

重回帰分析を用いたトンネル機械掘削時の粉じん濃度に関する基礎的検討

独立行政法人土木研究所 正会員 ○宇田川義夫
 独立行政法人土木研究所 正会員 大下 武志
 独立行政法人土木研究所 正会員 井谷 雅司
 独立行政法人土木研究所 正会員 徐 永強

1. はじめに

トンネル建設工事に伴って発生する粉じんに起因するじん肺症等の粉じん障害は、大きな社会問題となっている。特に機械掘削時には多量の粉じんが発生する場合がある。平成12年12月には労働省（現厚生労働省）より「ずい道等建設工事における粉じん対策に関するガイドライン」¹⁾が策定され、発生粉じん濃度 $3\text{mg}/\text{m}^3$ 以下の目標レベルが示されている。また、平成20年3月には「粉じん障害防止規則等の一部を改正する省令」²⁾が施行され、事業者は半月以内ごとに1回のトンネル内の粉じん濃度測定が義務化された。

独立行政法人土木研究所では、平成18年度4月から、「山岳トンネルにおける機械掘削時の粉じん低減に関する研究」について、財団法人先端建設技術センターおよび民間会社8社と共同研究を進めている。本論は、機械掘削時の粉じん低減技術の開発を目的とした、土木研究所内の建設工事環境改善実験施設（延長100m、断面積 80m^2 ）を利用した実物大トンネル模擬実験を行い、得られた実験結果から、粉じん濃度に影響を及ぼす要因について重回帰分析を用いて検討したものである。

2. 実験の概要

実験は平成18年10月と平成19年6～7月の2回行なった。機械掘削の試験体は、1回目の実験では軟岩を模擬した発泡モルタル（一軸圧縮強度 20MPa ）とコンクリート（一軸圧縮強度 20MPa ）及び、中硬岩を模擬したコンクリート（一軸圧縮強度 40MPa ）を使用し、2回目の実験では中硬岩を模擬したコンクリート（一軸圧縮強度 30MPa ）を使用した。掘削機械は、1回目の実験ではロードヘッダ MRH-S200 を使用し、2回目の実験ではロードヘッダ RH-8J を使用した。実験は、送風量、集じん量、散水量、掘削速度などの諸条件を変えて模擬岩盤を切削し、発生した粉じんを粉じん測定機器により計測した。粉じん測定機器は、切羽から10m、30m、50mの各地点に、デジタル粉じん計（LD-3K・LD-5D）、ローボリウムエアサンプラー（LV-40BR）、アンダーセンサンプラー（AN-200）を配置し粉じん計測を行なった。



写真1 模擬岩盤の掘削状況

3. 重回帰分析による粉じん濃度の検討

(1) 多重共線性の確認

従属変数（目的変数）を「粉じん濃度 (mg/m^3)」、独立変数（説明変数）を「一軸圧縮強度 (MPa)」、「送風量 (m^3/min)」、「集じん量 (m^3/min)」、「散水量 (ノズル数)」、「掘削速度 (m^3/hr)」として、独立変数間の多重共線性について確認した。それぞれの独立変数の単相関係数と偏重回帰係数の正負の符号を調べて、符号が一致しない独立変数は除外することとした。その結果、独立変数のなかで「集じん量」が除外された。

キーワード トンネル、機械掘削、粉じん、重回帰分析

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6 (独) 土木研究所技術推進本部施工技術チーム TEL 029-879-6759

表 1 粉じん濃度の重回帰モデル

変数の選択	重回帰式	赤池の情報量 規準 AIC	自由度調整済 相関係数
1 独立変数	粉じん濃度 $=-2.3185 X_1+47.1012$	206.9287	-0.2423
2 独立変数	粉じん濃度 $=-4.1739 X_1+4.104 X_2-63.2155$	203.0518	0.5157
3 独立変数	粉じん濃度 $=-4.5789 X_1+5.7963 X_2+4.4651 X_3-159.6075$	201.8441	0.5819
4 独立変数	粉じん濃度 $=-4.527 X_1+6.0548 X_2+5.3478 X_3-0.0293 X_4-145.7018$	202.7263	0.5761

※独立変数 X_1 ：散水量， X_2 ：一軸圧縮強度， X_3 ：掘削速度， X_4 ：送風量

(2) 重回帰分析

ステップワイズ法により独立変数を選択し，重回帰分析をおこなった（表 1）．また，赤池の情報量規準 AIC（小さい値ほど最適）ならびに自由度調整済相関係数（大きい値ほど最適）から最適モデルの判定を行った．その結果，最適モデルと判定されるのが表 1 に示した 3 独立変数の式 [1] である．

$$\text{粉じん濃度} = -4.5789 \times \text{散水量} + 5.7963 \times \text{一軸圧縮強度} + 4.4651 \times \text{掘削速度} - 159.6075 \quad [1]$$

重回帰式の偏回帰係数の大きさから判断すると，粉じん濃度に最も影響が大きい因子は「一軸圧縮強度」であり，次に「散水量」，「掘削速度」となる．赤池の情報量規準ならびに自由度調整済相関係数から，式 [1] の次に最適と考えられるのが 4 独立変数の式である（表 1 参照）．この重回帰式でも，粉じん濃度に最も影響が大きい因子は「一軸圧縮強度」であり，次に「掘削速度」，「散水量」となる．「送風量」の偏回帰係数は -0.0293 と非常に小さく，ほとんど影響を及ぼさない結果となっている．

図 1 に，粉じん濃度の実測値と最適モデル式 [1] から求めた予測値との相関を示した．わずかに正の相関を示しているものの，相関係数は 0.5819 であり，精度の良い重回帰モデルとは言いがたい．

また，実際の岩盤には，実験の試験体としたコンクリートとは異なって亀裂が発達していたり，湧水があったりしている．平成 20 年度に行う実験においては，このような現場条件と今回の基礎的検討結果を考慮して，実験条件のパラメータを選定していく必要があると考えている．

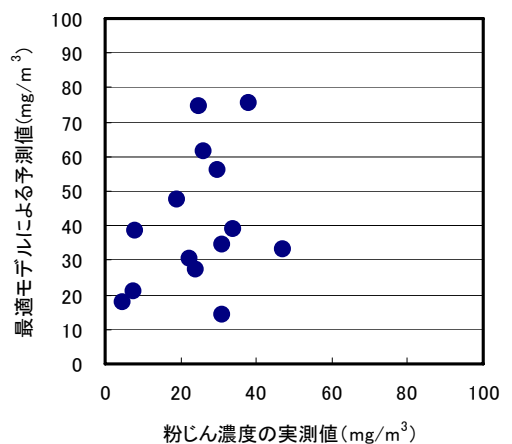


図 1 実測値と予測値の相関

4. まとめ

重回帰分析による検討の結果，トンネル機械掘削時の粉じん濃度が「一軸圧縮強度」，「掘削速度」と「散水量」に大きく影響を受けることがわかった．今後の実験に，今回の基礎的検討結果を反映させ，さらなる検討を行っていきたいと考えている．

最後に，共同研究メンバーである，(財)先端建設技術センター，鹿島建設(株)，カヤバシステムマシナリー(株)，清水建設(株)，菅機械工業(株)，西松建設(株)，日鉄鉱業(株)，(株)フジタ，(株)三井三池製作所の各位に謝意を表します．

参考文献

- 1) 労働省：ずい道等建設工事における粉じん対策に関するガイドライン，2000 年 12 月．
- 2) 厚生労働省：粉じん障害防止規則等の一部を改正する省令，2008 年 3 月．