

拡幅トンネルの発破振動について

(株)福田組 正会員 ○桜沢 雅志
 (株)福田組 福島 洋一
 長岡技術科学大学 正会員 杉本 光隆

1. はじめに

伊西トンネル工事は、狭小な山之上隧道を拡幅する工事である。付近には広域林道があつて迂回路として利用できるように、全面交通止めとして施工することができる。しかしながら、厳冬期に迂回路となる広域林道が凍結するために、冬季間のみは工事を中止して交通を開放する必要がある。

トンネルの地質は、中生代またはそれ以前の花崗岩類が主体で、一軸圧縮強度がおおむね 50～100N/mm²であることから、爆薬による発破工法が適している。この発破工法によるトンネルの拡幅工事では、既設覆工に隣接した拡幅トンネルの切羽で爆破するため、その振動が既設覆工に損傷を与えることが懸念される。この発破振動による影響を把握することは、冬季交通開放時の安全の確保と、作業の安全性を確保するために重要である。

2. 発破振動の測定

発破振動は、切羽よりおおむね 20m と 40m および 80m の 3 箇所で測定した。ただし、測定箇所を固定しているために、測定地点までの距離は掘削に伴って徐々に短くなっている。測定した成分はトンネル軸方向(X)と水平横断方向(Y),鉛直方向(Z)の 3 方向の変位速度である。測定のピックアップは、発破時の爆風や飛石から保護するために、既設覆工コンクリートをはつた窪みに石膏で固定した。今回の計画では、爆風や飛石によるピックアップとケーブルの破損を避けるために切羽より 20m 程度離れたが、発破と切羽の位置関係より既設トンネル内への飛石はほとんど無く、爆風も激しくないことから、5m 程度の位置でも測定は可能であった。発破振動の測定位置と測定方向を図-1 に示す。計測は 3 回の発破について実施した。

3. 発破振動の検討

発破振動の計測結果を表-1 に示す。通常の新設トンネルでは、切羽が 1 自由面であるために、心抜きに多くの爆薬を使用し、抵抗も大きいために発破振動が大きくなるが、2 段目以降は 2 自由面であるため爆薬量も少なく、心抜きの半分程度の発破振動となるのが一般的である。これに対して、今回の拡幅掘削では、瞬発(1 段目)の装薬量が少なく、発破振動も 2 段目以降と同程度である。これは、切羽に既に自由面(既設トンネル)があり、全てが 2 自由面発破となるためである。

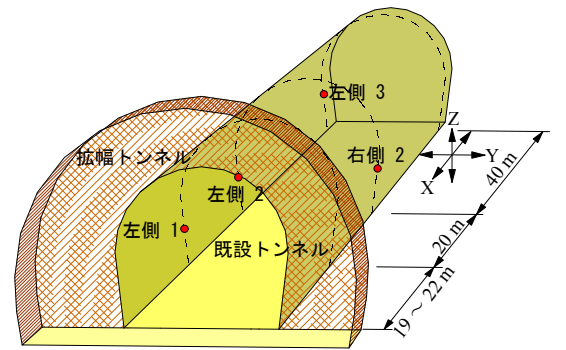


図-1 発破振動速度計測位置

表-1 発破振動速度測定結果

		(a) 第1回発破											
		測線左側						測線右側					
		測点 1			測点 2			測点 3			測点 2		
		振動速度 V (kine=cm/s)			振動速度 V (kine=cm/s)			振動速度 V (kine=cm/s)			振動速度 V (kine=cm/s)		
雷管	距離(m)	22.0			42.0			82.0			42.0		
段数	爆薬使用量(kg)	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
瞬発	1.4	0.297	0.300	0.121	0.179	0.308	0.072	0.043	0.030	0.014	0.093	0.105	0.119
DS 2	1.1	0.347	0.328	0.253	0.134	0.318	0.089	0.040	0.038	0.013	0.011	0.078	0.062
DS 3	2.9	0.339	0.214	0.101	0.066	0.132	0.046	0.021	0.018	0.010	0.074	0.085	0.066
DS 4	4.4	0.230	0.562	0.265	0.164	0.095	0.062	0.008	0.038	0.011	0.125	0.050	0.087
DS 5	1.4	0.164	0.226	0.128	0.078	0.066	0.041	0.026	0.018	0.005	0.072	0.042	0.041
DS 6	1.1	0.265	0.437	0.281	0.138	0.246	0.068	0.029	0.032	0.012	0.138	0.058	0.087
DS 9	0.2	0.035	0.148	0.046	0.041	0.023	0.013	0.006	0.005	0.003	0.029	0.011	0.013

