

近隣集落の生活環境に配慮した トンネルの発破掘削について

才田 遼子¹

¹ 近畿地方整備局 浪速国道事務所 工務課 (〒573-0094 大阪府枚方市南中振3-2-3)。

本トンネルは、大阪から三重県を結ぶ清滝生駒道路（国道163号）のうち、生駒山地にある清滝峠を貫く1,116mの山岳トンネルであり、供用する1期線トンネルに併設して計画されている。トンネル工事において、区間中央付近では、トンネル直上約60mの土被りで集落が点在し、発破掘削を行う過程では人体・家屋等への影響を与えない施工が求められた。本論文では、発破掘削時に発生する振動・騒音を監視し、抑制させながら実施したトンネル施工実績について報告する。

キーワード トンネル施工，制御発破，騒音対策，振動対策

1. はじめに

トンネル工事において、岩盤を掘削する場合には経済性、効率性の面から発破工法による施工が広く用いられている。しかしながら、住宅に近接した環境下では、発破による「騒音」「振動」が原因の環境問題がたびたび議論されている。

また、トンネルの発破に伴う振動・騒音については法令上の明確な基準がなく、施工にあたっては綿密な計測とその地域に即した管理目標値の設定及び騒音・振動低減対策が必要となる。

清滝トンネルは、集落の下を通過し、地質は硬質な岩盤で形成されるが、トンネル孔口と家屋等は相当の距離があるため、掘削による集落への騒音の影響は想定していなかった。しかしながら、振動が地盤を伝搬することによって生じたと考えられる騒音により、住民から苦情が寄せられた。

本論文では、このような状況から、計測値及び住民の意見を確認しながら対策工を選定し、施工したトンネルの掘削事例について述べる。

2. トンネルの概要

清滝トンネル（下り線）は四條畷市東部に位置し、四條畷市から奈良県生駒市を結ぶ清滝生駒道路の全線4車線化事業の一環として構築されるトンネルである。本トンネルは、標高300m～400mの緩やかな生駒山地にある清滝峠を貫く1,116mの山岳トンネルであり、地質は、花崗岩と花崗閃緑岩から構成される。花崗岩の一軸圧縮強度は100MN/m³の硬質な岩盤であり、機械掘削は難しい

ため発破掘削によるNATM工法が用いられた。



図-1 清滝トンネル位置図

3. 直上家屋への影響と管理目標値

3.1. 騒音発生要因

本トンネルと直上家屋との位置関係及び振動、騒音測定位置を図-2及び図-3に示す。最接近時にはトンネル直上59mに位置し、トンネル孔口とは相当の距離があるため、家屋への騒音による影響は想定していなかった。しかしながら、直上家屋から水平距離125m（斜距離140m）、振動値45dBの時点で当初予想していなかった騒音が発生し、発破騒音に対する苦情が寄せられた。この時点での発破騒音は70dBを超えた。発生している騒音は、騒音・振動計測結果に相関関係がみられることから（図-4）振動が地盤を伝搬することにより生じているものと考えられた。このため、騒音を低減させるためには、振動を制御することが最も有効であると判断した。

