

小型加速度計を用いたトンネル掘削時における発破振動計測の試み

琉球大学 工学部 環境建設工学科	正会員	藍檀オメル
中日本道路㈱ 東京支社 清水工事事務所	正会員	小川 澄
清水建設㈱ 土木技術本部 地下空間統括部	フェロー会員	○ 今津 雅紀
清水建設㈱ 名古屋支店 土木部	正会員	出浦 博之
清水建設㈱ 名古屋支店 土木部	正会員	高岡 秀明

1. はじめに

本報告では、発破によって誘発される振動をモニタリングし、トンネル切羽から坑口区間までの岩盤特性を評価することの可能性をさぐるために、小型加速度計を用いた切羽後方の発破振動を計測し地質を推測する新しい試みを行った。対象とした南アルプスに位置する中部横断自動車道樽峠トンネル（南工事-静岡県側-：延長L=2,627m,全長4,998.8m）において、本坑坑口から190m程度入った本坑(下半)および避難連絡坑先端(坑口から130m)における2回の発破時に、複数の小型加速度計をロックボルトプレートにつけ加速度を簡易に計測した。

2. 樽峠トンネル(南)における地質及び工事概要

坑口区間数十mは、砂岩・泥岩の互層であり、それ以降は細礫岩となっている。計測時の切羽は坑口から190mの位置である。切羽掘削時には影響はなかったものの、事前の露頭での地質調査では破碎幅は小さいが弾性波探査の速度低下のため、図-1に示すF1~F3断層の3箇所には大きな破碎帯の存在可能性を示していた。

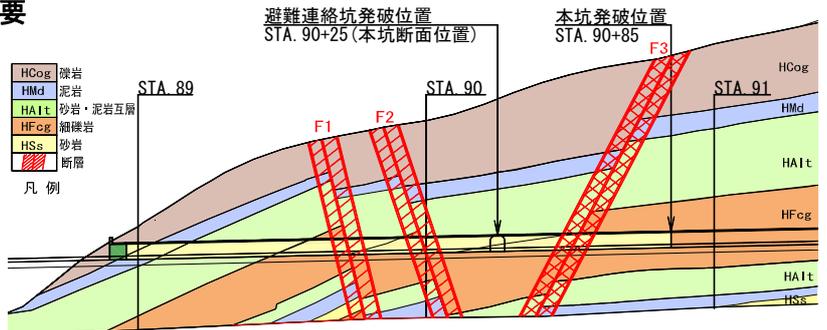


図-1 (事前調査)地質縦断面図 (本坑:坑口~250m 区間)

計測時におけるトンネル掘削は、図-2に示す避難連絡坑での全断面発破及び本坑下半断面の発破掘削である。避難連絡坑においてはDS雷管を用いた10段発破(Case-1) (含水爆薬0.4~2.8kg)であり、本坑下半掘削は表-1に示す4段総薬量30.4kgの発破(Case-2)であった。

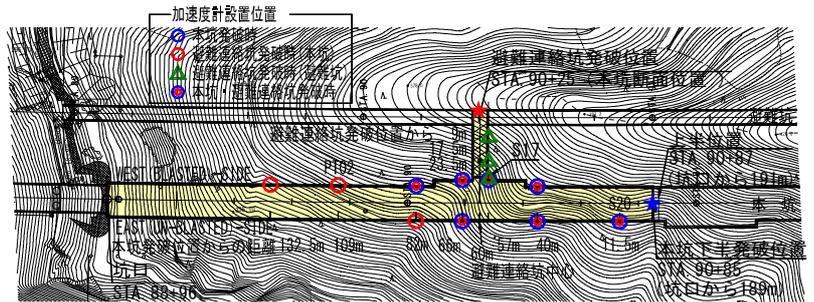


図-2 発破切羽位置と計測箇所

3. 小型加速度計測概要及び計測結果

避難連絡坑及び本坑下半断面を写真-1~2に示す。計測に用いた小型加速度計¹⁾は、3方向の加速度計測が可能で充電式内臓バッテリーで48時間程度までトリガレベル(今回10Gal)に応じて、計測可能な写真-3に示す小型タイプのものでロックボルトやプレート表面に容易に接着できるため現場での測定が簡易になる。

