

(24) 重機を併用した岩盤掘削のための発破工法に関する研究

㈱青木建設 正会員 塩月隆久

㈱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

The Effectiveness of Loose Blasting and Deck-Charge Method

Takahisa SHIOTSUKI, Aoki Corporation Co., Ltd.
Hiroyuki SAKAMOTO, Aoki Corporation Co., Ltd.
Kohei FURUKAWA, Yamaguchi University
Koji NAKAGAWA, Yamaguchi University

Abstract

Sometimes loose blasting is preferred because of blasting vibration and airblast in residential area. In this report the effectiveness of loose blasting is studied in experimental work. The loose blasting technique is effective when the blasted rock mass contains small amount of large boulders. In usual loose blasting, near surface rock is partly cracked by previous blasting. The blasting effect of the following round is not good in this region and boulders are mainly produced here. In order to reduce the number of boulders, deck-charge method was tested and the cost performance was discussed.

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。大規模岩盤掘削においては、ベンチカット工法が最も経済的かつ能率的であることは周知の事実であるが、現場の近くに民家や重要構造物がある場合、振動や騒音のためにこの工法が使用できないことがある。このような場合によく用いられるのが盤下げ発破（予備発破、先行発破あるいはゆるめ発破とも言われる）工法である¹⁾²⁾³⁾。

しかしこの工法に関する各種のデータはほとんど公表されておらず、その施工性や経済性については不明な点が多い。特に、この工法を利用する場合に必要なのは、重機を効果的に使用するために、どのような発破をどの程度行えばよいかということであろう。筆者らはすでに現場でこの工法の実験を行った結果を報告しているが⁴⁾、まだ不明な点も残されている。本研究は現場実験を基にこれらの残された問題点について検討を行ったものである。

2. 実験現場および前回の実験結果の概要

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、都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。

この現場で重機を併用するための盤下げ発破に関する

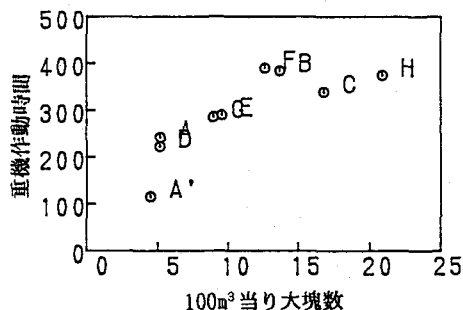


図-1 100 m^3 当り大塊数と重機作動時間との関係

る現場実験⁴⁾を行った結果、次のことが明らかになった。

- ① 盤下げ発破の発破効果は単位掘削量当りの大塊数で判定できる
- ② 大塊数が少なくなる発破を行えば効率的であり、そのためには最適な削孔ピッチ、薬量が存在する可能性がある
- ③ 大塊が出るのは主として掘削対象地盤の上層部分からである

前回の実験結果①は例えば図-1から明らかに示すことができる。図-1は前回の実験における各ケースを横軸に掘削100m³当り大塊数（径が1m以上のもの）、縦軸にリッピング、ドーピングを含む重機作動時間と取り表したものである。図中の記号A～Hに関しては前報⁴⁾を参照していただくと分かるが、実験ケース名である。この図より100m³当り大塊数が多くなれば、重機作動時間、すなわちコストが大きくなることは明かである。これより、重機を併用して岩盤掘削を行う場合の盤下げ発破の発破効果は単位掘削量当りの大塊数で判定できることがわかる。

3. 現場実験の結果および考察

3-1 最適薬量に関する検討

今回の実験は前回の実験の結果の②および③をより明らかにするために行ったものである。②に関する前回の実験結果を図-2に示す。この図より最適な単位薬量の存在が示唆される。この最適な薬量の存在の有無を確かめるために削孔ピッチを1.8mと一定とし、孔当り薬量を1.975kg, 2.35kg, 2.725kg (m³当り装薬量0.203, 0.241, 0.280kg/m³) の3種に変化させた実験を各2回合計6回行った。その結果を図-3に示す。P1, P2, P3の順に単位掘削量当りの薬量が多い実験である。この結果を見ると、最も破砕効率の良い薬量は明確には見出せず、薬量が多い方が大塊数が少なくなっている。図を見て分かるようにP1, P1'とP3, P3'は100m³当り大塊数がほぼ等しく、比較的安定した発破効果が得られていると言える。これに対してP2とP2'とは大塊数に大きな差があ

