

(58) 盤下げ発破における発破効果に関する一考察

榑青木建設	田中尚史
榑青木建設 正会員	塩月隆久
榑青木建設 正会員	坂本浩之
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

A STUDY OF AN EFFECT OF LOOSE BLASTING

Naofumi TANAKA, Aoki Corporation Co., Ltd.
Takahisa SIOTSUKI, Aoki Corporation Co., Ltd.
Hiroyuki SAKAMOTO, Aoki Corporation Co., Ltd.
Kohei FURUKAWA, Yamaguchi University
Koji NAKAGAWA, Yamaguchi University

Abstract

Bench-cut-blasting is usually used in land formations due to the possibility of extensive hard rock excavations. In some situations, however, loose blasting is required in stead of bench-cut-blasting, because of blasting vibrations and sound near residential areas. This method of loose blasting consists of two parts; First, loosening hard rock by primary blasting before excavation; Second, excavating with equipment after the blasting. Therefore, it's important to discuss the relationship between the effects of loose blasting and the use of equipment. In this paper, we describe a study of an effect of loose blasting, which was applied to an extensive hard rock excavation site with satisfactory result.

1. まえがき

近年、大都市近郊での大規模岩盤掘削工事が増加している。この大規模岩盤掘削においては、発破を用いたベンチカット工法が最も経済的かつ能率面でも優れているのは周知の事実である。しかしこの発破は一般に振動や騒音が大きく、近くに民家や重要構造物がある場合、振動や騒音の問題でベンチカット発破が使用できないこともある。

このような場合によく用いられるのが、盤下げ発破¹⁾ (ゆるめ発破、予備発破などと呼ばれる場合もある) であり、発破による岩盤のゆるめを行った後、重機によりリップピングを行う工法である。盤下げ発破は岩盤内にクラックを生じさせるのが目的であり、ベンチカット発破に比べ振動や騒音がかなり小さくてすむ。しかも近年の重機の急速な進歩とあいまって、本工法の有効性は飛躍的に大きくなりつつあり、その使用例も増加している。

このように盤下げ発破を大規模岩盤掘削に適用した例は多いが、この工法に関する各種のデータはほとんど公表されていないのが実情である。この工法を効果的に利用する場合に必要なのは、盤下げ発破の発破効果と重機の利用との役割分担をどのようにすればよいかということであろう。本研究はこのような観点から大規模岩盤掘削における盤下げ発破における発破効果を現場実験を基に論じたものである。

2. 実験現場及び計測の概要

現場実験を行ったのは、A社のニュータウン工事現場である。ここは山岳地に大型ニュータウンを建設する現場であり、留層群大月累層と呼ばれる火山礫凝灰岩や同じく中新統の西桂層群と呼ばれる泥岩、礫岩が分布し、切土量は土砂112万 m^3 、軟岩53万 m^3 、中硬岩147万 m^3 、硬岩267万 m^3 で、軟岩、中硬岩、硬岩が80%を

占めている。

この現場近くを国道、JR線が通り、民家も近くにあるため、民家、道路、鉄道から離れている場所では5mのベンチカット発破を行っていたが、民家に接近した地点ではベンチカット工法では振動許容値を満足させることができなくなり、深さ3mの盤下げ発破工法へ変更した。この盤下げ工法による掘削をより合理的に行うため、実験を行った。実験を行った岩種は火山礫凝灰岩で、実験中は目視による限りほぼ同じ状態であった。実験は削孔ピッチ、薬量を変化させて計9回行った。

現場実験における計測項目を表-1に示す。計測内容を大きく分けると次のようになる。

- a. 発破前後の岩盤の弾性波速度
- b. 削孔ピッチ、のみ下がり、削孔長
- c. 発破振動測定、発破時のビデオ撮影
- d. リッピング、ドーピングの重機運行に関するもの
- e. 径が1m以上の大塊の個数、出来高測量

