

VI-86

山岳トンネルの発破における情報化施工の開発

清水建設（株）： 正会員 菅沼義則、同 ○河野重行、同 風間広志、同 宮下国一郎、同 金岡幹

1. はじめに：

昨今の急激な地下開発とともに、山岳トンネルの掘削技術の進歩は目覚ましい。特に、長大トンネルや大断面トンネルにおいては、施工の急速化や生産性の向上が望まれており、発破による掘削技術の他に、最近の機械掘削技術の進歩は大きい。しかしながら、コストや掘削速度の観点からやはり発破工法が一般的であり、雷管や火薬の進歩とともに発破掘削の自動化の研究・開発が行われている。発破は、地山に対する影響などの安全性の観点だけでなく、余掘りに起因する覆工コンクリートの増加などの経済性および周辺民家への振動・騒音など種々の観点から、適切に設計されなければならず、したがって、発破理論はあるものの、熟練者を中心として経験的に発破設計が行われてきた。

しかしながら、最近の熟練者の高齢化や労働力不足に対し、発破設計の自動化とともに、経験者のノウハウをデータベース化することにより保存・伝承することが要求されている。また、発破設計における発破パターンの図化や修正には一般に経験と時間を要するため、省人化が望まれている。

筆者らは、発破理論にもとづく自動発破設計・図化システムおよび発破後の観測情報による発破設計の自動修正システムからなる発破の情報化施工システムを開発したのでその概要を述べる。

2. 現状における課題：

著者らが発破設計の自動化に着手した背景には以下の課題がある。

- 1) 現状は、現場においては手書きによる発破設計がまだまだ一般的であり、発破後の観測などをもとにした発破設計の修正には、人的および時間的にロスが多く、効率性の向上が望まれる。
- 2) 発破後の掘削面の余掘りなどの観測情報にもとづく発破設計の修正・改善が熟練坑夫により経験的に行われており、客観的な発破設計が望まれる。
- 3) 個々の、現場で独自に発破設計を行っており、他の現場などでの発破実績やノウハウが生かされにくい。
- 4) 最近の、雷管や火薬の多様化や技術の進歩とともに、発破設計は柔軟にかつ定量的に対応することが必要となる。

3. システムの概要：

情報化施工システムは、図-1に示すように本社などに設置される共有データベースと、各現場ごとに設置されるデータベースと発破設計を行い修正するための推論エンジンからなるサブシステムから構成される。データベースは各々、発破設計理論（[1]、[2]、[3]、[4]）から構成されるパターンデザインデータベース（PDDDB）と実際の発破パターンの実例から構成される施工実績データベース（CRDB）からなる。現場において、発破設計を行う際には、本社にある共有データベースにより他の類似現場の発破設計をも参照することができる。著者らは、まず、現場ごとに発破設計を行う後者のサブシステムの開発から着手し、現場における発破設計の高精度化および省人化を目指したが、本論文ではこのサブシステム（以下本システムと呼ぶ）の概要を報告する。

本システムによる発破設計において、以下の手続きが踏まれる。

- 1) トンネルの断面形状、地山等級、芯抜き形状、一発破進行長、削坑径、使用火薬および雷管の種類、スムーズ・プラスティングの有無、設計手法などをコンピュータに入力する。
- 2) 現場におけるPDDDBにより、入力された条件にもとづき発破設計が行われ、使用雷管の段数、抵抗線長、孔間隔などや装薬量、単位 m^3 当りの火薬量や孔数などが算定される。

3) 現場におけるCRDBにより、設計された発破数量の妥当性が自動的に検証され、別途設定した基準により妥当とみなされるならば、発破孔の配置の図化（図-2参照）、装薬量リスト（表-1参照）が出力される。

