

発破振動速度の測定結果に基づく振動推定式の作成とその活用

飛島建設西日本土木支社	正会員	○岩根 康之
山口県山口土木建築事務所		沖村 卓美
飛島建設土木事業本部	正会員	川端 康夫
飛島建設西日本土木支社	正会員	筒井 隆規
飛島建設技術研究所	正会員	小林 真人

1. はじめに

建設工事では、工事の騒音・振動が近隣住民とのトラブルを生みだし、工事進捗の阻害要因となることがある。トンネル工事における発破振動も例外ではなく、このような状況が生じないように発破振動を管理し、事前にリスクを低減することが重要である。従来の発破振動の管理手法は、振動速度の規制値を設け、対象案件の振動速度を実測しながら、規制値を超えないように発破方法を変更するなどして施工管理を行ってきた。しかしながら、これらは対処療法的な振動管理手法である。本来、早期に対策を立案・実施するためには、発破振動の出現傾向を合理的に、かつ精度良く推定する手法が求められる。

本報では、上述した発破振動管理手法の確立を目標に、県道山口宇部線改良（小郡トンネル）工事で適用した振動速度の推定手法について報告する。

2. トンネルの概要と発破振動管理の対象

本トンネルは、延長 1,915m の歩道付き道路二車線断面のトンネルである。地質は、安山岩などの火成岩や火砕流堆積物である凝灰岩を主体とした中生代白亜紀周南層群の禪定寺層からなっており、ルート全体が灰色から灰白色をした堅質で緻密な凝灰岩に覆われている。また、起点側坑口付近には、禪定寺層の堆積岩が分布している。

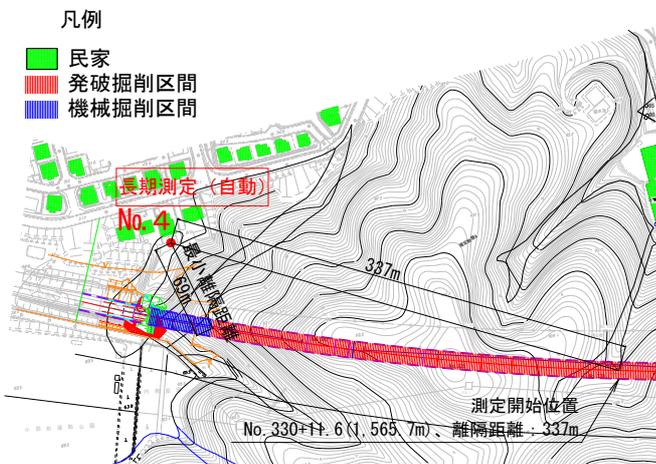


図-1 起点側坑口地形図

掘削は、終点側から起点側に向け施工した。図-1 に起点側坑口付近の地形図を示す。坑口近傍は、住宅地が広がっており、当初より「住宅地の居住性」に対する発破振動の影響が懸念された。ここでは、管理対象の内、起点側坑口に最も近い、No4 の結果を中心に説明する。

3. 発破振動の出現特性

住宅地での発破振動の規制値には、統一された考え方が無く、通常は振動規制法の振動レベルを換算したり、過去の実績を反映することが多い。本工事で同様の考え方により、昼間 0.1cm/s、夜間 0.071cm/s を規制値として採用した。計測に使用した機器は、振動速度計：ジオスペース GSD-3D、DC アンプ：NEC 三栄 6L01、データレコーダ：TEAC ES-8 である。なお、簡略化のため、「心抜き」発破による振動速度についての検討結果を示す。

図-2 にNo4 における離隔距離と振動速度の関係を示す。No4 は起点側坑口近傍に位置しており、振動速度は、離隔距離（切羽と計測点の距離）の縮小に伴い、徐々に増大し、最後は規制値に近いところで出現している。切羽が坑口に近づくにつれ、地質が均等に变化していったこと、装薬量の急激な増減は行わず、徐々に低減させたことなどが出現状況の安定性に繋がったものと考えられる。

