

電算機によるトンネル穿孔・発破計画について

大成建設(株) 正会員 和田満徳

正会員 竹中達夫

〇城 好彦

坂野良一

1. まえがき

近年、土木工事への電子計算機利用技術の発達はおどましいものがあり、トンネル工事への適用に関する発表も多くみられるようになった。しかし、まだトンネル穿孔・発破計画に関するものは見られない。これは、トンネル工事自体の性格が多種多様の工種の集積である上に、施工条件が常に自然環境に左右されるため多くの要因が密接にかみあっていること、さらに穿孔・発破計画においては一層この性格が顕著となり、今日までの通常の手段は従来の実績を参考にして長年の経験を有する発破技術者が経験的に判断して計画することが多かったからではなかろうか。

以上の観点から、筆者等はトンネル工事における穿孔・発破計画を中心に、計画立案に数量的客観性をもたせ、あわせて計画作業の迅速化、省力化をはかる目的でこのシステムを開発した。

2. トンネル掘削の作業要素と電算化

トンネル掘削は4種類の基本要素である (1) 穿孔 (2) 装薬・発破 (3) ズリ処理 (4) 支保工の一連の作業からなるノサイクルの繰返しである。そして各基本要素には種々多様の要因が関係している。たとえば、穿孔にかかわる要因には、岩質、断面形状と大きさ、穿孔径、穿孔機の性能と使用台数、ノ発破の進行長算がある。そして、これら諸要因によって新しい要因が結果として作られ次の段階への入力要因となる。オ2段階の装薬・発破にかかわる要因は、穿孔精度、発破理論、心抜き法、スムーズプラスティングの有無、爆薬の種類と性能、装薬方法等であり、これら諸要因が前段の穿孔に関する要因と相互に関連してノつの結果が得られる、これが穿孔・発破パターンである。同様にして次の段階であるズリ処理や最後の支保工も多くの要因がかみ合っている、最終的にはノサイクルが形成され、さらに、このサイクルの繰返しによってトンネルは掘進されていく。

このように、穿孔・発破計画の作成は互にかかわりあう多種多様の要因を考慮しなければ計画を行うことができない。従来この作業を発破技術者は試行錯誤を多数回繰返しながらかね案を逐次検討して目標に近づけていくが、これは大きな労力と時間を要する忍耐のいる作業である上に技術者の経験の違いから個人差の大きな結果が出ることは避けられない。一方、電子計算機を使うと上述の諸要因をそのまま入力とし、電子計算機の特徴である高速性と正確性を利用して計算す

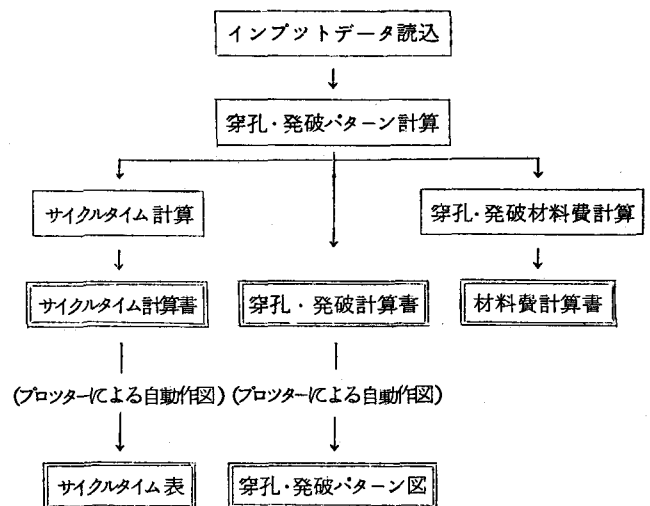


図1 システムのフロー

れば、非常に短時間のうちに多くの代替案を検討することが可能になる。さらに、個人差の少ない合理的・標準的な結果が得られる。また最適な計画を作成するということは、技術のみならず時間、経済の3側面から検討しなければならぬ。このほど開発したシステムは穿孔・発破パターン作成を中心に、これに関する材料費の計算とサイクルタイム計算をあわせて行い、トンネル穿孔・発破計画を統合的に検討し最適計画が容易に得られるようにしたシステムである。

