

(15) 硬岩トンネルの切羽面凹凸制御を 考慮した発破設計の検討

株式会社 間 組 ○瀬戸口博昭
株式会社 間 組 吉見 憲一
山口大学 工学部 中尾絵理子
山口大学 工学部 古川 浩平
山口大学 工学部 中川 浩二

1. はじめに

発破によるトンネルの掘削に際して削孔長いっばいに進行を出すということは望ましいことである。しかし通常進行長に対して削孔長は常に20~30cm程度長めに取りられているようである。この削孔長に対して進行が十分に出来ない原因としてはいくつかの理由があるが、主として次のものを挙げることができよう。

- i) 爆薬の威力不足
- ii) 孔尻位置の進行方向への不揃いにより発破のよる切羽面が著しく大きな凹凸を有している。
- iii) 芯抜きに始まる一連の発破において早い段階での起砕が不十分なため、全体として進行がでない。

これらの原因によりある一つのサイクルで切羽面の凹凸が大きくなると次サイクルの削孔そのものが不揃いになり、さらに能率の低下をもたらすことが考えられる。

一方、最近開発された削孔ロボットを用いた削孔では、実際の切羽手前数十センチメートルのところに仮想切羽を設定し、この仮想切羽から定められた長さの削孔が行われる。そのため削孔された孔の孔尻はすべてトンネル軸に垂直な平面上にあり前述ii)の問題は生じない。しかし、この仮想切羽の設定は実切羽面の凹凸の影響を受け、最も凸となる部分にドリル先端が当たらないように設定されねばならない。すなわち切羽面の凹凸を小さくすることにより仮想切羽面を実切羽面に近づけることが可能となり、それによって1サイクル当りの進行を増すことが可能となると考えられる。

以上のように削孔長に対して効率良く進行を出すことはトンネル掘削を効率良く進める上で最も初歩的な問題であるにもかかわらず、発破結果の計測の困難さからかこの点に関して有意と思われるデータは筆者らの知るところでは見られない。

本研究においては、最近開発、使用されはじめた削孔ロボット（マツダ、システムAD）を用いてトンネル掘削を行った際に計測されたデータを検討解析することにより、今後の発破設計に対して有用と思われる資料を得たのでこれを報告する。

2. 施工、計測条件

本研究の資料を得たトンネルは日本道路公団広島建設局の発注による山陽自動車道志和トンネル西工事におけるものである。トンネルの掘削方法はいわゆるNATMである。地山の地質状況は広島型花崗岩類に属する花崗閃緑岩である。計測位置での弾性波速度は4.0~4.6km/secで道路公団の設計パターンではAパターンとなっている。また代表的な岩石の強度は一軸圧縮強度1210~1470kg/cm² (119~144MPa)、圧裂強度は68~83kg/cm² (6.7~8.1MPa)である。本トンネルの掘削はロングベンチ方式で行われており、本研究で対象としたものは上半部の掘削に関するものである。上半部の掘削に用いられた発破パターンと発破の諸元を図-1、表-1に示す。

3. 計測と結果

前述の仮想切羽、実切羽、孔尻位置（起砕予定断面）の関係を図示すると図-2となる。図から見られるように各サイクルでの掘削結果とその凹凸については次のサイクルでのドリルの空走距離あるいは実削孔長から求めることができる。

図-1の発破パターンにおいて外周孔（SB孔）を含めて外側の4周は同心円状に配置されており、外周から第5周目についてもほぼ同心円状と見なせるので、これらを図-3に示すように外周孔より順に第1～5周と呼ぶことにする。ここで第3周～第5周については孔はすべてトンネル軸に平行であるため、前サイクルの発破による進行長は次サイクルの空走距離からほぼ正確に求められるが、第1周、第2周についてはそれぞれ7°、4°の

