

III-460 振り切れた発破振動波形に含まれる情報

西松建設株式会社 正会員○平田篤夫
 西松建設株式会社 正会員 石山宏二
 西松建設株式会社 正会員 稲葉 力

1. はじめに

硬岩地山のトンネル掘削において、切羽近傍の岩盤の安定状況を把握するために Acoustic Emission (A E) の計測が実施されることがある。その場合、微小破壊にともなう振動現象を精度よく記録するために、相当の感度増幅を行った計測体制が敷かれる。岩盤が不安定になるのは発破直後の切羽近傍に二次応力が再配分される過程と考えられるので、A E計測も発破の前後に集中的に実施することが多い。従って、A Eと振り切れた発破振動の波形が得られることになる。ところで、原位置計測における対象A Eの周波数帯域は、岩石供試体の破壊試験で得られるA Eのそれより低く、発破振動と同様の帯域にある。計測機器が過大入力の結果非線形な挙動を示さなければ、振り切れるまでの波形は発破による岩盤破壊を反映したものと考えることができる。

上記の観点のもとに、原位置A E計測の波形記録のなかの振り切れた芯抜発破振動波形の初動記録を用いて、岩盤の状態を推定する手法について検討した。

2. 過大入力に対する計測系の安定性

地震計測に用いられる振子を使うセンサーでは、振れ止めに振子が接触するような過大入力があると振子と振れ止めとの応答が記録されることになる。しかし、圧電素子を用いた加速度型のセンサーでは、定格の入力範囲のもとではほぼ線形性が保証される。増幅器に使用されているオペアンプの特性も過大入力のために位相ずれが発生する性質のものではない。そこで、実際に発振器を用いて SIN波を入力してみたが、入力レベルを越えても、波形が振りきれのほかに位相ずれ現象は認められなかった。なお、計測機器の総合周波数特性は 100Hz～5KHzの範囲で平坦な特性を示す。

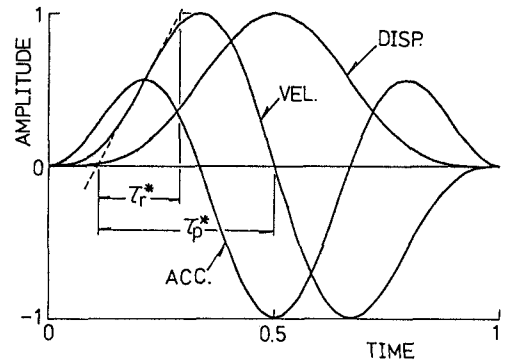


Fig.1 理論波形

3. 評価手法の概念

Fig.1は発破による引張破壊圏から弾性領域との境界に次式に示すような関数形の入力変位があると仮定して、その微分関数である変位速度関数と変位加速度関数をそれぞれの最大値で正規化して1周期分を示したものである。

$$u(t) = 3/8 - (1/2)\cos(2\pi t/T_0) + (1/8)\cos(4\pi t/T_0)$$

ただし、 T_0 は入力変位の基本周期である。

地盤の非弾性的性質のために、波動は伝播にしたがって減衰するとともに長周期化することが解っている。金子等¹⁾は芯抜発破振動の変位速度初動波形を対象にして、有限な時間幅を有する連続な入力変位関数を用いて波動減衰特性の評価式を定式化している。すなわち、波動の伝播時間と変位速度波形のパルス幅およびライズタイムの関係式を求め、この式から地盤の減衰特性を評価する指標であるQ値と入力変位速度波形のパルス幅およびライズタイム、基本入力周期を求める手法を提案している。さらに、得られたパルス幅とライズタイムの比であるパルス比を用いて、仮定した入力変位関数の妥当性を判定することができることを示している。この考え方にもとづいて、振り切れた変位加速度波形がFig.1の関数形と同等で

あると仮定すれば、Fig.2に示すように芯抜発破初動部分の変位加速度波形のパルス幅（ W_1 , W_2 ）を求めると、変位速度波形のパルス幅（ τ_p^* ）, ライズタイム（ τ_r^* ）に換算することができ、従ってその場合の基本入力周期が求められることになる。

芯抜発破による破壊形態が球状振源モデルで表現できるとすると、Sharpe²⁾により破壊半径が $a=2\sqrt{2C_0}/3\omega_0$ で得られる。ただし、 $\omega_0=2\pi/T_0$, C_0 はP波伝播速度である。