3. 計 算

このシステムは図1に示すフローのように主要部である穿孔・発破パターン計算と従属部の穿孔・発破材料費計算およびサイクルタイム計算の3部分で構成しており、計算は前述の穿孔・装薬・発破・ズリ処理・支保工の各基本作業にかかわる諸要因を入力条件にしている。計算条件の主なもの(1)トンネル断面の形状・寸法(2)岩質(3)発破方法と仕抜き法(4)爆薬の種類、仕様および単価(5)穿孔機とビット・ロッドの仕様および単価(6)ズリ処理機の仕様などである。システムの汎用性を高めるため、このように種々の条件が設定できるようにした。特にいかなるトンネル断面でも計算できるように、断面形状を最大50英のXY座標で入力することも、半径で簡単に設定することもできる。仕抜きについてもピラミッドカット、Vカット、平行孔仕抜き等が計算できる。また近年発達してきたスモースプラスティング等の特殊発破法も適用できる。さらに、必要に応じて詳細の設計仕様を入力して詳しい検討ができるほか、標準的な結果がほしい場合は設計の要領のみを指定するだけで簡単に標準的計画を作成できる。

このシステムの中核である穿孔・発破パターンの算出は信頼できる理論と数多くの実績とに裏付けられた最新の技術に基づいて計算するため、その結果の信頼性および実用性は非常に高い。さらに穿孔・発破にかかる経済的側面をあわせて検討できるように穿孔・発破の材料費を同時に算出し、またトンネルの施工速度を示す月進の基礎となるサイクルタイムを同時に計算して工程を明らかにする。

4. 計算結果のアウトプット

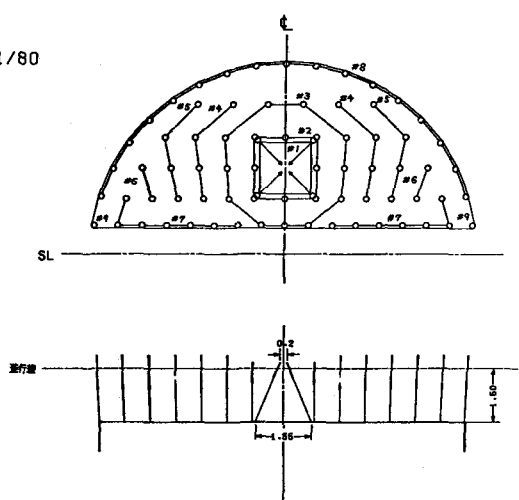
トンネル穿孔・発破計画の主要なものは穿孔・発破パターンの算出である。アウトプットは、各発破孔の穿孔位置、穿孔方向、孔長、装薬量、装薬状態等の各孔の詳細データと、総穿孔数、総爆薬使用量といった最終結果を計算書としてプリントアウトすると共に、プロッタで穿孔・発破パターン図を自動作図する。これらのアウトプットには主な条件のほか、断面積、掘削量、ズリ量、穿孔誤差、掘削/m³当り穿孔長、断面/m²当り穿孔数、掘削/m³当り爆薬使用量等のデータもあわせて表示し詳細な代替案の検討に必要な参考データを提供する。

サイクルタイムの計算結果は、穿孔・装薬・発破・ズリ処理・支保工のサイクル構成要素の時間、/サイクルタイム、/日当りサイクル数、日進、月進等の工程関係データであり、計算条件と共に表にしてプロッタで自動作図される。また材料費は爆薬・火工品費および銑鋼費として表形式でプリントアウトされる。

図2は中硬岩トンネルにおける上半部掘削の穿孔・発破パターン計算結果の一例であり、図3はこれに対応するサイクルタイム計算の結果である。このように図表類はプロッタに出カし詳細計算書と材料費はプリンタで印刷する。なお図4は、軟岩トンネルにおける側壁導坑掘削の穿孔・発破パターンの一例であり、このような特殊形状の断面もXY座標座群で入力すれば計算できる。

