

掘削発破を震源とする弾性波探査用信号検出装置の開発

日本工機(株) 正会員 ○村田 健司 川野 誠 藤垣 雄一

鹿島建設(株) 正会員 山本 拓治 横田 泰宏 栗原 啓丞 大畑 俊輔

佐藤 一成 平田 学 橋本 基

1. はじめに

発破工法はトンネル掘削、深礎掘削、造成工事、碎石採掘など広範囲な土木工事に使用されている。発破工法は爆薬の爆発によって生じる強力な衝撃波と生成ガスの効果によって岩石を破砕する。そのため、機械による掘削施工が困難な硬い岩石であっても効率良く破砕が可能である。しかし、発破工法は同時に地盤振動も発生する。発破現場周囲の状況によっては、発破の規模を制限することが必要になる程大きな地盤振動が発生する場合もある程である。

この発破工法による地盤振動を人工震源として利用した各種の弾性波探査に応用するには、時間精度良く発破による人工震動の発生時刻を検知し、地盤振動の測定系と連動した電気信号(ショットマーク)が必要となる。

筆者らは、弾性波探査装置との連携計測を目的とし、掘削発破を震源とする弾性波探査用信号検出装置の開発を行ってきた。

本報告では、信号検出装置の原理及び装置の概要及び生成させるショットマークの詳細と、実際の発破現場適用結果について述べる。

2. 従来の方法

これまで爆薬を人工震源として利用する場合には、ショットマークが得られる雷管1本専用の特殊発破器や、センサー系を用いる以下のような方法で人工震源としてのショットマークを計測していた¹⁾。

- 1) 爆薬の周囲にあらかじめ電線を巻きつけ、爆薬の爆発によって電線が断線するのを検知する方法。
- 2) 爆薬の内部にイオンギャップ(電氣的に絶縁された1組の電線)を挿入し、爆薬の爆轟によってイオンギャップが電氣的に導通状態になるのを計測する方法。
- 3) 爆薬に光ファイバーの片端を挿入し、もう片端には光検知回路に接続し、爆薬の爆発による発光を検知

する方法。

これらの方法では、爆薬を装填する孔に、消耗品センサーとなる電線や光ファイバーと一緒に装填して信号を検知し、更に弾性波探査用のショットマークに変換する装置が必要となる。そのため、準備手順も複雑で実際の掘削発破の工程の中に弾性波探査を組み込むのは困難である。

発破回路に流れる電圧・電流を直接計測する方法も不可能ではないが、一般的な発破器の出力電圧は500V～2000Vと非常に高電圧であるために接続する電子機器を破損する可能性がある。また、発破回路に発破器以外の電子機器を直接電氣的に接続するのは漏電のリスクが懸念され、安全上好ましくない。

3. 弾性波探査用信号検出装置の開発

本研究では、発破電流の通電を電氣的に非接触な状態で検知する方法の検討し、検知した磁場信号から、弾性波探査装置に適した信号への演算・変換方法について検討した。その上、図1のシステム構想図に示すように、トンネル発破掘削工程を変更せずに、トンネル掘削発破を人工震動発生源とするための具体的方法について検討を行った。

