

覆工背面調査法（PVM システム）における自動判定手法の検討

日本道路公団 正会員

大嶋健二・伊藤哲男

清水建設（株） 正会員 ○本多 眞・西村晋一・澤井 康

1. はじめに

覆工背面調査法（PVM システム）は削孔時の機械データを判読することで覆工背面の空洞や地盤の緩みを高精度に調査するもので、これまでに基礎実験、実証実験を重ねた後、2カ所のトンネルで実際の調査工事を実施している。現状では、空洞の有無は削孔速度と回転圧のデータを基に判断しているが、得られる機械データには他に打撃圧、フィード圧、フラッシング圧、打撃数と多岐にわたっており、これから自動判定するシステムの実用化が、調査の迅速化・高精度化に求められている。そこで人工知能技術の一つである自己組織化マップ（SOM）¹⁾を用いた判定の可能性を検討しており、ここではSトンネルで実施した調査データを基にした検討結果を報告する。

2. SOM(自己組織化マップ)による調査データの判定法

自己組織化マップ(Self-organizing map; 以下SOMという)は、ニューラルネットワークモデルの一種で多次元の入力データからその類似度に応じて分類する手法として注目されている²⁾。最終的な学習結果は2次元グリッドの格子点上にデータと同次元のベクトルを有する節点を配置した分類マップとして得られ、入力データはマップ上の各節点到割り振られる。このマップ上ではデータ間の類似性が節点間の距離として表されるため、類似した特徴を持つデータは互いに近い位置に配置(分類)される。また得られたマップに新たな入力データを投影することで、そのデータの分類(予測)も可能である。ここではPVMシステムで得られる削孔時の多種類の機械データを入力データとしてマップを作成して、削孔対象の分類および予測する技術の検討を実施した。

3. Sトンネル調査データを用いた検討

Sトンネルの調査工事で得られた400箇所以上のデータを基に、データ入力の方法を変えたいくつかのケース(表1参照)で判定精度に関する検討を実施した。判定は全削孔長を10mm間隔に区分して、その区間毎にデータを入力して実施する。そこで0.2秒間隔で採取されたデータを削孔長1mm間隔のデータに変換した後、SOMへのデータ入力は判定する10mm区間毎に、Case-1では当該深度の6種類の計測値を入力、Case-2ではデータの変化傾向を考慮するため、当該深度に加えて前後5mm地点の3カ所の計測値を入力、さらにCase-3では削孔速度の遅い区間の解像度を上げるため「10mm削孔時間」を算出して7種類の計測値を、同様に当該深度と前後5mm地点の3カ所を入力とした。また学習には、ボアホールカメラによって削孔実績が確定している44カ所(掘削延長39.09m)のデータを用いた。

図1は学習によって得られた分類マップの例(Case-3)である。削孔対象は覆工(CN)、空洞(OP)、地山(GD)の3種類であり、右側に覆工、左側に空洞、間に地山が概ねまとまって

表1 検討ケース

	SOMによる学習モデル(入力データの検討)	データ次元数
Case-1	当該地点の6計測データ(削孔速度、打撃圧、回転圧、フィード圧、フラッシング圧、打撃数)を削孔長10mm区間毎に入力	6
Case-2	Case-1と同様の6計測データについて、当該地点および前後5mm地点の3カ所を入力	$6 \times 3 = 18$
Case-3	Case-2に「10mm削孔時間(sec)」のデータ(前後5mm地点を含む3カ所)を追加	$7 \times 3 = 21$

