

# 雷管の起爆秒時誤差を考慮した発破振動評価

㈱フジタ 正 員 ○吉川和行  
 日本国土開発㈱ 正 員 宮地明彦  
 山口大学工学部 正 員 古川浩平 中川浩二

## 1. はじめに

発破振動の推定式は、従来から一般的に最大速度振幅 (PPV) について表現され、斉発発破あるいは段発発破において、各孔間の起爆秒時に若干の差がある場合でもPPVの推定式は、

$$PPV = K \cdot (N_i \cdot W_{ki})^a \cdot D^{-b} \quad \text{----- (1)}$$

が用いられている。ここに、 $N_i$ は実孔数、 $W_{ki}$ は孔当たり装薬量、 $D$ は爆源からの距離、 $a$ 、 $b$ 、 $K$ は定数であり、 $K$ には地盤状況や発破の種類、火薬の種類など装薬量 $W$ と距離 $D$ 以外の全ての要因が含まれている。この式(1)において、同段の雷管間の起爆秒時のばらつきが考慮されていないこと、また $K$ として、薬量と距離以外の全ての要因を含ませているため、その意味があまり明確でなく、これらを解明することにより、予測精度をより向上できると期待される。

そこで、本研究においては雷管の起爆秒時誤差に伴う重畳孔数の問題と発破時の荷の重さ軽さに伴う $K$ 値の2つに的を絞って、これらを明らかにするため、以下のことを試みる。まず、第1に雷管の起爆秒時誤差を工場と現場とで比較を行う。第2にこの結果を用いて発破シミュレーションを行い、重畳孔数 $n_i$ がどれ位になるのかを考察する。第3にトコ現場の発破振動の計測データを基に、本研究で提案した以下に示す式(2)より算出した $K$ 値は従来の発破振動予測式である式(1)から算出したものより精度の良いことを明らかにする。

## 2. 発破振動予測式の改良点

有効孔数の考え方は、Gustafssonや佐々によって説明されているが、本研究では何孔の振動が重畳したと考えるべきかというGustafssonに近い考え方から、

$$PPV = K \cdot n_i (W_{ki})^a \cdot D^{-b} \quad \text{----- (2)}$$

の考え方をとることにする。ここで、 $n_i$ は重畳孔数であり、以下の発破シミュレーションから求める。

## 3. 雷管の起爆秒時誤差と雷管の秒時誤差を考慮した発破振動シミュレーション

雷管の起爆秒時誤差については、従来より知られているところであり、工場におけるX社の雷管の起爆秒時誤差を表-1に示す。これに対して、明かり現場で1段1孔の発破を各段100回行って求めた雷管の起爆秒時誤差を表-2に示す。これらの表から、工場と現場では明らかな差があることがわかり、特に現場での使用時における雷管の高段での起爆秒時のばらつきは大きく、これを発破振動の予測に取り入れることが重要であると思われる。またこの現場での実測値の2〜15段のデータをその平均値からのばらつきとしてヒストグラムに描いたものが図-1である。このように雷管の起爆秒時誤差はほぼ正規分布していると考えられる。

そこで本研究では、多数孔からの発破振動を単一孔からの減衰正弦波の重ね合わせで表現できると考えて、発破振動シミュレーション

表-1 工場における起爆秒時 表-2 現場における起爆秒時

| 段番  | 起爆秒時(msec) | データ数 | 段番  | 起爆秒時(msec) | データ数 |
|-----|------------|------|-----|------------|------|
| 平均値 | 標準偏差       |      | 平均値 | 標準偏差       |      |
| 2   | 224        | 10   | 2   | 251        | 24   |
| 3   | 503        | 17   | 3   | 539        | 41   |
| 4   | 744        | 20   | 4   | 803        | 41   |
| 5   | 1019       | 22   | 5   | 1055       | 47   |
| 6   | 1274       | 19   | 6   | 1340       | 54   |
| 7   | 1522       | 28   | 7   | 1615       | 80   |
| 8   | 1772       | 30   | 8   | 1882       | 68   |
| 9   | 2007       | 35   | 9   | 2219       | 78   |
| 10  | 2330       | 42   | 10  | 2503       | 116  |
| 11  | 2727       | 49   | 11  | 2892       | 114  |
| 12  | 3123       | 48   | 12  | 3349       | 117  |
| 13  | 3352       | 44   | 13  | 3735       | 122  |
| 14  | 4042       | 52   | 14  | 4164       | 153  |
| 15  | 4541       | 52   | 15  | 4717       | 162  |
| 16  | 5144       | 61   | 16  | 5545       | 235  |

