

# 高性能自在制御発破工法を用いたトンネル発破における振動速度に関する考察

西日本高速道路株式会社 正会員 ○前田 佳克 田中 満 真有 祥太  
鹿島建設株式会社 正会員 手塚 康成 小淵 考晃 佐野 雄紀 北村 義宜

## 1. はじめに

トンネルの発破位置と居住地区が近接する場合、発破による振動により近隣住民に不安感を抱かせ、睡眠を妨害する等の影響を与えることがある。この影響を低減させるためには、発破による変位速度を 0.03kine 以下の無感レベルまで小さくし、さらに発破持続時間も極力短くすることが有効である。これまで発破振動を低減させる方策として、段発電気雷管を用いた分割発破や電子遅延式電気雷管による制御発破により斉発薬量の抑制が図られてきた<sup>1)</sup>が、前者は無感レベルを実現するには秒時精度が問題となり、後者は秒時間隔を標準 30ms としているため、発破持続時間を短縮できないなどの課題があった。そこで、最大 500 段までの段発が可能で、かつ 1ms 刻みで秒時間隔を任意に設定できる高性能自在制御発破工法を用いた試験発破を実施し、近接する居住地区の住環境に対する負荷低減を図った。

## 2. 高性能自在制御発破工法で使用する雷管の特徴

高性能自在制御発破工法で使用する電子雷管の特徴を以下に示す。

- ・任意の秒時設定が可能
- ・最大 500 段の段発
- ・秒時精度は設定遅延秒時の±0.01%
- ・1ms 刻みで秒時間隔を設定可能



図-1 電子雷管の構造概要(オリカジャパン製 eDeV II)

この雷管を用いることにより、確実に斉発薬量を 1 孔あたりの薬量にまで低減することができ、かつ秒時間隔と発破振動の関係が明確になるため、次回策の検討が容易になる。

## 3. 試験発破の概要

発破位置と居住地区の位置関係を図-2 に、試験発破時の発破パターンを図-3 に示す。

発破位置から居住地区までの最短距離は 210m 程度であり、同図に示す G から K までの 5 地点を観測点に設定した。今回の試験発破では 3 種類の秒時間隔に対して 2 回の発破を実施したため、居住地区内にて合計 6 回の振動を計測している (表-1 試験発破諸元 参照)。

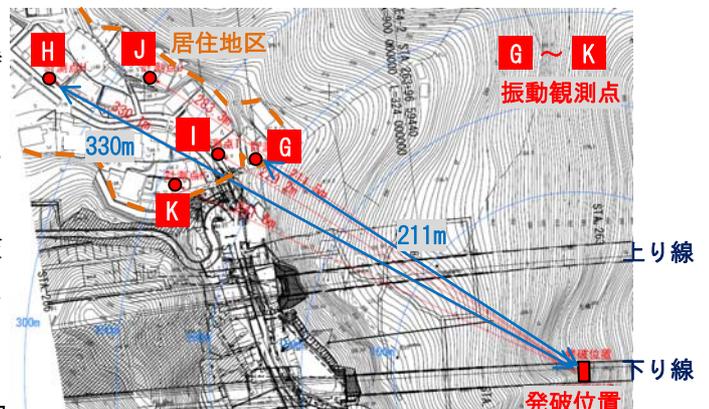


図-2 発破位置と居住地区内の振動観測点

表-1 試験発破諸元

試験回数	秒時間隔	孔数	最大斉発薬量	総装薬量	持続時間
1 回目	一律 30ms	72	0.6kg	35.0kg	2.26 秒
2 回目		72	0.6kg	24.3kg	2.26 秒
3 回目	孔間 7ms	73	0.6kg	22.8kg	0.68 秒
4 回目	段間 28ms	63	0.6kg	23.4kg	0.68 秒
5 回目	一律 17ms	68	0.6kg	24.6kg	1.14 秒
6 回目		64	0.6kg	14.7kg	1.07 秒

## 4. 発破振動の計測結果

各観測点にて計測された振動速度の最大値を表-2 にまとめた。なお、発破位置に比較的近い観測点 G, I, K は発破振動が明瞭に観測されたが、発破位置から比較的遠い観測点 J, H は振動速度が小さく、暗振動との判別が困難であった。

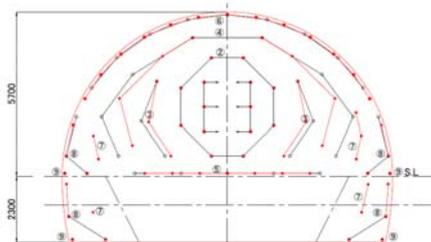


図-3 発破パターン図

キーワード：トンネル,制御発破,振動速度,秒時間隔

連絡先：〒569-1133 大阪府高槻市川西町 2-10-20 関西支社 新名神大阪西事務所

Tel : 072-655-9936 Fax : 072-655-9901

表-2 各観測点にて計測された振動速度の最大値

計測点	振動速度(kine)					
	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目
G	0.025	0.006	0.027	欠測	0.017	0.014
H	0.008	0.010	0.006	0.008	0.006	0.006
I	0.011	0.011	0.016	0.014	0.011	0.013
J	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
K	欠測	0.011	0.017	0.010	0.014	0.010
孔数	72	72	73	63	68	64
総薬量	35.0 kg	24.3 kg	22.8 kg	23.4 kg	24.6 kg	14.7 kg
秒時設定	30ms	30ms	7,28ms	7,28ms	17ms	17ms