4. 解析結果

A E計測時に同時に得られた振り切れた発破振動波形について、上記の方法で τ_p^* および τ_r^* をFig.3に示すように求めた。発振時刻が不明であるので、大略のP波速度（実測値は4.8～5.2km/sec.）を4.5～5.5km/secと仮定すると、計算値はそれぞれ図中の斜線部分の範囲に収まる。このデータはトンネル掘削区間の100mの範囲についてのもので、芯抜発破に要した装薬量は18～23kgで薬量による補正は行っていない。実線および破線はそれぞれパルス幅とライズタイムについてQ値と T_0 をパラメータにして、仮定した連続関数による理論曲線を示したものである。この図から、装薬量の変動による影響が小さいとすれば岩盤の強度が変動した結果、破壊領域が変動していると解釈することができる。なお、測定距離がほぼ一定であるために、Q値の妥当性は評価できないが大略20～50の範囲にあるものと考えることができる。基本入力周期は τ_p^* および τ_r^* からほぼ3～7msecの範囲となり、これを前述の破壊半径に換算すると2.3～5.2mとなる。

データを収録したトンネル長さ方向のほぼ100m区間について計測したA Eの発生数と基本入力周期の関係を整理したのがFig.4である。A E発生数が40以上になる地点が2箇所あり、その地点では山鳴り等が発生して切羽近傍が不安定になっていたものと考えられる。その両地点について基本入力周期が短くなって、発破による破壊領域が小さくなっていることを示唆しているように考えられる。

5. まとめ

振り切れた発破振動記録から、芯抜発破による破壊圏が岩盤の強度によって変動することを示し、岩盤の状態を把握する手法を提案した。今後、A E発生との関係を検討する所存である。

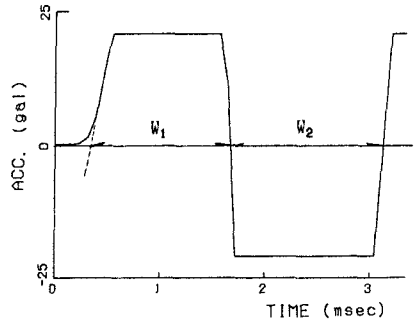


Fig.2 芯抜発破振動波形初動部分

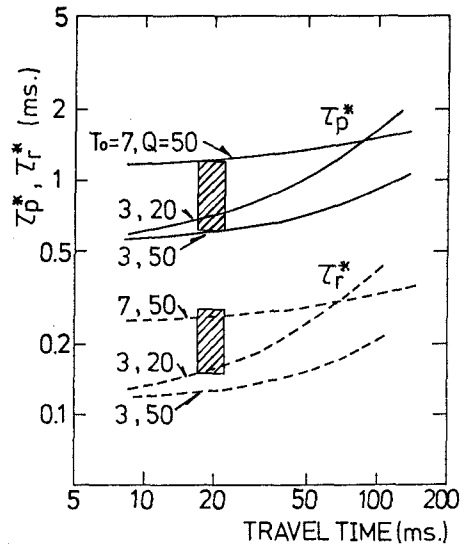


Fig.3 パルス幅, ライズタイム

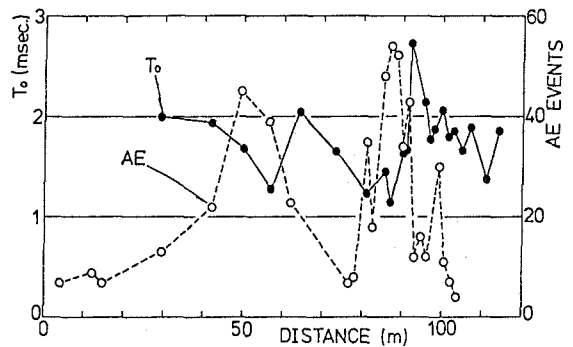


Fig. 4 A E発生数と基本入力周期の関係

謝 辞 熊本大学工学部 金子助教授には親切なご指導を頂きました。ここに記して感謝致します。

参考文献 1)金子 他：地盤の波動減衰特性の評価法，物理探査投稿中

2)Sharpe,J.A. Geophysics, 7-2, 1942