

### Ⅲ-A351

### 岩盤斜面の発破振動を利用した弾性波速度の推定

北海道開発局 札幌開発建設部 非会員 中島 靖、畑中充範

俣奥村組 技術研究所 正会員 ○塚本耕治、寺田道直

// 札幌支店 非会員 田口光雄

#### 1. はじめに

岩盤斜面の安定性は斜面の勾配や形状、岩盤内の亀裂性状などの地形条件や地質条件に支配される。岩盤内の亀裂は弾性波伝播特性に大きな影響を与えることから、弾性波速度を把握することは岩盤の状態を評価する上で重要である。通常、このような調査では弾性波探査が実施されるが、急傾斜の岩盤斜面を対象とする場合の計測作業は容易ではない。本研究では、道路沿いで海に面した岩盤斜面における岩塊の除去工事に伴う発破振動の波形解析から岩塊周辺の弾性波速度の推定を試みた。

#### 2. 対象斜面と計測概要

地質はおもに新第三紀中新世の安山岩貫入岩から構成され、岩質は比較的堅く淡灰色、淡赤褐色を呈するが、変質をうけて亀裂が発達している。亀裂間隔は数十cm程度で岩盤は安山岩特有の板状や柱状の形態を呈し、抜け落ちやトップリング型の落石を発生している。斜面勾配は約50～60°で、斜面全体が崩壊地形となっている。岩石コアの一軸圧縮強度は750kg/cm<sup>2</sup>、弾性波速度は4700m/s程度である。発破により伝播する振動を把握するため、図-1に示すように不安定な岩塊上の基準点を囲むように測点(6点)に加速度計を設置し、岩切工事に伴う19回の発破について振動加速度を計測した。

#### 3. 計測結果

##### 3.1 発破振動の距離減衰

岩塊上の発破基準点からの発破振動の距離減衰を求めると図-2になる。ただし、測点1の結果は発破位置による影響が大きく、これには含めなかった。発破ごとのばらつきはあるが、ほぼ距離の2乗に比例して減衰しており、斜面の特殊性は見られない。最大速度値は2Kine程度のものがあるが、ほとんどが1Kine以下である。5Kine程度以下であれば、対象物に対しておおよそ安全であることから岩盤斜面の安定性への影響は少ないと考えられる<sup>1)</sup>。

##### 3.2 波形解析による位相速度の推定<sup>2)</sup>

測点1, 2, 3の加速度フーリエスペクトルを図-3に示す。測点1の卓越振動数は振源の影響を受けて70～120Hzにばらつくが、振源から離れた測点3で50～60Hz、測点4で55～70Hzと周辺地盤の動的特性が支配的となる。

測点3～4、測点1～5の相互相関関数から相関が最大になるtime lagから計算した位相速度を表-1に示す。相関係数が0.6以上になるものを相関が高いとして2重枠で囲った。1200～3000m/s内にあるが、平均的には2000m/s程度になる。また、コヒーレンスが大きく、相

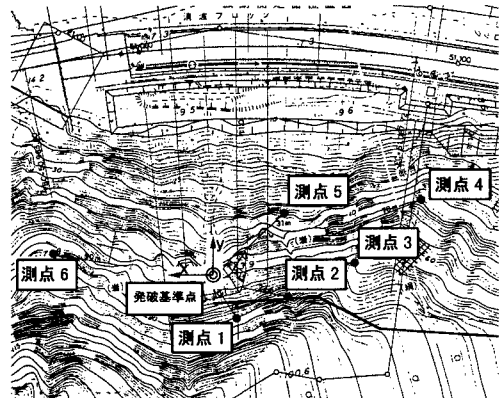


図-1 測点配置

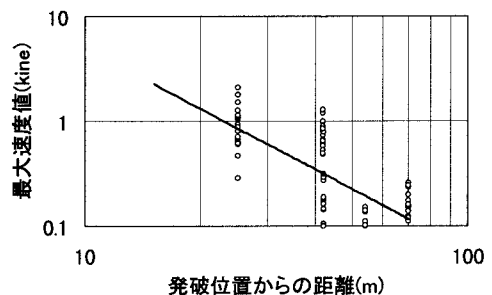


図-2 距離減衰 (速度値は加速度値を積分した)

キーワード：発破振動、弾性波速度、岩盤評価

連絡先：茨城県つくば市大砂387 TEL 0298-65-1781 FAX 0298-65-0782

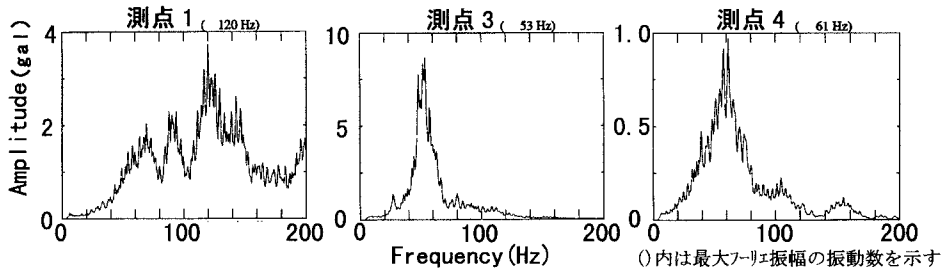


図-3 フーリエスペクトル(測点1, 4, 5)

関係数の大きかった測点1～5の位相スペクトルは図-4のようになる。振動数による分散傾向が見られるが、位相速度は概ね1600～2000m/sの範囲内にある。

### 3.3 発破振源の位置評定法による弾性波速度の推定

発破振源の位置評定法を用いて弾性波速度を試行的に変化させて得られる振源位置と実際の位置の関係から弾性波速度を推定した。評定には一般に最小2乗法が用いられるが、計算を簡単にするため、次の連立方程式から求めた<sup>3)</sup>。

$$V \cdot (t + T_i) = ((x - X_i)^2 + (y - Y_i)^2 + (z - Z_i)^2)^{1/2} \quad (1)$$