表-1 計測項目

①	発破前弾性波速度	⑩	リフトシリンダーのストローク
②	発破後弾性波速度	⑪	チルトシリンダーのストローク
③	削孔ピッチ	⑫	リフトのヘッド圧
④	のみ下がり	⑬	チルトのヘッド圧
⑤	サイクルタイム	⑭	ポンプメインリリーフ圧
⑥	発破振動	⑮	車体の上下振動
⑦	発破時のビデオ撮影	⑯	燃料消費量
⑧	リッピング・ドーピング時間	⑰	大塊個数
⑨	エンジン回転数	⑱	出来高測量

3. 現場実験の結果および考察

実験においては孔当り薬量を3種、削孔ピッチを4種変化させた。これらの全ケースを行うには実験ピットが小さく、また多大な時間と経費が必要なることから、まず薬量が同一で削孔ピッチを変化させて実験を行い、その結果を見て以後の実験ケースを決めることとした。削孔長は3mで、爆薬はANFOを用い、プースターには3号桐100gを用いている。また発破振動をなるべく小さくするため、1~20段のDS雷管で各段1孔のみを用い、波の重畳を避けた。2. で述べたようにこれらの実験に際して、数多くの計測を行ったが、これらの結果の一部を表-2に示す。

3-1 実験の経過

実験に使用できるピットは9ピットと限定されたため、まず薬量を同一（孔当り1.975kg）にして削孔ピッチを3種（1.8m, 2.0m, 2.2m）変化させた実験を行った。これを実験A, B, Cとする。削孔ピッチ1.8mの実験Aの大塊数が少なかったため、確認のため再度同じ薬量、ピッチで実験を行った（実験A'）。その後ピッチは1.8mで薬量を変化させた実験D, Eを行った。実験A, B, CでAの大塊数が最も少なかったため、これと同じ薬量でピッチを小さくし、 m^3 当り薬量を大きくした実験Fを行った。さらに孔当り薬量を2.35kgとし、ピッチを2.0, 1.8mとした実験G, Hを行った。

表-2 計測結果

	A	B	C	A'	D	E	F	G	H
削孔ピッチ (m)	1.8	2.0	2.2	1.8	1.8	1.8	1.8	2.0	1.8
薬量 (kg)	1.975	1.975	1.975	1.975	1.600	2.350	1.975	2.350	2.350
大塊数 (個)	84	216	238	81	90	162	198	148	372
掘削量 (m^3)	1617	1574	1415	1806	1752	1698	1567	1658	1781
発破前速度 (m/s)	1760	1771	1944	1410	2135	1160	1931	1697	1730
上層の平均層圧(m/s)	1.86	1.69	0.96	2.42	1.18	1.70	1.86	1.39	1.78
発破後速度 (m/s)	780	675	949	530	740	495	599	563	614

3-2 原地盤の状況

どのような発破であれ、まず原地盤の状況を把握する必要がある。本研究ではそのため、発破前の弾性波速度とのみ下がり測定した。発破前の弾性波速度の測定結果を見ると次のことがわかった。まず第1に実験した各ピットは明らかに2層地盤となっている。これは前回の盤下げ発破で、実験ピット上部はかなりゆるめられていることを意味する。2層地盤と考えた場合の上層の平均層厚は1.2~1.8m程度で、今回の盤下げ3mのほぼ半分は発破以前に既にゆるめられている地盤と考えることができる。第2に、測定は実験ピットを対角線状に2割線をとって行ったが、その両者でかなり値が異なっている。その原因は明かでないが、既に述べた前回の盤下げ発破の影響や岩盤の節理方向などが関与しているものと考えられる。表-2に示す発破前速度は1, 2層の平均層厚を考慮して弾性波速度を求めた結果である。この発破前弾性波速度と各種の発破効果との関係は余り見られない。例えば、発破前速度と最大K値との関係を図-1に示す。図から明かなようにほとんど相関はない。