このように、計算結果は従来のプリンタによるアウトプットのほか、プロッタを使って自動作図しビジュアルに表現される。また代替案の検討段階においては、計算結果を逐時グラフィック・ディスプレイ装置上に映し出し電子計算機と会話しながら計画を行うことができる。

$S = 1/80$



- 諸元
- 1. 使用 厚 度 $\phi 25 \text{ MM} \times 100 \text{ G}$
 - 2. 使用電圧管径 35.68 M^2
 - 3. 断面 積 53.51 M^2
 - 4. 厚 度 51.10 KG
 - 5. 1 号破断行長 1.50 M
 - 6. 破 断 量 53.51 M^2
 - 7. セ ン 孔 数 76 孔
 - 8. 厚 度 使用 量 0.96 KG/M^2
 - 9. M^2 当り厚度使用量 2.13 孔/M^2
 - 10. M^2 当りセン孔本数 38 MM
 - 11. ピ ッ ト $2500 \text{ MM} \times 25 \text{ MM}$

管 径	セン孔数	1号破断行長 (M)	断面 積 (M ²)
1	4	0.6	2.4
2	8	0.7	5.6
3	11	0.7	7.7
4	8	0.7	5.6
5	8	0.7	5.6
6	4	0.7	2.8
7	14	0.7	9.8
8	17	0.6	10.2
9	2	0.7	1.4
計			51.1

図2 穿孔・発破パターンのアウトプット例

5. 電算化による効果

電子計算機を使ってトンネル穿孔・発破計画を作成する場合の大きな効果のオノは、考えられる種々の設計条件に対する計算結果を非常に短時間で得られることである。従来、穿孔・発破パターンを作成は経験をもとに手計算とセクションパーパーで行う非常に手面腹のかかる作業であった。しかし、このシステムを利用すれば詳細の計算結果と同時に穿孔・発破パターン図、サイクルタイム表および材料費を電子計算機と直結しているディスプレイ装置上に映し出し、その場で検討を加えて最適計画が行え、さらに最終結果をプロッタで自動作図してアウトプット・データとすることにより、計画作成に要する人員、時間とも半分以上に削減できる。

効果のオノ2は、穿孔・発破パターンの計算と同時にサイクルタイムと穿孔・発破材料費の計算をあわせて行い、工程と経済性を比較ができることにより、各種条件を総合的に検討した最も合理的な穿孔・発破計画が作成できることである。

掘削サイクルタイム

項 目	単 位	数 値	備 考
掘 削 断 面 積	M ²	35.68	
1 号 破 断 行 長	M	1.50	
1 号 破 断 断 面 積	M ²	53.51	
1 号 破 断 ギ ャ ン 本 数	M ²	11.7	90.97
1 号 破 断 セ ン 孔 本 数	M ²	76	(0.1)
1 号 破 断 セ ン 孔 長	M	139.42	(0.00)
M ² 当 り セ ン 孔 本 数	M ²	2.61	
別 破 断 1 号 当 り セ ン 孔 本 数	M ²	8.4	(0.0)
別 破 断 1 号 当 り セ ン 孔 長	M	15.49	(0.00)
ノ ス 下 リ	M/分	30.0	(0.0)
ギ ャ ン 断 面 積			
ギ ャ ン 断 面 積			
交 換 人 員	人		
サ イ ク ル タ イ ム			
セ ン 孔 率	分	10	
セ ン 孔 率	分	52	
セ ン 孔 率	分	0	
断 面 積	分	20	
断 面 積	分	5	
断 面 積	分	15	
コ ン ク リ ー ト 断 面 積	分	5	
ギ ャ ン 断 面 積	分	10	
ギ ャ ン 断 面 積	分	83	
断 面 積	分	0	
当 り 破 断 1 号 当 り セ ン 孔 本 数	分	10	
交 換 人 員	分	60	
ソ ノ 他 交 換 人 員	分	0	
断 面 積	分	5	
計 (1 サイクルタイム)	分	275	
1 号 破 断 断 面 積	分	10	
1 号 破 断 断 面 積	分	2	
1 日 当 り 平 均 サイクルタイム	分/日	4.36	
1 日 当 り 平 均 断 面 積	M ² /日	6.5	
1 ヶ 月 当 り 平 均 断 面 積	M ² /月	25	
1 ヶ 月 当 り 平 均 断 面 積	M ² /月	163.64	

