

蒸気圧破砕薬のトンネルトモグラフィ探査用起振源への応用

日本工機(株) 正会員 ○村田 健司 鹿島建設(株) 正会員 大畑 俊輔
 日本工機(株) 川野 誠 鈴木 慶正
 鹿島建設(株) 正会員 山本 拓治 宮嶋 保幸 栗原 啓丞

1. はじめに

山岳トンネル掘削工事における掘削予定箇所の事前のトンネルトモグラフィ探査は、効率的で安全なトンネル掘削の為に非常に重要である。トンネルトモグラフィ探査の起振方法には、探査距離が短い人力でのハンマや電動・油圧起振機などの物理的衝撃によるものと、探査距離が長い爆薬の爆発による衝撃が使用されてきた。^{1), 2)}

本研究グループでは、探査距離をより長くできる強い衝撃を与えながらも、爆薬によらない起振方法の検討を行ってきた。その研究成果については、大畑俊輔らによる「先進ボーリングと蒸気圧破砕薬を用いたトンネルトモグラフィ探査」にて報告する。³⁾

本報告では、蒸気圧破砕薬による弾性波の発生方法について、その原理と実際にトンネル掘削現場への適用結果について報告する。

2. 蒸気圧破砕薬の特性と従来法との比較

表1に蒸気圧破砕薬の特性を示す。薬剤は、アルミニウム・酸化銅からなるテルミット反応を示す組成物に、結晶水を持つカリウムミョウバンが添加されている。

専用の着火具により電気点火すると、アルミニウムと酸化銅のテルミット反応により高温が発生する、その高温によりカリウムミョウバンの結晶水が瞬時に気化することで、1kgあたり約330気圧の高温・高圧の蒸気が発生する。最大圧力に達するまでの時間は、僅か30～50ms程度であり、この高温・高圧の蒸

表1 蒸気圧破砕薬の特性

薬剤形状	銀色の小粒状
密度	1.07 ~ 1.25 g/cm ³
反応速度	300 m/s 以下
発生ガス量	330 l/kg
発生熱量	1590 kJ/kg
最大圧力到達時間	30 ~ 50 ms

気は、装填孔周囲の岩盤を瞬時に押す応力として作用し起振すると考えられる。

本研究における蒸気圧破砕薬の使用法では、岩盤の破碎は行わない。そのため、多くのエネルギーが岩盤を押圧する。仮にエネルギー効率が25%として薬剤カートリッジ2本(240g)を一回に使用すると、0.1MJ程度が期待できる。

人力でのハンマ打撃では、ハンマの重量を1kgとして0.5mの振りを0.1秒と高速でスイングするとしても、その運動エネルギーは数百Jのレベルである。

発破工法に使用する含水爆薬の場合は、その起爆によって衝撃波が岩盤に入射し、地盤振動が発生すると考えられる。水中爆発試験法により求めた含水爆薬の衝撃波エネルギーは約1.0MJである。⁴⁾ 発破工法においては、約50～60%の衝撃波エネルギーが岩盤の破碎に寄与し、他が発破騒音、発破振動に寄与すると考えられている。⁵⁾

このため、起振のエネルギー比としては、「人力ハンマリングによる打撃エネルギー」 < 「蒸気圧破砕薬による押圧エネルギー」 < 「含水爆薬による地盤振動エネルギー」の順となると考えられる。

3. 蒸気圧破砕薬のトンネルトモグラフィ探査用起振源への応用

図1に切羽での装填状況を示す。写真1に蒸気圧破砕薬のカートリッジとビニール袋による防水処置の様子を示す。

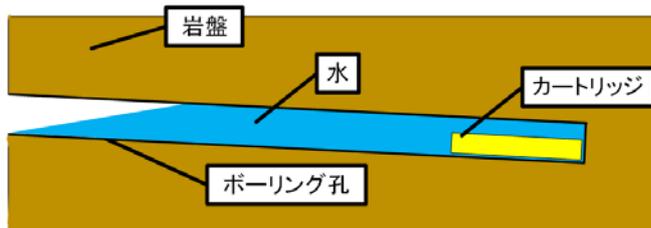


図1 切羽での装填図

キーワード 蒸気圧破砕薬, 弾性波トモグラフィ, 山岳トンネル, 切羽前方探査

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



写真1 薬剂カートリッジ

(上：薬剂カートリッジ2本，下：防水処置後)