これに対して、第2層の弾性波速度と最大K値の関係を図-2に示す。明らかに両者には相関が見られる。第1層は実験ピットの上の層の盤下げ発破でゆるんでいるが、第2層は余りゆるんでいないため、地盤の弾性波速度とK値との相関が見られたものと考えられる。発破前の弾性波速度を計測するには多大な労力と経費がかかるが、本研究の結果を見ても分かるように、その割に得るものが少ないと考えられる。図-2に示したような手法で、発破によりある程度岩盤の状況を把握することが、経費的にも時間的にも有効なものと考えられる。

のみ下がりについては削孔機毎に係員がついてストップウォッチでのみ下がり計測したが、同じ岩盤でも用いた機種により、またオペレーターにより値が大きく異なっていた。また、のみ下がりと上述の発破前弾性波速度との相関も認められず、のみ下がりでは岩盤の状況を判定するには、同じ削孔機、同じオペレーターを用いる、といった特殊な条件をつけない限り難しいものと考えられる。

3-3 実験結果と考察

すでに表-1で示したように、実験に際しては数多くの計測を行ったが、まずその中で最も信頼性が高いと思われるデータを用いて結果の解析を行う。発破結果として最も簡単にかつ正確に測定できるものは径が1m以上の大塊数である。本研究ではこれと出来高測定の結果を用いて、100m³当りの大塊数として考察する。またリッピング、ドーピングに際しては、

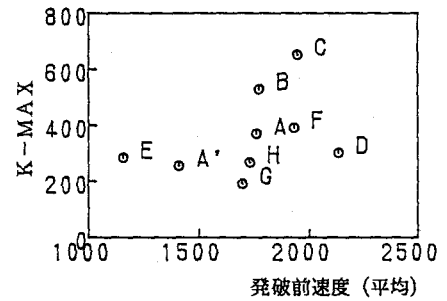


図-1 発破前平均弾性波速度と最大K値との関係

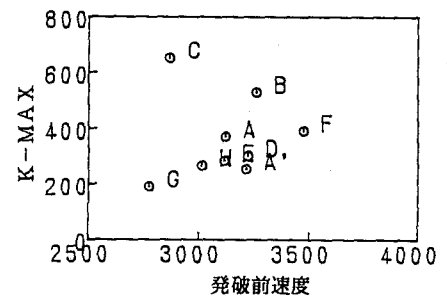


図-2 発破前第2層弾性波速度と最大K値との関係

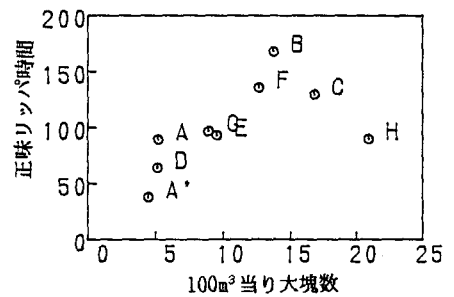


図-3 100m³当り大塊数と正味リッパ時間との関係

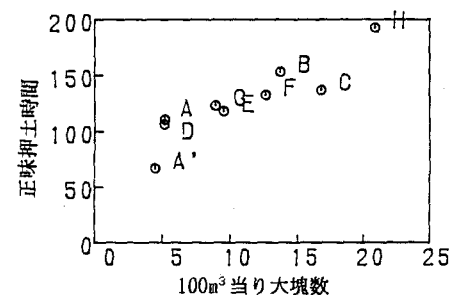


図-4 100m³当り大塊数と正味押土時間との関係

95トン級ブルドーザに各種センサーを取り付け、表-1の⑧～⑮のデータを採取している。これらのデータから各実験毎に正味リッパ時間および正味押土時間を求めた。図-3,4に示すのは100 m^3 当り大塊数を横軸に、正味リッパ時間と正味押土時間を縦軸にとった相関図である。明らかに100 m^3 当り大塊数と正味リッパ、押土時間とは明確な相関関係にあることが分かる。正味リッパ、押土時間以外の時間をも加えた重機作動時間と100 m^3 当りの大塊数との関係を図-5に示す。同様に100 m^3 当りの燃料消費量と100 m^3 当りの大塊数との関係を図-6に示す。いずれも明確な相関関係を示し、重機使用を含めた発破効果は100 m^3 当りの大塊数を用いれば、容易でまた確実に判定できることが分かる。

