

矢作アーチダムの基礎岩盤掘削における爆破振動測定

鹿島建設株式会社 佐藤忠五郎・雑喉 謙・○梅田貞夫・松井正州・井保武寿

1. 緒 言

ダム掘削時における発破の振動が、ダム基礎岩盤、とくにアーチダムの基礎岩盤に及ぼす影響については、従来その測定例が報告されたこともあるが、発破の振動は発破方法（瞬発と段発、各段における最小抵抗線、孔数、孔間隔、発破域の大きさおよび装薬量等）や現場の地質的条件等によって種々の差があり、したがってダム基礎岩盤に対して損傷のない発破のかけ方を考察し、装薬量を規制しようとする場合にはその現場において適宜振動測定を行ない、その結果で判断する必要がある。矢作アーチダムにおいては、左岸掘削の際に、これを判断して発破規模を決めるために、装薬孔の至近距離に特別に製作した加速度計を地中に埋設する等の測定法をとり、また測定回数を増して統計的判断を行ない誤差を少なくするために、一連の発破を系統的に7回測定した。今回の発破振動の測定より、アーチダム基礎岩盤に対して発破振動の危害を及ぼさない発破規模が判断されたが、これらの経緯やその他に考察された岩盤の破砕する限界振動値等について述べる。

2. 測定地点と観測装置

測定箇所は左岸 E L 260~270m 盤ベンチで、その一例を図-1に示す。至近点での測定のため埋め殺さねばならなかった加速度計はこの実験のために、特に製作したものである。この地中設置にあたっては、クローラドリルにて穿孔した75mm径の孔底に若干モルタルを敷いて、その上に受震器を設置し、その上部にモルタルを挿入して固め岩中に固定した。なお、使用した測定器械の主要なものは、つぎのとおりである。

加速度計：国際機械振動研究所製、チタン酸バリウム内蔵型、

共振周波数 600 c.p.s

増巾器：6 L 2 P, E-0290

速度計：NEC製、VP-425 共振周波数 24 c.p.s

電磁オシログラフ：加速度計用MR-102A, 速度計用MR-101A

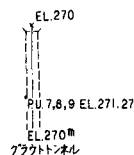
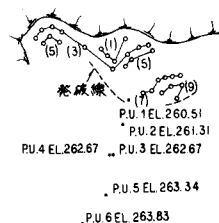


図-1 穿孔・受震点配置図

また、使用爆薬は表-1に示すとおり、ANFO爆薬および粒状TNT爆薬であったが、同時に実施した爆速測定の結果では、それぞれ3440~3690m/s, 3900~4360m/sであった。今回使用した粒状TNT爆薬は、長野ダムにおける実験値に比較し、全般的に低爆速であったが、これは含水量が大きいことに起因すると思われる。なお、発破孔の径は75mmであった。

3. 測定結果および考察

測定された各点での初動振巾、最大振巾および装薬量は表-1に示すとおりである。これによれば

表 1-1 彈性波測定數值表 (〔 〕 内は換算値)

[illegible]

EL270 m 盤横坑内（横坑口より 5 m）測定の 3 成分観測結果は、最大振巾が 0.3～0.5 kine であり、最も震源が近くて振巾も大きかった 11 月 25 日の結果でも、1.3 kine にしか達していない。この数値は建物に対する許容値（10 kine 程度）と比較しても、相当下まわっており、普通岩盤にクラックの入り始める値とされている 30 kine 以上の数値には、はるかに及ばない。したがってダム基礎岩盤面から今回の発破程度の距離をおき、今回程度の装薬量、穿孔配置で段発発破を行なう限り、ダム基礎岩盤に対する発破振動の危害はほとんどないといってよい。