さし角のため前サイクルの孔尻位置より少し内側を計測することになる。しかしここでは近似的にこの値で各孔の進行を表すことにする。

連続して計測記録された14断面についての各周当りの

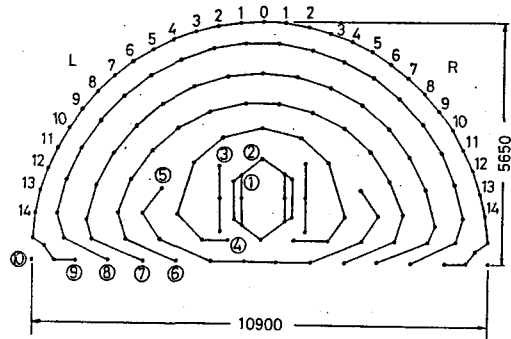


図-1 本研究で用いた発破パターン

表 発破の諸元

1. 岩 質	: 花崗岩
弾性波速度	: 4.3 Km/S
2. 断 面 積	: 49.3 m ²
3. 掘 進 長	: 2.5 m
4. 削 孔 長	: 2.7 m
5. ビ ッ ト ゲ ージ	: 41 mmφ
6. 爆 薬 種 別	: 2号模ダイナマイト (30mmφ, 100g) SB用スラリー爆薬 (20mmφ, 200g)
7. 破 砕 量	: 123.25 m ³
8. 1 m ² 当りの爆薬量	: 1.04 Kg/m ²
9. 1 m ² 当りの孔数	: 2.74 孔/m ²

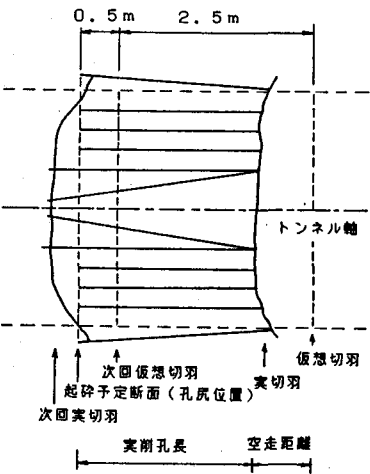


図-2 仮想切羽、実切羽、孔尻位置（起砕予定断面）の関係

段 数 (DSD)	孔 数	1孔当装薬量	装薬量 (Kg)
1	6	1.1	6.6
2	6	1.0	6.0
3	6	1.0	6.0
4	11	1.0	11.0
5	6	1.0	6.0
	4	1.1	4.4
6	14	1.0	14.0
	2	1.1	2.2
7	17	1.0	17.0
	2	1.1	2.2
8	20	1.0	20.0
	2	1.1	2.2
9	31	0.7	21.7
	6	1.1	6.6
10	2	1.1	2.2
計	135		128.1

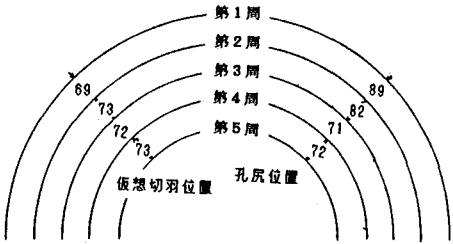


図-3 掘削孔の周番号と抵抗線距離(cm)

進行の平均値を図示したものが図-4である。この図は横軸に各断面の位置をとり、縦軸には起砕予定長(250cm)に対する実進行長(実質上の各周の進行)を示している。図によると同一の発破パターン、同一の発破設計を行っているにもかかわらずその起砕状況は各断面ごとに大きく変化するが、その中に以下に述べる一定の傾向がみられる。ここで14断面の一連の掘削のうちSTA380~430は切羽進行が安定せず、これらの断面のデータは以下の検討から省いている。

計測結果によると予定起砕面に対する実際の発破による切羽面は外周孔(第1周)においては予定を若干下回る程度の進行を示しているのに対して第2周ではそれよりかなり進行が出ており、さらに内側の払い孔では削孔長よりおよそ20cm程度進行しているのが認められる。この点については芯抜および芯助孔は削孔ロボットを用いず手動によりロッド長いっぱい(3.0m)削孔しているため、芯抜部分は予定切羽面より常に数十センチ先行する結果となり、それに続く払い孔部分についてもかなりの進行が生じたためと思われる。

今ここで図-3に示した同心円状の各周の払い孔について同心円の中心に対する角度に対して進行を図示したものが図-5である。例として図-4のSTA 340の断面について示している。これによると各周ごとの進行状況の形状にはお互いによく似た傾向が認められ各段の払いの結果は前段の払いにおける進行の結果の影響を受けることがわかる。このことは芯抜に始まり外周孔の発破に至る一連のトンネルの発破において芯抜の重要性を再確認するものであることが認められよう。

