

VI-148 列車及び発破によるトンネル側壁部分の振動測定結果

J R東日本 東北工事事務所 正会員○白石 浩三
J R東日本 東北工事事務所 正会員 佐々木 弘
J R東日本 東北工事事務所 阿部 勇夫

1. はじめに

現在、J R東日本は、鉄道トンネル直下に平面交角約63°で水路トンネルを新設する工事を青森県から委託され、計画・設計を行っている。両トンネルの離隔が約1.8mと非常に近いため、設計、施工に当たっては細心の注意を払い、水路トンネルの掘削等に伴う鉄道トンネルへの影響を把握しながら、トンネル本体及び軌道の安全を確保する目的で、自動計測を含めた各種の計測管理を行う予定である。今回は、トンネル側壁部分に振動計を取り付け、列車及び青森県施工部分の発破による振動を計測したので、その結果及び動向を報告する。

2. 測定位置及び方法

今回の測定は、両トンネル交差部分から26m、41m離れた2点で行った。爆源は、測定位置から108m～138mに位置している。3chの振動計（加速度計）は図2のようにトンネル側壁に取り付けた。センサーからの信号を速度としてモニターし、平静時より大きい振動が観測された時点から一定時間、速度を磁気媒体に記憶し、その波形記録と発破時間を対比し、発破の結果発生したと考えられる振動速度を求めた。列車振動についても特徴的な波形について整理を行った。

鉄道トンネルは昭和42年に貫通した複線交流電化トンネルで、底設導坑先進上部半断面工法により施工された。なお、インバートコンクリートは施工されていない。地質は $q_u=800 \sim 1200 \text{ kgf/cm}^2$ の安山岩である。

3. 発破についての基本的な考え

鉄道トンネルへの影響を極力避けるため、発破制限区間を設定した。なお、設定については、爆破による振動速度 V (kine=cm/s) の予測式を参考にした。

$$V = C \cdot W^m / r^n \quad (1)$$

ここに、 V ：発破振動速度(kine=cm/s)

W ：段当り薬量 (kg)

r ：爆源からの距離 (m)

C ：薬種、爆破条件、地質条件によって決まる定数

m, n ：薬量あるいは距離減衰によって決まる定数

(一般に、 $m \approx 0.75, n \approx 2$)

当該トンネルの場合、複線トンネルのため列車の運行が頻繁であり、その重要性を考慮して管理基準値を1kine（震度2程度）とした。(1)式によって求めた結果、発破限界距離は約40mとなり、図1のような無発破区間を計画した。施工に際しては、他の測定項目と同様に監視を行い、基準値を上回った場合は、原則として施工を中止し、検討を行うことにしている。

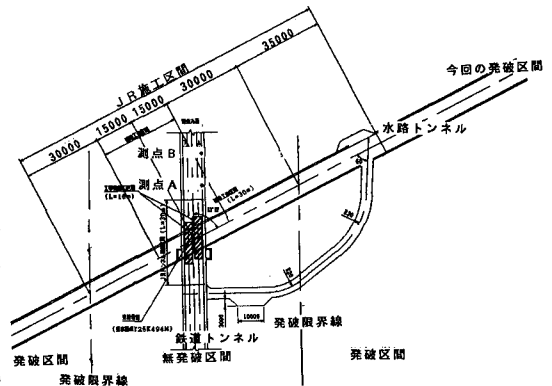


図1 計測および発破位置（平面図）

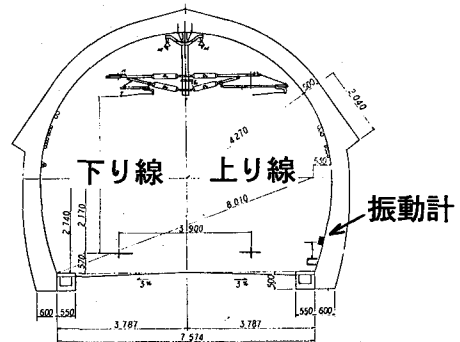


図2 振動計取り付け位置（断面図）

表1 発破振動の強さと被害との関係

振動速度 (kine)	被害あり			
	被害あり	注意	被害あり	被害あり
15.0				
10.0				
6.0	注意	安全限界内	被害あり	被害発生の可能性あり
5.0				
4.0				
3.0				
2.0				
1.0			注意	安全限界内
0.5				
	安全限界内		安全限界内	安全限界内
	Langefors	Grandell	Koheler	旭化成

4. 列車によるトンネル側壁の振動について

施工とは関係なく、常時発生している振動(列車振動)を把握するため、ある1日の全ての列車振動の最大速度を測定した。図3、4は列車振動の成分別最大速度分布図である。軸線方向の振動は、上下方向や側壁垂直方向に比べて小さいが、これは、軸線方向は、覆工コンクリートが繋がっており、拘束されているため振動が小さくなっているものと思われる。

