

疑似ランダム波を使った原位置計測による高精度弾性波測定システムの評価検証

西松建設（株） 正会員 ○石山 宏二，正会員 吉野 修，正会員 引間 亮一
 （国研）日本原子力研究開発機構 正会員 松井 裕哉，正会員 尾崎 裕介，正会員 竹内 竜史
 JFE シビル（株） 正会員 榊原 淳一
 （株）地層科学研究所 正会員 佐ノ木 哲，非会員 林 邦彦

1. はじめに

地質環境の経時変化を高精度で把握でき、数百 m 以上の長距離測定が可能な弾性波測定システムの構築を目指し、超磁歪材震源を利用した高精度弾性波測定システムの開発を行ってきた^{1),2)}。今回、日本原子力研究開発機構の瑞浪超深地層研究所の深度 500m 研究アクセス南坑道³⁾にて、0.5～20kHz 周波数の正弦波および疑似ランダム波⁴⁾の連続波を発振・受信する原位置計測を行った。本論では、疑似ランダム波による受信波形の振幅減衰から測線長を長くした際の計測システムの妥当性・有効性を検証するとともに、受信点区間毎の速度と振幅減衰量から地質脆弱部の存在を把握可能であることを示した。

2. 原位置計測概要

図 1 に原位置計測のレイアウトを示す。アクセス南坑道の 20m ボーリング横坑に発振点を 1 ヲ所、受信点はアクセス南坑道西側壁部に 5 ヲ所（受信点①～⑤）と 125m 計測横坑の北側壁先端部に 1 ヲ所（受信点⑥），計 6 ヲ所配置した。

発振には超磁歪材震源を用い、発振に用いる波形および受信点で計測された加速度波形は、発振点近傍に設置した記録・解析装置（ノート PC）に転送、保存・処理される。計測システムの概念図および処理フローを図 2 に、原位置で計測された疑似ランダム波の例を図 3 に示す。図中(a)が発振波、(b)が受信波、(c)は発振波と受信波の相関関数計算後の波形であり、到達時間と受信振幅が読み取れる。

なお、発振点と各受信点は、岩盤にアンカーボルトを打設後、ネジ締めで超磁歪材発振子および加速度計を設置した。超磁歪材発振子については、別途設けた 2 ヲ所のアンカーボルトに支持を取り発振子背後から変動を拘束した。

3. 原位置計測結果

図 4、図 5 に発振点・受信点間距離（測線長）と初動走時および受信振幅の関係を示す。発振周波数 0.5kHz から 1kHz までは最遠受信点⑥（測線長:97.5m）まで到達波を確認できたが、高周波になると到達波が確認できなくなり、5kHz 以上は受信点③までしか到達波を確認できなかった事がわかる。図 4、図 5 とともに線形に凹凸が見られることから、本計測で得られた速度・振幅の変化と地質状況を比較するために、坑道掘削時に得られた図 6 に示す岩級分布図³⁾（受信点を赤丸で加筆）と発振周波数 1kHz における受信点区間ごとの(a)速度、(b)振幅減衰量を図 7 に示す。なお、区間ごとの振幅減衰量とは、以下の式(1)に示すように受信振幅か

