

Ⅲ-256 施工直後のトンネル一次覆工に対する 発破振動の影響測定

大林組技術研究所 正員 ○山下 幸夫
同上 正員 藤原 紀夫

1. まえがき

トンネル掘削を発破工法で行なう場合、施工直後の一次覆工は次回の発破点（切羽）に最も近接した構造物であり、発破振動の影響を強く受けるものと思われる。しかも通常の作業サイクルでは 6～12時間ごとに発破が繰り返されるわけで、その間まだ強度発現の途上にある吹付けコンクリートが、岩盤に対してどのような挙動を示すのかについても良く分かってはいない。そこで、施工直後の吹付けコンクリート内に計器を埋設して、切羽の進行に伴う発破振動の変化を測定した。最初の発破は計器埋設位置からわずかに0.75m の至近距離にある。

2. 測定方法と発破概要

図-1 に計器の設置位置を示す。切羽直近の覆工吹付けコンクリート内に3か所、および岩盤内に1か所それぞれ振動検出器（PV-93, 3成分）を埋設して、その後の発破に伴う振動速度を測定した。トンネルの掘削面積は76m²、2段のベンチカット工法で掘削する。上半の発破は DS-10段の段発で、Vカットによる芯抜き薬量は 5.4～6.6kg、総薬量は80～123kg である。

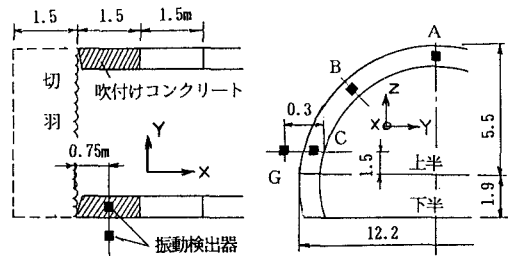


図-1 計器の設置位置

3. 振動速度の測定結果

図-2 に計器設置後の最初の発破(U-1)での振動速度の記録波形を示す。この時点で切羽からの距離は0.75m、吹付けコンクリートの材令は1.5日である。至近距離での計測となるため、芯抜きよりも計測位置に近い後段の払い発破の影響を強く受けていることが分かる。

表-1 は振動速度の最大値を一覧表としてまとめたものである。一次覆工には最大 56.3kine、岩盤には99.8kineの速度値が生じているが、離隔距離の増大に伴って急速に減衰している。方向別では、いずれの計測点とも衝撃波の伝播方向であるX座標（トンネル軸方向）の速度値が大きい。

岩盤と一次覆工との挙動の相違はCとDの比較から把握できるが、吹付け後2日未満の若材令では、岩盤の振

動速度に比べて吹付けコンクリートのそれは著しく小さい。まだ硬化が十分進行していないためと思われる。両者が異なった挙動をしていることは、図-3のパワースペクトル図からも推定できる。ただ硬化が進むにつれて両者の差はあまり無くなるようである。

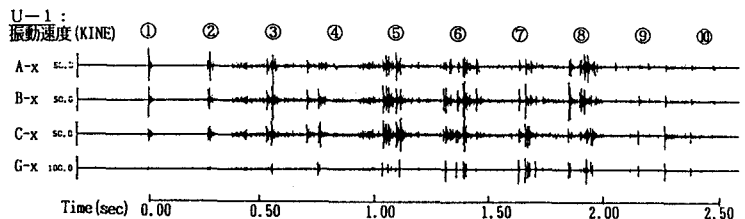


図-2 振動速度の記録波形（U-1）

表-1 振動速度の最大値（上半掘削）

今回の測定で得られた56kineの速度値は、従来使用されている覆工応力推定式 $[\sigma = \rho c_p v]$ から求めた限界振動速度 24kine（材令 1.5日、引張強度 $\sigma = 20\text{kgf/cm}^2$ 、 $\rho = 2.68$ 、 $C_p = 3\text{km/sec}$ ）の 2.3倍

上半	切羽距離 (m)	羽根 (mm)	吹付け材令 (days)	振 動 速 度 の 最 大 値 (KINE)												芯抜き薬量 (kg)	総薬量 (kg)
				A (天端)			B (肩部)			C (側壁)			D (岩盤)				
				X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z		
U-1	0.75	1.5	53.2	31.7	38.5	56.3	25.5	24.7	36.4	24.7	23.4	65.6	99.8	58.8	5.4	123.0	
U-2	2.25	1.8	23.9	24.0	14.2	35.1	21.4	18.1	26.0	20.2	15.3	47.3	29.4	37.1	6.6	109.9	
U-3	3.75	2.0	28.7	30.4	12.1	27.2	19.2	10.9	24.6	14.3	10.3	24.7	21.4	17.2	6.0	109.3	
U-4	5.25	2.5	33.2	32.3	15.7	20.8	20.8	11.5	27.7	14.0	9.3	16.8	12.2	11.3	6.6	121.9	
U-5	27.75	6.0	2.9	2.4	2.9	2.9	2.8	2.5	2.9	2.3	2.9	2.2	2.6	2.4	6.4	83.5	
U-6	30.75	7.6	1.2	0.7	1.0	2.4	1.1	0.7	1.8	0.7	0.8	0.7	0.7	0.7	6.4	80.0	

