

Ⅲ-555

トンネルボーリングマシンの掘削記録に見られる度数分布の特性と利用価値

西松建設（株）技術研究所 正会員○平野 享，稲葉 力
 山口大学工学部 正会員 中川浩二，古川浩平

1. 緒言

トンネルボーリングマシン（以下TBMと省略する）の掘削能力は、一定の条件を定めて行う試験掘削により得られる機械特性を用いて表現することが多い。試験掘削がそうであるように、説明変数を任意に選択して得られた機械特性はおおむね明瞭な関係を持っている。ところが掘削記録から直接に機械特性を求めると、その精度は必ずしも満足できるものではなかった⁽¹⁾。そこで筆者らは掘削記録には、試験掘削では隠れていた別の要素が大きく影響を与えているのではないかと推測した。本論文では、機械特性の説明変数であるスラストとトルクの度数分布に着目し、この分布に影響を及ぼす要因のひとつとして運転員のオペレーションを考察した。また度数分布から機械特性を算定する試みも行った。

2. 掘削記録に見られる分布特性

掘削したトンネルとTBMの詳細は既に報告しており⁽¹⁾、本論文では割愛する。はじめに掘削記録のスラストとトルクについて岩盤等級で分類した。この岩盤分類は国内では用いられていないIMS式⁽²⁾であるが、例えば電研式とはおおむね表1のような対応と考えられる。次にスラストとトルクを各々20段階の級に分類しその度数分布を求めた。図1.1～1.4はこの度数分布表である。ここで横軸にとったスラスト、トルクは用いたTBMの最大許容値で正規化している。また縦軸の度数は各IMSごとに数え上げた総数に対する割合に変換している。その結果、トルクは岩盤分類によらずどれも中央値が明瞭で、正規分布によく似た特性をもっている。よくみるとIMS=4はやや最大値が左にシフトした分布である。スラストは逆にIMS=3, 4が正規分布によく似た特性で、残りはIMSが小さいほど最大値が右にシフトした分布となっている。

3. 分布をもたらした要因の推定

スラスト、トルクはどちらも掘削中に運転員が操作可能な変数であり、岩盤や掘削状態の変化に対応して頻繁に操作される。これらが先に述べたような正規分布によく似た分布を持っている場合、その変数につ

表1 IMS岩盤等級のその他等級での目安

IMS式	5				4	3	2	1
電研式	D	CL	CM	CH	B	A		
	0.01	0.1	1	10	100			

目安となるQ値

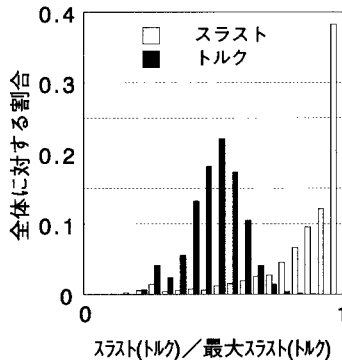


図1.1 掘削記録の分布 (IMS=1)

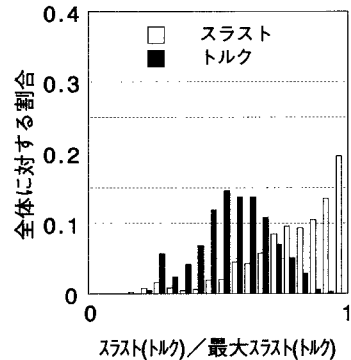


図1.2 掘削記録の分布 (IMS=2)

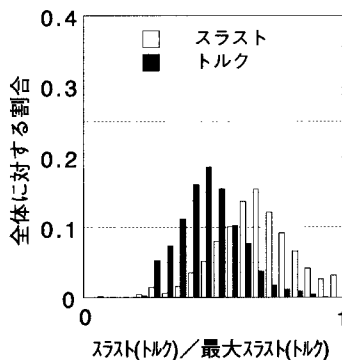


図1.3 掘削記録の分布 (IMS=3)

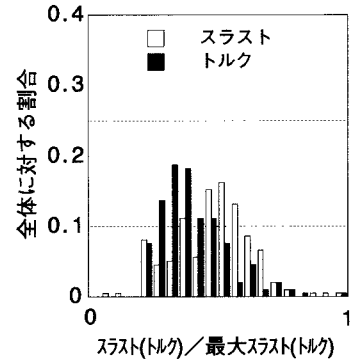


図1.4 掘削記録の分布 (IMS=4)

