

坑道発破の段発爆破について

鹿島建設 梅 田 貞 夫

1 緒 言

近年の土木工事においては施工の迅速性と安全、経済的な施工とは常に要求されることであり、そのため幾多の新技术の導入、可能なかぎりの機械化をもつてこれらの目的にそうべく努力されている。岩石の掘削の分野においても爆薬、火工品の進歩改良、削岩機の高性能化は従来の掘削工法を大きく変えるものであるが、わが国の特殊な地質構造、地形および工事の規模の点からすべてに大型の機械を用いた掘削工法を採用することは困難である。

坑道発破工法はこうした機械化された時代の趨勢と逆行した、主として人力にたよる掘削工法であるが、非常に急峻な地形でも施工可能であること、準備作業（坑道の掘削等）は他の作業に支障なく施工でき一度に大量の掘削が可能であること、一般に他の工法に比較して低コストであるという利点がある。しかしながら従来の方法では導爆線使用による点火方式をとる場合が多く、全薬量がほとんど同時に爆発するため爆破時の振動が大きくなり、得られた礫も大塊で積込機械の能力から二次発破の量が増加し、経済性を著しく減ずることとなる。またダムサイトのような基礎岩盤に少しの損傷もあたえてはならない場合には不適当である。原石山の場合でも背面の法の安定が困難となりその処理や安全施工の面で支障をきたすことが多い。

筆者はこうした坑道発破の欠点を解決するため各薬室ごとの段発爆破をおこない、同段で爆破する薬量を制限し、前段での爆破振動の継続時間後つぎの爆破がおこなわれてそれぞれの振動が重合するのを避ける方法を実施し、爆破時の振動の速度、加速度、振巾および薬量と振動の継続時間の関係を測定した。また旭化成に依頼し、標準延時秒時100~400msの特殊電気雷管を40段まで製作し、それぞれのバラツキ試験、経時変化の試験をおこない各薬室間の最適段差をいかにすべきかを求めた。

ここでは前島原石山における実験について報告するものとする。

2 前島における段発坑道発破の振動測定について

筆者は昭和37年4月、7月、12月の前後3回にわたり岡山県牛窓町前島原石山において爆破振動の測定をおこなった。この実験の主たる目的としては薬量の異なる各薬室からいろいろな距離にある測定点の振動様式、すなわち加速度、振巾、速度振巾、変位振巾を確かめると波動の周期、振動継続時間等を測定することである。測定は坑道内、土被りのない地表面、土被りのある地表面等と種々の条件を変えておこない、薬量、距離と振動振巾の関係を求めた。

1) 測定計器について

振動の測定は京都大学防災研究所吉川研究室に依頼し、種々の測定を行なった。

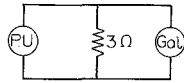
測定計器の選定の際にもつとも注意すべきことは予想される振動の振巾が非常に大きいことからPick-up, Galvanometer等が飽和しないように考慮することである。いま4月、7月、12月の実験をそれぞれ第1回、第2回、第3回と呼称すると、各実験時に使用した計器のBlock-Diagram はつぎに示す

通りである。

第 1 回 実験時

P.U E.T.L 14 ㊦

Gal 三栄 500 ㊦



P.U E.T.L 7 ㊦

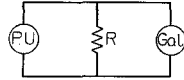
Gal 三栄 30 ㊦



第 2 回, 第 3 回 実験時

P.U N.E.C 100 ㊦

Gal 三栄 30 ㊦



ただし, 第 2 回 実験 測点 0. 1 2 3 の 場合 2 0 ㊦

測点 4 の 場合 3 ㊦

第 3 回 実験 測点 0. 5. 6 の 場合 2 0 ㊦

測点 1 2 3. 4 の 場合 3 ㊦

2) 距離, 薬量, 最大振巾の 関係

一般に距離, 薬量, 最大振巾の 関係はいろいろな実験式であたえられるが第 3 回 の 場合のように薬室に非常に近い測点を除くとこれらの 関係は一般に次式で表わされる。

$$A = C \frac{W^{3/4}}{d^2} \quad \text{ここで, } A; \text{振巾, } W; \text{薬量, } d; \text{距離, } C; \text{定数}$$

