

SVM を用いたトンネル点検シートの高精度化に向けた研究

西日本技術開発(株) 正会員 ○円田 竜太 フクヨシエンジニアリング(株) 正会員 足立龍一郎  
 西日本技術開発(株) 正会員 大石 博之 山口大学大学院 フェロー会員 古川 浩平

1. はじめに

現在、既設のトンネルには、劣化の進行から多くの損傷箇所がみられる状況にあり、保全のための対応が必須となっている。とりわけ現況の健全度評価を行うことは、効率的な維持管理を行う上で重要な課題といえるが、これに対し旧日本道路公団では「トンネル覆工面観察データシート」を用いた点検手法（以下、JH手法）を基にした維持管理を行っていた。本研究では、このJH手法におけるデータシートの評点の設定にSVMを導入することで、客観性の向上と評価の高精度化を図ることに取り組んだ。

2. JH手法および評価方法

JH手法では、データシートの観察項目に従って点検を行い、その評価点の合計で対策の必要度を評価している（表-1）。さらに、点検後に改めて専門技術者が対策の必要性を5段階で評価（以下、技術者判断）する調査が平行して実施されることが多く（表-2）、両者の評価結果を総合的に判断して維持・管理が行われている。ここで利用されているJH手法に基づく点検データシート（以下、JHシート）は、洗練された内容で現地での作業性も考慮されており、非常に使いやすいものとなっている。しかしながら、図-1に示すように、JHシートによる評価点合計と技術者判断による評価結果との間には明瞭な相関が見出せない例があることが判明した。これは、JHシートの評点設定が、地質・環境等の特性を反映しきれていないことに由来するものと考えられる。そこで、本研究では対象となるトンネルの地域的な特性を学習分析によって評価に取り込み、高精度化を図ることを考えた。

3. 新データシートの作成方法

3.1 データシート作成方法の基本概念

本研究では、地域的な特性を良く反映した高精度の評点式データシートを作成するにあたり、SVMの学習分析結果を反映させることを考案した。SVMとはVapnikらによって提案された手法で、現在最も強力なパターン分類手法として注目されている。SVMの概念図を図-2に示す。あるパターン分類問題が線形分離不可能な場合、ある非線形写像によって高次元特徴空間にマッピングを行うことで線形分離可能な状態となり、最適な分離超平面を求めることができる。この概念をトンネルの対策要否度評価に応用すると、図-3に示すようになる。損傷点検結果と対策の有無のデータを学習することにより、対策の要否を分ける分離超平面を構築する。この分離超平面を基準とし、危険側（要対策側）に離れているものほど対策の必要度が高く、安全側（対策不要側）に離れているものほど必要度は低くなると判断できる。

本研究では、このSVMによる学習結果から導き出される対策必要度と各点検項目との関係を分析することによって、データシートの評点を設定していく手法を提案する。

3.2 新データシート作成の手順

新データシートの作成フローを図-4に示す。まず、対策要否の判定基準となる分離超平面を構築するための分析を行う。要因データにはJHシートの全10項目（表-1）を、また学習のための教師値には表-2に示した技術者判断の結果を用いた。ここで、より精度の高い対策要否判定基準を設定するためには、対策要否の判定に相関の

表-1 JH手法に基づくトンネル覆工面観察データシート（一部抜粋）

観察項目	算出結果の評価	画像目視の結果	評価点
A 最大ひび割れ幅	ひび割れなし	なし	0
	最大1mm程度がある	細め	1
	最大2mm程度がある	中程度	3
	最大3mm程度がある	太め	5
	最大4mm程度以上	非常に太め	7
F 遊離石灰	遊離石灰なし		0
	遊離石灰少ない		3
	遊離石灰中程度(散在)		7
	遊離石灰多い(全体に分布)		10

