

(26) スムーズブラスティングにおける体積デカップリング
効果と I C 雷管の使用について

榑 間 組 正会員 吉見憲一 榑 間 組 正会員 ○ 鈴木雅行
日本化薬榑 吉田信生 山口大学工学部 正会員 古川浩平
山口大学工学部 正会員 中川浩二

Effect of Volume Decoupling and Use of IC-Detonators in Smooth Blasting

Ken-ichi YOSHIMI, Masayuki SUZUKI, Hazama-gumi, Ltd.
Nobuo YOSHIDA, Nippon Kayaku Co., Ltd
Kohei FURUKAWA, Koji NAKAGAWA, Yamaguchi University

Abstract

In excavation of tunnels, 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.

In SB, blastings with large decoupling index are generally employed and methods with "Volume Decoupling" are also being proposed.

Further, the variation due to the IC-detonators is a problem in SB and to reduce this variation is said to be quite important to perform efficient SB.

In this study, analysis was made on the "Volume Decoupling" effect which affects SB and the effect of the SB with IC-detonators of highly accurate timing performance employed for the final blast-hole.

1. はじめに

山岳トンネルの掘削においては、周辺孔にスムーズブラスティング（以下SBと称す）を用い地山の損傷を極力低減させるとともに、余掘り、当たりを最小にすることが重要である。

筆者らはSBの成功を3段階に分けて考えることを提案し、種々の実験を行ってきた^{1) 2)}。第1段階のSB（純発破技術）を成功させる要因としては、周辺孔の孔間隔、最小抵抗線距離、薬量、薬種、装薬方法、雷管の秒時精度などがある。このうち、装薬方法としてデカップリング指数を大きくとった発破（削孔径／爆薬径が2程度）が一般的に行われており、体積デカップリングによる方法も有効であることが提案されている³⁾。また、SBを行う際に、周辺孔の雷管はDS雷管の8段ないし9段が一般的に使われているため、電気雷管の秒時のずれが問題となり、効果的にSBを行うにはこの秒時のずれを小さくすることが重要であると言われている⁴⁾。

本研究は、SBに及ぼす体積デカップリング効果および秒時精度の良いIC雷管を周辺孔に採用した時のSB効果についての検討を実際の施工現場で実験を行ったものである。

2、体積デカップリングの実験

(1) 目的

体積デカップリング効果を検討する際、SB結果に与える要因は多く、そのすべての要因について系統的に実験することは困難である。ここでは、爆薬径の異なるエマルジョン爆薬を用いて、第1段階のSBが爆薬径により影響を受けるかどうか検討することにより、体積デカップリング効果について考察する。

(2) 実験

本実験は、三重県発注の一般国道311号線八鬼山トンネル工事において行った。トンネルの掘削方式はいわゆるNATMである。地質は熊野酸性岩の黒雲母花崗斑岩であり、実験位置の弾性波速度は4.8 km/sec、岩石の強度は一軸圧縮強度は1,213~1,532 kgf/cm² (123.8~156.3 MPa)であった。本実験で用いた発破パターンを図-1に示す。外周孔の

孔間隔60 cm、最小抵抗線距離70 cm、外周孔1孔当たり0.7 kgのエマルジョン爆薬を用いた。外周孔の単位装薬量としては、0.83 kg/m²であった。この発破パターンは、本実験を始める前に現場において行われていたものであり、比較的のみ跡の多く残るパターンとして採用されてきたものである。なお、削孔径はφ42 mmである。

図-2に爆薬の装填状況を示す。体積デカップリング指数は4程度になるように設定している。実験は、φ25 mmとφ35 mmの爆薬を1日ごとに交互に行い、φ25 mmを5発破、φ35 mmを6発破実施した。