しかし、工事の進捗につれて、発破域が基礎岩盤に近づくので、どの程度の距離までこのようなベンチカット発破を実施できるかについて考えねばならない。

そこで、岩盤破碎限界振動値について考察することとし、本実験の各回の発破ごとに、ベンチ面に現われた破碎線をスケッチしたが、その結果からみると、岩の状態がすでに前の発破によって内部的に少し破碎された部分では、10 G 程度の加速度でも破碎され、一方あまりクラックの入っていない状態の岩では 27 G 以上の加速度がかゝらないと破碎しなかった。しかし程度の差はあっても、いずれの場合でも多少はその前回の発破によって、クラックは入り始めているとみるのが妥当であり、したがって堅硬な岩を破碎するには、上述の値よりさらに大きい加速度を加えねばならぬはずである。長野ダムでは、岩種・岩質の差はあるにしても、破碎域は 50 G 以上という記録を得ている¹⁾。よって岩盤の破碎する限界加速度はつぎのように実験的に一応の目安としてよいものと思われる。

- | | |
|---------------------------|------|
| (1) すでにかなりクラックの入っている岩盤の場合 | 10 G |
| (2) あまりクラックの入っていない岩盤の場合 | 30 G |
| (3) 堅硬な岩盤の場合 | 50 G |

たゞ今回の場合、実測値が加速度であるので、一応加速度でとり扱ったが、加速度には振動の周波数の差が大ききいてくるので、これだけでみるよりも、速度振巾をも併考した方がよいと思われる。したがって、加速度振巾 10 G、27 G を速度振巾に換算すると、それぞれ 24 kine、35 kine となる。よって岩盤の破碎する限界振動を速度振巾でみれば、実験の目安として、次のごとく考えられる。

- | | |
|---------------------------|---------|
| (1) すでにかなりクラックの入っている岩盤の場合 | 25 kine |
| (2) あまりクラックの入っていない岩盤の場合 | 35 kine |

諸外国の実験結果でも、周辺の岩盤に危害の及び始める限界速度振巾は、いずれも 30 kine 程度となっているので、規制振巾は、この程度を考慮することにする。

ところで爆破振動の装薬量、距離、振巾の関係は次式により与えられる。すなわち、

$$A = C \frac{W^\beta}{r^\alpha}$$

A : 振動振巾 (速度振巾 kine)、 C : 係数
 W : 装薬量 (kg)、 r : 震源からの距離 (m)
 α : 2 内外、 β : 約 3/4

今回の測定結果を距離と速度振巾との関係でプロットすれば、 r の指数は 2.2～2.4 となっている。その一例を図-2 に示す。つぎに W の指数については、各段の波形が明瞭に分離できないものもあり、また各段の発破孔配

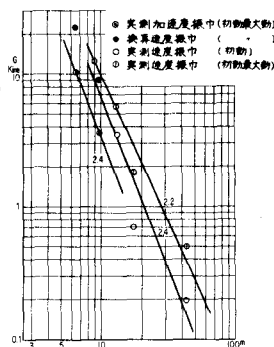


図-2 振巾と距離の関係

列もそれぞれ異なるので、測定結果からこれを実験的に求めるのは困難であるが、これまでの種々の資料から大体 $3/4$ の値から大きくはずれることはないと考えられるので、今回は W の指数は $3/4$ と考えることにする。

測定結果から上記の実験式を求めると、図-2の例では $A = 90W^{3/4}/r^{2.2}$ となっている。一般に係数 C は、発破のかけ方によって左右され、発破エネルギーのうち、どの程度までが弾性波に転換され、どの程度までが破壊に使用されたかを示すものである。爆破が適切にかゝった時は、 C は 100 前後の値になることも、実験的に知られている。今回の一連の実験から得られた C の値も、最大値で 100 であった。したがって安全率を考慮して、 $C=150$ 、 $\alpha=2.2$ 、 $\beta=3/4$ をとり、 $A=150W^{3/4}/r^{2.2}$ の式で規制装薬量を考えることとした。こうして、100kg 程度の装薬をかけられる範囲は、基礎岩盤からどれ程の距離かを考察すると、 $150 \times 100^{3/4}/r^{2.2} \leq 30$ から $r \geq 10\text{m}$ となる。したがって基礎岩盤から 10m の距離を一つの区切として考え、これ以遠では 1 段発あたり 100kg までは許容できるわけであるが、これまでの施工上の発破パターンも考慮のうえ、1 段発あたりの装薬量を 80kg 以下に規制することにした。また図-3 からもわかるように、1 段