蒸気圧破碎薬の反応により発生したガスは、孔内に水を満たすことで閉じ込められる。水は非圧縮性の流体ではあるが、30～50msと極めて短い時間でガス圧がピーク圧力に到達するので、その瞬間は慣性力により見かけ上剛体のように作用する。しかしながら、水は流体であるのでその後はガス圧に押され孔口へと移動する。ガスは水の移動によって体積を増すと同時に、急速に熱を奪われ、圧力は急激に低下する。この一連の現象が、岩盤を急激に押圧して開放するという、ハンマによる一打撃のような作用をするものと考えられる。

このメカニズムを考える為のモデル実験として、図2に鋼管でのモデル実験の方法、図3にモデル実験のセンサー電圧(∝圧力)時間特性図を示す。

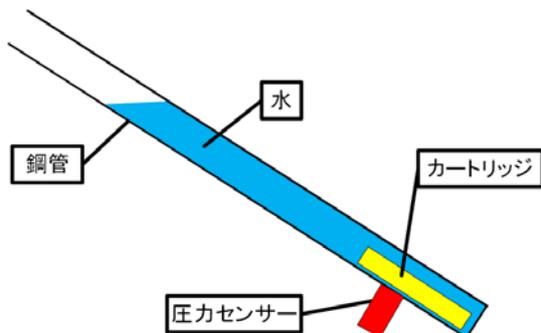


図2 鋼管におけるモデル実験

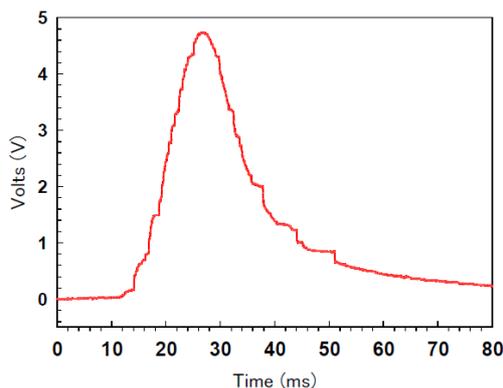


図3 モデル実験における電圧(∝圧力)時間特性図

密閉容器であれば、蒸気圧破碎薬の反応により発生した圧力は容器内に維持されるが、込め物を水とした場合には、水が流動するために、内部に圧力が維持される時間は一瞬ではある。この維持時間や周囲への押圧力は蒸気圧破碎薬の量だけでなく封入水の状況や穿孔の状況の影響も受けると考えられ今後も検討の余地がある、そこで、鋼管の膨張変形などの岩盤の押圧に結びつく物理量の測定実験等が今後の課題である。

4. まとめ

本研究では、蒸気圧破碎薬を起振源とした場合の特徴について明らかにするとともに、そのメカニズムについて検討した。大畑俊輔らによる報告³⁾では、実際に掘削中の北方延岡道路・南久保山トンネルにおいて、ハンマリングによる起振に比べ、蒸気圧破碎薬による起振では振幅が5倍から10倍の弾性波が観測され、エネルギー比が大きく異なることが判明している。

蒸気圧破碎薬は、衝撃波の発生を伴わないので周囲の岩盤の破碎のためには岩盤の引っ張り強度以上の応力を生じさせることが必要である。そのため、本研究のような使用方法では装填孔周囲の岩盤を破碎するには至らないために装填孔を何度も使用できるなど、適用範囲が爆薬による起振よりも大きい可能性がある。

5. 謝辞

本実験を実施するにあたって、貴重な機会をご提供下さった国交省九州地方整備局に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 栗原啓丞ら、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,H25土木学会第68回年次学術講演会要旨, P. 481-482
- 2) 村田健司ら、掘削発破振動を震源とするトンネルトモグラフィ探査用信号検出装置の開発,H25土木学会第68回年次学術講演会要旨, P. 483-484
- 3) 大畑俊輔, 村田健司, 山本拓治, 宮嶋保幸, 栗原啓丞: 先進ボーリングと蒸気圧破碎薬を用いたトンネルトモグラフィ探査, H26土木学会第69回年次学術講演会要旨に掲載予定
- 4) 村田健司ら, 火薬学会誌, 第57巻, P. 252-261, (1996)
- 5) 新・発破ハンドブック P. 365-378, 社団法人工業火薬協会編, 山海堂 (1988)