発破後のSB評価については、周壁面のみ跡の観察と掘削面の断面測定を行った。

(3) 実験結果と考察

図-3にφ25 mm、5発破とφ35 mm、6発破の平均のみ跡率を示す。横軸は切羽周辺孔の削孔位置を示しており、中央の0は天端の位置であり、それぞれ左右の周辺孔の番号を示している。各孔ののみ跡率はほぼ50~100%である。図中のφ35 mmのデータにおいて、切羽左肩部の5~8区間が節理により崩落した影響により差がある以外は、φ25 mm、φ35 mmともほとんどのみ跡に差がないという結果が得られた。

次に、図-4にφ25 mmの爆薬による余掘り厚の計測結果を、図-5にφ35 mmの爆薬による余掘り厚の計測結果を示す。余掘りの平均値はφ25 mmの場合が14.2 cm、φ35 mmの場合が15.5 cmとほとんど差がなく、標準偏差もφ25 mmの場合が10.11、φ35 mmの場合が12.79とほとんど差がないことがわかった。

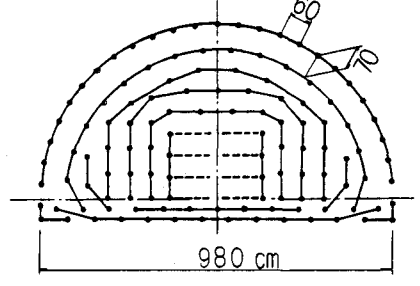


図-1 体積デカップリングで用いた発破パターン

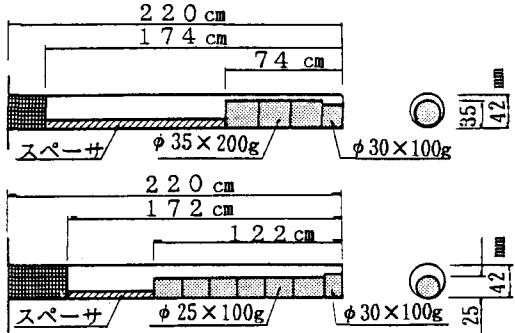


図-2 体積デカップリングの装填状況

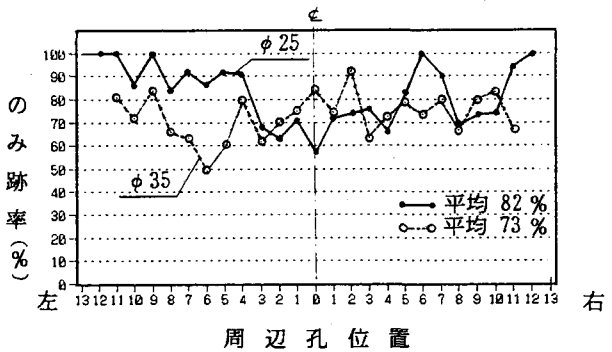


図-3 爆薬径別各孔平均のみ跡率

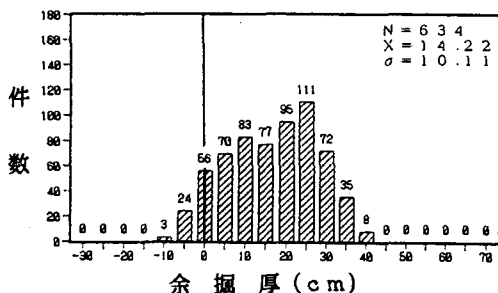


図-4 爆薬径φ25mmの余掘り厚

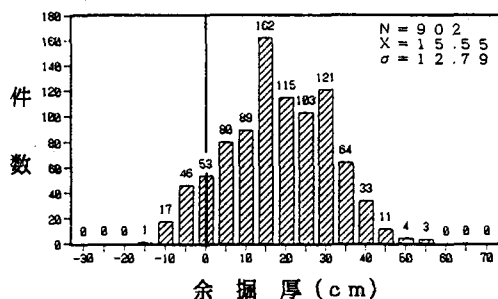


図-5 爆薬径φ35mmの余掘り厚

体積デカップリング装薬については、中野らがスラリー爆薬を用いてトンネル周壁面発破に適用し、のみ跡率が良好であるという結果が報告されている⁵⁾。本実験では、スラリーに比べて爆速が速いエマルジョン爆薬（5,200～5,500 m/sec）で、爆薬径がφ25mmとφ35mmの爆薬を用いて行った。その結果、φ25mmのみならずφ35mmの爆薬を用いても、のみ跡率に関してSB効果が得られていることから、SB用の細径の特殊爆薬を用いなくてもSB効果が得られることが明らかになった。