に相当する。ただし覆工には有害なクラックの発生は認められなかった。目視できない程度の微小クラックは存在しているかも知れないが、いずれにしても覆工の受ける影響は従来の予測よりはかなり小さいことが分かる。圧縮応力を受けるアーチ部材としての構造特性と、動的な振動速度の限界が静的なそれより大きいことが原因と考えられる。久武¹⁾は上記の覆工応力推定式が、実際よりも大きな応力を算定することを指摘している。

4. 振動速度の距離減衰

発破振動の関係式は装薬量 W および発破点からの距離 r を用いて、通常 $[v=C \cdot W^n \cdot r^{-m}]$ で表わされる。ここに、 v は振動速度値(kine)である。上式は至近距離になると、距離 r に対して発破孔の長さや発破域の広がりが無視できないほどの大きさになるため、一般には10m以上の距離がある場合に適用されている。ただしここでは距離の算定を、図-4に示すようにできる限り実情に近付けることを前提に、敢えて従来と同じ型で至近距離での減衰式を求めた。

装薬量 W に対する指数 n は $3/4$ または $2/3$ が使われることが多いが、雑喉²⁾はトンネル発破では使用薬量が少ないため $n \approx 1.0$ になると述べている。ここでは $n=1$ として解析した。

図-5に単位薬量当たりの速度値と距離との関係を示す。30mまでの距離で求めた最小二乗式は次のようになる。 $[v=(107 \sim 146) \cdot W^{1.0} \cdot r^{-2.2}]$ ただし $C=146$ (X方向)、 107 (Y方向)、 111 (Z方向)である。

距離 r に対する指数 m は2.2であるが、これは従来使用されている長距離に対するもの($m=1.8$ ²⁾)よりも大きい。近距離では高周波数の振動成分が卓越するため、減衰の仕方がより大きいのかも知れない。なお10m以内の距離で m を求めると上記よりも更に大きな値になる。

5. むすび

ここでは施工直後の一次覆工に、発破振動がどのような影響を及ぼすのかについて述べてきた。現状では吹付けコンクリートに亀裂が発生するなどの不都合な事態は生じていないが、将来に向けて新しい覆工のあり方を検討して行くためにも、その影響を正確に把握しておくことが必要である。

なお今回の計測で、トンネル覆工が相当大きな振動速度値まで耐えられることが明らかになった。これについては毎田³⁾もその可能性を指摘している。覆工の老朽度および応力状態、更には重要度等によって取扱が異なると思われるが、許容される限界振動速度についての見直し・検討が必要であろう。

参考文献

- 1) 久武；トンネルの合理的設計・施工に関する基礎的研究、1982.11, 学位論文、pp.65-76
- 2) 雑喉；発破振動の周辺への影響と対策、1984.9, 鹿島出版会、pp.23-28
- 3) 毎田、ほか；近接爆破によるトンネル覆工への影響について、1985.10, 土木学会第40回年講、pp.215-216

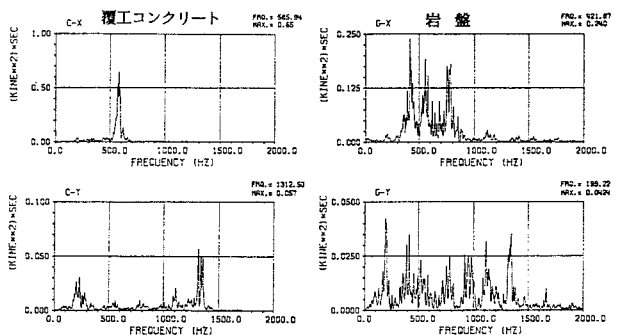


図-3 パワースペクトル (U-1)

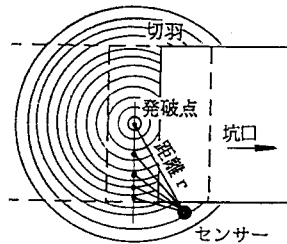


図-4 振動の伝播と計算上の距離

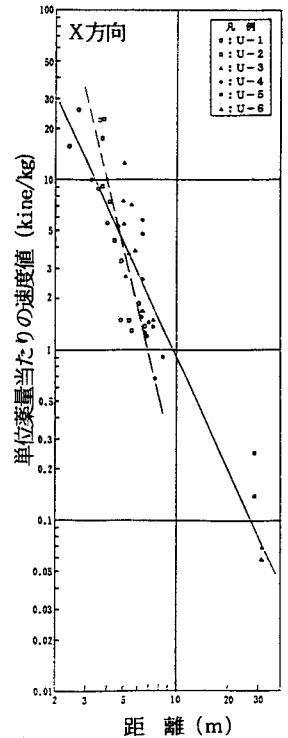


図-5 距離減衰線図 (上半掘削)