

蒸気圧破砕材を起振源とした TSP 法（坑内弾性波反射法）測定実験

(株)フジタ技術センター 正会員 加藤卓朗 村山秀幸 野間達也
(株)フジタ広島支店 土屋敏郎 坂田拓司

1. はじめに

トンネル技術者にとって切羽前方の地質状況を適切に予測し、地山不良個所に対する対応策を検討・提案・実施することは、工程・施工・安全管理上の基本技術である。しかしながら、事前調査のみでは地質条件の複雑さなどから適切な予測が困難な場合が多いため、トンネル施工時にトンネル坑内からの切羽前方予測を実施する必要性が発生するのが現実であろう。

このような背景から、トンネル施工時の探査法として TSP 法、HSP 法が開発され、現場適用が進められている。ただし、これらの探査法は発破を起振源とするため、最近の山岳トンネルにおいて多くなりつつあるロードヘッダや TBM などによる、通常発破の使用許可申請を実施していない機械掘削トンネルには適用できない。

そこで、機械掘削トンネル等の従来探査不可能であった箇所に適用するためには、発破を用いない弾性波反射法による探査が非常に有効であると考えられる。本稿では TSP システムの起振源として非発破破砕工法に使用される蒸気圧破砕材が適用可能かを検討した。

2. 実験方法

今回実験に使用したシステムは、スイスのアンベルグ社（Amberg Measuring Technique Ltd）製の TSP-202 である。起振源としては通常 TSP 法で使用される含水爆薬 50g、蒸気圧破砕材 120g、500g を使用した（図 1 参照）。この蒸気圧破砕材は火薬類ではなく、また雷管ではなく着火具を使用するため火薬類取扱法の規制を受けない。このため、機械掘削トンネルにおいても許可申請が必要無いため比較的容易に使用できる。

トンネル坑内において、図 2 に示すように通常の TSP 法と同様に、切羽後方約 50m のトンネル側壁両側に受振孔 2 孔を穿孔し、受振器（高感度加速度センサー）を設置した。受振孔はトンネル壁面からの反射波の受振を避けるため、その先端を坑口側に 10° 傾斜させた。また、水平面に対しては鉛直方向下向きに 10° 傾斜させた。なお、穿孔径は 42mm で穿孔長 2.4m とした。

発破孔は TSP 法における最も切羽側と最も受振器側の発破孔の配置位置を想定して、切羽から 10m 付近、35m 付近の 2 箇所にそれぞれ 1.5m 間隔で 3 孔ずつ配置した。発破孔の穿孔長は 1.5m とし、鉛直方向下向きに 10° 傾斜させた。穿孔径は、含水爆薬用、蒸気圧破砕材 120g 用は 42mm、蒸気圧破砕材 500g 用は

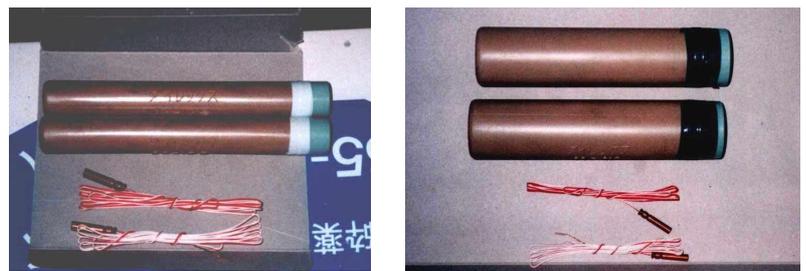


図 1 蒸気圧破砕材（左：120g，右：500g）

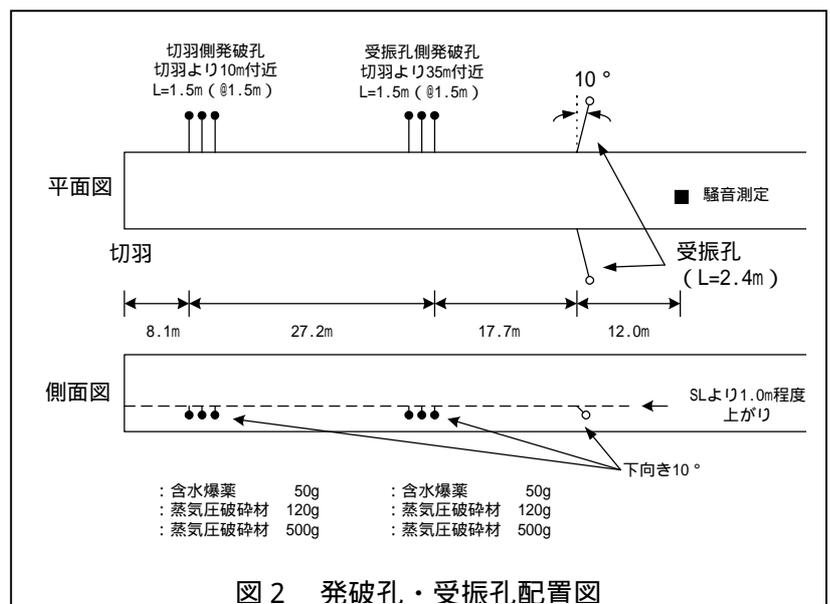


図 2 発破孔・受振孔配置図

65mmとした。なお、6孔とも側壁の保護のため水タンピングを実施した。また、切羽後方約65mにおいて騒音を測定した。

3. 実験結果

図3に取得波形例を示す。蒸気圧破碎材を起振源とした場合、初動到達時間が不明瞭であるか、比較的初動を読み取りやすい場合の弾性波速度が $V=3.0\text{km/s}$ 程度と低いという結果がえられた。この $V=3.0\text{km/s}$ という値は含水爆薬起振から得られた弾性波速度 $V_p=4.6\sim 5.2\text{km/s}$ 、地表面からの弾性波屈折法の探査結果 $V_p=4.8\text{km/s}$ と大きく異なる。これは蒸気圧破碎材起振は初動(P波)のエネルギーが弱く、二次波(S波)が強調されて測定されているためと思われる。また蒸気圧破碎材起振は周波数が低く、弾性波の卓越周波数の帯域が発破起振に比べ狭いため、減衰が大きく弾性波が遠方まで伝播しないという結果がえられた。