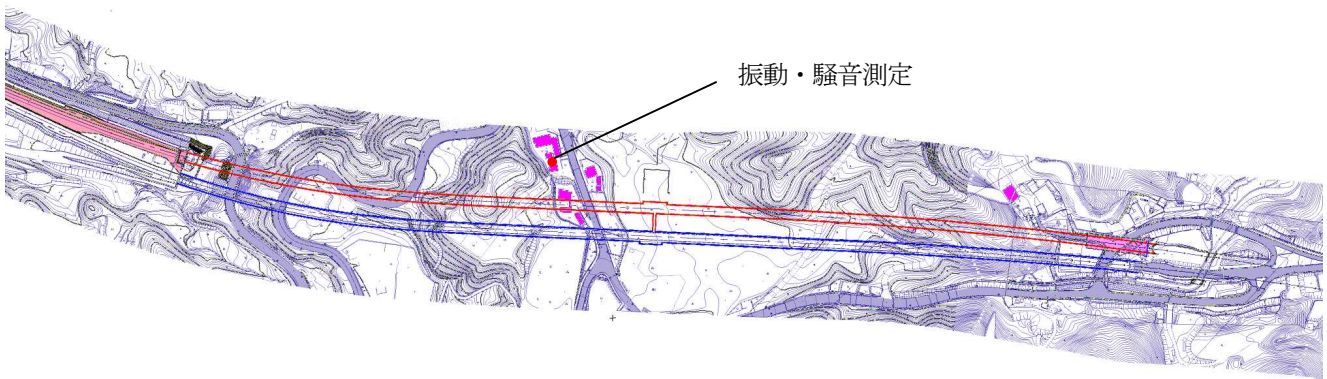


図-2 平面図

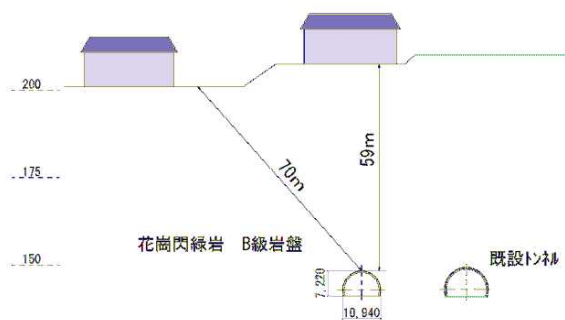


図-3 横断面

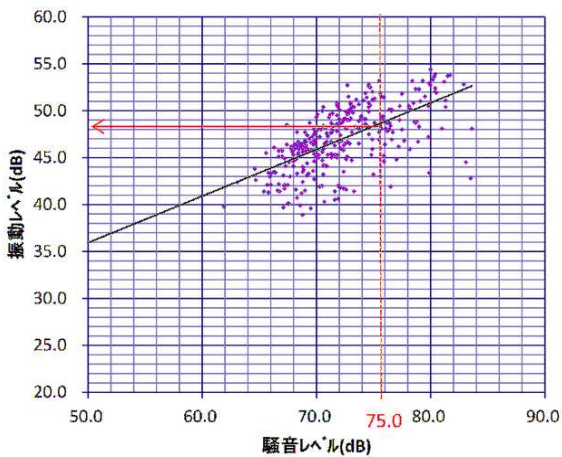


図-4 騒音値と振動値の関係

3.2. 管理目標値の設定

管理目標値については、法令等の基準がない中で、住民からの苦情が発生したため夜間発破を中止し、昼間の管理値については、住民からの苦情発生時の騒音値及び相関図より表-1に示す値とした。なお、管理目標値はあくまでも目標値とし、住民との調整を行い施工を進めるものとした。

表-1 管理目標値

	管理目標値	備考
騒音	75dB	暗騒音+5dB
振動	48dB	測定値の相関より推定

振動を低減させるためには総薬量又は発破係数を低減させればよい。なお、K値の要素には発破効果、爆薬の種類等がある。

本工事においても式-1より振動速度の予測を行い、総薬量及びK値を低減させる手法として、以下①～④の方法を併用させることにより対応した。

工法①：断面を分割し、1回あたりの薬量を減少させる方法（図）

1発破規模を縮小するために、通常1回で発破する断面を最大4分割とする工法を実施した。

工法②：1発破進行長を短くし、薬量を減少させる方法
岩盤には、その破砕に最適な単位総薬量（kg/m3）があり、これよりも少ない総薬量となった場合は、岩盤が有効に破砕されない。工法②では、1発破進行長を短くすることで1発破規模を縮小し総薬量の低減を図った。

工法③：段数を多くし1段当たりの装薬量を低減させる方法（EDDによる1孔1段制御）

トンネルの発破は、各段毎の振動が分離されるため、段数を多くして段当たりの斉発薬量を抑えることにより

4. 対策工法の検討

4.1. 発破パターンの検討

発破による振動予測式は、

$$V = K \cdot W^m \cdot D^{-n} \quad \dots \dots (式-1)$$

V:振動速度 K:発破係数 W:段当たりの薬量(kg)

D:距離(m)

が適用されており、距離の変更は不可能であることから、

振動の低減が可能である（図-6）。従来の段発電気雷管（MS、DS雷管）は段数に限りがあるため、ICを利用することで1孔に1段ずつ時間差をつけて発破を制御できる電子制御雷管（EDD）を使用した。EDDの使用により、起爆時間の誤差を0.2ms以内に制御でき、最大200段まで分割可能となる。

工法④：連続孔機械により自由面を形成させ発破する方法

トンネル発破で最も大きな振動が生じるのは、一自由面発破となる心抜きである。そのため、補助心抜きとして振動低減効果もあるスリットを鏡面に設置し、破碎効果の向上を図った（図-7、写真-1）。

なお、適用する発破パターンの選定にあたっては、直

上家屋での振動・騒音測定結果が管理目標値を下回ることを原則とし、住民の意見を確認しながら実施した。

5. 施工実績

表-2に家屋の近接に伴い実施した対策工法をタイプ別に示す。また、直上家屋における振動値及び騒音値の測定結果と切羽位置の関係を図-8に示す。

TYPE③より1孔1段で制御できるEDDの使用を開始し、MS/DSによる施工時に対して振動値・騒音値ともに5dBの低減効果があった。

しかし、切羽が家屋に近づくにつれて更に振動・騒音値の上昇が予想されたため、TYPE④以降の対策にあるように補助心抜きの設置と進行長を低減することで、孔当たりの薬量を低減した。なお、進行長を低減したパタ

