

III-PS 5

トンネル制御発破のエキスパートシステムの開発

佐藤工業(株) 正会員 南出英男

1. はじめに

近年、国土の開発が進むにつれて山間僻地の人家や集落が形成された地域にもトンネル路線を計画せざるを得なくなってきた。またトンネル路線が都市周辺部に計画されることが多くなってきた。従来、トンネル発破は施工性、経済性に重きをおいて発破パターン、装薬量、進行長などを決めてきたが、振動や騒音の制御も重要な要素と成りつつある。

本システムは対象岩盤に応じた発破パターンを設計し、発生する振動・騒音を予測し、規制値以下になるように発破計画をたて、施工時の計測データをとって計画をチェックし、つぎの発破にその成果を生かすシステムである。また、各種データを蓄積していくシステムでもある。このシステムにより振動・騒音の低減はもとより幅広く発破技術の向上に役立つものと考えられるので、システムの内容を報告する。

2. システムの特徴

本システムはフレームワークの側面をもった計画設計型のエキスパートシステムでつぎのような特徴を有している。

①抵抗線長・孔間隔

岩石係数を導入することにより爆薬ごとのボトムチャージに応じた設計しているので、穿孔数は従来の15~20%低減している。

(表1)

②発破パターン

従来の芯抜きから同心円状に広がって起爆する発破パターンでは同一段の雷管起爆時間にばらつきがあるため、孔位置によって破碎に対する拘束度が異なる。岩の拘束度の大小にかかわらずすべての孔を起爆するためにはどうしても過装薬になる傾向にあった。この課題を解消するために同段の連続した爆破数を極力減らした三角形と台形を基本とした発破パターンにした。(図3)

③装薬量

ボトムチャージとコラムチャージを明確に分け、それぞれについて段ごとの装薬本数の計算を行う。またボトムチャージの装薬密度を満足する施工を行えないことも想定して、ANFOを空気充填して装薬密度を満たせるようになっている。(トンネル発破では後ガス濃度を理由に一般的にANFOを使用しないが、当社の施工では換気を十分に行えば適用可能である。)(表2)

④振動予測

振動計測を行っている場合は、直前5発破のデータを利用して振動予測を行う。振動計測を行っていない場合は、表層地盤の硬さ、層厚、発破域に対する受振点の方向、発破種別等から振動予測する。

⑤騒音予測

発破音はトンネル内では距離が2倍になると-1.5dBの減衰をし、坑口から自由空間に出ると三次元的に拡散して距離が2倍になると-6.0dBの減衰をすることで騒音予測計算を行っている。

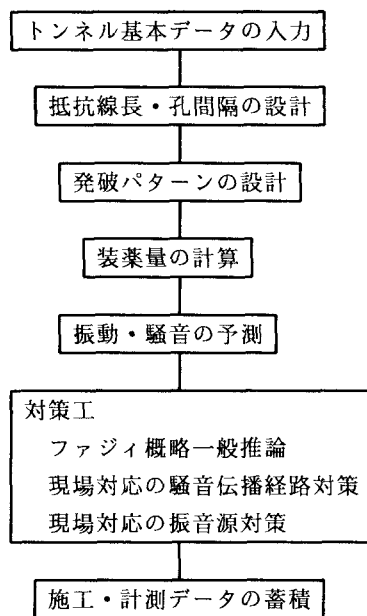


図1. システムフロー

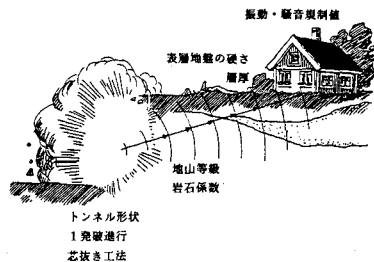
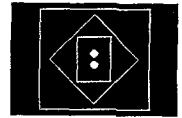
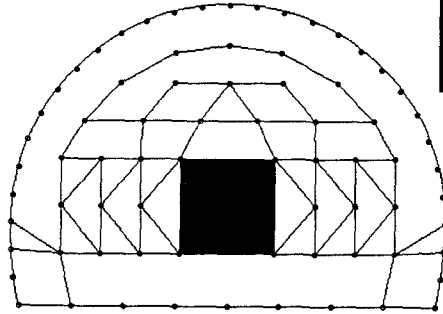


図2. 主な入力項目の説明図

⑥ファジィ概略一般推論

現場の施工条件を考慮しないで振動予測値と騒音予測値から概略のファジィ推論で対策工を選定している。推論前件部には振動と騒音の感じ方をそれぞれメンバーシップ関数で表現している。振動の感じ方と騒音の感じ方の組み合わせを16の制御ルールに表し、推論後件部もメンバーシップ関数で表現している。後件部のファジィ集合をMin-Max合成重心法により求め、その重心から対策工法を選定している。

芯抜



シリンダ カット.2

図3. 発破パターンの出力例

⑦振動騒音対策

現場の施工条件にあわせて、遮音壁や防音壁を設置して大気振動波の伝播を妨げる騒音伝播経路対策後の低減量を計算する。また芯抜き工法の変更、抵抗線長の低減、進行長の低減、段発数の分割などの振音源対策に対する助言を行う。

表1. 抵抗線長・孔間隔の出力例

表2. ファジィ概略一般推論の出力例

芯抜き工法 シリンダカット2  
 発破孔径 42.0 (mm)  
 進行長 100.0 (m)  
 進行孔 2.0 (m)  
 進行孔 2.0 (m)

芯抜き諸元

孔位置	抵抗線長 (m)	ボトムターン長 (m)	コラムターン長 (m)	無装薬長 (m)
第1 矩形	0.24	0.00	1.78	0.24
第2 矩形	0.57	0.00	1.73	0.29
第3 矩形	1.15	0.00	1.44	0.58

一般孔諸元

孔位置	抵抗線長 (m)	孔間隔 (m)	ボトムターン長 (m)	コラムターン長 (m)	無装薬長 (m)
払い →	1.26	1.38	0.67	0.72	0.63
払い ↓	1.26	1.51	0.67	0.72	0.63
踏 前	1.26	1.38	0.67	1.09	0.25
外 周	0.98	0.81	0.16	1.36	0.51

《1次対策工法診断結果》

電気雷管 (段)	芯抜き工法 変更	段発数の 分割	抵抗線長 低減	進行長 低減
MS 1,3			●	●
MS 5,7,9				●
MS 12				●
DS 3				●
DS 4				●
DS 5				●
DS 6			●	●

3. システムの開発環境

本システムはおもな部分を統合化エキスパートシステム開発ツールGURUを用いて開発し、発破パターンの作図部分をQuick BASICを用いて開発した。適用プログラムはPC-9800シリーズで動作するので、現場技術者や管理部門の技術者の利用しやすい環境を提供している。

4. おわりに

本システムはトンネル周辺に及ぼす振動騒音の影響を低減の目的で開発を行った。さらに、穿孔数・装薬量の適正化に伴う作業能率の向上や余掘り量の低減などの効果も期待される。また抵抗線長・孔間隔の設計は明り掘削や大規模地下空洞の開発にも利用可能である。今後このシステムを現場に適用して有効性と実用性を高める予定である。

最後に、本システムの開発にあたり日進ソフトウェア（株）の関係各位に感謝の意を表します。

参考文献：1)Stig Olofson:APPLIED EXPLOSIVES TECHNOLOGY FOR CONSTRUCTION AND MINING, 1989

2)雑俣：発破振動の周辺への影響と対策、鹿島出版会