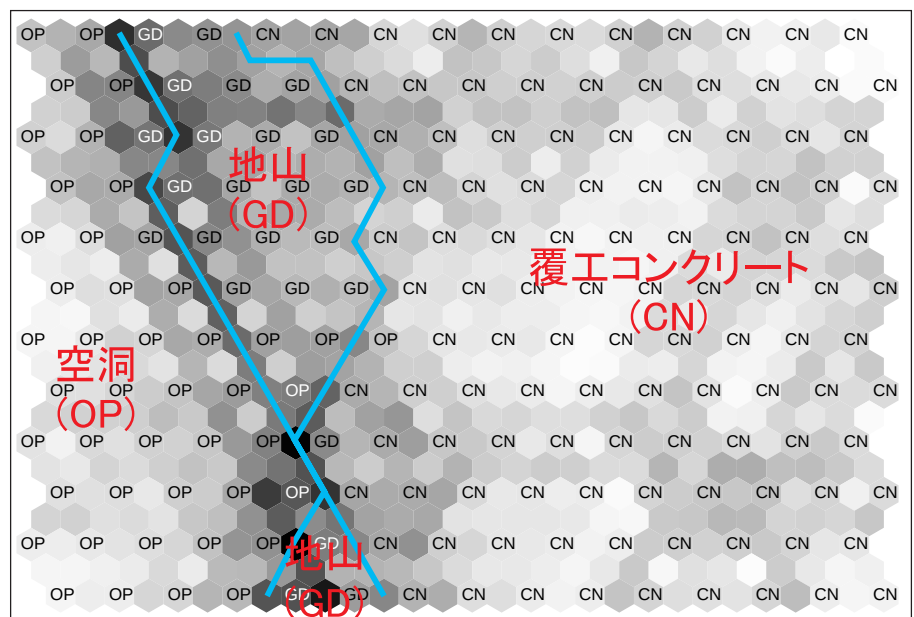


図1 学習結果のSOM分類マップ例(Case-3)

キーワード：トンネル覆工，維持管理，調査計測，自己組織化マップ（SOM）

連絡先：清水建設（株）技術研究所 〒135-8530 江東区越中島3-4-17 TEL03-3820-8316 FAX03-3820-5959

分類されているのがわかる。灰色の濃淡は、節点間の距離と各節点に属するデータのばらつきを表しており、地山と空洞の間には濃いグレーの谷が存在しており、データの性質が大きく異なることを示す。

学習したマップを基に、空洞が検知された252カ所（総掘削延長232.8m）のデータの判定を実施した。表2は専門スタッフによる判定と比較して判定率を集計したものである。専門スタッフの判定を表の列にとり、それぞれのSOMによる判定率（%）を行としてマトリクス表示している。表の対角部分（水色）が同じ判定の割合であり、覆工と空洞は90%以上の判定率、地山の判定率は50%前後であった。これは地山の削孔データのばらつきが大きいことと、学習に用いたデータが少ないことが影響していると考えられる。

判定精度を評価する基準として、同じ判定の割合（水色領域）をプラスポイント、空洞の判定が異なった割合（赤色領域）をマイナスポイントとしてスコア化して各検討ケースを比較すると、Case-3が最もスコアが高く、入力データの情報量が多くなることで判定精度が良いことがわかった。

図2は判定結果の一例であり、下のグラフが横軸に削孔長をとって判定に用いたデータをプロットし、同時に専門スタッフによる判定結果を色分けで示したものである。その上にSOMによるCase-1～3の判定結果を示しており、Case-1,2では若干の誤差があるが、Case-3では誤差なく判定できていることがわかる。

また学習に用いるデータをランダムに減らして同様の評価スコアを求めた結果が表3である。これを見ると、学習するデータ数が減るとスコアは下がる傾向にあるが、20～25孔（掘削長20～25m）程度のデータを学習すれば十分な判定精度が得られることがわかった。

4．おわりに

PVMシステムは、覆工背面の空洞を高精度に調査することが主たる目的である。図3は空洞規模（長さ）について専門スタッフによる判定との残差をヒストグラムにしたもので、残差は平均的にはほぼ0で、標準偏差3.8cmという結果であった。専門スタッフによる判定にも誤差を含んでいることを考慮すれば、実用的なレベルでの推定が可能であることが示された。今後は現地での調査計測システムに本手法を取り込み、学習に用いるデータの数や入力方法など実際の運用方法などを詰めて実用化を図っていく所存である。

参考文献

1) T.コホネン著、徳高・岸田・藤村訳：自己組織化マップ、シュプリンガー・フェアラク東京、1996。
2) 徳高・岸田・藤村：自己組織化マップの応用、海文堂、1999。