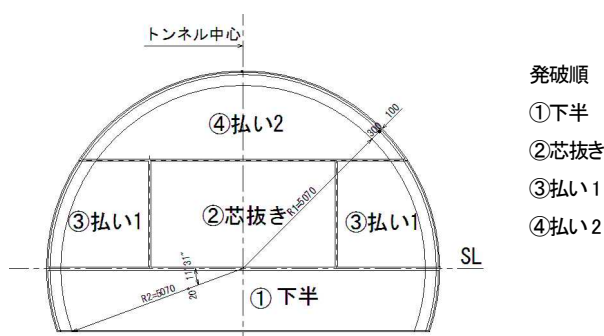


図-5 分割発破断面（4分割）

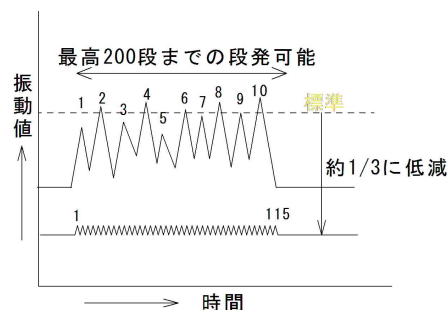


図-6 EDDの効果

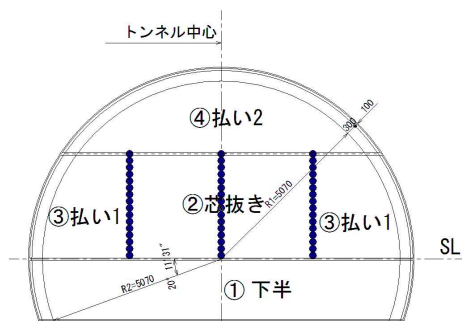


図-7 スリット設置断面図

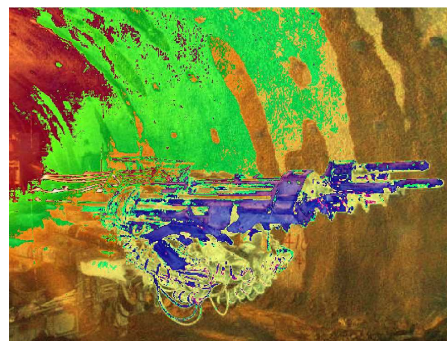


写真-1 スリット削岩機

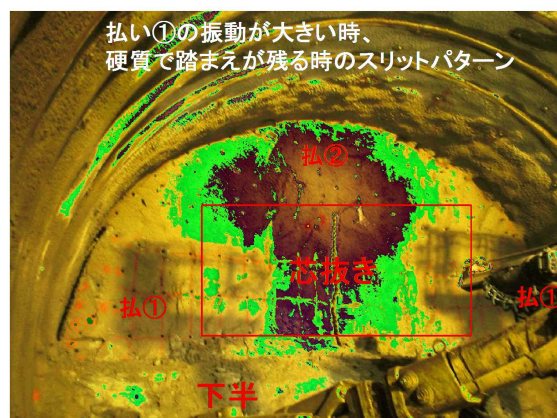


写真-2 払い①の発破振動が大きい場合のスリット形状

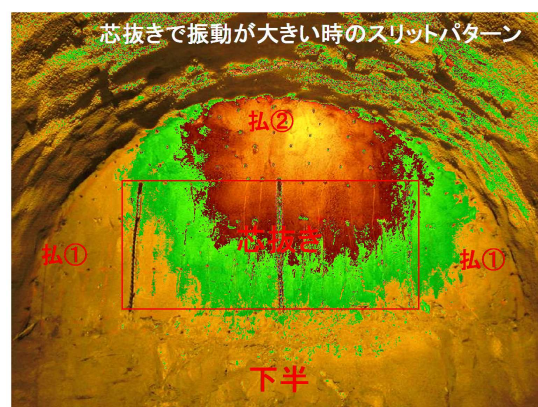


写真-3 心抜きの発破振動が大きい場合のスリット形状

ーンにおいては、対象岩盤が125MN/m²を越える非常に硬質な岩盤であり、良好に破碎させることが困難であったため、補助芯抜きの設置により破碎効果の向上を図った。また、スリットの設置位置については、写真2、-3に示す2タイプの方法を振動・騒音の測定結果をもとに適宜設置した。