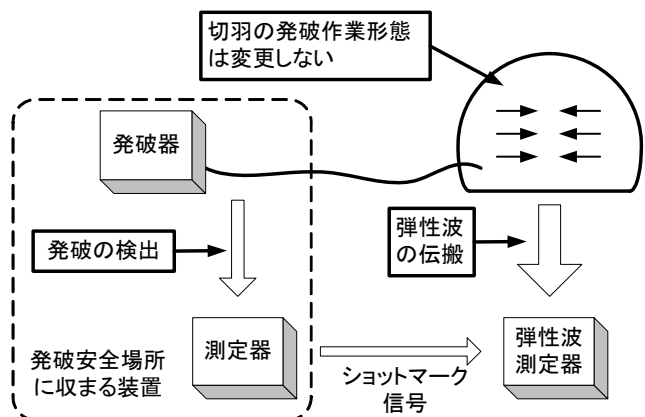


図1 システムの構想図

キーワード 発破掘削振動、弾性波トモグラフィ、山岳トンネル、切羽前方探査、ショットマーク

連絡先 〒961-8686 福島県西白河郡西郷村長坂土生2-1 日本工機(株) 研究開発部 TEL0248-22-3802

装置は、発破電流の通電を非接触で磁氣的に検知する検知部と弾性波測定系に適合した信号に変換する演算回路部に分けて検討した。

発破器は $20\ \mu\text{F}$ のコンデンサーを 1500V に充電し、点火操作によって一気に発破回路に放電する。発破回路の抵抗値は電気雷管の本数にもよるが、 $50\sim 200\ \Omega$ 程度であり、発破電流のピーク値は $7\sim 30\text{A}$ と大きく変動する。そのため、各種の非接触型センサーの中から、電流感度が強く、磁気飽和するものの大電流にも耐えられ、1つのセンサーで発破の都度大きく変わる発破電流を検知可能である磁気センサーを選定した。

さらに、信号を変換する演算部は、磁気センサーからの出力を弾性波測定系に適した信号に演算変換する方法を選定した。これは、発破電流はピーク電流数A以上と大きいですが、継続時間は数ミリ秒と非常に短いため、周波数帯域が数百Hzと低周波側に卓越した弾性波測定系では応答速度が不足し計測できないためである。

図2に装置の構成と波形概念図を示す。磁気センサーは発破電流に対応した数msの信号を検知し、更に弾性波測定器に適した長いパルス波形に変換する。

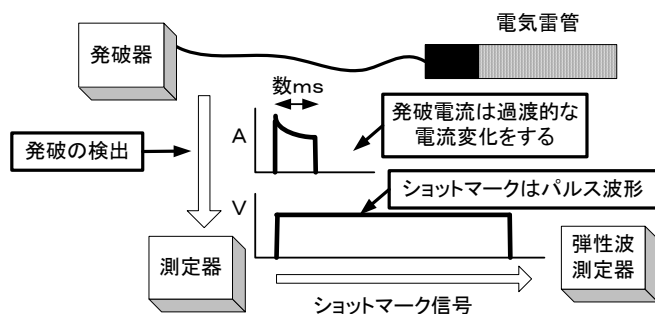


図2 装置の構成と波形概念図

図3に本装置の運用状況を示す。開発した装置はコンパクトで、電源を必要としない非接触な磁気検出装置なので、発破安全場所内への設置状況が可能である。



発破安全場所内への設置 発破電流の検出部

図3 本装置の運用状況

4. トンネル発破掘削における人工震動エネルギー

トンネルの発破掘削には、通常含水爆薬が使用される。本実験を行った、主要地方道一志美杉線(矢頭峠バイパス)道路改良(矢頭峠トンネル(仮称))工事では、筆者らが開発した含水爆薬を使用している。その爆轟反応速度は $5500\sim 6000\text{m/s}$ 、爆轟ピーク圧力は 10GPa である。そして、起震源となる衝撃波エネルギーは 1kg 当たり約 1MJ である。

弾性波探査に有効なのは段発発破の中でも瞬発電気雷管による発破振動である。1発破あたり瞬発電気雷管6本(3対のVカット芯抜き)、含水爆薬 2.4kg から 6kg を使用していることから、弾性波探査に有効な振動エネルギー源としては、 2.4MJ から 6MJ の衝撃波エネルギーとなる。

仮に、衝撃波エネルギーの数%が地盤振動となり伝搬するとしても、ハンマーによる打撃エネルギーとは桁違いの起振エネルギーとなる。本実験では実際に同条件で測定した地盤振動ピーク値で約 1000 倍であった。

5. まとめ

本研究では、電氣的に絶縁されているにもかかわらず掘削発破時の起爆信号を取得する弾性波探査用信号検出装置を開発し、安全かつ高精度に起爆時のショットマーク信号を取得できた。消耗品センサーとなる電線や光ファイバーが不要で、実際の掘削発破工程にも影響を与えない。そして、実際に発破工法で掘削を行っている矢頭峠トンネル(仮称)において、発破振動を利用したトンネルトモグラフィ探査を実施し、その実用性を検証した²⁾。

6. 謝辞

本装置の適合性を実証するにあたって、貴重な機会をご提供下さった三重県津建設事務所、および施工技術研究総合研究所に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 村田健司ら：特許第3653811号 平成17年3月11日登録
- 2) 栗原 啓丞, 村田健司, 横田泰宏, 山本拓治：掘削発破振動を用いたトンネルトモグラフィ探査の現場適用実績, 土木学会第68回年次学術講演会投稿中, 2013