ここに、Vは弾性波速度、tは振源(x, y, z)から第1測点までの伝播時間、T<sub>i</sub>は第1到達測点から第i到達測点(X<sub>i</sub>, Y<sub>i</sub>, Z<sub>i</sub>)までの時間差

V=1600, 1800, 2000m/sの場合について計算した結果を表-2に示す。実際との比較からz座標値の誤差は0～-5m内にあることからV=1800m/s程度になる。

### 3.4 空隙率と岩盤状態

弾性波速度と波形解析から求めた位相速度の物理的意味は異なるが、結果として1800m/s程度と岩石コアの1/2程度になった。これは、斜面がすべり地形で発破振動の伝播経路が複雑になったことや亀裂内に存在する速度の遅い物質(水、粘土、空気)による影響が大きかったものと考えられる。次式の平均時間式Wyllie(1956)を用いて岩盤内の空隙率φを求めると12%になり、亀裂の発達した傾向が伺える。

$$1/V = (1 - \phi)/V_g + \phi/V_a \quad (2)$$

ここに、V<sub>g</sub>: 実質部分の弾性波速度、V<sub>a</sub>: 空隙部分の弾性波速度

実際の岩盤も風雨や凍結融解などの風化作用を受けて変質、亀裂が発達した状態であった。

## 4. まとめ

施工時の発破振動を用いて地山の弾性波速度を計測できること、空隙率の結果と合わせて周辺地山の状態をある程度の評価ができることを確認した。精度の向上には適用場面を増やし、他の探査手法を併用していく必要がある。

### 参考文献

- 1) 石井康夫ほか、最新 発破技術、p. 148～161、森北出版、1984
- 2) 日野幹生、スペクトル解析、p. 52～66、朝倉出版、1985
- 3) 中佐博裕、アコースティックエミッションの理論と実際、地人書館、1994

表-1 相関係数と位相速度

| 測点3～測点4 |               |        | 測点1～測点5 |               |        |
|---------|---------------|--------|---------|---------------|--------|
| 相関係数    | time lag(sec) | V(m/s) | 相関係数    | time lag(sec) | V(m/s) |
| 0.44    | 0.0232        | 1222   | 0.54    | 0.0148        | 1569   |
| 0.36    | 0.0612        | 463    | 0.67    | 0.0132        | 1759   |
| 0.33    | 0.0072        | 3939   | 0.71    | 0.0144        | 1612   |
| 0.75    | -0.0142       | -1997  | 0.59    | 0.0042        | 2386   |
| 0.31    | 0.0095        | 2985   | 0.67    | 0.0130        | 1699   |
| 0.43    | 0.0144        | 1969   | 0.05    | -0.0810       | -285   |
| 0.70    | 0.0222        | 1277   | 0.26    | 0.0203        | 1143   |
| 0.62    | 0.0079        | 3590   | 0.53    | 0.0113        | 2055   |
| 0.50    | 0.0232        | 1222   | 0.67    | 0.0090        | 2580   |
| 0.55    | 0.0052        | 5454   | 0.43    | 0.0191        | 1216   |
| 0.59    | 0.0310        | 914    | 0.30    | -0.0084       | -2764  |
| 0.63    | 0.0153        | 1853   | 0.34    | 0.0449        | 517    |
| 0.76    | 0.0132        | 2149   | 0.32    | 0.0368        | 630    |
| 0.59    | 0.0322        | 880    | 0.09    | -0.5240       | -443   |
| 0.52    | 0.0085        | 3336   | 0.57    | 0.0118        | 1967   |
| 0.37    | -0.0162       | -1750  | 0.79    | 0.0076        | 3055   |
| 0.66    | 0.0136        | 2085   | 0.51    | 0.0120        | 1935   |
| 0.55    | 0.0159        | 1783   | 0.50    | 0.0065        | 3572   |
| 0.63    | 0.0136        | 2085   | 0.51    | 0.0116        | 2002   |

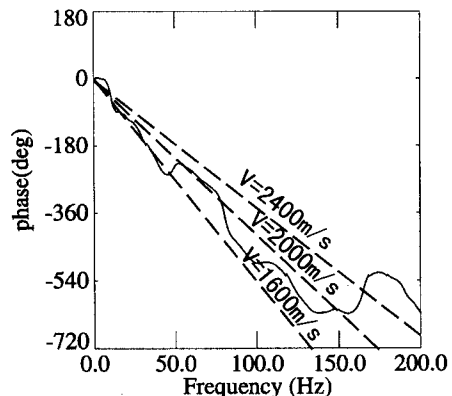


図-4 位相スペクトル(測点1～5)

表-2 発破振源位置の予測

| 項目   | 評定結果 (発破基準点からの距離) |      |      |           |      |      |           |      |     |
|------|-------------------|------|------|-----------|------|------|-----------|------|-----|
|      | V=1600m/s         |      |      | V=1800m/s |      |      | V=2000m/s |      |     |
| 試験回数 | x                 | y    | z    | x         | y    | z    | x         | y    | z   |
| 1回目  | -3.0              | 5.4  | -6.0 | -4.1      | 17.0 | -1.3 | -5.5      | 30.0 | 3.9 |
| 2回目  | 1.0               | -2.0 | -9.0 | -0.8      | 11.5 | -2.9 | -2.7      | 26.5 | 3.9 |
| 3回目  | 1.5               | -0.9 | -7.5 | -0.4      | 11.9 | -1.9 | -2.1      | 26.3 | 4.3 |