表2 判定結果の集計表

			専門スタッフによる判定 【掘削延長 252孔 計232.8m】		
			覆工 (C) 【136.7m】	空洞 (O) 【76.5m】	地山 (G) 【19.6m】
SOMによる判定 (%)	1) 覆工判定	Case-1	97.4	1.9	31.2
		Case-2	97.4	2.6	22.5
		Case-3	98.5	1.7	10.0
	2) 空洞判定	Case-1	0.3	89.9	25.4
		Case-2	0.2	90.3	22.9
		Case-3	0.5	93.7	26.3
	3) 地山判定	Case-1	2.3	8.1	43.2
		Case-2	2.4	7.0	54.5
		Case-3	1.0	4.6	63.7
	評価スコア*			Case-1	194.7
				Case-2	209.4
				Case-3	222.7

* 評価スコア = (青色部分の和:判定が同じ割合) - (赤色部分の和:空洞判定が異なった割合)

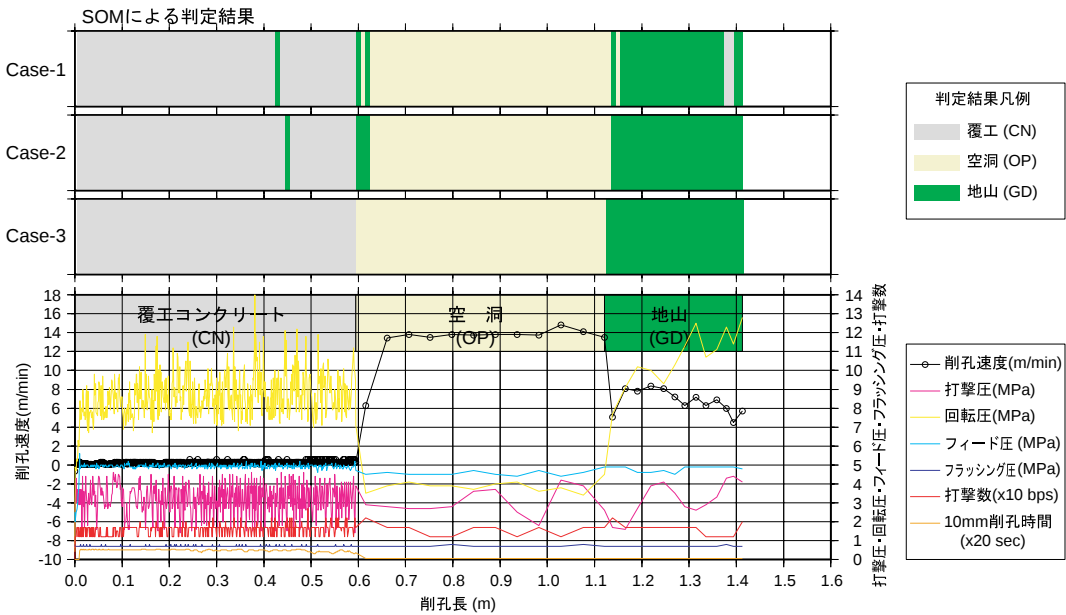


図2 調査データとSOMによる判定結果の一例

表3 学習データ数の判定への影響

ケース名	学習に用いたデータ数	評価スコア
Case-3	44孔 [総掘削長 39.09m]	222.7
Case-N30	30孔 [総掘削長 27.53m]	223.4
Case-N25	25孔 [総掘削長 24.28m]	220.7
Case-N20	20孔 [総掘削長 20.00m]	214.5
Case-N15	15孔 [総掘削長 15.20m]	204.0
Case-N10	10孔 [総掘削長 10.78m]	209.5

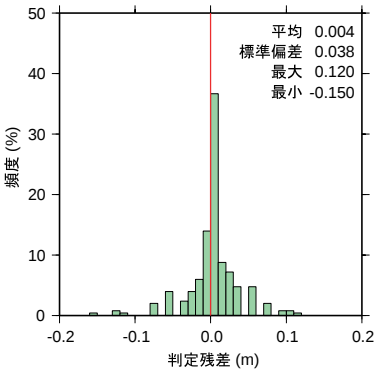


図3 空洞の判定残差分布