岩盤中での発破振動の伝搬に関する実測例

飛島建設	正会員	○小林	真人,	飛島建設	正会員	兼松	亮
飛島建設	正会員	川端	康夫,	東北大学		佐貫	智行
東北大学	正会員	京谷	孝史,	東北大学		吉岡	正和

1. はじめに

トンネル工事の発破作業による振動の影響予測は, 地盤上の構造物や人体,地盤中での近接構造物を対象 として行われており,その伝搬特性に関して多くのデ ータが示されている^(例えば 1),2)。今回,筆者らは,掘削中の トンネルにおいて岩盤内(花崗岩体)での発破振動を計 測する機会を得た。本報では発破振動の岩盤内での伝 搬性状,および岩盤内を伝搬した振動が消散したのち に,坑内を伝搬した音波によって発生したと思われる 振動について示す。

2. 調査概要

調査は花崗岩体を掘削する道路トンネル工事(トン ネル延長:1,022m, 掘削断面:62~67m²)で行った。計 測対象とした発破の諸元を**表1**に示す。

発破振動の計測は図1に示したように、トンネル縦 断方向に抗口から100m間隔で設置した測点V1から V9で行った。ただし、施工中のトンネルで計測を行っ たため、切羽の進捗に合わせて測点を追加した。ここで、 切羽と最接近の測点間距離は50mから100m程度とし て、この測点での応答を用いたプリトリガ計測により、 全測点での応答を同期させてサンプリング周波数1kHz で PC へ記録した。計測量は3方向の振動速度として、 トンネル断面方向をX,縦断方向をY,地盤の上下方向 をZとした。振動速度センサーはトンネル側壁の岩盤 を削孔(直径 300mm, 深さ 300mm)し,岩盤に打ち込んだアンカーを介して固定した。また,孔にはモルタルを充填した。なお,本研究の評価対象では変位での評価が必要であったため速度を積分して変位を求めた。

3. 調査結果

①振動の伝搬性状

図2に振動の方向別に切羽からの距離と応答の関係 を示す。ここでは、発破振動の時間波形から応答が最大 となる芯抜きの値を読み取った。ただし、V1からV3は S/Nが悪いため除外した。また、図には近似式、相関係 数、±95%信頼区間を併記した。

図から発破応答と距離との関係は累乗近似でき相関 も高いことがわかる。傾きについて着目すると X と Z が Y に比べ若干急峻ではあるが,発破応答は距離の二 乗におおむね反比例することがわかる。ここで,地盤振 動の減衰に関する一般式として(1)式³が示されている。

$$A = A_0 r^{-n} \exp(-\alpha r) \tag{1}$$

ここで, A, r は振幅, 距離であり, n と α は定数であ

表1 調査対象とした発破の諸元

データ数	260回(DI:22%, CII:78%)			
雷管	DS 10段			
段薬量	芯抜き:0.4kg~14.0kg			
総薬量	21.6kg~137.2kg			



図1 調査対象としたトンネルの縦断図と発破振動の計測システム

キーワード トンネル発破,花崗岩,振動,距離減衰, 連絡先 〒227-0222 千葉県野田市木間ケ瀬 5472 飛島建設㈱ TEL 04-7198-7553

る。実体波などの3次元的に伝わる球面波ではn=1,表 面波などの2次元的に伝わる円筒波ではn=0.5である。 また,実体波が半無限体の自由表面を伝搬する場合に は n=2 となる³⁾。以上のことから、本調査で得られた発 破による振動は、発破点を振動源とした実体波が坑内 表層岩盤を伝搬したものと考えられる。

X と Z の傾きが若干急峻なのは、これらがトンネル 面内方向の挙動であり、Y に比べてトンネル構築が動 きやすいことによる散逸が付与されていることが考え られる。

② 周波数別の伝搬性状

図3にV8を基準にした振幅比と周波数,および距離 との関係を Y で例示する。なお、ここでは連続する 10 回の発破にける平均値を示す。図から周波数が高くな るほど、かつ距離が離れるほど減衰が大きくなる様子 がわかる。これは、周波数が高くなるほど岩盤の内部減 衰に関する情報が重要であることを示すものである。

③坑内を伝搬した音波による振動

前述のとおり、V1からV3の振動は切羽からの離隔 が大きく(600m以上)なったことで S/N が悪くなっ た。ところが、切羽から伝搬した振動が消散した後に比 較的大きな振動が発生していた。図4はV1(切羽から の離隔766m)における応答の時刻歴(X)を示したも のである。岩盤中の音速を 4,000 (m/s)とすれば,発破 0.2 秒後には振動応答が生じているはずであるが、V1 では発破から約2.3秒後に大きな応答が生じている。こ の時の空気中の音速を 340 (m/s)とすれば伝搬距離は 782m となり、これは切羽と測点間の離隔にほぼ等しい。 よって図4 で示した応答は坑内を伝搬した音波によっ て励起された振動と考えることができる。ここでは、切 羽から最も離れた V1 の応答を例示したが,他の測点で も同様の現象を確認している。これらの結果は岩盤中 を伝搬する振動以外に, 坑内を伝搬する音波で励起さ

れた振動にも注意する必要があることを示している。

4. おわりに

施工中のトンネルで岩盤内を伝搬する振動の伝搬性 状を調査した。発破振動の坑内での応答は距離の二乗 に反比例すること,高い周波数ほど減衰が大きくなる ことを確認した。一方, 坑内を伝搬する音波によって励 起される振動に注意が必要であることを示した。

謝辞

調査にあたり、工事発注機関のご理解とご協力を頂 きました。ここに深謝致します。

参考文献

1)日本騒音制御工学会技術部会低周波音分科会:発破によ る音と振動,山海堂, 1996.

2) 中川ほか, 共訳: 発破振動の測定と対策, 山海堂, 1995. 3)江島淳,地盤振動と対策,集文社,1979.







図2 発破による振動と離隔距離の関係