この実験式が当原石山において使用できるかどうかを第 1 回 の 爆破実験の際に同一薬量の場合の距離による振巾の変化から d の を定め, また A , d^2 と W の 関係から W の をきめた。ここで定数 C の値は測定点が地表面にあるか, あるいは坑内にあるかによつて異なり, また同じ地表面でも土被りの程度によつて変化する。さらに薬室の埋戻しの状況や, 薬室近傍の岩石の状態にも影響されることが知られた。これらについて各回ごとに以下に記述するものとする。

3) 第 1 回 爆破振動実験

薬室の位置, それぞれの薬室の薬量, 測定点の位置, 振巾の読取值および較正值等は図 - 1, および表 - 1, に示すとおりである。

P.U 1. 2. 3 は地表面にあり土被りはほとんどないものと推定される。P.U 5. 6. 7 は坑内にあるが坑道の掘られた場所は P 波速度 1.0 km/sec の軟岩である。この際の振動振巾としては計器の感度特性からして測定された周波数の部分では最大加速度振巾をとることが読取值より実振巾を較正する際もつとも誤差が少なくなるため, これと $W^{3/4}/d^2$ との 関係を求めて C の 値を算出すると, 地表の測点 1. 2. 3 に対しては 13×10^3 , 坑内の測点 4. 5. 6 に対しては 19×10^3 となつている。この場合振巾と $W^{3/4}/d^2$ の 関係が比較的あきらかであるのは, 各薬室より発射された弾性波が埋め戻しや, 薬室近辺の岩石の状態から受ける影響が大差なかつたものと考えられる。

4) 第 2 回 爆破振動実験

薬室の位置, それぞれの薬室の薬量, 測定点の位置, 最大振巾の読取值, 較正值等の表示は紙面の関係で割愛するが, 土被り数 m の地表面上に展開した測点においては薬室 6a, 8b, 13a, を除けば最大加速度振巾と $W^{3/4}/d^2$ の 関係は比較的直線関係にあり, この際の C の 値は 27×10^3 となつた。また坑内に設置した測点については C の 値は 13×10^3 となつている。6a, 8b, 13a についてはやりにかなり乱れており, これらは各薬室近傍の岩質の違いや, つぎつぎと爆破されてその薬室が爆破される直

前の自由面の状況、埋め戻しの状態によつて影響されたものと考えられる。

5) 第3回爆破振動実験

この回の実験では C の値はかなりのばらつきが見うけられる。すなわち第2回の場合と同様各薬室から発射される弾性波の割合がそれぞれの場合に前回と同様な理由で変化しているようである。これは各薬室の爆破の“重さ”を示すものと考えてさしつかえない。また薬室に非常に近い点では予想される最大振巾よりも小さいという事実は、この範囲ではまだ弾性波というよりもむしろ塑性変形をしている可能性もあるから、今後の研究結果に待つべきであろう。

6) 弾性波探査

当原石山の地表面上から、弾性波探査で各層の P 波速度およびその深さを求めた。その結果土被りは場所によつて異なるが略数 m でその P 波速度は $0.7 \sim 1.0 \text{ km/sec}$ であり、その下層は花崗岩で P 波速度は $4.2 \sim 4.6 \text{ km/sec}$ であつた。また第2回爆破実験の直前に、実際に爆破される場所の坑道で岩石の P 波および S 波の伝播速度を求めた結果は、それぞれ 4.3 km/sec 、 2.0 km/sec であつた。この数値から求めたポアソン比 σ は 0.36 となつた。

7) 装薬量と振動継続時間

振動継続時間として振動の揺れははじめから変位振巾が 5μ 以下になる時間をとると、当原石山の実験では一般に $100 \sim 400 \text{ ms}$ 程度であつた。これは装薬量の大小や $P.U$ の設置場所および爆源からの距離によつて同じ装薬量の場合でも異なつた結果が得られているが一般に 500 Kg 以下の装薬量の場合では 200 ms 以下、 $500 \sim 1,000 \text{ Kg}$ で $200 \sim 400 \text{ ms}$ 程度、 $1,000 \sim 1,500 \text{ Kg}$ で $400 \sim 600 \text{ ms}$ 程度を考えればよいようである。

3. 結 語

以上前島での実験結果について報告したが当実験により確認したことを列挙すると

- ① 測定された最大振巾は薬室からの距離、薬量、測定場所によつて異なるがその関係は次式で表わされる。

$$A \approx C \frac{W^{3/4}}{d^2} \quad A: \text{最大加速度振巾 } \text{cm/sec}^2, W: \text{薬量 } \text{Kg}, d: \text{距離 } m, C: \text{常数}$$