発の振動継続時間は、30~40ms であるので、段差をこれ以上にすれば、前段の発破振動が重畳する恐れはないと考えられ、したがって段差を 60ms 以上とることとし、1 回の発破の最大装薬量を 400kg とした。

つぎに、基礎岩盤より 10m 以内においては、振動の影響が距離の 2 乗以上の逆数できいてくるため、極端に装薬量を減じていかねばならないが、実際の施工に際しては少量の装薬量では施工不能となる場合が多く、このため

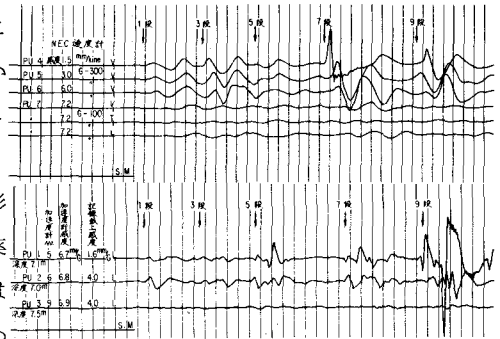


図-3 測定記録例

振巾規制を行なう線を、一次コンソリデーショングラフの最小範囲である基礎岩盤より 5m の深さにおくこととし、また掘削予定線より 3m 以内は、仕上げ掘削を行なう予定であるので、結局クローラドリの爆破計画としては、爆破点から 8m の位置における速度振巾を 30kine 以下に規制することとし、1 段発あたり最大装薬量を上式より計算すると、約 60kg となるので、基礎岩盤より 10~3m までは、これを規制量とした。3m 以内については、ジャックハンマーと手おこしによる掘削とした。

4. 結 言

以上のように、アーチダムサイトの基礎岩盤の掘削に際しては、爆破振動を測定し、合理的計画を立案すべきであり、当現場においては、(1) 掘削予定線より 10m 以遠は 1 段発あたり装薬量は 80kg まで (2) 10m~3m までは 1 段発あたり 60kg まで、(3) 3m 以内はジャックハンマー、手おこし掘削、等の規制をおこない好結果を得た。

最後に、この振動測定にあたり、種々の御指導と助言を賜った京都大学教授吉川宗治博士に深く感謝する。また測定に際し、御協力いただいた鹿島建設技術研究所・田村計氏に謝意を表する。

参考文献 ① 長野ダムベンチカット発破爆速および振動測定第 1 回報告書

MEASUREMENT OF BLASTING VIBRATION
IN BEDROCK EXCAVATION AT YAHAGI ARCH-DAM

Kajima Construction Co., Ltd.

Chūgorō Satō

Ken Zakō

Sadao Umeda

Masakuni Matsui

Takehisa Iho

A few reports have already been presented on the effects of ground vibration caused by blasting at dam site excavation to the bedrock of dams, especially of arch dams.

The nature of ground vibration by blasting varies widely with the geological condition of the site and the scheme of blasting such as delayed or non-delayed detonation, maximum burdens, the number and pitch of bored holes at each stage, the extent of blasted area and the quantity of explosive charge. Therefore, for determining a scheme of blasting and quantity of charge best to prevent injurious effects to the bedrock of a dam, it is essential to carry out appropriate tests to measure actual ground vibration at the site and judge from their results.

To make such judgement and to determine a scale of blasting most suitable to the site in case of the excavation at the left bank of Yahagi Dam, authors adopted a measuring scheme including use of specially designed accelorographs imbedded in the ground closely to charged holes. To eliminate errors, the test blasting was carried out systematically in seven series for a statistical judgment based on increased cases of measurements.

This paper will explain how the judgement to determine a scale and scheme of blasting giving no harm to the bedrock was led from the results of abovementioned tests and will further refer to the critical vibration for crushing of bedrock which was studied therein.