表-1 掘削時の総薬量

	避難連絡坑 総薬量(kg)	本坑(下半) 上段:秒差(sec), 下段:薬量(kg)			
		1段	2段	3段	4段
Case-1	71.2(10段)	0	0.40	0.90	1.40
Case-2		8.4	10.0	10.0	2.0



写真-3 小型加速度計

今回13台の加速度計を用いて計測し、加速度の減衰特性を検討した。また、加速度計の同期機能を備えているため、岩盤の波動伝播特性を計測することが可能である。



写真-1 避難トンネル連絡坑



写真-2 トンネル本坑

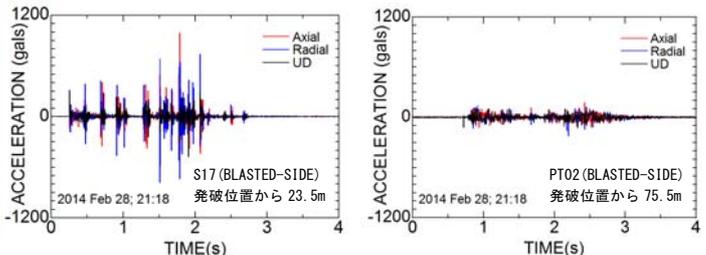


図-3 避難連絡坑トンネル発破における加速度波形

キーワード：トンネル, 発破振動, 小型計測器, 加速度, 波動伝播特性

連絡先：東京都中央区京橋二丁目16-1, Tel.03-3561-3891, Fax.03-3561-8672

岩盤の波動伝播特性を計測するため避難連絡坑側壁(本坑切羽側)に3台の加速度計を設置した。図-3は避難連絡坑トンネル発破における発破地点より23.5m(計測器番号-以下同じ-)S17と57m(PT02)離れた位置に設置された加速度計波形を示す。発破による振動が距離とともに大きく減衰し、加速度記録時間軸に対して対称的ではないことがわかる。図-4は避難連絡坑トンネル発破時における加速度の距離減衰特性を示しているが、距離に比例して最大加速度値は指数的に減少し、減衰特性も異なることがわかる。

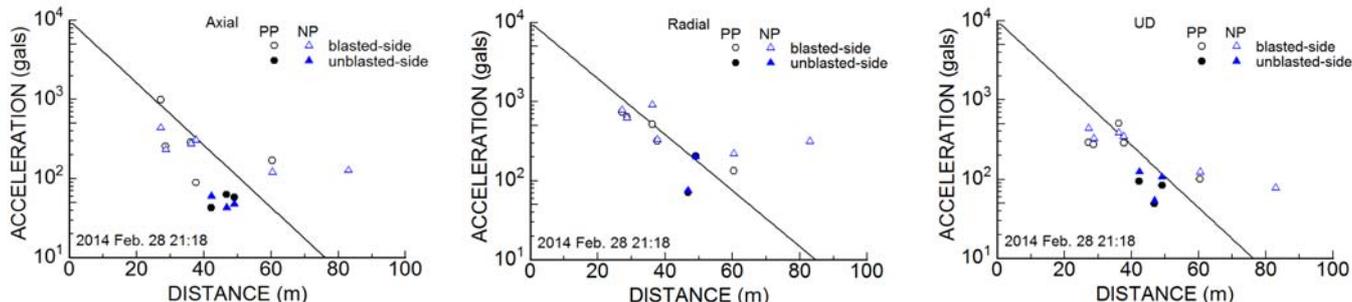


図-4 避難連絡坑トンネル発破時における加速度の距離減衰

図-5は本坑下半の発破箇所より11.5m(S20)離れた加速度計記録を示す。この場合も、加速度記録時間軸に対して対称的ではないことがわかる。図-6は発破による最大加速度の距離減衰特性を示す。図によると、避難連絡坑発破時と同様に、距離に比例して最大加速度の値は指数的に減少している。また、方向によって加速度の減衰特性も異なっている。