上式の C の値は測定場所の条件によつて変化し、薬室の自由面の状況と薬量および薬室近辺の岩質等によつて異なる。

- ② 最大振巾の周期は多少の変動があるが 0.02 sec 、周波数は約 50 サイクルである。

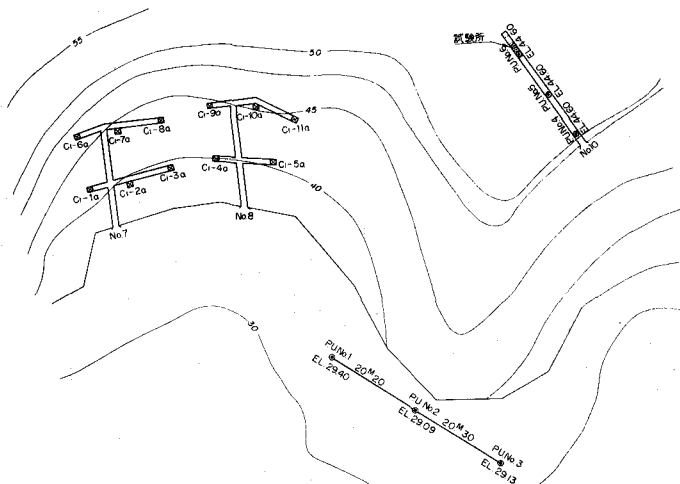
- ③ 振動継続時間は7)で述べたように大体 $100 \text{ Kg} \sim 1,000 \text{ Kg}$ で $100 \sim 400 \text{ ms}$ 程度である。

前にも述べたごとく何分にも中間報告であり今後の研究に待つことが多く坑道発破の一薬室当りの装薬量すなわち同段の薬量を規制して発生する最大加速度振巾をいくらの値に押えるべきか、坑道発破基盤と仕上岩盤のクツシヨン部を何 m にとるか、また段差をいくらのとるのが適当であるかを現段階で結論づけることはできない。しかしながら爆破点近傍の地山の比抵抗を爆破の前後に測定することによつて、また地下構造物の動的現象を電氣的にとらえることによつて爆破によるクラックの発生状態を知り、その場の地質、施工条件に応じた装薬量と最大加速度振巾の上限を定めることが可能と

なるであろう。また最適段差の問題は現在使用している特殊電気雷管の標準延時秒時に対するバラツキを考慮し（各段の標準延時秒時と抜取試験結果は表-2参照）各段の振動の重合を完全に避けるためには一般に装薬量500kg未満で200ms、500~1,000kgで400ms、1,000kg以上で600msとすることがよいと考えられる。また薬室が奥行2~3列配置された場合は前後列の薬室の段差は1,200ms以上離すのが爆破効果上良好であることが奥只見ダムの原石山における経験より知られている。さらに薬量の制限とは別に最小抵抗線長は10mまでとし、薬室間隔を殉破のおこるのを避けて最小抵抗線と等しくとり、延時秒時が200~600msであることから礮を小割にする“MS的效果”が失なわれても二次発破の量が大とならぬようにするべきである。

筆者は今後機会あるたびに実験を続け残された問題について説明を急ぐ所存であるが、従来種々御指導を賜わり、今後の指査をいただいている京都大学吉住、吉川教授、若園助教、鹿島建設佐藤博士に衷心より感謝するものである。

図-1



Introduction of Delayed Blasting Method to Coyote Blasting

Sadao UMEDA, Kajima Construction Co., Ltd.

This paper deals with the nature of blasting vibrations of the rock in-situ when the delayed blasting method is introduced to the coyote blasting. The description is based on the records taken by the author and his associates at Maejima Quarry, Okayama Prefecture, Japan, for three times around 1962.

The conventional method of coyote blasting is mostly to employ a primer cord as a portfire and to set off the whole charge of explosives instantaneously. In spite of its merit of being applicable to a highly steep terrane and generally being economical, the above method is often prohibited in such a case as a damsite where not any degree of disturbance in the foundation rock is permitted, because it usually induces a severe vibration in the rock in-situ and produces blasted muck of excessively large size.

Through the experiments at Maejima Quarry, the author and his associates took records of modes, periods and duration and so far of vibration at a number of measuring stations located at various distance from blasting chambers charged with varied amount of explosive, and tried to find an approach to a design of the coyote blasting that will eliminate demerits of the conventional method as aforementioned. Although there are many points to be solved by further research, this paper is presented as an interim report.