このように、必要に応じて対策工法を選定することで、高精度に振動・騒音を抑制することが出来た。

6. 結果と考察

本施工では、発破による騒音・振動値の明確な基準がない中で、自主管理目標値を設定し、電子制御雷管（EDD）や分割発破、スリット等の併用による施工を行った。

また、当初の検討では、割岩工法も対策工法の1つとして検討していたが、コソクのブレーカー音やドリフターの穿孔音の連続的な微細振動を伴う騒音についても苦

情が発生していたため、今回のように発破継続時間を短く制御した施工方法が最良の対策であったと考える。

結果的に地元対応を円滑に進めながら、工期に大きな負荷を与えることなく、集落を通過することができた。

謝辞

最後に本論文の作成にあたり、本工事の施工業者である戸田建設(株)をはじめとする多くの方に御協力頂き、ここに感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 日本化薬工業会：あんな発破こんな発破 発破事例集
- 2) ジオフロント研究会 掘削工法分科会 制御発破工法 WG：現場技術者のための 制御発破工法の実例-発破による騒音や振動を制御する技術資料-
- 3) 松原健・芦田良太・八木元徳：発破振動に起因する地表建物内の騒音を制御した合理的なトンネル施工

表-2 発破騒音・振動対策対応一覧

区 分		①段当たり薬量低減	②進行長低減	③断面分割数の増	④補助芯抜
標準(C級)		DS雷管	1.2m、1.5m	分割数 1	無し
対策工	TYPE①	MS/DS雷管(4kg/段)	1.2m	1分割	無し
	TYPE②	MS/DS雷管(2.4kg/段)	1.2m	3分割	無し
	TYPE③	EDD(0.3kg/孔)	0.8m	3分割	ボアホール
	TYPE④	EDD(0.3kg/孔)	0.6m	4分割	スリット1列
	TYPE⑤	EDD(0.2kg/孔)	0.75m	4分割	スリット3列
	TYPE⑥	EDD(0.2kg/孔)	1.0m	4分割	スリット3列
	TYPE⑦	EDD(0.2kg/孔)	1.1m	4分割	スリット3列
	TYPE⑧	EDD(0.3kg/孔)	1.2m	4分割	スリット3列
	TYPE⑨	EDD(0.3kg/孔)	1.2m	3分割	スリット3列
	TYPE⑩	EDD(0.3kg/孔)	1.2m	2分割	

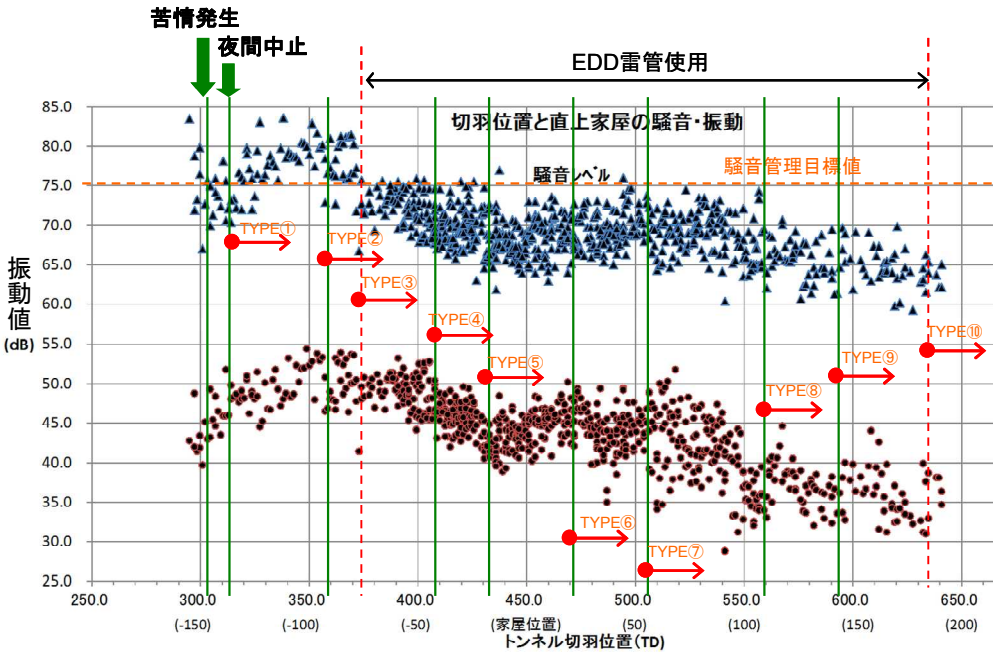


図-8 直上家屋位置における騒音・振動測定結果