この点をさらに明らかにするために連続する2段の払い孔(第5周と第4周、第4周と第3周というように)の進行の関係を図示したものが図-6である。図によると第5周と第4周(図-6a)、第4周と第3周(図-6b)では進行の状況はほぼ図中の45°の線の両側に分布しており、次段の進行が前段の進行にほぼ一致していることを示している。これに対して第3周と第2周(図-6c)ではデータは対称線のいっぺん右側に分布するようになり第2周と第1周(図-6d)では明らかに右下部分へ移動する。このことは第3周と第2周では若干、また第2周と第1周ではかなり進行が低下し、切羽面は外側へ行くほど進行の出なくなるいわゆるわん曲した状況となっていることを示している。

この原因については第1周(外周、SB孔)の薬量が小さいことにもよるが、外周孔と第2周孔の抵抗線距離を考慮することも必要であろう。すなわち、発破設計において第4、3、2、1周の抵抗線距離はそれぞれ73、72、74、69cmとして与えられている。しかし、これらの値は仮想切羽位置での値であり、さし角を考慮に入れない。いまさし角(第2周では4°、第1周では7°)を考慮に入ると孔尻位置での抵抗線距離は72、71、82、89cmとなり、第2、第1周では内側の周と比べて著しく大きな抵抗線距離で発破を行っていることになる。

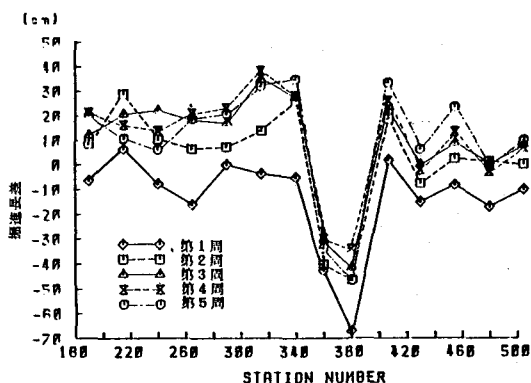


図-4 切羽位置と各周ごとの掘進長差

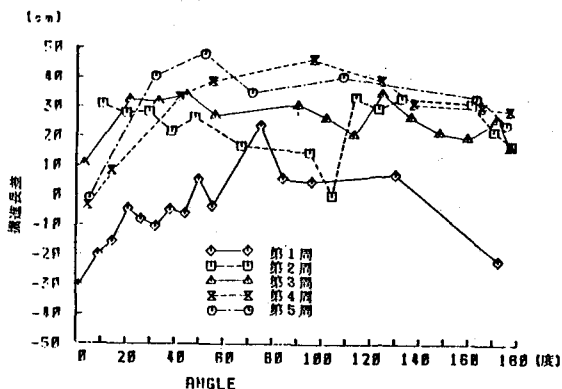


図-5 放射方向に見た各周の掘進長差 (STA 340)

本研究の掘削においては図-7に示すようにのみ跡率は平均70%を越え、中には90%を越えているものもあることを考えると、発破技術としてのSB（筆者らはこれを第1段階のSBと呼んでいる）は成功したと言える。そのためSB孔の薬量に関してはほぼ最適なものをういていたと考えられる。すなわち第1週の進行長が他より小さいのは、抵抗線距離が他の周より大きいことに起因するものと考えるのが最も妥当である。今後さし角をも考慮して孔尻位置での抵抗線距離はどの程度がよいかといった検討を行う必要があることをこのデータは示している。

