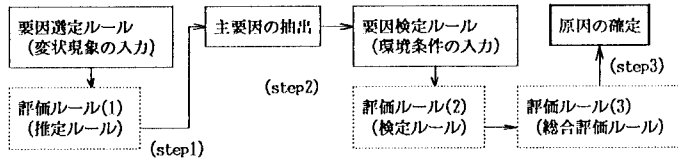


図2 TIMES-1 変状原因推定フロー

(推論) step 1—変状現象から考えられる原因候補を推定する（推定ルール）

step 2—前ステップで抽出された候補を環境条件、施工状態より起こり得るかどうかを検定する（否定、肯定ルール・・合わせて検定ルールと呼ぶ）

step 3—推定ルール、検定ルールより得られた各原因候補の得点にさらに重み（推定ルールの得点×0.3+検定ルールの得点×1.0）を考慮し、その合計の配点合計に対する得点比率により判定する。

(b) 推論結果の評価

推定結果の評価は得点比率70% 以上を最も可能性が高いとし、50~70%を可能性が高い、30~50%を可能性がある、30% 以下を可能性が無いとしているが、データが少ない場合（不明等による）または配点の少ないものについては必ずしもこの判定基準が良いとはいえず、絞り込まれた他の原因候補との相対的な比較から判断するのが妥当である。

(2) 現システムの得失

これまでの開発経緯から本システムの得失を以下にあげる。

- (利点) ①専門家の知識表現が簡潔である
 ②従ってルールの追加・修正が容易である
 ③推論機構が単純計算であり、組合せの爆発等が発生しない
 ④従って必ず結果が得られる、また推論時間が短い
- (欠点) ①関係の密接度を評価する一般的な目安がない（従って、テストランの繰り返しによりそれを求めざるを得ないが、解が収斂する保証はない）
 ②知識の深度が、各項目についてほぼ同程度でなければ、配点のばらつきによる誤診が生じる
 ③推論過程の記述が出来ない

これらの点から、現在ツリー・ルール（ルールの一部を図3に示す）による推定ルールの構築を行っている。ここでは、知識ベースが多く現場で判断が難しい地圧現象について、特に力点を置いて変状原因の推定を行なう事とした。これについては別途報告したい。

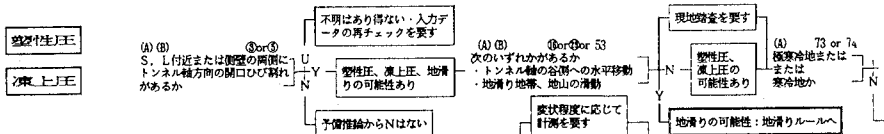


図3 ツリールールによる推定フローの例（一部）

5. 今後の課題

本システムは現バージョンにおいても充分その機能を果たすものと考え、より使い易いシステムとするように、上記の改良をはかっている。エキスパート・システムの実用化にあたっては、専門家の知識をいかにうまくコンピュータ・システムとして馴染ませるかが、重要であり使い易い言語の開発も大事であるが、知識の整理方法に関する研究がより一層大切であると考え。

6. まとめ

今後のトンネル保守業務は労働集約的作業からの開放が一つのテーマと考えられる。より精度の高い、かつ迅速な現状把握を可能にする自動計測システムを開発し、しかる後本システムとの結合をはかることにより、トンネル保守に関する総合的な技術開発を展開してゆきたいと考えている。

【参考文献】

- 1) 白井慶治・高木盛男・川上義輝：“トンネル変状の傾向” 鉄道技術研究報告No1026, 1976
- 2) 吉川恵也：“鉄道トンネルの震災事例調査” 鉄道技術研究報告No1123, 1979
- 3) 北川修三・川上義輝：“地山凍結によるトンネルの変状” 鉄道技術研究所速報NoA-84-54, 1984
- 4) 白井慶治・高木盛男・川上義輝・若井徳雄・金原弘：“地山との相互作用を考慮したトンネル模型実験（その1～その3）” 鉄道技術研究所速報No75-59, No75-127, No76-128, 1975-1976
- 5) 吉川恵也・朝倉俊弘・川上義輝・馬場富雄：“トンネルの耐震補強に関する研究” 鉄道技術研究報告No1322, 1986