もし、基準外であれば、警告とともに経験者の判断に委ねる。

- 4) 発破が実行され、発破後の掘削断面の形状などを目視観測する。当初、観測項目として、ノミ跡の残り具合、孔尻の長さ、ずりの飛散状況、ずりの形状、焼結現象や死圧やカットオフの有無などを検討したが、実用性を増すためにも観測項目を減らすことを考え、その結果、余掘り量と孔尻の長さに絞った。これらの項目は、実際に測定することは実用的ではないので、本システムではファジィ集合により、「余掘りがやや多い」、「孔尻が多く残っている」などのような定性的な観測結果を用いる。
- 5) 観測情報をもとに、ファジィ推論により、発破前に行われた発破設計における装薬量、抵抗線長、孔間隔などを自動修正し、3)と同様に図化、リストの出力を行う。
- 6) 各発破ごとに4)と5)を繰り返すことにより、効率的で精度の高い発破設計が行われていく。
- 7) 理想的な発破が行われるようになった発破設計をCRDBに登録する。

現在、実トンネル現場において、本システムの効果を検証中である。紙面の都合上、詳細は割愛した。

4. おわりに：

本論文において、著者らが開発したトンネル発破における情報化施工システムの概要を報告した。発破において、今回報告した発破設計の自動化は、今後の発破掘削全体の自動化への布石であると確信している。筆者らは、発破に限らず、トンネル掘削の自動化、省力化を目指し、種々の開発を行っており、本システムはその一貫である。今後とも、幅広く適用を図っていく。

参考文献：

- [1] スティグ、オロフソン（原著）、最新発破技術ハンドブック、発破技術委員会監修、山海堂、1992。
 [2] 工業火薬協会編、新・発破ハンドブック、山海堂、1989。
 [3] 石井康夫、西田佑、中野雅司、坂野良一、最新発破技術、森北出版、1984。
 [4] U.Langefors, B. Kihlstrom, The Modern Technique of Rock Blasting

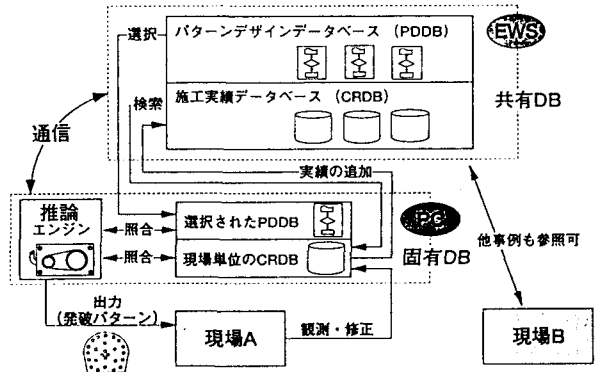


図-1 システム全体概念図

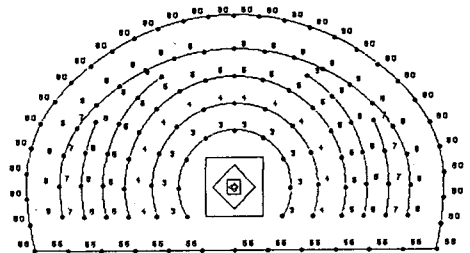


図-2 発破パターン出力例

表-1 装薬リスト出力例

孔位置	孔数	爆薬の種類	各孔装薬量	総装薬量
第1スクエア	4	3号ダイナマイト	2.0 Kg	8.0 Kg
第2スクエア	4	3号ダイナマイト	2.0 Kg	8.0 Kg
第3スクエア	4	3号ダイナマイト	3.2 Kg	12.8 Kg
第4スクエア	4	3号ダイナマイト	3.55 Kg	14.6 Kg
合 計	16			43.4 Kg

孔位置	孔数	爆薬の種類	各孔装薬量	総装薬量
掘削孔	06	3号ダイナマイト	05.10 Kg	30.6 Kg
調整孔	08	3号ダイナマイト	05.10 Kg	40.8 Kg
天盤孔	07	3号ダイナマイト	05.10 Kg	35.7 Kg
広い孔	12	3号ダイナマイト	05.10 Kg	61.2 Kg
	18		05.10 Kg	81.3 Kg
	12		05.10 Kg	61.2 Kg
	08		05.10 Kg	40.8 Kg
	19		05.10 Kg	96.8 Kg
合 計	76			448.5 Kg