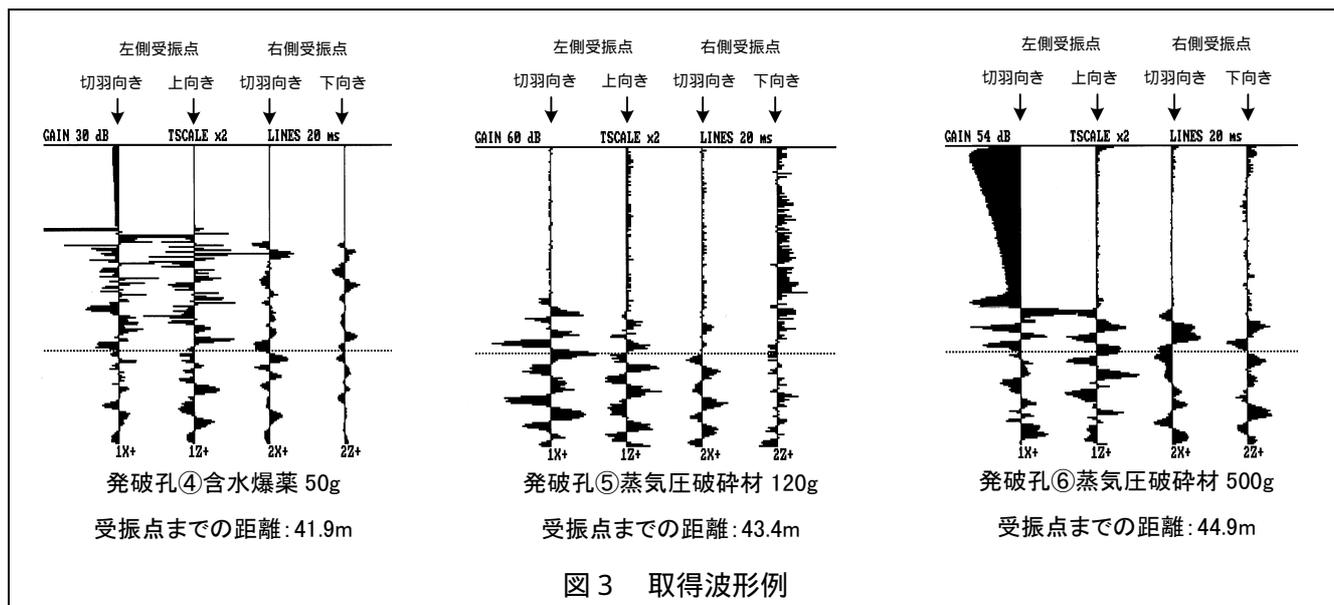


図3 取得波形例

蒸気圧破碎材起振では、発破孔と同じ側壁の受振データは、低周波ノイズが大きいが高周波ノイズが含水爆薬起振に比べて小さいため除去できるレベルのものである。一方反対側の受振データは記録時間前半では比較的ノイズは少ないが、記録時間後半では振動によるノイズが著しく大きい。ノイズ処理の結果、蒸気圧破碎材 120g は起振力が小さく、切羽前方の反射面をほとんど捕らえていないが 500g の場合はある程度反射面を捕らえることができた。

騒音測定の結果を図4に示す。ただし発破孔(含水爆薬 50g)はタンピング水が抜けたため、空打ちに近い状態である。その結果、蒸気圧破碎材 120g

での騒音は含水爆薬 50g 以下であるが、蒸気圧破碎材 500g では含水爆薬 50g に比べてかなり大きいことが分かる。よって蒸気圧破碎材は騒音が大きく起振エネルギーは小さいといえる。

4. まとめ

蒸気圧破碎材は、含水爆薬と比較して弾性波が遠方まで伝播しないこと、P波の読み取りが不明瞭であることから、P波の解析しかできないTSP法の起振源としては不適當であると思われる。しかしながら蒸気圧破碎材による起振はS波が卓越して発生している可能性があるため、物質の性状を捕らえるのに有効であるとされているS波を振源とする探査へ利用できる可能性が示唆されたといえる。

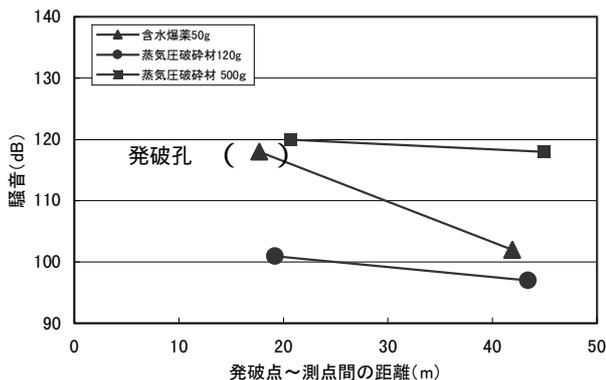


図4 騒音測定結果