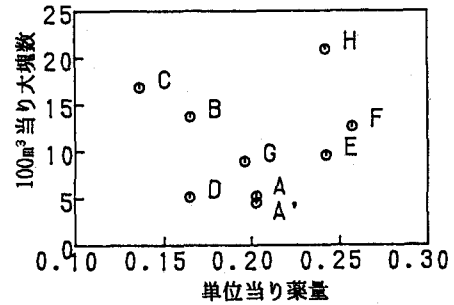


図-2 単位当り薬量と100m³当り大塊数との関係

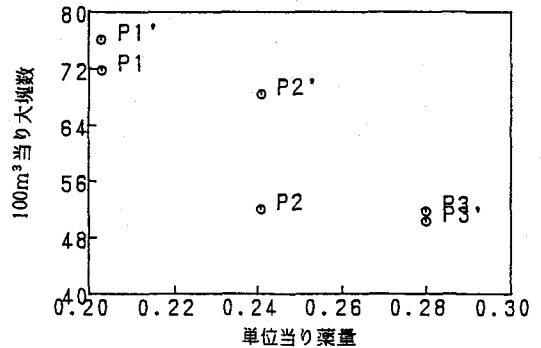


図-3 単位当り薬量と100m³当り大塊数との関係

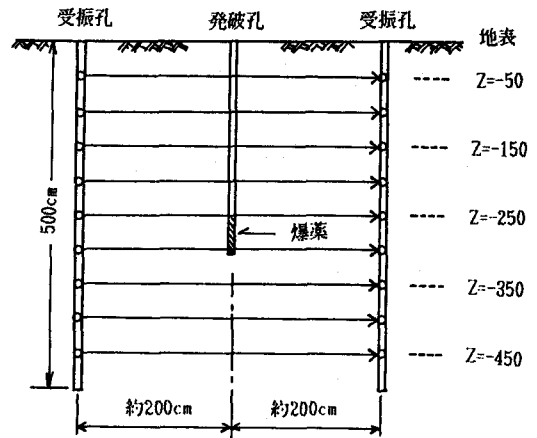


図-4 発破方法及び孔間弾性波測定のパラレル測線（垂直断面）

り、不安定な結果となっている。盤下げ発破は振動や騒音をなるべく小さくするために行う発破であり、これらの許容値との関係から大きな薬量を用いることは実際上不可能で、なるべく少ない薬量で効果的な発破を行う必要がある。これらのことを考え合わせると、この現場ではP2の薬量より少し多い薬量がほぼ最適な薬量ではないかと考えられる。

前回の現場実験の結果と合わせて、盤下げ発破においては、安定して大塊数が小さくなる程度の薬量を用いることが、重機との併用を考える上で最適と言える。

3-2 上層部における大塊に関する検討

次に、上層部から大塊が多く出ること何人かの重機の担当者やオペレーターからの意見であり、正しいものと考えられる。この検証は実際上非常に難しいが、これを明らかにするため発破前後の孔間弾性波速度の計測結果を基に考察する。これは発破孔中央部およびその周辺での盤下げ発破時の岩盤のゆるみがどの程度の範囲にわたって生じているかを明らかにするために測定を行ったものである。この発破方法や測定時の測線などを図-4に示す。発破に際してはこの現場での施工となるべく同じになるようにし、発破孔の削孔深さは3m、発破時の使用薬量は孔当たり100gの親ダイを含んで1.975kgとした。

図-5に発破源を横切る測線でのジオトモグラフィ測定結果を、図-6に発破源から0.8m離れた平行測線での測定結果を、図-7には別の発破の場合であるが、発破源から2m離れた測線での測定結果を示す。これらのケースはいずれも図-4に示すように地表から3mの位置で発破を行った結果である。

図-5の発破前の測定結果を見ると、発破前の上層1m程度はそれ以深に比べかなり弾性波速度が低い。すなわち発破を行う前に上層1m程度はすでにある程度ゆるんでいたことがわかる。また、発破前の値や発破後の深さ4.5mの値から原地盤の弾性波速度が4000m/s程度であり、それが発破により3000m/s程度にゆるめられていることも分かる。これらは地表から3mの深さで発破した結果であるが、爆薬のあった地点よりそれ以深の方が弾性波速度の低下が大きい。このことから、発破により掘削対象ではない3m以深の岩盤もかなりゆるめられてしまうことがわかる。