図3 サイクルタイムのアウトプット例

ある。

さらに効果のありとして、電子計算機を用いて計画を作成することにより、従来のように技術者個人の経験や技術に左右されることなく標準的な計画が得られることである。

図5に示したグラフは、あるトンネルにおいて、ノ破の進行長と掘削/m³当りの爆薬使用量の関係を検討するために入力条件を次々に変化させ、その計算結果をプロッタで描いた一例である。

6. あとがき

トンネル技術には、経験工学的要素があまりにも多く、これに比べて学問的、理論的分野が比較的少ないといわれているが筆者等は多くの経験をもとに、経験的理論によりトンネル穿孔・破計画の数式化と電算化を試みた。なほ、このシステムの信頼性については、実際に施工したトンネルの穿孔・破計画の計算で実際の実績と対比した例が数例あるが、一応妥当な結果と評価されている。また、現在計画中のトンネルに対してもこのシステムを適用し、省力化と標準化の効果をあげている。

しかし、まだまだ改善を要する点も多く、またシステム拡張に対するニーズも強いので今後とも引き続きこのシステムの改良と拡張に努力したい。

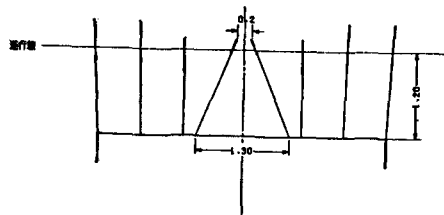
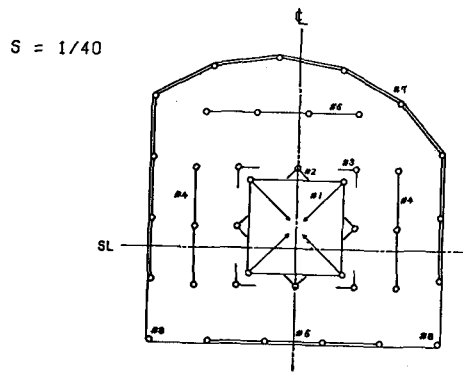


図4 側壁掘削のアウトプット例

RELATION BETWEEN SPECIFIC CHARGE AND ADVANCE PER ROUND

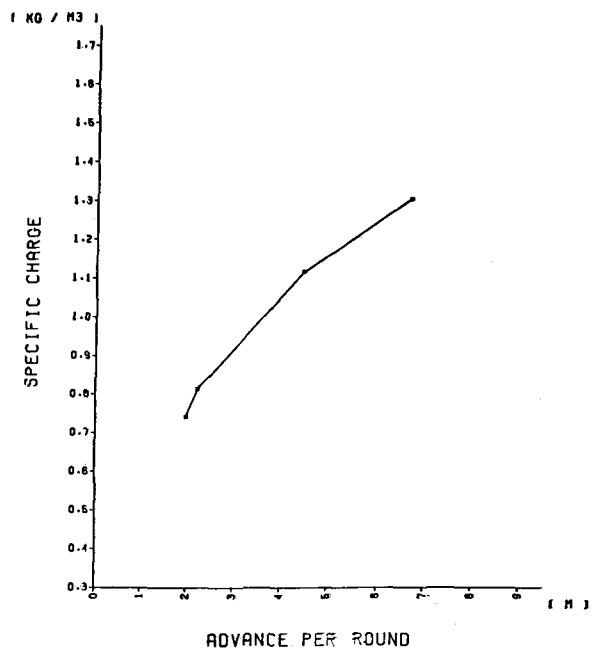


図5 ノ破進行長-爆薬量の関係の検討例