4. 発破振動速度の上限推定式の作成

現場で測定した振動速度データを統計処理した上で、

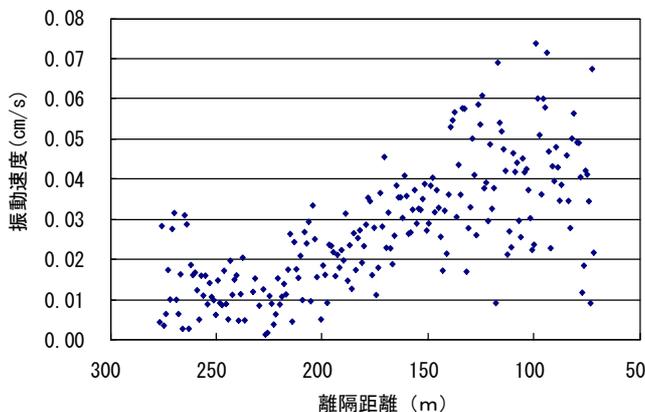


図-2 離隔距離と振動速度との関係 (No4 心抜き)

キーワード：発破振動管理、振動速度、K 値、上限推定式  
 連絡先 〒102-8332 東京都千代田区三番町 2 番地 飛島建設株式会社 TEL03-5214-7087

合理的な手法によって分布の上限を設定できれば、それ以降の振動速度の出現状況が一定の精度で推定できる。ここでは、発破計画に適用される発破振動速度予測式を活用し、振動速度の分布における上限値の算出方法を考案した。

距離  $D$  と装薬量  $W$  による発破振動速度  $V$  の予測式<sup>1)</sup>を以下に示す。

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

式(1)の中で、 $m, n$  は一般値としての  $m=3/4, n=2$  を用い、 $K$  値を逆算する式を作成する。

$$K=V/(W^{3/4} \times D^2) \quad \text{式 (2)}$$

図-3 にNo.4 で算出した離隔距離  $D$  と  $K$  値の分布を示す。離隔距離が大きい位置 (250m 付近) で、 $K$  値=200~1200 と、広い範囲に分布している。離隔距離が減少するにつれ、変動の中心値が 200~400 程度に収斂している。ここでは、 $K$  値が地山の状況によって変化する係数とし、式(3)の累乗式で近似した。

$$K'=\alpha \times D^\beta \quad \text{式 (3)}$$

この近似式を用い、分布の上限を統計的に算出し、これを  $K$  値の上限推定式として、発破振動の予測に活用する。上限推定式の算出手順を表-1 に示す。ここで算出された  $K$  値の上限推定式  $K_u$  を式(1)に代入し、振動速度  $V$  に対する上限推定式  $V_u$  とする。

図-3 にNo.4 で算出した  $K$  値の近似式、上限推定式を示す。上限推定式が  $K$  値の分布をほぼ網羅していることが伺える。これらからNo.4 の振動速度の上限値を算出した結果を実測値と併せて図-4 に示す。振動速度の上限推定値は、ほぼ振動速度の分布を網羅している。なお、

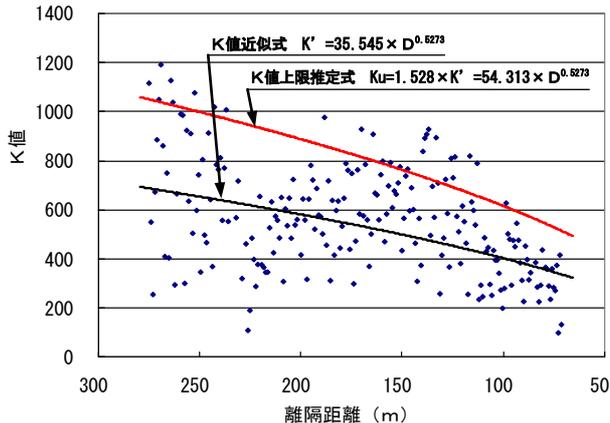


図-3 離隔距離と  $K$  値との関係 (No.4 心抜き)