■ 暗振動との判別が困難なデータ

5. 秒時間隔と発破振動の関係

①秒時間隔と振動予測式に基づくK値の関係

振動予測式(旭化成式)に計測結果をあてはめ、各秒時間隔に対する定数Kを推定した。

$$PPV = K \cdot W^{2/3} \cdot R^{-2}$$

V: 変位速度(cm/s)

K: 発破条件や岩盤特性によって変化する係数

W: 段当たりの薬量(kg)

D: 発破場所からの距離(m)

発破位置からの距離と振動速度の関係を秒時間隔ごとに整理した結果を図-4に示す。同図より、秒時間隔を一律17msに設定した場合のK値が最も小さくなる結果が得られた。

②秒時間隔と周波数特性の関係

発破振動が最も明瞭に観測された計測点Gにおける振動速度の時刻歴波形をもとにスペクトル解析を行い、秒時間隔別の周波数特性を比較した。スペクトル解析結果を図-5に示す。同図より、秒時間隔を一律としたケース(30ms, 17ms)は、秒時間隔の逆数の整数倍の周波数が卓越し、卓越周波数は秒時間隔を17msに設定したほうが高周波数側に移行する結果が得られた。また秒時間隔を7ms(孔間)+28ms(段間)としたケースでは、孔間の秒時間隔の逆数で周波数のピークが現れたが、段間の秒時間隔の逆数ではピークが明瞭でなく、30~100Hzの周波数帯が全体的に卓越した。一般に、高周波数のほうが速度振幅の距離減衰が大きいと考えられ、これらの周波数特性とK値の傾向は整合すると評価した。

6. まとめ

発破の秒時間隔を一律30ms, 一律17ms, 7ms(孔間)+28ms(段間)に設定した際の発破振動を比較した結果、以下の事項を勘案し、一律17msとする場合が居住地区に与える環境負荷を最も小さくできるとの結論に至った。

- ・ 振動速度 (K 値) の低減効果
- ・ 低周波数振動の低減効果
- ・ 発破持続時間の短縮効果

当工事では、今後、発破位置がより居住地区に近い上り線の発破掘削を控えており、今回の下り線の施工結果を、上り線の施工に活かしていきたい。

参考文献 1) あんな発破 こんな発破 発破事例集 日本火薬工業会 平成14年3月

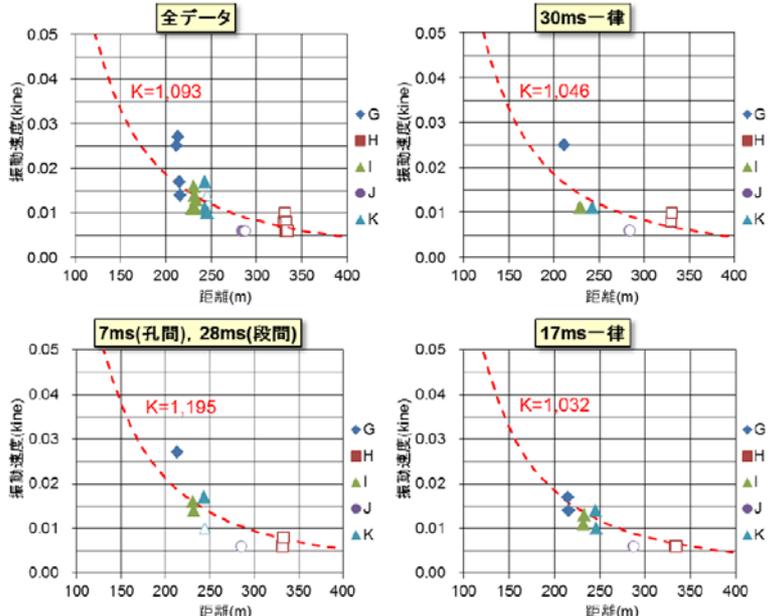


図-4 発破位置からの距離と振動速度の関係

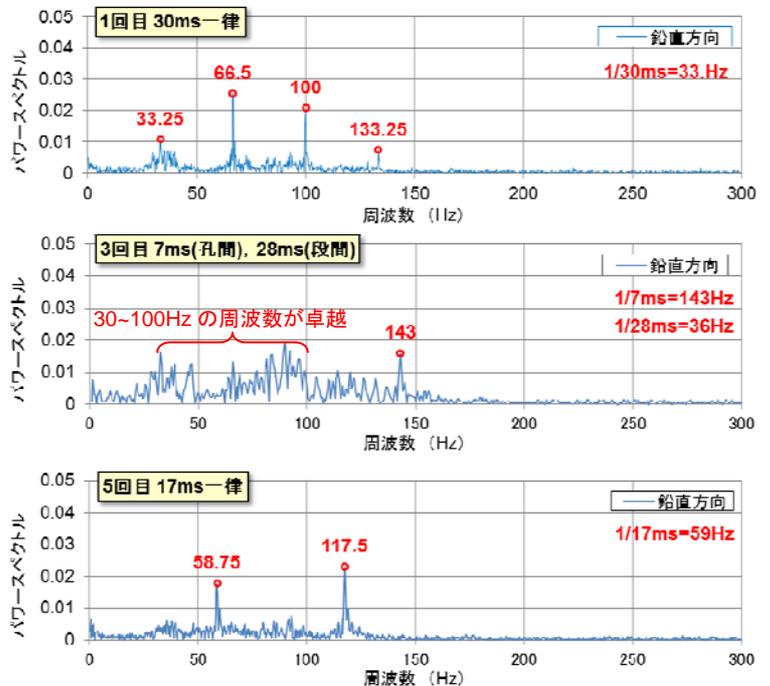


図-5 秒時間隔別の周波数特性