

III-A 368 ロックボルト打設孔を利用した弾性波検層システムの開発

(株)大本組 ○正会員 馬場慎太郎
 熊本工業大学 正会員 平田 篤夫
 熊本工業大学 正会員 上杉 真平
 熊本大学 正会員 金子勝比古

1. はじめに

岩盤の掘削作業においては、岩盤状況を的確に評価して、日常的に安全管理を行う必要がある。しかし、従来の計測法では変位計や応力計などを岩盤内に埋設するなど大がかりとなる場合が多いので、必要な岩盤情報は十分であるとはいえない。測点を増やしたり、測定回数を多くして施工管理に用いる情報量を多くする目的で、支保材として用いられるロックボルトの打設孔を利用した弾性波検層システムを開発した。

2. 弾性波検層システム

弾性波検層システムは、トリガーシステムと検層プローブで構成される。

トリガーシステムは岩盤表面に衝撃を与えて加振するとともに、打撃した瞬間を検知するものである。岩盤表面を加振する方法には種々のものが考えられる。

トリガーには、加振力が大きく、かつ加振力の再現性が高い方法が高精度の測定を行ううえで要求される。ハンマー打撃による加振は簡便に大きい加振力を得ることが可能であるが、図1に示すように平坦な表面を打撃すると岩盤とハンマーの接触位置のばらつきが生じることが予想される。つまり、得られる加振力にばらつきが生じることになる。そこで、ハンマー頭部の打撃面近傍に圧電素子（PZT、共振周波数500kHz）を接着剤で固定して打撃時のハンマー頭部に加わる衝撃力を電圧に変換することにした。この電気信号は検層プローブで計測される岩盤内を伝播してきた振動波形のトリガー時刻となるとともに加振力の再現性を評価する指標である。図1のような叩き方をすると矢印の方向に波が伝わって、その振動を図中のハンマー頭部に接着したPZTで測定すると、左側では圧縮波となり、右側では引張波が得られる。つまり圧電素子からの出力電圧は叩き方によって+と-に分かれる。

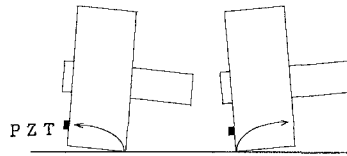


図1 ハンマー打撃の状況

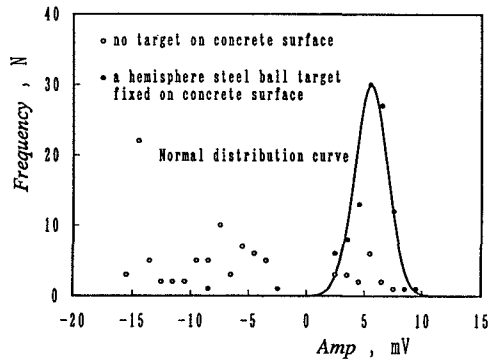


図2 打撃力のばらつきの評価

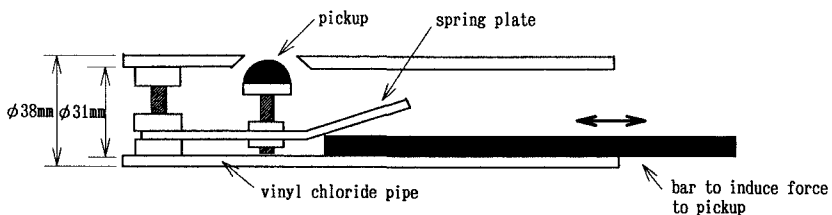


図3 弾性波検層プローブ

そこで、コンクリート供試体の表面をハンマーで100回叩いてみたときのばらつきを調べてみた。図2の○印は、目視で打撃点を決めて慎重に均一に叩くように心がけて打撃した時の振幅値の頻度分布である。横軸の振幅値は-から+にかけて大きくばらついている。しかし、目印として供試体表面に鋼球を埋設してそれをめがけて打撃すると●印で示すように打撃力の再現性が高くなることがわかった。なお、図中の実線は●印の鋼球ターゲットがある場合について最小自乗法で求めた正規分布曲線である。そこで、トリガーシステムはハンマーにPZTを取り付けたものとした。

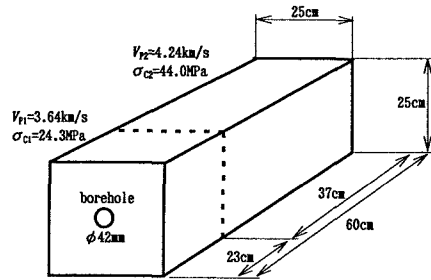


図4 供試体外観

ただし、圧電素子はハンマーの取り扱い時の動作が原因の比較的低周波領域での電圧変動が起こる。すなわち、低周波数ノイズとハンマー打撃時の信号波形が重なって正常なトリガー信号を得ることが不可能となる場合がある。そこで、ローカットフィルター（コンデンサーと電気抵抗による微分回路）を圧電素子に取り付けて低周波数ノイズを除去した。

検層プローブ（孔の中に挿入するセンサー部）は圧電素子を半円球状の黄銅ケース内に固定した振動検出部を外径30mm、内径31mmの塩化ビニル製のパイプに取り付けたものである。プローブは孔の中に挿入して振動検出部を孔の壁に固定しなければならない。

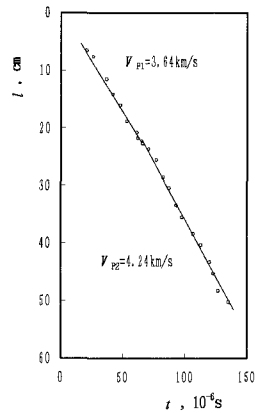


図5 波動の伝播時間と伝播距離の関係

また、孔の任意の位置で固定することが必要である。そこで、センサーは板バネを使って一定の力で押し固定することにした。その外観は図3に示すとおりである。

振動検出部を孔壁に押し付ける力の大きさによって測定される波形および波動の伝播時間に影響が出ることを予想された。そこで、押付力の大きさを変えて振動測定を行ってみたところ、800gf以上の力を加えた状態では測定値はほぼ一定であったので押付力800gf以上となるように検層プローブを設計した。

3. 室内実験による適用例

図4に示す供試体をコンクリートで製作した。供試体は図中の物性値を示す。検層プローブを供試体のロックボルト挿入用孔として想定した孔に固定し、供試体前面を加振して孔内で受振した。プローブを孔の口元から奥に向かって挿入しながら適当な間隔毎にトリガーハンマーで与えた衝撃の初動到達時間をデジタルオシロスコープで読み取った。初動の伝播時間と伝播距離には図5のような関係が得られた。供試体の境界である33cmの位置でくい違いがみられる。このデータを最小自乗法を用いて直線で近似すると、その傾きはそれぞれの部分のP波速度である。Vp1=3.64km/s、Vp2=4.24km/sとなり、両者の境界もほぼ決定することが可能である。このようにP波の初動をデジタルオシロスコープで読み取るという単純な作業で両者の速度構造とその境界を同時に決定できるので、現場にこのまま適用することは容易であると考えられる。

4. おわりに

この計測システムによるとトンネル現場等で一般に使用されるロックボルトの打設孔を利用して簡便に緩み領域を含む岩盤状況を評価することが可能である。さらに、S波を用いた計測法やP波の波形形状を利用した解析法など適用に際して自由度の高いシステムが容易に構築できると考えられる。