表-2 技術者による5段階評価（抜粋）

3A	対策が緊急に必要
2A	対策が早急に必要
A	重点的な点検が必要
B	定期的な監視が必要
空欄	健全

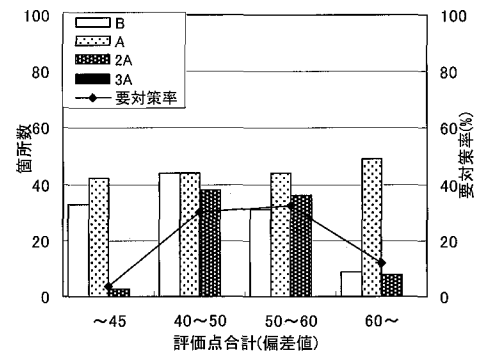


図-1 JHシートによる評価と技術者判断の相関例

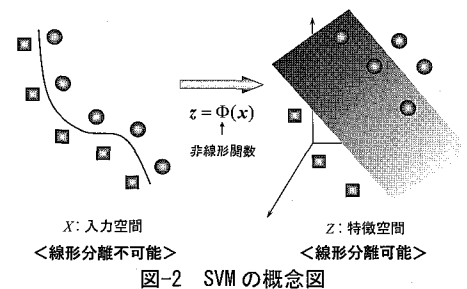


図-2 SVMの概念図

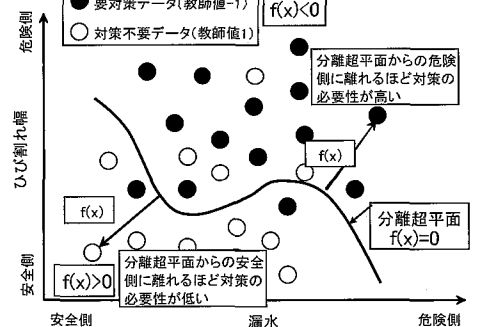


図-3 SVM 2次元イメージ図

高い要因（以下、重要要因）のみでデータを構成して分析を行うことが有効と考えられる。そこで、全要因から1要因ずつ除外してSVMによる分析を行い、判定結果の精度の変化から要因の重要性を求める感度解析を実施し重要要因の抽出を行った。この重要要因を用いて、基準となる分離超平面を求める学習分析を行った。

次に、各要因データと対策必要度との関係についての分析を行った。各データは、先の学習分析により個々の対策必要度  $f(x)$ （以下、 $f(x)$ ）が算出されている。ここで、各要因のデータについて全てカテゴリ化を施した上で、各要因のカテゴリ毎に該当するデータの  $f(x)$  の平均値を算出し、その分布を近似する近似式から平均  $f(x)$  値の補正を行った。この補正された平均  $f(x)$  値（以下、 $F(x)$ ）は、対象となる点検箇所がそのカテゴリランクに評価された時にどの程度の対策必要度となり得るかを示すものといえ、これをデータシートにおける評点の素点として採用した。

しかしながら、素点のみの足し合わせだけでは精度の高い判定は望めない。各要因の持つ重みを素点に加味することで一層精度の高い判定ができるように考慮した。各要因の重みは、第一段階で重要要因を抽出した際に実施した感度解析における精度の変化量を利用することとし、これを重要度  $I$  と定義した。そして、各要因、各ランクの評点は次式により求めることとした。

$$\text{評点} = F(x) \times I \times 10 \quad (1)$$

さらに、式(1)の評点では損傷が大きなデータ程低い配点となり、一般的に用いられるデータシートとは評価点の大小が異なる。そこで、各カテゴリランクの最大値から式(1)で得られた評点を引くことで評価点の大小の補正を行った。

#### 4. 新データシートの作成

前章に記述したデータシート作成方法に則り、実際の点検データを学習することで新たなデータシートの作成に取り組んだ。

##### 4.1 使用データ

本研究では、トンネル点検データベースより、JHシートによる結果と技術者判断による評価結果の双方が入手できたA, B, C, D, Eの5地点のデータを使用した。このうち、A, B, C地点のデータを新データシートの再構築のための学習データとして利用し、残りのD, E地点のデータは汎用性検証のためのテストデータとして使用することとした。