3. IC雷管の現場適用実験

(1) 目的

SBを行うにあたり、雷管の秒時精度のばらつきが0.1秒以上あると、各孔の爆破は単発爆破の効果しなく、満足するSB効果が得られないと言われている。⁶⁾ 我国では、通常の発破の起爆法としてDS雷管が使用されており、周辺孔の使用段数は一般的に8段ないし9段を使用するため、かなり秒時精度がばらついているのが現状である。従って、より効果的なSBを行うためには、極力秒時精度のバラツキの少ない雷管が必要とされる。そのため、ここでは全ての段数において±2msの高精度のIC雷管を実際の施工現場のトンネル周辺孔に適用し、第1段階のSBについて、普通雷管との比較検討を行った。

(2) 実験

本実験は、日本道路公団大阪建設局発注の山陽自動車道書山トンネル東工事において行った。トンネルの掘削方式はNATMである。地質は中生代白亜紀姫路酸性岩類の凝灰角れき岩であり、実験位置の弾性波速度は4.9～4.8 km/sec、岩石の一軸圧縮強度で200～300kgf/cm² (20.4～30.6 Mpa)であった。

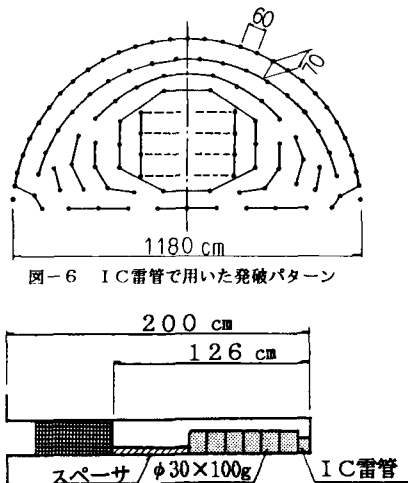


図-6 IC雷管で用いた発破パターン

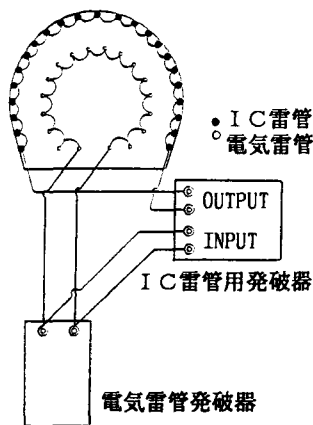
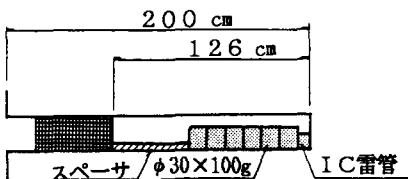


図-8 IC雷管発破実験の回路図

本実験で用いた発破パターンを図-6に示す。
 周辺孔間隔 60 cm、最小抵抗線距離 70 cm、外周孔 1 孔当り 0.6kg の 2 号梗を用いた。外周孔の単位装薬量は 0.83 kg/m^3 である。

この発破パターンは、本実験を始める前に現場において行われていたものであり、比較的のみ跡の多く残るパターンとして採用されていたものである。薬種については、通常の SB 用爆薬では地山の破砕が困難であったことから、爆速の速い 2 号梗を用いている。なお、掘削孔径は $\phi 42\text{mm}$ である。

図-8に IC 雷管発破実験の回路図を、写真-1, 2 に IC 雷管と IC 雷管用発破器を示す。IC 雷管は周辺孔のみに用いた。また、起爆にあたっては、普通雷管の発破器と IC 雷管の発破器を接続することにより、通常の発破と同様に行えるようにしている。