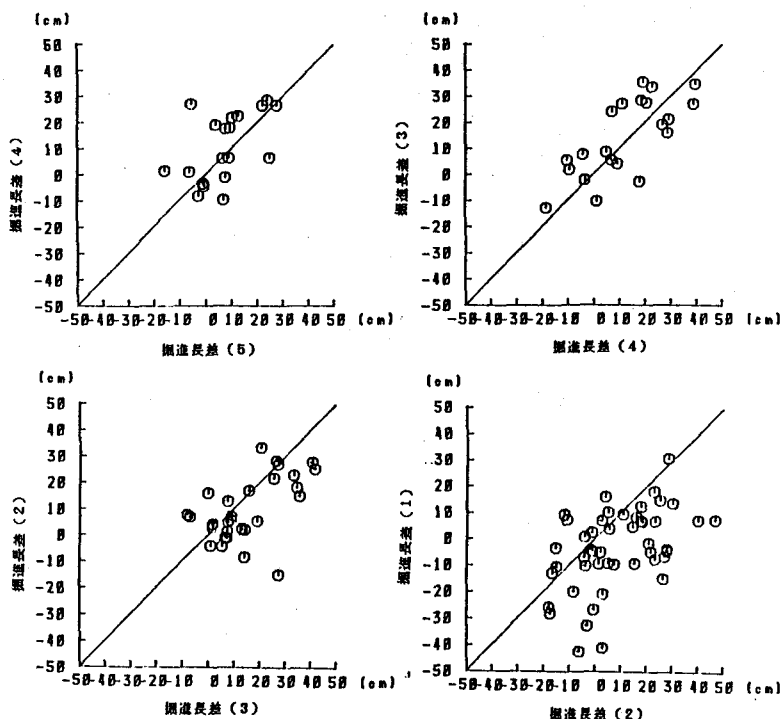


図-6 連続する二週の掘進長差

4. 考察と今後の検討

本研究の計測結果によると一般に切羽面の凹凸に関する発破結果は外周孔を除いて削孔ロボットを用いて削孔した予定起爆面を越えて掘削が行われたことを示している。すなわち切羽面は中央部分が凹でかつ平らな形状となっている。これは本トンネルの一連の発破においては芯抜が払い孔の孔尻をかなり越えて行われるため、払い孔による

根切りは孔に垂直な断面以上に掘削する結果となっているようである。その結果外周孔の発破においては抵抗線距離が大きくなるにもかかわらず、特に荷が重くなることはなく、大きな孔尻は残らない結果となっている。

このような発破の方法は削孔長と実際の掘進という立場からは合理的といえるがさらには払い孔の孔尻位置を芯抜孔から順に浅くし外周孔に至るなどして薬量の軽減をはかるなどの工夫が考えられる。このためには削孔パターンは平面的のみならず進行方向、すなわち各孔の削孔長をも考慮した3次元的なものとするとも考えられよう。また図-3に示した発破設計においては（仮想）切羽位置における設計のみならず、特に外周孔近くにおいては孔のさし角をも考慮した設計を行うことにより抵抗線距離を変化させて、荷を軽くし、弱装薬で根切りを行うことができるようにすることがSBの立場から望ましいといえよう。

なお、本研究の実験を実施するにあたり、日本道路公団広島建設局広島工事事務所、また間組志和作業所の鈴木安平所長にお世話になった。ここに記して謝意を表する。

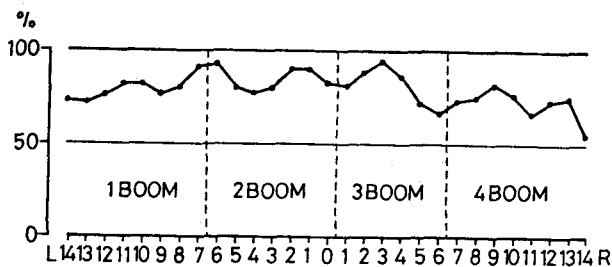


図-7 削岩機のブームごとのSBのみ跡率

(15) Design of Tunnel Blasting Considering Tunnel Face Advance
Hiroaki Setoguchi*
Ken-ichi Yoshimi*
Eriko Nakao**
Kohei Furukawa**
Koji Nakagawa**

Abstract

In tunnel blasting, an opening is blasted by means of a cut and then stoping is carried out toward the opening. The short delay detonators are used for a sequent system of ignition. We usually have a look at the blasted face after round of the sequent blasting.

In this study, we discussed the blasting design considering the tunnel face advance by each delay blasting. During the test period, the same drilling pattern was employed. The tunnel face advance by each delay blasting is recorded on the automatic drilling machine as the drilling length of each hole for the next round.

As the results, the followings were summarized.

- 1) The stoping holes in the blast design are slightly over loaded.
- 2) The burden of the contour holes must include the "look out".
- 3) The blast design should be three-dimensional one.

* Hazamagumi, Ltd.

** Yamaguchi University