てなんらかの管理値を持って運転されたのではないかと推測される。例えば操作レバーのノッチ位置、運転員が任意に設定した管理値などが考えられる。調査したトンネルの運転員は効率的に掘削すべくスラストをなるべく上昇させようとしたが、同時に機械保護のためトルクを管理限界以下に保つことも重要視した。また岩盤が悪いほど同一スラストでのトルクは急増すると考えられている⁽³⁾。そこで運転員はトルクに管理目標値を設定し、いっぽうスラストはその時の岩盤状態によって分布が与えられると説明すれば矛盾がない。

4. スラストトルク 両分布の間の関係

いまトルクとスラストの間に、試験掘削で得られる(1)式の関係⁽³⁾があると仮定し、かつトルクに任意の正規分布を考える。するとスラストは図2のように変形した分布で与えられる。

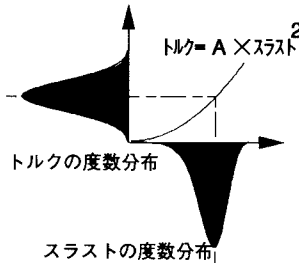


図2 度数分布の対応関係

図3.1～3.4はトルクに正規分布曲線をフィットさせ、これを(1)式の関係の下でスラストに換算し、実際のスラストデータと比較したものである。おおむね実データをよく説明していると思われる。ここで1式の岩盤に依存した定数を未知数として回帰分析しており、機械特性が同時に算定される。図3.1～3.4中の数字Aは算定された回帰係数である。

$$\text{トルク} = A \times \text{スラスト}^2 \quad \cdots (1)$$

A は岩盤に依存した定数

5. おわりに

TBMの掘削記録のうち、運転員が操作可能なトルクが正規分布によく似た分布を示した。この分布は試験掘削で得られた関係式を介してスラストの分布に換算できた。これは関係式が掘削記録に適用可能なことを示すと思われる。また従来は直接に元データを回帰分析して機械特性を得ていたが、元データが掘削記録の時は精度の問題が多かった。そのような場合であっても、トルク分布とスラスト分布の関係から機械特性を算定すると精度よく行える可能性が示された。

謝辞

大豊建設（株）（当時山口大学学生）杉原浩一氏には膨大なデータの分析に多大なご協力を頂いたこと深く御礼申し上げます。

参考文献

- (1) 平野享, 石山宏二, 稲葉力, 中川浩二: TBMに関する掘削特性式を得るための硬岩掘削実績の分析, 第25回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, PP.306-310, 1994.
- (2) Ian McFeat-Smith, Charles Haswell & Partners: Tunnelling in Hong Kong, TUNNELS & TUNNELING, pp.39-44, 1986.
- (3) Gong Fangming, 佐藤一彦, 浅井秀明: 円周軌道切削に関する研究—ディスクカッタによる岩石の切削に関する研究（第1報）, 資源・素材学会誌, Vol.108, No.7, 1992.

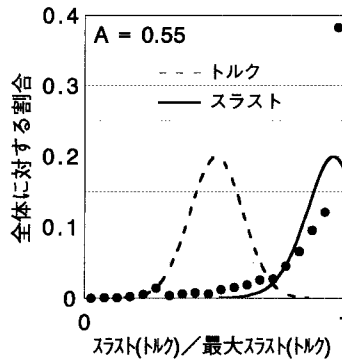


図3.1 カーブフィットの結果 (IMS=1)

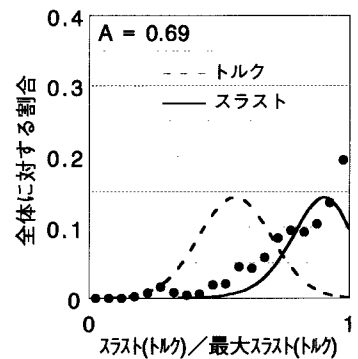


図3.2 カーブフィットの結果 (IMS=2)

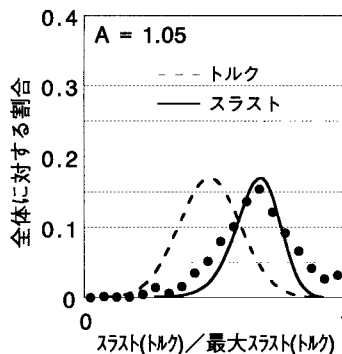


図3.3 カーブフィットの結果 (IMS=3)

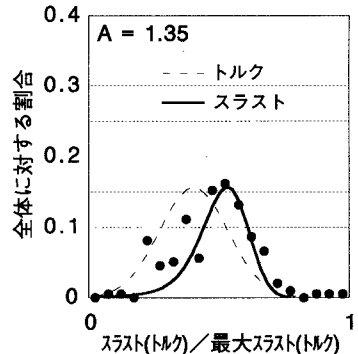


図3.4 カーブフィットの結果 (IMS=4)