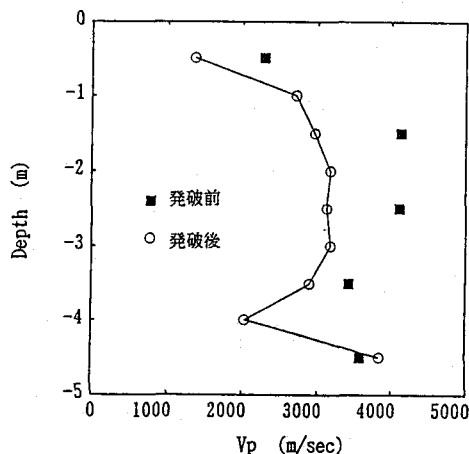


図-5 発破源を横切る測線での孔間弾性波測定結果

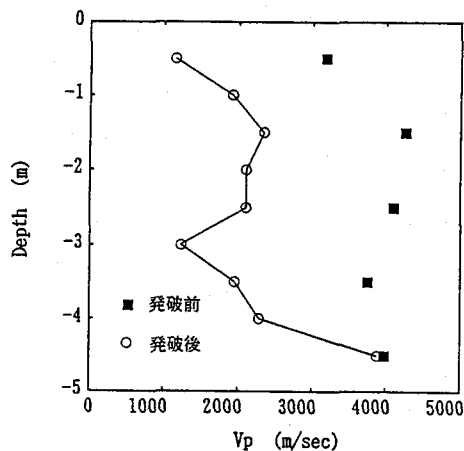


図-6 発破源から0.8m離れた測線での孔間弾性波測定結果

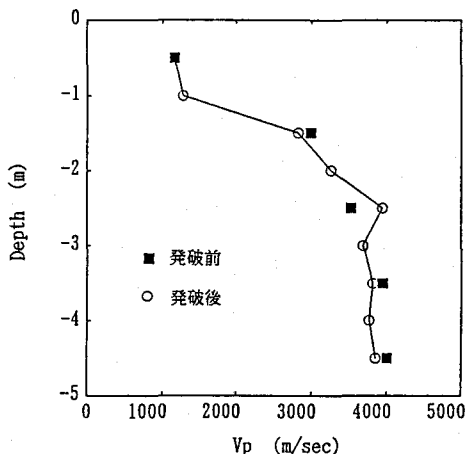


図-7 発破源から2m離れた測線での孔間弾性波測定結果

図-6についても、図-5と同様上層1m位は発破前にすでにゆるんでいたと考えられること、発破により大きくゆるめられる位置が図-5では-4m付近だったのが、-3m付近にまで上昇していることが分かる。両者の測線間の距離が0.8mということを考え合わせると、発破の影響はほぼ45°の線に沿って上方へ及んでいることも分かる。また図-7からも上層がすでにゆるんでいることと、この程度の薬量(1.975kg)では2m離れた場合、ほとんど影響がないことが分かる。このことは、地表から1m～1.5m程度は発破前にすでにゆるんでおり、先ほどの図-6の考察でもわかるように、3mの盤下げ発破が発破源から2m離れた地点で影響するのはほぼ地表付近の範囲のみであり、この範囲は発破以前にすでにゆるんでいるため、今回の発破の影響が余り大きく表れないのではないかと考えられる。これらのことより、すでにゆるんでいる部分への発破効果が小さいことが推定できる。

3-3 デッキ装薬に関する検討

このように主として下層部分に盤下げ発破の効果があり、上層部に効果が少なく、その結果上層部に大塊が残ることが明らかになった。そこでどのような発破を行えば上層部分も効率的に破砕できるか検討を行った。上層部分での破砕効果を大きくする工法の1つとして、エアギャップを設ける工法²⁾³⁾も提案されているが、岩種にかかわらず確実に上層部を破砕させるとすると、その部分でも発破を行う以外に効果的な方法を見出せなかったため、デッキ装薬発破を行うこととした。

図-3に示す結果と比べ易くするため、P2,P2'と同じ孔当り薬量(2.35kg)と削孔ピッチを用いて、図-8に示すデッキ装薬発破を行った。下層には2.05kg、上層には0.3kgの薬量を用いた。この薬量にはいずれも親ダイ0.1kgが含まれている(ケースR1)。この実験を行ったピットは図-3のピットと離れており、岩質が異なっている可能性があり、デッキ装薬の結果とも比べるため、従来と同じ装薬での発破も行った(ケースR2)。その結果はデッキ装薬、従来の装薬法による100m³当り大塊数は32個、44個となり、図-3の結果よりいずれも小さかった。これは実験ピットの岩質の差と考えられる。この両者の大塊数はデッキ装薬の方が3/4であり、デッキ装薬を行うことにより大塊数をかなり減少できるものと考えられる。