		(b) 第2回発破											
		測線左側						測線右側					
		測点 1			測点 2			測点 3			測点 2		
		振動速度 V (kine=cm/s)			振動速度 V (kine=cm/s)			振動速度 V (kine=cm/s)			振動速度 V (kine=cm/s)		
雷管	距離(m)	20.0			40.0			80.0			40.0		
段数	爆薬使用量(kg)	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
瞬発	1.8	0.391	0.296	0.110	0.164	0.358	0.073	0.042	0.031	0.015	0.066	0.110	0.124
DS 2	2.4	0.240	0.283	0.278	0.116	0.257	0.057	0.024	0.028	0.012	0.107	0.128	0.064
DS 3	2.2	0.169	0.110	0.101	0.098	0.248	0.059	0.028	0.042	0.010	0.069	0.098	0.072
DS 4	1.8	0.140	0.193	0.087	0.069	0.248	0.046	0.015	0.041	0.008	0.077	0.110	0.050
DS 5	0.8	0.251	0.316	0.223	0.124	0.149	0.042	0.020	0.041	0.009	0.097	0.059	0.058
DS 6	1.8	0.109	0.195	0.094	0.117	0.196	0.037	0.024	0.022	0.009	0.048	0.042	0.059
DS 9	0.6	0.213	0.243	0.196	0.119	0.101	0.055	0.031	0.021	0.007	0.094	0.047	0.062

		(c) 第3回発破											
		測線左側						測線右側					
		測点 1			測点 2			測点 3			測点 2		
		振動速度 V (kine=cm/s)			振動速度 V (kine=cm/s)			振動速度 V (kine=cm/s)			振動速度 V (kine=cm/s)		
雷管	距離(m)	19.0			39.0			79.0			39.0		
段数	爆薬使用量(kg)	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
瞬発	1.0	0.276	0.274	0.114	0.164	0.333	0.078	0.036	0.027	0.019	0.103	0.139	0.157
DS 2	1.2	0.104	0.106	0.050	0.099	0.368	0.047	0.007	0.041	0.008	0.117	0.109	0.048
DS 3	1.8	0.126	0.070	0.074	0.085	0.297	0.031	0.013	0.040	0.009	0.064	0.051	0.066
DS 4	1.5	0.120	0.160	0.057	0.088	0.314	0.059	0.016	0.019	0.007	0.059	0.087	0.069
DS 5	2.1	0.099	0.186	0.077	0.068	0.211	0.028	0.016	0.027	0.007	0.046	0.055	0.028
DS 6	1.4	0.148	0.280	0.178	0.072	0.151	0.025	0.011	0.025	0.007	0.046	0.046	0.050
DS 9	0.4	0.290	0.265	0.160	0.122	0.128	0.046	0.022	0.021	0.007	0.072	0.057	0.064

キーワード：トンネル拡幅，近接発破，発破振動
 連絡先：〒951-8061 新潟市西堀通 2-778 西堀シャルム，(株)福田組 技術部，TEL 025-227-3531，FAX 025-227-3522

発破振動の予測式は一般的に次式のように表現される事が多い。

$$V = K \cdot W^\alpha \cdot D^\beta \quad \text{あるいは} \quad \log V = \log K + \alpha \cdot \log W + \beta \cdot \log D$$

ここで、 V : 発破振動速度(cm/sec=kine), K : 発破や地盤の条件などによる係数(40~1,000), W : 斉発薬量(kg), D : 爆破点からの距離(m), α : 爆薬量に対する指数(0.5~1), β : 距離減衰指数(-1~-2)である。

発破振動速度の計測値より、回帰分析によって求めた係数 K , α , β を表-2に、回帰グラフを図-2に示す。

回帰分析結果から、発破や地盤の条件などによる係数 K は、一般的な値よりも小さく、発生する振動も小さいことがわかる。また、距離減衰指数 β は、これまで提唱されている-1.5~-2.0の範囲にあるが、鉛直方向(Z方向)の減衰が他の2方向よりも大きく、発生する振動も小さい。一方、爆薬量(斉発薬量)に対する指数 α は、一般的な値よりも小さく、振動速度への影響はほとんどない。これは、爆薬量が少なく、地盤や発破の条件によるバラツキに比してその影響が小さく、明瞭な違いとならなかったものと考えられる。また、トンネル軸方向(X方向)の K と α がその他の2方向に比べて小さい。これは、振動の方向が装薬孔の方向と一致するため、発生する振動が小さく、装薬量の影響も小さくなると考えられる。

