

(83) スムースブラスティングへの E D D の適用に関する考察

西松建設㈱ 技術研究所 ○田中義晴, 平田篤夫
西松建設㈱ 土木設計部 一條俊之, 佐藤喬一
旭化成工業株式会社 山本雅昭, 愛甲研一, 松永博文

Examination about the application of EDD for Smooth Blasting

Yoshiharu TANAKA, Atsuo HIRATA

Nisimatsu Construction Co.,Ltd

Toshiyuki ICHIJO, Kyouichi SATO

Nisimatsu Construction Co.,Ltd

Masaaki YAMAMOTO, Kenichi AIKO, Hirohumi MATSUNAGA

Asahi Chemical Industry Co.,Ltd

Abstract

In excavation of tunnel, it is important to employ "Smooth Blasting" (hereinafter called SB) for the final blast-hole in order to reduce as far as possible the damage to the bedrock and at the same time to minimize the overbreak and underbreak. Factor to perform efficient SB is interval of blast-hole and distance of resistance line and quantity of explosive and time delay deviation of detonator.

In this study, we payed attention to time delay deviation of detonator and considered the effect when employed EDD (Electronic delay Detonator) of highly accurate timing for the final blast-hole.

1. 緒 言

最近我国でも山岳トンネルの標準工法として、NATMが定着してきた。NATMは地山の保有耐力を有効に活用する掘削工法であり、発破による地山の損傷が少ないことが要求される。地山の損傷を極力低減させるとともに、余堀り、当たりを最小にする発破工法としてスムースブラスティング（以下SBと略す）がある。しかし、我が国においては岩盤の状況は実に多種多様でありSBは試行錯誤的に行われているのが現状である。SBを効果的に行う要件としては、周辺孔の孔間隔、削孔精度、抵抗線長、薬量、雷管の秒時精度などがある。このうち、SBに用いる雷管はできるだけ斉発性の高いものが望まれるが、従来用いられてきたものは、斉発精度のあまり良くないD S電気雷管のなかでも後段（8～15段）のものであり、SBに要求される斉発性を満足するには不十分である。

本研究では、SBに延時精度の良い（設定した時間に対して起爆ばらつきが0.2ms以内）EDD（Electronic delay Detonatorの略）¹⁾を使用して現場実験を行っ

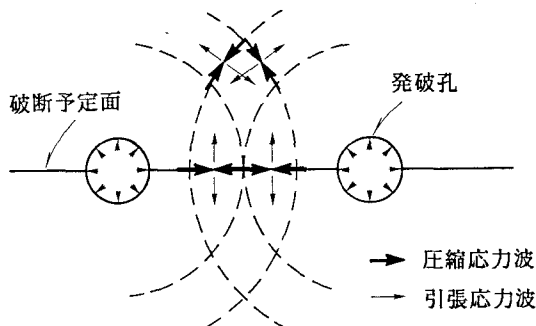


Fig. 1 EDDを用いたSBの破壊機構

た結果について考察を行う。

2. EDDを用いたSBの破壊機構について

伊藤、佐々ら²⁾は、デカップリング指数（削孔径／爆薬径）を大きくするにしたがって、爆発生成ガスによる準静的な圧力が装薬孔内壁に作用し、装薬孔間を結ぶ線上に引張亀裂が生じることを2円孔を有する板の2次元応力解析により説明している。

このことから、Fig. 1に示すように、両装薬孔間の起爆時間の違いが十分に小さい場合には、両装薬孔間を結ぶ破断予定面上で双方からの圧縮応力波及びそれと直交する引張応力波同士が重畳し、引張亀裂が発生する。また、破断予定面より外れた部分では、それぞれが干渉しあい亀裂が発生しにくくなる。このため、EDDを使用することにより、応力波の重畳・干渉による亀裂の方向制御が行われSBの効果が向上するものと考えられる。