では、100 m^3 当り大塊数を小さくするような発破をするには、どのようなことを考えればよいであろうか。図-7は100 m^3 当り大塊数を縦軸に、単位当り薬量を横軸にとり、両者の関係を求めた図である。図-7は100 m^3 当り大塊数を最小にする最適な薬量が存在することを示唆している。これと類似した結果は他の現場でも報告されているが、これが正しいかどうかはいまだはっきりしない。このことを検証するため、後日同じ現場の別の場所で実験を行った結果を図-8に示す。この図には図-7のような最適な薬量の存在は見られない。しかしいづれにしても盤下げ発破においては、振動や騒音の許容値との関係から大きな薬量を使用することは不可能で、破砕効果と振動許容値との関係から最適な薬量が決まるものと考えられる。

図-9に削孔ピッチと100 m^3 当り大塊数との関係を示す。この図からも最適ピッチの存在あるいはピッチを小さくすれば大塊数が小さくなることが示唆される。ピッチが小さくなれば大塊数が少なくなることは納得できる結果であるが、実験EとHは同じピッチ、薬量の発破にもかかわらず大塊数が大きく異なり、原地盤の状況、節理などにより発破効果は異なるものと考えられ、この点をいかに事前に把握するかが問題である。

3-4 発破後の状況

発破後の弾性波速度の値はすでに表-2に示した。発破後弾性波速度と重機作動時間との関係を図-10に、発破後速度と100 m^3 当りの大塊数との関係を図-11に示す。いずれも余り相関は認められず、また発破前速度と同様発破後速度も実験ピットの2測線の値がかなり異なり、節理や発破の効き具合が反映されているものと考えられる。このように発破後の岩盤のゆるめられている程度を簡単にかつ正確に把握することは難しいと考えられる。

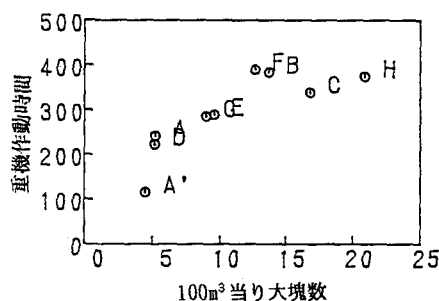


図-5 100 m^3 当り大塊数と重機作動時間との関係

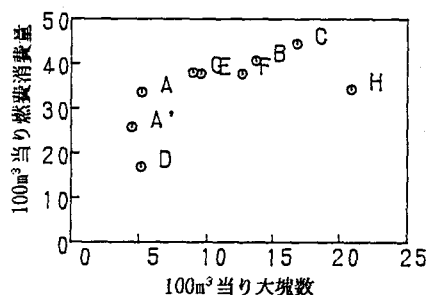


図-6 100 m^3 当り大塊数と100 m^3 当り燃料消費量との関係

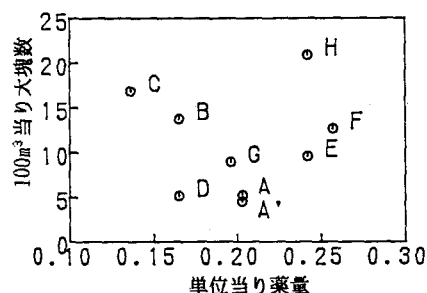


図-7 単位当り薬量と100 m^3 当り大塊数との関係

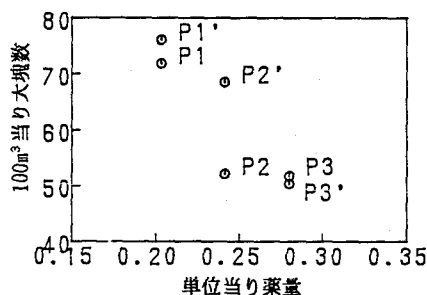


図-8 単位当り薬量と100 m^3 当り大塊数との関係

また、今回の実験では測定を行っていないのでデータとして示せないが、リッピングしている間の状況を見ると、ピットの上層部から大塊が多く出現し、下層では少なかった。このことは上層部は発破前にすでになりにゆるんでいたため、下層で打った発破が上層に及んだ時、その破壊力が逃げ、大塊が多く残ったのではないかと考えられる。これを防ぐ発破の工夫も含めさらに検討が必要である。

