

高精度電子雷管を用いた制御発破による環境影響低減 -土被り 13m住宅直下での制御発破事例-

愛知県豊田市河川課
鹿島建設(株)
オリカジャパン(株)

非会員
正会員

栗木 欣也 落河 崇征
○秋山 崇裕 越川 俊幸 末吉 功一
安藤 宏

1. はじめに

発破工法は、山岳トンネル工事での効率的な掘削工法の1つであるが、発破切羽と居住地区が近接する場合には、発破振動の大きさが構造物に影響を及ぼさない範囲であっても、住民の不快・不安感はなかなか拭えず、居住環境へ影響をおよぼす場合がある。これを緩和するには、発破振動速度を低減するだけでなく、発破継続時間を極力短くする事が有効である。以下に、愛知県豊田市 安永川トンネルで高精度電子雷管(eDev II)を用いて行った、土被り 13~17m 住宅直下での制御発破事例について報告する。

2. 高精度電子雷管の特長

- ・切羽で 1ms 刻みの起爆秒時設定が可能 (雷管が 1 種類だけとなるため在庫管理が容易)
- ・起爆秒時精度は±0.01% ・最大 500 段の段発
- ・専用発破器からの特殊な電気信号で起爆 (迷走電流、静電気等による誤爆がなく安全)



図1 高精度電子雷管の構造概要(eDev II)

3. 発破試験による起爆秒時の設定

本トンネルの対象地質は花崗岩 ($\sigma_c \approx 150\text{MPa}$) である。住宅直下の発破は、高精度電子雷管を使用して、1孔1斉発の多段発破で行った。当該地点に至る前に、各孔間の起爆秒時差設定を種々変えて試験発破を行い、距離・薬量と振動速度・周波数の関係を把握した。試験発破区間の土被りは 10~22m である。表1に設定秒時差毎の代表的な試験発破諸元を示す。

表1 代表的な試験発破諸元

起爆秒時	総薬量 (kg)	孔数 (孔)	平均薬量 (kg/孔)	単位薬量 (kg/m ³)
5ms	77.8	100	0.78	1.38
10ms	73.4	96	0.76	1.30
30ms	70.4	92	0.77	1.25

図2に起爆秒時差が 5ms・10ms・30ms の場合の代表的な時間波形と周波数スペクトルを示す。各孔間の秒時差が設定どおりに精度良く実現できているため、[発破継続時間] \approx [設定秒時差] \times [孔数] となった。また、周波数スペクトルは、起爆秒時差の逆数 (秒時差 30ms で $1\text{s} \div 30\text{ms} = 33.3\text{Hz}$) にピークが表れており、秒時差を短くすれば構造物影響が少ない高周波帯に波形が移行することが確認できた。

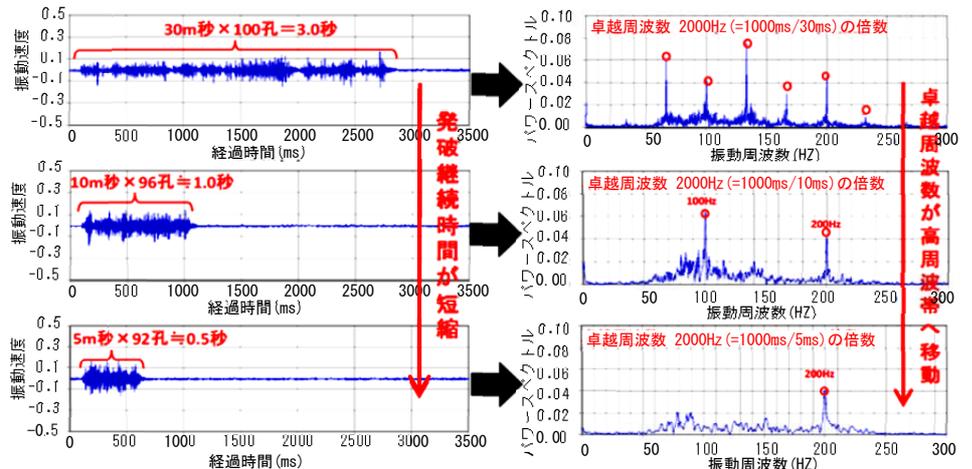


図2 秒時差ごとの振動速度波形(左)と周波数特性(右)

起爆秒時差の違いで振動速度の増減は生じなかったため、発破継続時間が短く、高周波帯が卓越する 5ms 間隔を採用した。

キーワード：トンネル、制御発破、住宅直下、秒時間隔、振動速度

連絡先：〒107-8502 東京都港区赤坂 6-5-30 TEL：03-6229-6717 FAX：03-5561-2156

4. 計測結果のフィードバック

本トンネルでは、発破の都度、振動の時間波形と周波数スペクトルを測定・分析し、その結果を次の発破にフィードバックした。振動の時間波形結果(図 3)と、発破パターンを照合することで、振動速度が大きい発破孔を特定できる。これを元に、隣接孔間隔を変更して当該孔の装薬量を減らした。また、下半踏前の装薬孔による振動が小さいことを確認し、アタリが出やすい当該孔の装薬量を増量した。こうした取り組みを住民に事前説明し、毎日の振動測定時に直接報告することで、住民の信頼を得て発破掘削を継続できた。なお、発破は日中のみ実施し、プリペイド携帯を各戸に配布して発破時刻をメールでお知らせした。