3. 現場実験によるSB効果

(1) のみ跡率による評価

実験は、Table. 1に示す3カ所の現場で行った。まず、EDDによる余堀り低減効果のみを評価するために、のみ跡率を次式のように定義し、Table. 2に示す判断基準に従ってのみ跡の状況を観察した。

$$\text{のみ跡率 (\%)} = \frac{\text{発破後ののみ跡長}}{\text{削孔長}} \times 100$$

Table. 1 実験現場の概要

A現場	岩種、岩質は花崗岩で亀裂がかなり発達しており、湧水も多い。 道路公団の区分で言えばC1～C2クラスに当たるものと考えられる。 発破パターン：Fig. 2, (a) EDD, (b) No EDD 孔間隔600mm, 最小抵抗線距離800mm, 外周孔一孔当り500g(DS), 400g(EDD) 爆薬：サンベックス400, 孔径：42mm
B現場	岩種、岩質は砂岩で風化がかなり進んでおり、層理、亀裂がかなり発達している。 道路公団の区分で言えばC2クラスに当たるものと考えられる。 発破パターン：Fig. 3, (a) EDD, (b) No EDD 孔間隔400mm, 最小抵抗線距離450mm, 外周孔一孔当り550g(DS, EDD) 爆薬：サンベックス400, 孔径：42mm
C現場	岩種、岩質は細粒花崗岩で非常に硬く、亀裂は観察できるが閉合亀裂である。 発破パターン：Fig. 4 孔間隔450mm, 最小抵抗線距離450mm, 外周孔一孔当り1.2kg 爆薬：サンベックス400, 孔径：42mm

Fig. 5 (a), (b), (c)にそれぞれA, B, C現場の測定断面におけるのみ跡率をランクごとに示す。なお、縦軸の表示は、EDDと従来の雷管それぞれの最外周の全孔数を1とし、それに対する比で表わしたものである。B現場は亀裂がかなり発達した花崗岩、C現場は堅硬な花崗岩からなり、A現場は両者の中間に相当する亀裂状況と考えられる。すなわち、亀裂状況はA～Cの現場

Table. 2 のみ跡の判断基準

のみ跡ランク	判定基準
ランクA	のみ跡全長の75～100%が観察できる。
ランクB	のみ跡全長の50～75%が観察できる。
ランクC	のみ跡全長の25～50%が観察できる。
ランクD	のみ跡全長の0～25%が観察できる。

でそれぞれ相当に違いがあるといえる。A, B, C現場のいずれにおいても、岩種、岩質は異なるものの EDD を使用した場合ランク A の比率が高く、従来の雷管を使用した場合ランク C, D の比率が高くなっている。すなわち、EDD を使用することにより余堀り低減効果が向上していることがわかる。