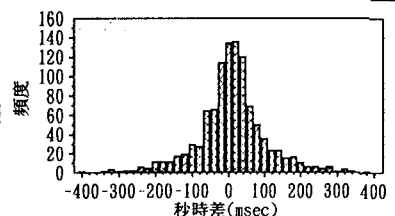


図-1 起爆秒時の平均値との差のヒストグラム (2段〜15段、N=1048個)

行い雷管の起爆秒時誤差が各発破各段の発破振動にどのような影響を及ぼすかを考察する。ここで重畳孔数を求めるジューションの方法とは、振動の立ち上がりを表-2の平均値・標準偏差を用いた正規乱数で与え、振動継続時間分重ね合わせたときの波形の最大振幅を単一波形の最大振幅で割った値を求め、これを100回行ったときの平均値を重畳孔数とするものである。またこのときの重ねるべき孔数を2~20孔まで変化させたときの重畳孔数を図-2に示す。図から明らかなように重畳孔数は実際の孔数よりはるかに小さいことが分かる。

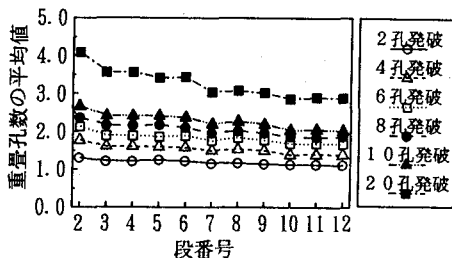


図-2 重畳孔数の平均値の分布  
(減衰正弦波:ジューション100回)

次に、発破時の荷の重さ軽さを表すK値について検討を行う。K値は芯抜きとそれ以外との差は大きく3~5倍程度の違いがあると考えられてきた。一般に発破設計においては、本来全段全孔共同じ荷の重さになるよう薬量や孔の数、位置などを決めるのが基本であると考えられる。このように考えると、芯抜きと払いでK値を大きく変えるということは問題であろう。そこで、実際のトンネル掘削データを基にして芯抜きと払いのK値を式(1)、式(2)で求めた結果を表-3、図-3、4に示す。表-3から重畳孔数を考慮した式(2)を用いれば、初段のK値は初段に瞬発雷管を用いた場合Aトンネルの測点1,2でそれぞれ957, 953、初段に2段雷管を用いた場合はそれらが932, 732となり、式(1)を用いた場合はこれらの値がそれぞれ1740, 1732と603, 473となっている。また、Bトンネルについても同様な傾向にあることから、式(2)を考慮することで初段の雷管の種類に関係なくトンネル毎に初段のK値の大きさはほぼ等しくなることがわかった。また、図-3, 4から明らかなように、式(2)により求めたK値は全段はほぼ同じ大きさになることが分かった。

表-3 初段(芯抜き)のK値

| トンネル  | 測点 | 初段が瞬発雷管 |      | 初段が2段雷管 |      |
|-------|----|---------|------|---------|------|
|       |    | 式(1)    | 式(2) | 式(1)    | 式(2) |
| Aトンネル | 1  | 1740    | 957  | 603     | 932  |
|       | 2  | 1732    | 953  | 473     | 732  |
| Bトンネル | 1  | 2909    | 1832 | 1236    | 1749 |
|       | 2  | 1782    | 1123 | 986     | 1394 |

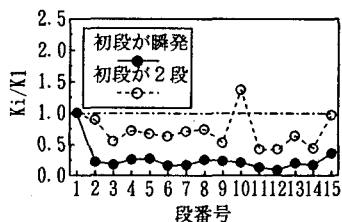


図-3 式(1)に基づくK値比の分布  
(Aトンネル-測点-1)

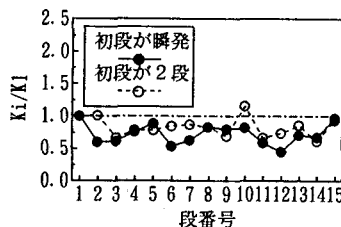


図-4 式(2)に基づくK値比の分布  
(Aトンネル-測点-1)

#### 4. まとめ

- ①雷管の秒時誤差は工場より現場の方がかなり大きい。特に後段になればなるほど秒時誤差は無視できないほどに大きくなる。またその分布は正規分布している考えられる。
- ②一孔発破の波形を減衰正弦波とにおいて重畳孔数を計算した結果、重畳孔数は実孔数よりはるかに小さいことを明らかにした。
- ③初段の雷管として瞬発、2段電気雷管のどちらを用いても重畳孔数を考慮すれば、初段のK値には大差がなく、また各段(2段以降)のK値のばらつきを低減できることがわかった。

#### 参考文献

- 1) 雑喉 謙：発破振動の周辺への影響と対策、鹿島出版会、昭和59年
- 2) 宮地明彦・横田茂明・古川浩平・中川浩二：雷管の起爆秒時誤差を考慮した発破振動推定式に関する一考察、第24回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、pp400-404、1992。