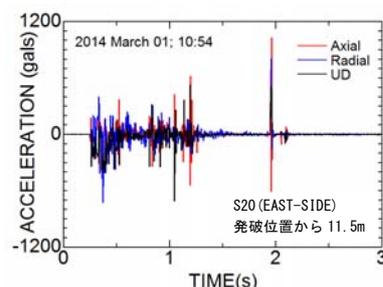


図-5 加速度波形(本坑下半トンネル)

一方、避難連絡坑トンネル発破時及び本坑下半発破時における加速度の距離減衰特性も異なっており、地質の相違やトンネル空間の影響が考えられる。

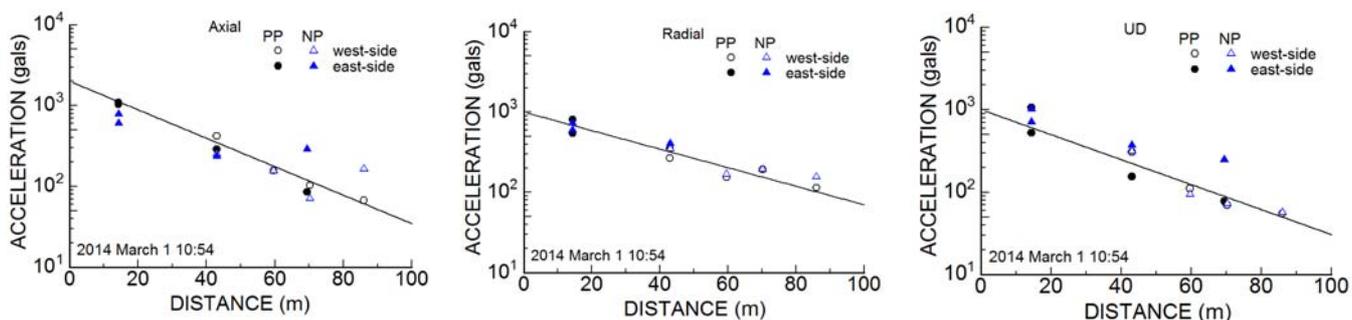


図-6 本坑下半トンネル掘削時の加速度距離減衰

4. 加速度計測結果から判明する地質特性及び小型加速度計の特徴

加速度計の同期機能を用いて得られた岩盤の弾性波速度は、避難連絡坑の発破に関して1.8-2.6km/s、本坑の発破に対して2.0-2.7km/sであった。この値は事前の物理探査で得られている値2.5-3.0km/sに大変類似している。母岩の弾性波速度を考慮すると、岩盤の強度と変形係数は母岩のもの約0.2-0.4倍であることが推測された。このことから小型加速度計の同期機能を利用できれば、発破振動による影響を評価できるとともにトンネル周辺の岩盤状況を把握することが可能である。

小型加速度計の特徴をまとめると、①1台あたりのコストが安いため多数の計器を設置できること、②小型であるため発破の飛石を防御できれば容易にトンネル側面へ設置できること、③トリガー機能があるため同期特性を容易にできること、④小型バッテリーを内蔵しているため電源を必要とせず長時間の測定が可能なこと、⑤パソコンへの取り込みが直接簡単にでき計測後すぐに計測データを分析できること等、多くの利点を有している。

5. おわりに

本報は、坑口から本坑下半及び避難連絡坑掘削時における加速度計測結果をまとめたものであるが、今後は、断層部の分布を詳細に把握するため、地表面での測定に加え掘削位置の土被りが深くなった段階において計測し、切羽マウングルによる初期地圧測定²⁾を行う予定である。また、切羽前方を含むトンネル周辺岩盤の状況を切羽観察結果と合わせて把握することにより、切羽の地質判定把握にも役立てていきたい。

参考文献

- 1) Genis, M., Aydan, Ö., Derin, Z.: Monitoring Blasting-Induced Vibrations during Tunnelling and Its Effects on Adjacent Tunnels., Proc. of the 3rd Int. Symp. on Underground Excavations for Transportation, Istanbul, pp.210-217, 2013.
- 2) Watanabe, H., Aydan, Ö., Imazu, M.: An integrated study on the stress state of the vicinity of Mt.Kuriko, The 6th International symposium on In-situ rock stress(SENDAI), pp.831-838, 2013.