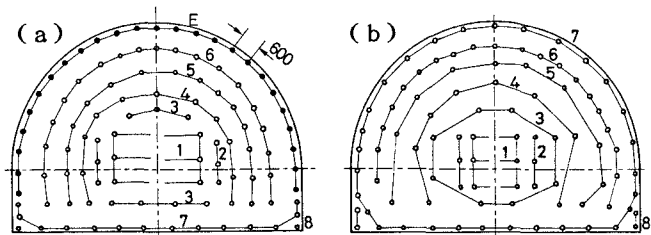


Fig. 2

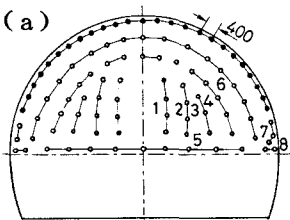


Fig. 3

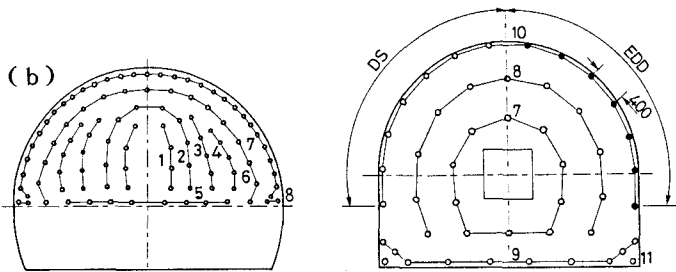


Fig. 2 A現場の発破パターン
(a) EDD (b) DS

Fig. 3 B現場の発破パターン
(a) EDD (b) DS

Fig. 4 C現場の発破パターン

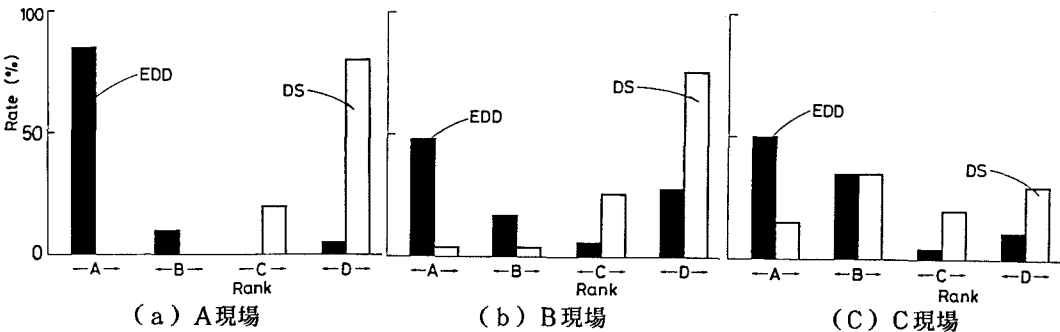


Fig. 5 のみ跡率による評価

(2) 断面形状測定による評価

断面形状測定は、Table. 1 に示すC現場で行った。まず、発破を行う前（削孔後）に、どれだけ設計どおりに削孔されたか、すなわち、削孔精度を確認するために、最外周孔の各孔に木製の棒を挿入し測量を行って各孔の3次元的な位置関係を求めた。そして、発破を行った後、断面形状測定を行った。その結果をFig. 6 (a) ～ (f) に示す。ここで、(a), (b) と (c), (d) と (e), (f) はそれぞれ同じ発破（一発破で進行が2m）のデータであり、○は切羽の削孔位置、△は(a), (c), (e) が孔奥1m, (b), (d), (f) が孔奥2mにおける削孔位置、そして、実線はトンネル進行方向において△と同じ位置で断面形状測定を行った結果である。なお、向かって左側が従来のDS雷管、右側がEDDを使用した場合である。これらから、削孔精度はかなりのばらつきがあり、DS雷管、EDD

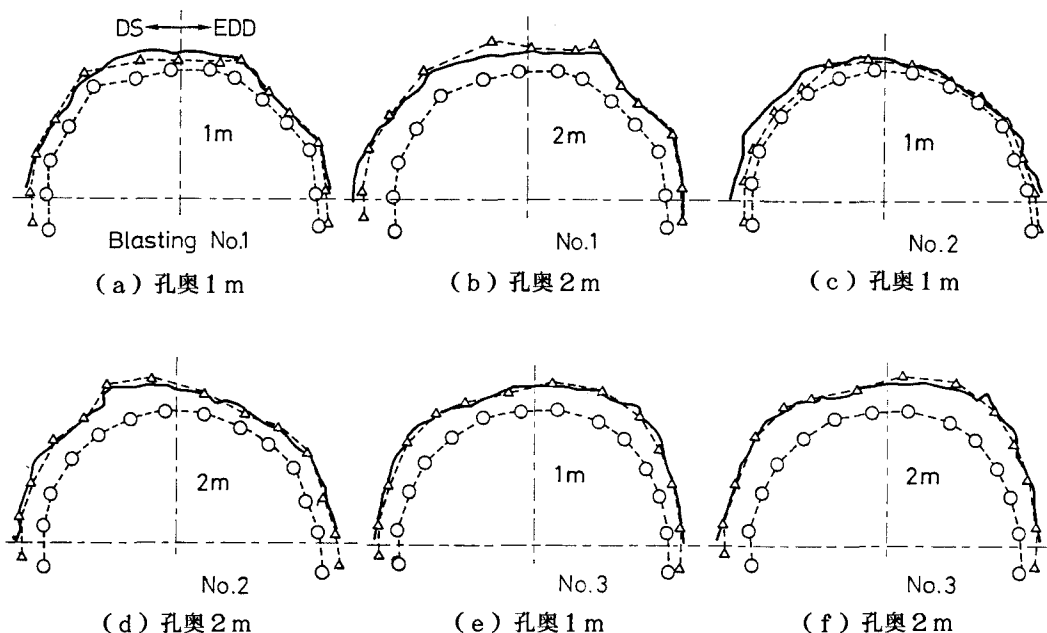


Fig. 6 孔壁、孔奥（1、2 m）の削孔位置と断面形状測定結果

うに、削孔精度はかなりのばらつきがあり、DS雷管、EDDともに設計断面とはかなり異なった形状で掘削されているが、EDDを使用した方が、DS雷管よりも破断予定面（ Δ — Δ ）に近い形状で掘削されていることがわかる。