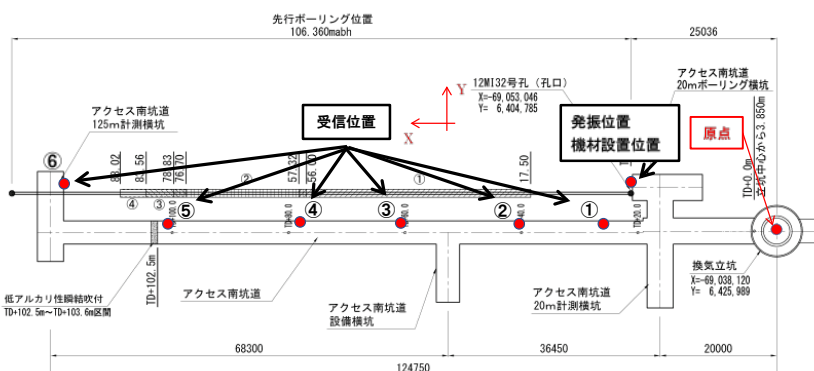


図 1 原位置計測レイアウト

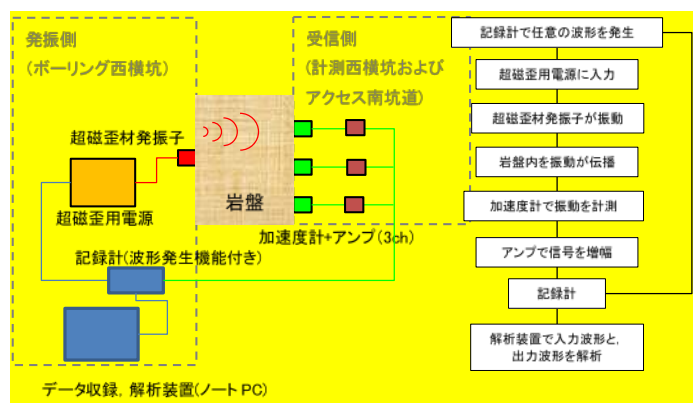


図 2 計測システムの概念図と処理フロー

キーワード：高精度弾性波測定，原位置計測，疑似ランダム波

連絡先：〒105-6407 東京都港区虎ノ門一丁目 17-1 虎ノ門ヒルズビズネスタワー 西松建設㈱ 技術研究所

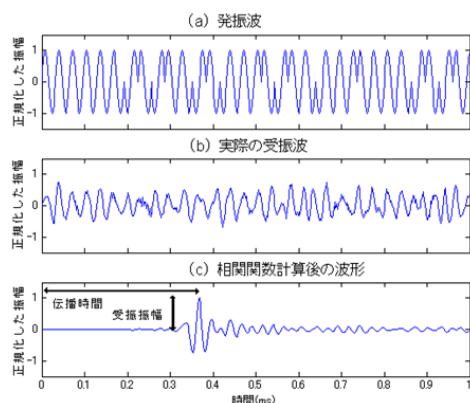


図3 疑似ランダム波の例

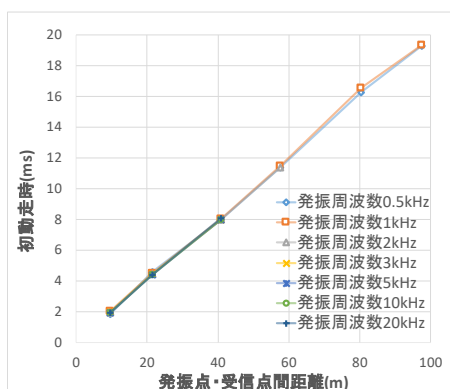


図4 測線長と初動走時の関係

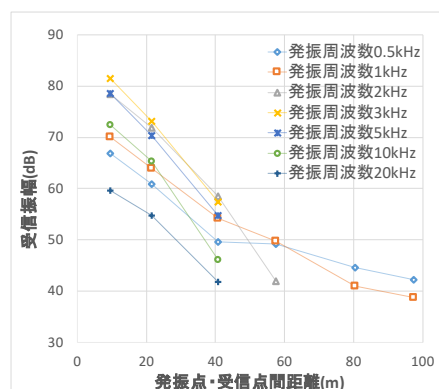


図5 測線長と受信振幅の関係

ら距離の影響を除いた値である。

$$\text{振幅減衰量} = (S_1 - S_2) - 20 \log_{10}(d_2/d_1) \quad \text{式 (1)}$$

ここで、 S_1, S_2 , d_1, d_2 は受信点①, ②における受信振幅 (dB), 測線長 (m) を表す。

図6, 図7の比較から、岩級区分が悪くなると速度が低下し振幅減衰量が大きくなる傾向が読み取れる。特に受信点④-⑤区間はCM級の岩盤が出現し、この区間で速度が最小、振幅減衰量が最大となることから、速度と振幅減衰量を調べることで地質脆弱部が把握できる可能性が示された。

