

既設トンネルの覆工背面空洞調査法（PVMシステム）の開発（その2） ～ SOM による判定法 ～

日本道路公団 正会員 城間博通・大嶋健二

清水建設（株）正会員 ○本多 眞・若林成樹・安部 透

1. はじめに

既設トンネル覆工背面の空洞や地盤の緩みを高精度に調査する手法（PVMシステム）を開発した。本システムで削孔により得られる機械データには、削孔速度、回転圧、打撃圧、フィード圧、フラッシング圧など多岐にわたっており、これらを複合的に判読する手法として、人工知能技術の1つである自己組織化マップ（SOM）¹⁾を用いた手法の開発を検討している。ここでは判定手法の概要を示し、実際のデータに対する適用からその有効性を示す。

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)とは、ニューラルネットワークモデルの一種で、「多次元のデータに潜む有用な知識を可視化するための手法」²⁾として注目されている手法である。すなわち多次元の入力データからその類似度に応じて分類する能力を備え、これを他から何の仮定も与えられずにデータ自身から行う(教師なし学習)ことができる手法である。最終的な学習結果は、データと同次元のベクトルを有する節点が2次元グリッド上に配置され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점에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。

PVMシステムでは、削孔時の多種類の機械データを入力データとして、SOMによりマップを作成して削孔対象の分類および予測が可能な判定法の開発を試みている。具体的には、一定の削孔区間（通常10mm）毎に削孔対象の種類を判定することを目指すとして、まず0.2秒間隔に採取された削孔データを一定削孔長（通常1mm）間隔のデータに変換する。そしてSOMへの入力データは、常にデータ次元数が一定となるように、削孔深度毎に当該深度のデータ値およびその前後一定区間（一定個数）のデータ値を採用する。ここではデータの種類として、削孔速度、打撃圧、回転圧、フィード圧、フラッシング圧、打撃数および10mm削孔時間の7種類を対象とし、当該削孔深度の前後5mm間にある11個のデータ（従ってデータ次元数は $7 \times 11 = 77$ 次元）を1レコードとして入力する。各種類のデータ毎に一定区間内の複数のデータ値を入力データとすることで、各データの変化傾向を考慮した学習が可能となる。

3. 基礎実験および実証実験データへの適用

これまでに実施した基礎実験および実証実験のデータのうち、ファイバースコープ等の観察により削孔対象の種類が判明しているデータを用いて、SOMによる分類マップを作成した。対象データは25カ所の全削孔長30.49mであり、これを10mm間隔でデータ化してレコード数3049個の各77次元のデータとしてSOMに入力、学習を行った。削孔対象は明確に分類できないものも