つぎに、この孔奥1 mないし2 mの削孔位置において孔間がうまく破断されているか、すなわち、Fig. 7に示すように孔間隔の midpoint Aと、それとO点を結ぶ線上における断面形状測定点Bを考え、OBとOAの差の絶対値を余掘り・当たり厚としてヒストグラムに表わすと、Fig. 8 (a), (b) のようになる。なお、(a) はEDD, (b) はDS雷管を使用した結果である。これらから、余掘り・当たり厚の平均はEDDで3.79 cm, DS雷管で6.27 cmであり、EDDを使用した方が余掘り・当たり厚が低減されていることがわかる。

しかし、これはあくまで削孔位置に対しての結果であって、設計断面に対する

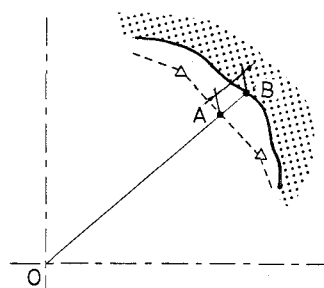


Fig. 7
余掘り・当たり厚の定義

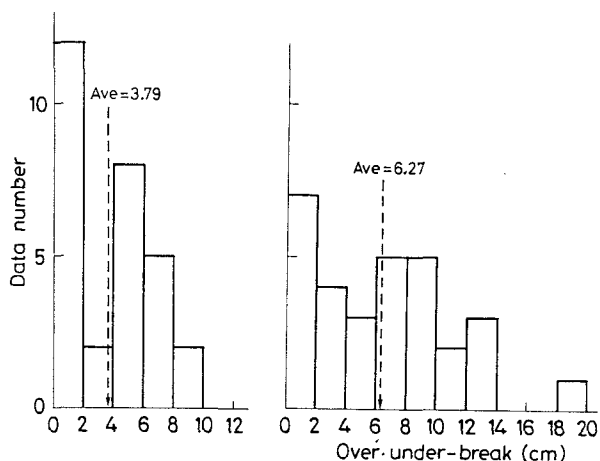


Fig. 8 破断予定面に対する余掘り・当たり厚

余堀り・当たりは、削孔精度が大きな支配要因であると考えられる。

また、切羽におけるSB効果は、孔奥におけるそれより高い。これは孔奥の発破前の応力状態が掘削の影響を受けているとはいえ、3次元的な応力状態であるのに対して、切羽では2次元面内応力下で比較的単純な応力状態にあるためと考えられる。このことは、動的な岩盤の破壊現象は掘削前後の岩盤応力状態を考慮することにより制御できる可能性を示唆しているものと考えられる。

4. おわりに

本研究は、SBを効果的に行う要件の一つである雷管の延時精度に注目し、従来使用されているDS雷管と延時精度のよいEDDを使用して現場実験を行い、のみ跡率と断面形状測定の2つの方法でこれら2種類の雷管のSB効果について考察を行ったものである。

本研究の結果を以下にまとめる。

(1) のみ跡率による評価を、岩種・岩質が異なる3カ所の現場で行った。その結果、どの現場においても、EDDを使用した方がDS雷管よりものみ跡率が高い。すなわち、硬質な岩盤のみならず亀裂が発達した岩盤であっても、EDDを使用することにより余堀り低減効果が向上することがわかった。

(2) 切羽そして孔奥1, 2mの削孔位置を求め、削孔精度を確認するとともに、断面形状測定を行い、孔奥1, 2mの削孔位置と掘削後の断面形状を比較し、DS雷管、EDD双方の余堀り・当り厚を求めた。その結果、EDDを使用することにより余堀り・当り厚を低減することができ、削孔位置を結んだ破断予定面に近い形状で掘削することがわかった。

【参考文献】

- 1) 山本雅昭・市川清：『EDDによる発破振動・音の予測と軽減』，工業火薬，Vol.49, No.6, 1988
- 2) 伊藤・佐々：日本鉱業会誌，84巻，964号，pp51～52（1985）