また、図8に示すように、発振周波数 1kHz 時の測線長(D)と受信振幅(SPL)の関係を基に、当該現場のノイズレベルを40dB程度と仮定し、測線長を200m, 500mとした場合に必要な振幅増分を算出した結果、各々58.4dB, 195.2dBとなった。この増分を仮にスタック数で補うとした場合、現場で得られた受信点⑤(測線長:80.4m)のスタック数とSN比の関係から、測線長200mで3.9万回(測定時間:66時間), 500mで43.1万回(測定時間:736時間)必要であることが分かった。

4. まとめ

地質環境の変化を高精度に把握でき、測線長を数百m以上に延伸可能な高精度弾性波測定システムの開発を目指し原位置計測による検証を行った。その結果、現システムにより地質環境の把握は可能であるが、長距離の測定に対しては発振エネルギー不足であり、それを補うためのスタック回数・測定時間の増加も現実的ではないことが判明した。今後、超磁歪材素子の増強等、対策の検討が必要である。

参考文献

- 1)石山ら：長距離高精度弾性波測定システムにおける発振源としての超磁歪素子の特性評価，土木学会第72回年次学術講演会，VI-215，pp.429-430，2017。
- 2)松井ら：高精度弾性波測定システムを利用した地下水流動変化の原位置計測，土木学会第73回年次学術講演会，CS7-024，pp.47-48，2018。
- 3)川本ら：超深地層研究所計画 瑞浪超深地層研究所 深度500mステージの壁面地質調査データ集，JAEA-Data-Code 2014-014，p.2&pp.21-26，2014。
- 4)榎原ら：高周波数の弾性波を用いた高精度地盤調査手法の開発，土木学会論文集C，Vol.65，No.1，pp.97-106，2009。

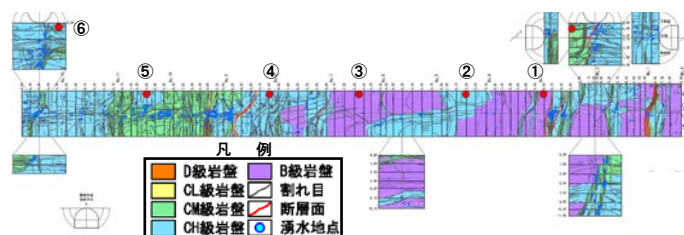
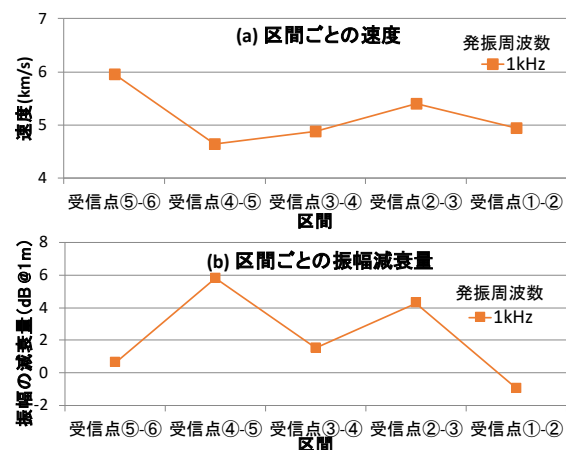
図6 岩級区分壁面展開図³⁾

図7 区間毎の速度と振幅減衰量

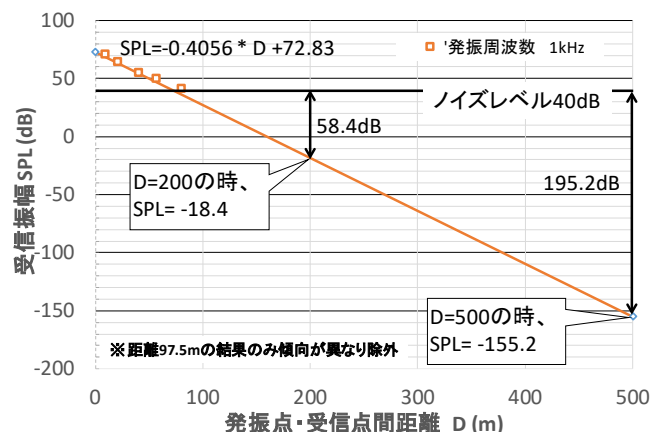


図8 測線長200m,500m時の受信振幅