回帰分析のグラフより、通常範囲(数 m 以上)では水平横断方向(Y方向)の振動が大きい。これは、爆破がトンネル中心へ向けて行われるため、既設トンネルの壁面に直角方向の振動が大きくなるためであると考えられる。

新たに観測される値の95%を含む(その振動速度を越える確率が5%)範囲の上限値を図-2に示す。一方、コンクリートにクラックを発生させる発破振動速度は、これまでの実験¹⁾²⁾より30~70 cm/secといわれている。この限界値より、切羽後方3~5mの範囲ではコンクリートにクラックが発生する可能性がある。しかしながら、クラックが発生しても軽微で、既設トンネルの安定を損なわなければ、その後に掘削されるので何ら問題とならない。

4. おわりに

今回の発破振動の計測および検討より、

- ① 発破条件や地盤条件などによる係数(K 値)が小さく、発生する発破振動も小さい。
- ② 拡幅トンネルでは、既設トンネルが自由面となり、瞬発と段発でほとんど差がない(全てが2自由面の払い発破)。
- ③ 装薬量が少ないため、地盤や発破条件などによるバラツキに紛れて、発破振動に与える爆薬量の影響は明瞭でない。
- ④ 距離減衰指数は-1.5~-1.9であり、特に、鉛直方向の減衰が大きい。
- ⑤ 発破による振動が既設覆工コンクリートへ与える影響は小さく、クラックが発生するとしても切羽から3~5mの狭い範囲であり、既設トンネルが不安定となるような大きな損傷を受ける範囲はさらに狭いと考えられる。

以上、発破によって発生する振動は小さく、既設覆工が順次取り壊される拡幅トンネルでは、ほとんど問題とならないと考えられる。ただし、覆工コンクリートの老朽化などによって、既に何らかの損傷がある場合には、より広い範囲に影響が及ぶことも考えられる。

最後に、この発破振動の測定は、岐阜県古川建設事務所のご理解とご協力によるもので、ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 岡沢 他：近接トンネルに及ぼす発破振動の影響および防止対策，トンネルと地下，第6巻11号，pp.15-23，1975。
- 2) 中野 他：トンネル掘削における超近接発破に関する研究，土木学会論文集，No.462/VI-18，pp.53-62，1993。

表-2 回帰分析の結果

	X	Y	Z	全体
K	25	28	37	30
α	0.157	0.316	0.225	0.233
β	-1.598	-1.540	-1.884	-1.674

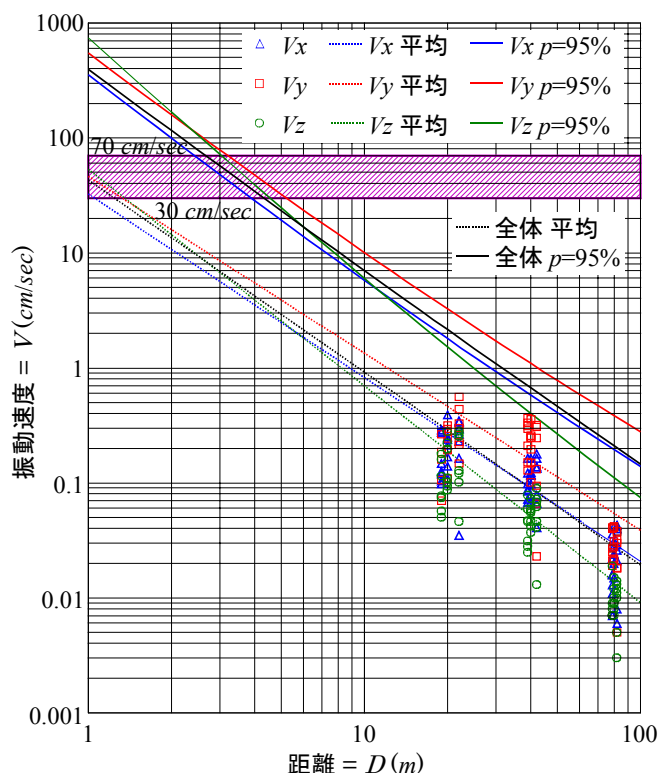


図-2 発破振動の予測