

Ⅱ-5 ファジイ推論による排泥ポンプ過負荷の予測

鹿島技術研究所 ○大塩 真 平松 雄二 松永 義憲

〔抄録〕 本報告は地中連続壁掘削機のオペレータが排泥流量の変化から排泥ポンプ過負荷の発生を予測することに着目し、オペレータと同様に排泥ポンプ過負荷を予測する排泥ポンプ過負荷警報システムに関するものである。試作システムは適切なデータ範囲を選択しながら最小二乗法による直線近似を行う前段部とファジイシステムの後段部から構成される。実測データによるシミュレーションの結果、オペレータの感覚に近い危険度の出力が得られ、実システム適用への見通しが得られた。

キーワード：地中連続壁，掘削機，ポンプ，ファジイ，最小二乗法

1. はじめに

地中連続壁の掘削では、掘削速度が大きいほど発生する掘削土砂量も多くなる。このため、土質が比較的軟らかく、掘削速度を大きく設定できる場合には、発生する土砂量が排泥ポンプの能力を超え、排泥ポンプが過負荷となって、排泥ラインが閉塞する危険がある。理由は後述するが、オペレータは排泥流量の変化から排泥ポンプ過負荷発生の可能性を予測している。

本研究の目的は、オペレータの作業負担を軽減するため、オペレータの判断に近い形で排泥ポンプの過負荷を予測する警報システムの構築である。

2. 排泥ポンプ負荷と排泥流量との関係

土質が比較的軟らかく、掘削速度の上限が排泥ポンプ能力で決まる場合には、排泥ポンプは最大出力付近の一定回転数で運転されることが多い。このとき、排泥ポンプの負荷が増加すると排泥流量が低下するため、排泥流量の変化から排泥ポンプ負荷を判断できる。ただし、排泥流量は非線形な特性なので、排泥ポンプ過負荷を防ぐには、常に排泥流量の変動を監視する必要がある。

3. 排泥ポンプ過負荷予測システム

(1) 排泥流量の特徴

図－1に排泥流量を示す。排泥流量は緩やかで大きな変動と細かくて小さな変動から構成される。オペレータは大きな変動のみを見ており、細かな振動はノイズと見なすことができる。また、大きな変動のみに着目すると、排泥流量は区間ごとの直線で近似するのが適当と考えられる。

(2) 直線近似でのデータ列の認識アルゴリズム

排泥流量の変動は、排泥流量を最小二乗法で近似した近似直線の勾配で評価した。ただし、勾配は最小二乗法を適用するデータ列の区間により異なるため、人がグラフから直線として認識できるデータ列を選ぶのと同様にデータ列を選ぶことができるデータ列の認識アルゴリズムを構築した。

アルゴリズムはパラメータとして「最小二乗法の開始点」、「流量の区間最大値」、「流量の区間最小値」を

表－1 パラメータ再設定規則

		新しい状態					
		増加		減少		変化無	
前の状態	増加	無	置換	大	置換	大	維持
	減少	小	置換	無	置換	小	維持
	変化無	小	置換	大	置換	無	維持

項目は「近似の開始点」、「最小・最大値」の順
記号 無：開始点の変更は行わない
 小(大)：最小(大)値から、近似を開始
 置換：最新値を新たな最小・最大値とする
 維持：置換を行わない

もち、新規の流量値と最大・最小値とを次々に比較、更新する。そして、一定時間以内にある大きさ以上の流量変動があるかどうかで、その区間の流量変化を「増加」、「減少」、「変化なし」の3種類に分類する。さらに、これらの組合せごとに表－1に示す再設定規則に基づき、パラメータを更新する。

このアルゴリズムで排泥流量を直線近似した結果、データ点数が極端に少ない部分を除き、勾配を適確に把握できることを確認した。

(3) ファジイシステムの概要

ファジイシステムは入力に平均化処理された「排泥流量」、排泥流量の変化量として最小二乗法から得られた「勾配」、及び最小二乗法で使われている「データ数」(「勾配」の信頼度の尺度)の3つであり、メンバーシップ関数は3角形と台形で、数はそれぞれ3, 5, 3個である。出力はオペレータにとっては「ポンプ過負荷の危険度」と同じ意味である「排泥流量低下の危険度」とし、メンバーシップ関数は同じく、3角形と台形で、数は5個である。また、ファジイ推論はMax-Min合成演算を、非ファジイ化手法には重心法を用いている。

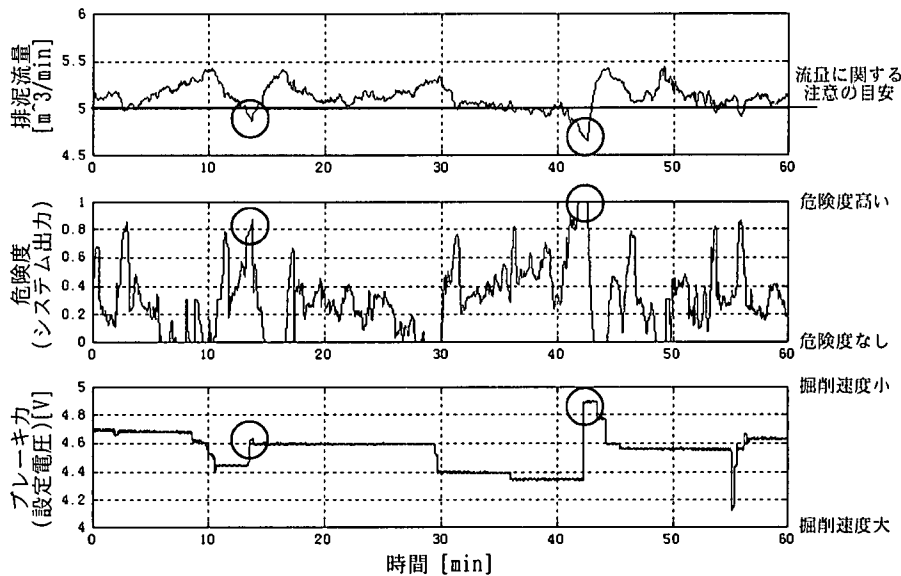
推論ルールは「排泥流量」と「勾配」の組合せから常識的に考え、「流量低下の危険度」が適切な大きさになるように選択した。そして、「データ数」が少ない場合には「勾配」の信頼度が低いとみなし、安全側に出力されるように設定した。また、大きな流量低下が長く続いた場合、オペレータは危険と判断するため、この条件に当てはまるルールについては出力が大きくなるように設定した。

4. シミュレーション

図－1は本システムに排泥流量の計測データを入力したシミュレーション結果である。図中のブレーキ力は、掘削装置の下降速度を調整するものである。シミュレーション結果より、排泥流量が低下し、システムが高い危険度を出力した部分と、オペレータが危険と判断してブレーキ力を増加させた部分が一致していることがわかる。定量的な評価は難しいが、他の部分についても感覚的に違和感のない出力が得られており、本システムの警報システムへの適用は十分可能と考えられる。

5. まとめ

今後は、警報の提示方法など、システムの実用化に向けて、さらに研究を進めていく計画である。



図－1 シミュレーション結果