本実験では、現場で通常行っているマーキングによる発破と周辺孔間隔をさらに正確にマーキングした発破について、IC 雷管を用いた発破を 4 発破、普通雷管を用いた発破を 5 発破実施し、その効果を比較した。

(3) 実験結果と考察

日本化薬社製の IC 雷管の 9 段を用いて、図-6 の外周孔に用いて発破を実施した。装填方法は、基本的に図-7に示す逆起爆方式で実施した。なお部分的に IC 雷管の脚線長の関係から、先に 1～2 本の爆薬を装填した後に、IC 雷管付きの親ダイを装填する方法で起爆したが、殉爆性の問題は生じなかった。

図-9に通常マーキングによる IC 雷管と普通雷管による各 2 発破ののみ跡率及び、周辺孔間隔を正確にマーキングした IC 雷管 2 発破と普通雷管 3 発破ののみ跡率を示す。各孔ののみ跡率は 50～100% であり、一部左肩部の 4～8 区間が節理により崩落し、低い値となっているものの、ほとんど同様な傾向を示している。ただし、この中で正確にマーキングした IC 雷管がやや良好な傾向を示している。

各条件での余掘厚について、各断面をトンネル周方向に 3° ピッチで計測した結果を図-10～13に示す。

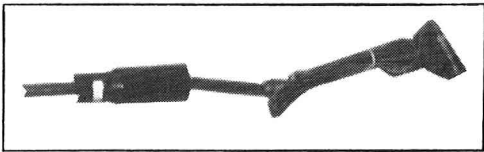


写真-1 IC 雷管

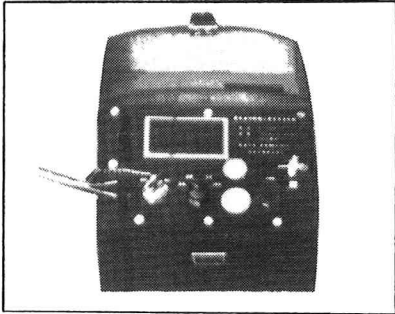


写真-2 IC 雷管用発破器

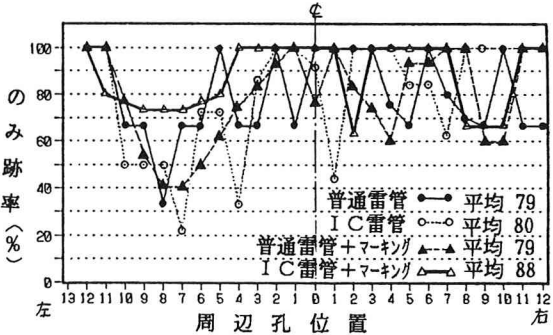


図-9 発破条件別各孔平均ののみ跡率

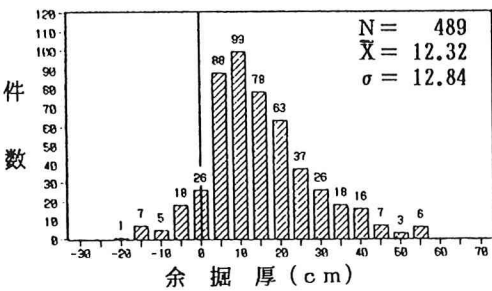


図-10 普通雷管使用時の余掘厚

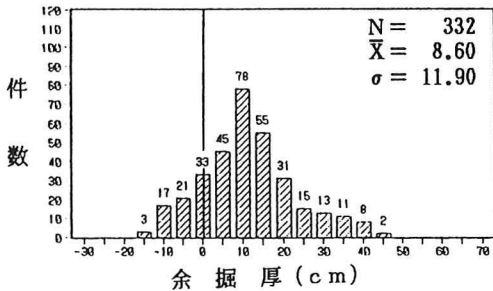


図-12 IC 雷管使用時の余掘厚

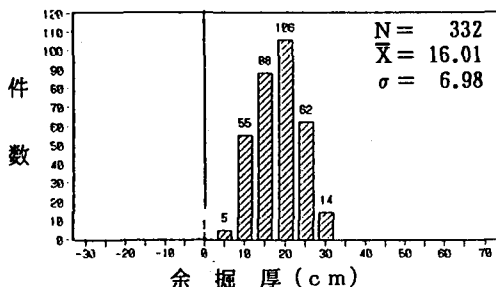


図-13 普通雷管+正確なマーキング時の余掘厚

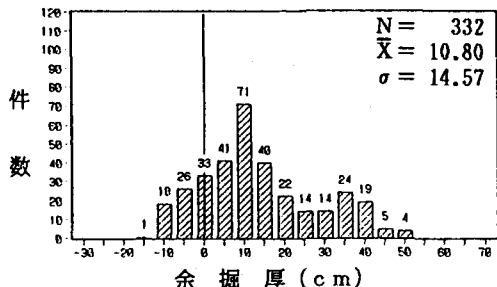


図-14 IC雷管+正確なマーキング時の余掘厚

平均値は 8.60～16.01 cm、標準偏差は 6.98～14.57とばらついているが、のみ跡率はほぼ等しいことから、余掘厚については、削孔位置やさし角等の削孔精度に左右された結果と考えられる。