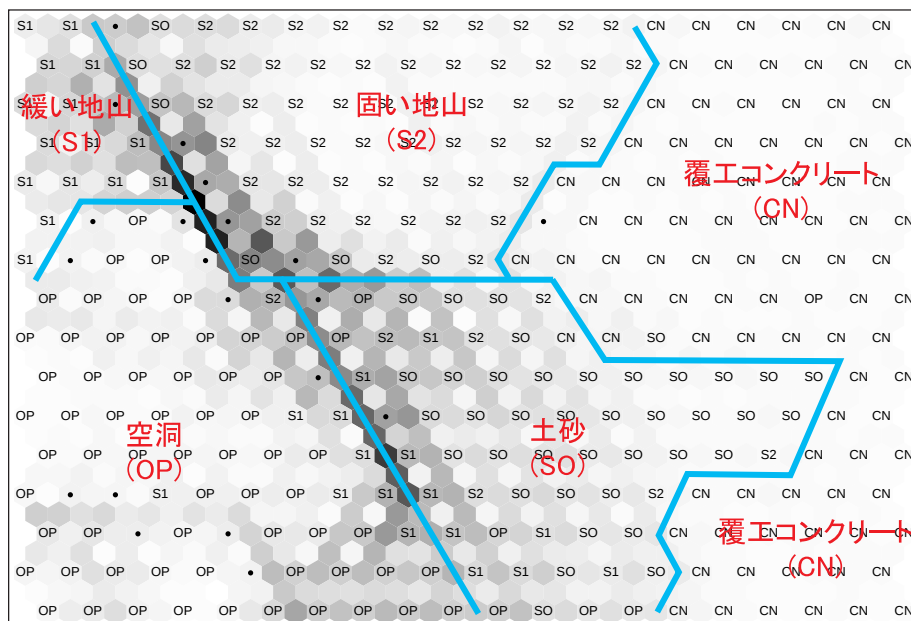


図1 学習結果のSOM分類マップ

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）和泉研究室 〒100-0011 千代田区内幸町2-2-2 TEL03-3508-8101 FAX03-3508-2196

あるが、大まかに1) 覆工コンクリート(記号 CN)、2) 空洞(OP)、3) 緩い地山(S1)、4) 固い地山(S2)、5) 土砂(SO)の5種類に分類して、各入力レコードにラベル付けした。

マップサイズを20×16(計320点)の六角格子、学習回数を900,000回として学習した結果、得られた分類マップを図1に示す。図中の格子点(節点)は1つのベクトルを有しており、このベクトルに最も一致したレコードの記号が記入されている。全節点数は320でレコード数は3049なので、1つの節点は複数のレコードにより選択されていることもある。SOMの性質上、類似したデータは近くに集まるので、理想的なマップが作成できれば、削孔対象記号毎の集まりとしてマップ上に分類される。また各節点間の距離と各節点に属するレコードのばらつきをグレー(灰色)のレベルで表しており、距離やばらつきの大きいところは濃いグレーで示されている。図1を見ると5種類の削孔対象は概ねまとまって分類されており、図中に青線で大まかに記号の境界を示した。右側に覆工コンクリート(CN)が分布し、これに最も遠い左下に空洞(OP)が分布している。すなわち覆工と空洞ではデータの性質が大きく異なっていることを示している。左下の空洞分布域に接して左上には緩い地山(S1)が分布し、これと濃い灰色の谷を挟んで右側には固い地山(S2)が分布している。すなわち緩い地山と固い地山のデータ間には明確に分離できる境界が存在することがわかる。また土砂(SO)の分布している範囲(マップ中央下部)はグレーが濃いことから、データのばらつきが大きいことがわかる。なおこの土砂(SO)は、基礎実験を実施した地点の地面を削孔したデータであり、砂礫等を含んでおりデータにばらつきが生じているものと考えられる。

次にこの分類マップを用いて、マップ作成に用いなかったデータの判定を行った結果を示す。データの判定は10mmの削孔区間毎のデータをマップ上に投影(最も近いベクトルを有する節点を選出)して、その節点のラベル記号を判定結果とした。ラベルの付いていない(・印)節点に割り振られた場合、これまでとは異質のデータということで、判定結果を「不明」とした。

図2は約300mm厚のコンクリートと地面(土砂)の間に約800mmの空間を設けて削孔を実施した基礎実験のデータを対象としたもので、入力した各種機械データを横軸に削孔長をとってプロットし、実際の削孔対象を色別で示した。SOMによる判定結果をグラフ上部に同じく色別で示した。これを見ると極めて精度良くコンクリート、空洞、土砂を判別できているのがわかる。図3はMトンネルにおける実証実験データを対象としたもので、ファイバースコープによる観察により、実際の削孔対象は1000mm厚の覆工コンクリートの背面に極めて緩い地山が約400mm厚あり、その奥に泥岩地山が存在することがわかっている。判定結果はグラフ上部に示すとおりであり、覆工コンクリートは完璧に判定できており、緩い地山の範囲も概ね判定できている。1430mm深度以降の泥岩地山は、一部覆工コンクリートと判定されており、コンクリートに近い物性を有しているものと考えられた。