表-1  $K$  値上限推定式の算出ステップ

step	算出手順
1	実測値 $K$ と近似式による推定値 $K'$ との偏差を求める。偏差 ( $K-K'$ )
2	偏差を推定値で除することで無次元化する。無次元化変数 $K_v=(K-K')/K'$
3	無次元化変数のプラス側だけを抜き出し、正規分布として標準偏差を算出する。無次元化変数標準偏差 $\sigma_{kv}$
4	不良率 5% を上限とする $K$ 値の上限推定式 $K_u$ を算出する。 $K_u=K' \times (1+2 \times \sigma_{kv})$

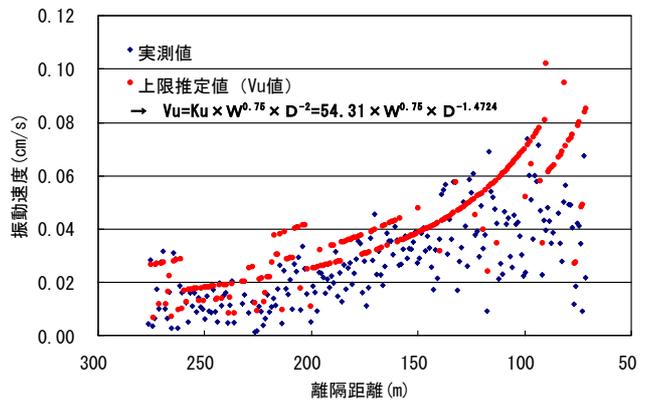


図-4 振動速度の上限推定値の算出結果 (No.4 心抜き)

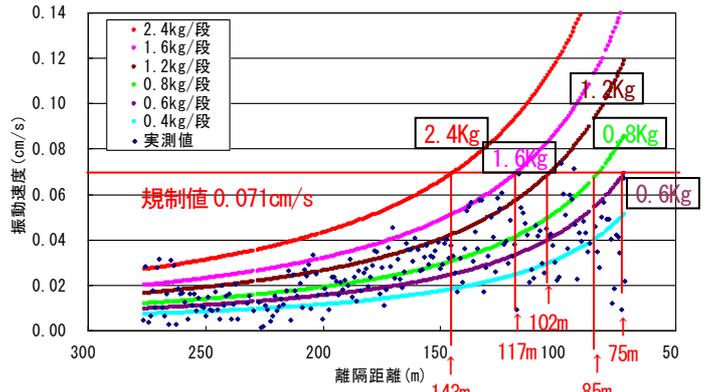


図-5 上限推定式による装薬量の制限値と離隔距離との関係 (No.4 心抜き)

上限推定値が帯状に分布しているのは、実際に使用した装薬量が一定ではなく、距離の縮小や地山状況に応じて、変更したことに起因している。

ここで、上限推定式を用い算出した、装薬量毎の上限推定値の分布曲線を図-5 に示す。当然装薬量が大きければ、早い段階で規制値を上回ることから、その状況を想定しながら、装薬量を低減して行くことになる。例えば、心抜き 1 段当たりの薬量 2.4kg では、離隔距離 143m で規制値を上回る可能性があることを示唆している。

実際の施工管理では、それまでの振動速度の実績より、振動速度の上限推定値を算出する。また、一定区間毎のデータの蓄積に基づき、これら上限推定式を再計算し、その精度を向上させて行くことが重要である。

### 5. まとめ

発破振動速度の分布の上限の推定方法として、本手法の有効性が確認された。No.4 では離隔距離が縮小するに連れ、振動速度が規制値に近い値で出現したことから、本手法により出現状況を予測しながら、装薬量を調整し、最終的に機械掘削に変更した。結果、規制値を上回ることなく、経済的な発破が実施できたと考えている。

#### 【参考文献】

1) 日本トンネル技術協会：トンネル爆破技術指針，pp.142-147, 1982.