##### 4.2 新データシートの設定結果

3.2で示した手順により完成した新データシートを表-3に、これをA, B, C地点のデータに適用した結果を図-5に示す。図-5によれば、データシートによる点検データの評価点合計と技術者判断の相関は、同じデータをJHシートで評価した結果（図-1）と比較して向上できていることが確認できた。また、この新データシートをテストデータに適用したところ、同様に評価点合計と技術者判断に高い相関が確保できることが認められた（図-6）。

#### 5. 結論

以上のことから、SVMの学習結果を利用して評点設定を行ったデータシートは、従来のJHシートに比較して高精度かつ汎用性の高いものであることが明らかとなった。また、SVMという数理的手法を利用することにより、高い再現性・客観性も確保できたものといえる。本手法は、トンネル点検以外を目的としたデータシートの作成にも応用できるものと考えられることから、更なる高精度化を検討しつつ、より多方面への適用性検証を実施していきたい。

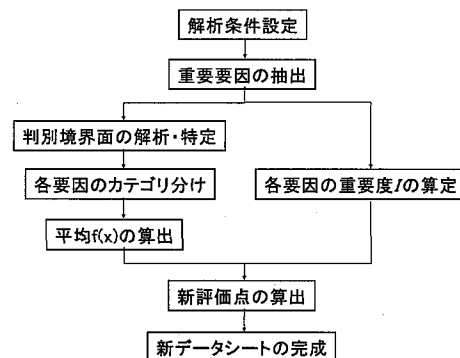


図-4 新データシート作成フロー

表-3 新データシート

観察項目	算出結果の評価	評価点	
A 最大ひび割れ幅	ひび割れなし	0	
	~0.5mm以下	1	
	0.5mm~1mm以下	2	
	1mm~1.5mm以下	3	
	1.5mm~	4	
B 最大ひび割れ幅の長さ(連続している箇所)	ひび割れ無し	0	
	~2/10スパン以下	2	
	2/10~4/10スパン以下	5	
	4/10~6/10スパン以下	7	
	6/10スパン~	9	
	縦断	ひび割れなし	0
	~2/10スパン以下	3	
	2/10~4/10スパン以下	5	
	4/10~6/10スパン以下	8	
	6/10スパン~	10	
C 方向性	ひび割れなし	0	
	0°~22.5°以下, 67.5°~90°	1	
	22.5°~37.5°以下, 52.5°~67.5°以下	3	
	37.5°~52.5°以下	4	
	52.5°~90°	5	
D ひび割れの分布	ひび割れなし	0	
	密度「5cm/m <sup>2</sup> 以下」	1	
	密度「5~10cm/m <sup>2</sup> 以下」	2	
	密度「10cm/m <sup>2</sup> ~」	3	
E 交差分岐	0	0	
	1	1	
	2	2	
	3以上	3	
F 遊離石灰	遊離石灰なし	0	
	遊離石灰あり	1	

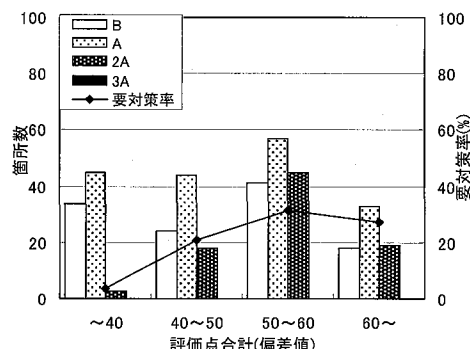


図-5 新データシートによる評価と技術者判断の関係(学習データ)

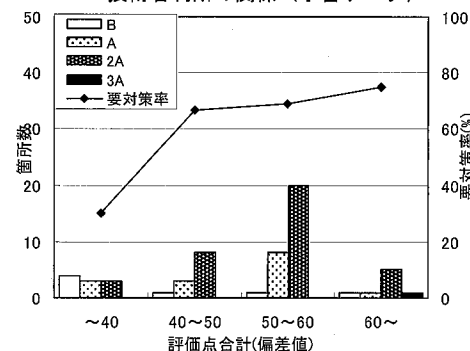


図-6 新データシートによる評価と技術者判断の関係(テストデータ)