またこれらの実験における詳細なコスト比較を表-1に示す。表中ケースR1のみがデッキ装薬である。この数値はデッキ装薬のトータルコストを100とした比率で示している。表-1より明らかなように、トータル

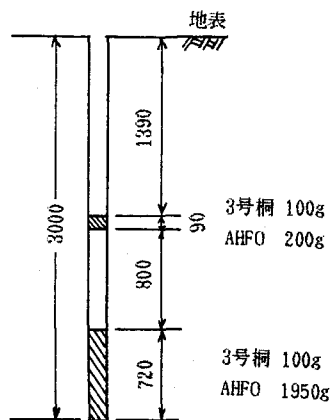


図-8 デッキ装薬の装薬状況

表-1 実験コスト比較

ピット名	発破コスト	D11コスト	2次破砕コスト	積込運搬コスト	TOTALコスト	100m ³ 当り大塊数
R1	43	14	10	33	100	32
R2	34	18	14	36	103	44
P1	33	26	23	39	121	72
P2	34	21	17	46	118	52
P3	36	21	17	38	112	52
P1'	33	26	25	39	123	76
P2'	34	21	22	38	115	68
P3'	36	18	16	34	104	50

コストはデッキ装薬のR1が最小であること、デッキ装薬は発破コストが他のものより高いが、重機や2次破碎、積込運搬コストが小さいことは明らかである。デッキ装薬による盤下げ発破は大塊数が最も少なく、このことから、前回の報告⁴⁾で明らかにした単位掘削量当りの大塊数でもって発破効果が簡単に判定できることがわかる。

このようにデッキ装薬を行うことによって、上層部の大塊がうまく破碎でき、大塊数を減少させられることが明らかとなった。しかし、デッキ装薬では雷管や親ダイが2倍必要なためそれらのコストは大きくなるのに加えて、装薬にかかる労務費も従来のやり方の1.5倍と見積つたため、高くなったものと考えられる。この点については標準工法の仕様を変更することでコスト低減は十分可能である。例えば、発破コストを従来の装薬方法の最高である36程度までに低減可能と考えれば、R1とR2の間ではトータルコストに約10%の差があるものと考えられ、かなりのコスト削減が期待できる。

図-9は表-1に示すトータルコストを縦軸に、大塊数を横軸にして描いたものである。100m³当りの大塊数とコストはほぼ線形の密接な関係にあることがわかる。岩質にかかわらず大塊数のかなりの部分はデッキ装薬により減少できること、デッキ装薬の発破コストは上述のようにまだまだ改善の余地があることを考え合わせると、重機を併用した岩盤掘削においては、デッキ装薬による盤下げ発破を行うことにより、トータルコストを大きく引き下げられる可能性のあることが分かる。

また重機の担当者やオペレーターの話では、デッキ装薬を行ったR1はリッピングやドージングが他のケースに比べ非常にやりやすかったということである。

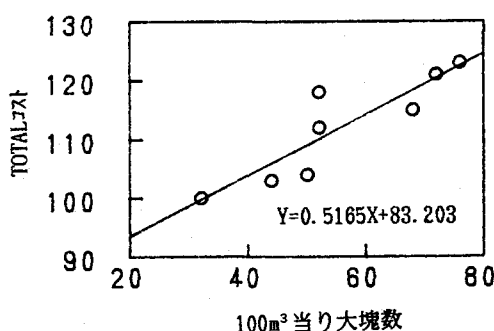


図-9 100m³当り大塊数とTOTALコストとの関係

4. あとがき

本研究の結果、重機を併用した岩盤掘削のための盤下げ発破においては、前回の盤下げ発破において地盤上層部がすでにゆるんでおり、そのためこの部分は発破効果が小さく、盤下げ発破によりうまく破碎できず、ここから大塊が発生することを明らかにした。それを防ぐにはデッキ装薬が有効であり、今後デッキ装薬の標準化によりコストの低減を行うことによって、重機を併用した岩盤掘削においては、盤下げ発破がより効果的に行えるものと考えられる。

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。
- 2) 和田満穂，坂野良一，村上孝，沖津敏洋：先行発破工法によるゆるめ発破とその結果，工業火薬協会誌，43巻，3号，pp.138-143，1982年。
- 3) 和田満穂，坂野良一，沖津敏洋，井上護輔：先行発破工法による岩盤ゆるめ効果とその評価法，石灰石，No.203，pp.47-57，1983年。
- 4) 田中尚史，塩月隆久，坂本浩之，古川浩平，中川浩二：盤下げ発破における発破効果に関する一考察，第22回岩盤力学に関するシンポジウム，pp.276-280，1990年2月。