3-5 コストの比較

盤下げ発破は振動や騒音上の制約のため行われることが多く、当然各種のコスト増になることが考えられる。そこで5mのベンチカット発破と3mの盤下げ発破のコスト比較を行った。その結果を表-3に示す。用いたデータは当現場の各々3ヶ月分の実績値である。ここでは5mのベンチカット発破コストを100として示している。発破原価については3m盤下げ発破は5mベンチカット発破に比べ1.25倍程度だが、リッピングやドーピングに必要な重機の経費および小割りにかかる経費が大きく、全体では約1.9倍となる。一般に無発破で岩盤を掘削する費用は発破の5～10倍と言われており、これに比べると盤下げ発破の有効性は明らかである。

4. あとがき

本研究は、振動、騒音などの規制の関係でベンチカット発破が行えない場合の低公害工法として用いられる盤下げ発破について、現場実験を基に考察を行ったものである。本研究で盤下げ発破の発破効果は大塊数で判定でき、大塊数が少なくなる発破を行えば効率的であることを明らかにした。大塊数が少なくなるためには、最適な削孔ピッチ、 m^3 当り薬量の存在が示唆されたが、これらについてはさらに詳しい検討が必要と考えている。また、事前の地盤の調査法についても種々検討を行ったが、今回の掘削岩盤の上層の掘削時の発破の影響もあり、これらを考慮に入れていかに合理的な発破を行うかの検討が必要と考えられる。今後、さらに現場実験や計測などを行い、より合理的な工法として確立したいと考えている。

本研究の計測を行うにあたり、新キャタピラー三菱機の永田隆、斎藤敏行氏をはじめSSセンターの方々の助力を得た。また、計測結果の解析には山口大学工学部の中尾絵理子教務員および建設工学科学学生野田誠氏の助けを得た。記して謝意を表す。

参考文献 1) 佐々宏一：予備発破を利用する岩盤掘削法について、石灰石、No.186, pp.26-30, 1980年。

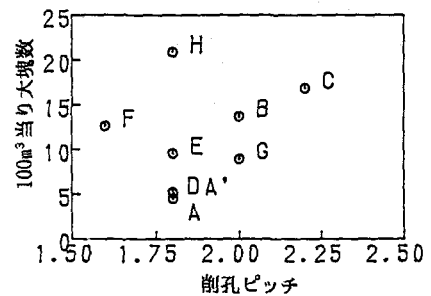


図-9 削孔ピッチと100 m^3 当り大塊数との関係

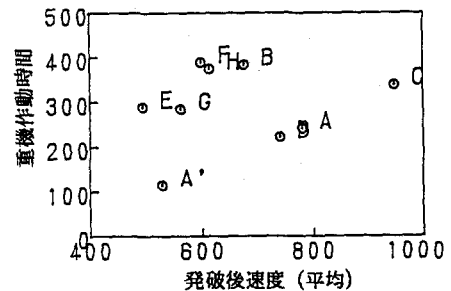


図-10 発破後弾性波速度と重機作動時間との関係

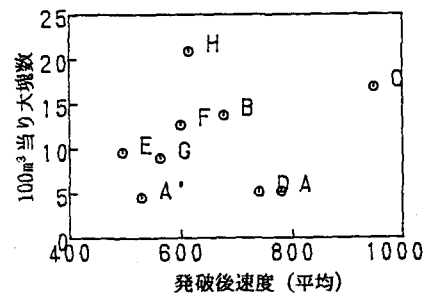


図-11 発破後弾性波速度と100 m^3 当り大塊数との関係

表-3 コスト比較

	5mベンチ発破	3m盤下げ発破
発破コスト	77	96
切土コスト	13	52
二次破砕コスト	10	41
計	100	189