5. 発破振動の計測結果

図 4 に住宅直下の発破パターンを示す。進行長を 1m として総装薬量を減らした。隣接孔間隔を周方向 50cm、半径方向 45cm、孔数を 234 孔、単位装薬量を 0.2kg/孔とし、試験発破時の単位装薬量を半減した。(表 2)

図 6 に DS 多段発破・試験発破・住宅直下の発破振動計測結果の比較を示す。総薬量・単位装薬量を下げた 5ms 間隔の発破により、住宅直下土被り 13~17m の条件で、振動速度 0.3kine 以下の制御発破が実現した。

この際も、下半踏前のみ装薬量を 0.4kg/孔に増量した。アタリを残すことなく、確実に進行発破が行えた。孔数を増やしたことが、ブレイカーでのコソク作業時間やズリ出し時間の短縮につながり、『早く通り過ぎてくれ』という住民の期待にも応えることができた。

表-2 発破諸元と計測結果

計測点	総薬量 (kg)	孔数 (孔)	単位薬量 (kg/m ³)	平均薬量 (kg/孔)	離隔 (m)	振動速度 (kine)	卓越周波数 (HZ)	
DS 雷管 多段発破	A	36.4	0.64	0.4	14.1	1.00	31.9	
	B	37.4	0.66	0.4	14.4	1.14	36.3	
	C	66.4	107	1.18	0.6	14.4	2.28	62.0
高精度電子雷管 試験発破 住宅直下	D	80.4	0.98	0.8	14.8	0.80	36.3	
	E	92.8	116	1.64	0.8	16.7	0.75	58.3
	F	80.0	100	1.42	0.8	18.9	0.81	60.3
	G	48.8	234	0.86	0.2	13.4	0.15	132.0
	H	45.8	219	0.81	0.2	15.9	0.27	92.5
	I	47.6	228	0.84	0.2	16.6	0.30	118.0

6. まとめ

起爆秒時を自由に高精度で設定できる電子雷管を使い、発破の度に振動計測を行い、結果を住民に報告し感想を伺い、結果を元に発破パターンのさらなる改善を継続実施することで、住宅直下のトンネル発破掘削を行った事例を紹介した。トンネルにより周辺環境や対象地質などは様々であるが、本工事が同種工事の参考になれば幸いである。最後に、本工事の成果は、住民の皆様のご理解・ご辛抱・ご支援があつての事である。豊田市近隣住民の皆様にご心より感謝申し上げます。

参考文献) 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 土木学会第 69 回年次学術講演会IV-006 西日本高速道路株式会社 前田 佳克 鹿島建設 手塚 康成他

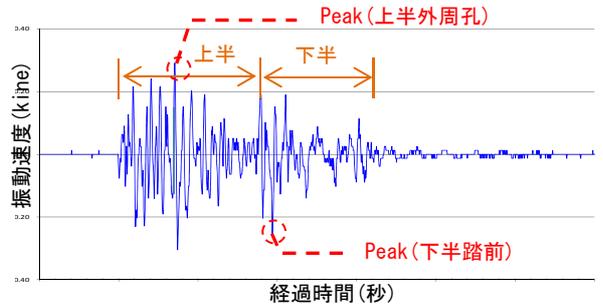


図 3 振動速度のピーク分析

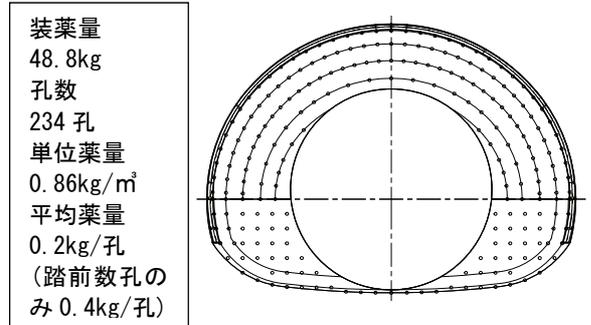


図 4 発破パターン

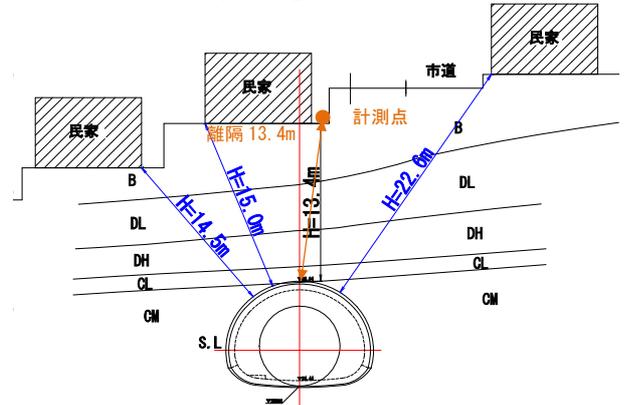


図 5 住宅とトンネル位置関係



図 6 発破位置からの距離と振動速度の関係