一般的には、上下(Z)方向は他のX、Y方向よりも振動が卓越していると言われているが、B地点では $Y \geq Z$ の傾向も多く見られた。また、上り列車(白ヌキ)の方が下り列車(黒ヌキ)よりも振動が大きい、これは上り側の側壁に振動計を取り付けたためである。B地点の方がA地点よりも、どの方向についても、大きめの振動がでているが、これはB地点の測定位置から約1mの位置にレールの継ぎ目があることに起因しているとも考えられる。列車の種類、速度等によって振動速度は異なるが、3方向の合成振動値の最大値は0.15kine程度であった。

5. 発破によるトンネル側壁の振動について

今回の計測では、3方向の合成振動値の最大値は約0.20kineであった。この値は管理基準値(1kine)に対して十分に小さい値であった。

発破振動は列車振動とは異なり、側壁垂直方向が他の方向に比べて卓越しており、ほとんどが、側壁垂直(Y) > 上下(Z) > トンネル軸線(X)の順になっていた。爆源からの縦波が反応したものと思われる。図5を見ても分かる通り、B地点(黒抜き)の方がA地点(白抜き)よりも振動が大きい。この原因として、Bの方が切羽に近い位置にあることが考えられる。

また、計画値の評価を行うため、鉄道トンネルに近づいた10点のC値を求めると600~1000程度になった。今回の発破方法で施工した場合、発破限界位置はトンネル側壁から約30~45mとなり、当初の発破限界線は現在のところほぼ妥当であると考えられる。

6. 終わりに

レール継ぎ目や爆源からの距離が、A、B地点での振動速度の差となっていると思われるが、その他にも構造物自体の特性や周辺の地質の影響も考えられる。今回は発破振動の一部の結果報告と列車振動の結果に

止まったが、今後も発破振動の監視を続け、発破掘削の近接に伴うCの値等の変動や振動速度の増大傾向を把握し、他の様々な計測結果と合わせた総合的な判断のもと、より適切な施工を行っていく予定である。

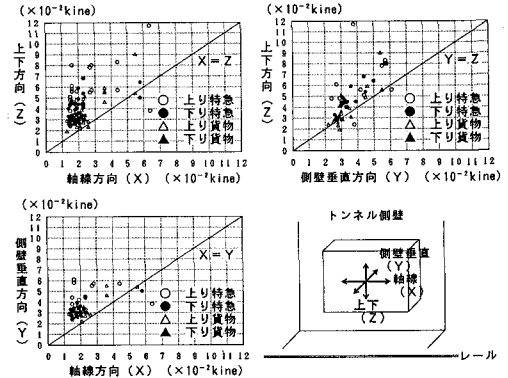


図3 成分別最大速度(A地点)

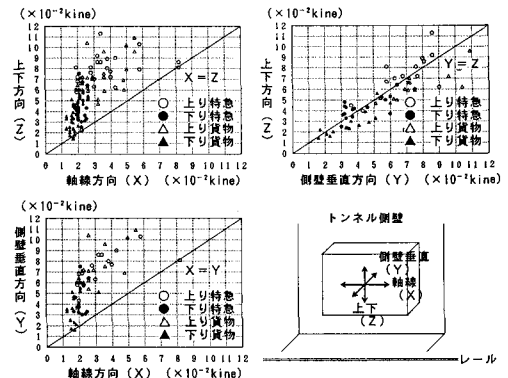


図4 成分別最大速度(B地点)

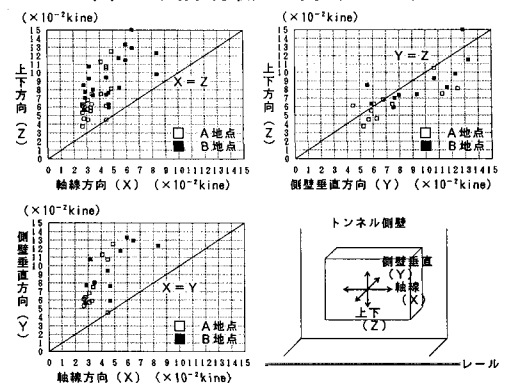


図5 成分別最大速度(発破振動)

表2 発破振動測定結果

No.	発破位置からの距離(m)		心抜き爆薬量(kg)	合成振動速度(kine)		Cの値	
	A地点	B地点		A地点	B地点	A地点	B地点
1	117.3	114.2	1.6	0.092	0.098	890	898
2	116.7	113.6	2.0	0.084	0.090	680	691
3	115.5	112.5	2.0	0.090	0.083	714	625
4	112.4	109.4	2.4	0.122	0.174	799	1080
5	111.4	108.5	1.2	0.061	0.099	660	1017