このように今回の実験は、普通雷管を用いてもSB効果が発揮される地山条件でのものであり、当初考えていたようにIC雷管の効果は確認できなかった。しかし、IC雷管を実際の現場に適用することで、実用上の問題が明らかになったものもあり、今後はさらに研究を進めていきたいと考えている。

4. まとめ

本研究は、硬岩地山において、実際の施工現場で実験を行い、SBの体積デカップリング効果とIC雷管の使用について論じたものである。

本研究の結果は以下のようにまとめられる。

- (1) 削孔径φ42mmの周辺孔にφ25mm、φ35mmのエマルジョン爆薬を用いて、第1段階のSB効果について検討した結果、φ25mmおよびφ35mmの爆薬径においてもSB効果が得られることが明らかになった。
- (2) IC雷管を実際の現場の掘削サイクルの中で、通常の起爆方法を用いて行ったが、掘削サイクルに支障なく、通常の発破と同様に実施できることが確認された。
- (3) IC雷管と普通雷管について、現場で通常おこなっている発破と周辺孔間隔を正確にマーキングした発破のSB効果について検討した。この結果、本実験の地山条件ではいずれものみ跡については著しい効果の差は見られなかった。

なお、本研究の実験を実施するにあたり、日本道路公団大阪建設局姫路工事事務所・三重県・間組八鬼山作業所 矢木喜代一所長、大沼哲也氏・書写山トンネル作業所 松岡祐史所長、足立論主任、浅野雅史氏・日本化薬 小幡益広氏、大石淳三氏 中島清次氏には多大な協力を戴いた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 中川浩二・古川浩平・鈴木宏平・吉見憲一：削孔ロボットを用いた硬岩トンネルのスムーズブラスティングに関する研究，土木学会論文集，第367号/VI-4, pp. 30-39, 1986年3月。
- 2) 中川浩二・古川浩平・吉見憲一：硬岩トンネルの周縁孔発破に関する考え方，工業火薬学会誌，Vol. 48 No. 6, pp. 346-354, 1986年11, 12月
- 3) 佐々宏一・南光宣和・中野雅司・三沢清扶・空地公二：スラリー爆薬によるスムーズブラスティング 日本鉱業学会誌，pp. 5-8, 昭和54年
- 4) Bert-Olof Svanhlof 他：Smooth Blasting for reliable underground openings, Rock Store '77, Vol. 3, 1977
- 5) 中野雅司 他：工業火薬協会研究発表会講演要旨集，昭和53年10月
- 6) 日本トンネル技術協会：トンネル爆破技術指針，pp. 118-120, 昭和57年2月