4. おわりに

既設トンネル覆工背面の状況を、小径の孔を削孔して得られる機械データを基に調査するPVMシステムを開発した。多種類の機械データを複合的に判読し、客観的かつ精度よく削孔対象を判定するための手法として、SOMによる分類・予測手法の適用性を検討した。その結果、データを客観的に分類でき、極めて高精度に削孔対象の判別が可能であることがわかった。今後は、トンネル覆工を対象とした場合の条件(例えば地山の奥には覆工コンクリートは出現しないなど)を判定フローに加えるなど、さらに精度の高い判定法を開発する予定である。

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。

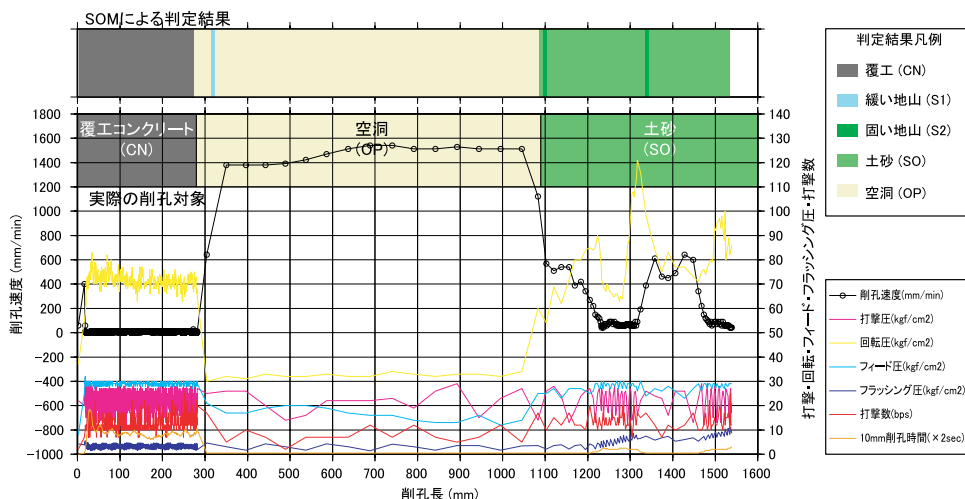


図2 基礎実験データの判定結果

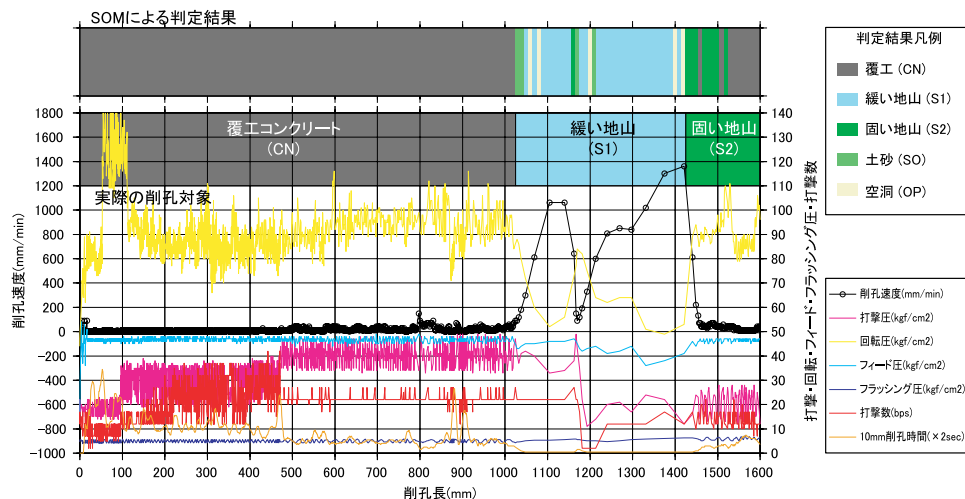


図3 Mトンネルにおける実証実験データの判定結果