

弾性波速度の周波数依存性に関する検討

川方裕則・土井一生・吉光奈奈(立命館大学)

〇はじめに

弾性波速度は岩石の主要な物性であり、地球の内部構造推定や地震の震源決定などにとって必要不可欠な情報である。現場計測や自然地震記録を用いて推定される弾性波速度は、0.1Hz から 10Hz 程度の周波数帯域のものであるのに対し、室内で岩石試料を用いて行われる弾性波計測では 100kHz~1MHz の周波数帯域の初動走時を用いて弾性波速度は推定されており、何桁もかけ離れている。これらの何桁にもわたる周波数帯域において弾性波速度が一定値を示すかどうかはよく分かっておらず、物質の同定を行ったりする際には困難が生じる。完全にこれらの周波数帯域にわたって弾性波速度を推定することは難しいが、弾性波計測と周期的载荷を併用することにより、ある程度広い帯域にわたって弾性波速度を推定することは重要な課題である。本研究では、まず弾性波計測により 100kHz から数 MHz までの周波数帯において、弾性波速度の推定方法を検討するとともに、弾性波速度がどの程度周波数依存性を示すかを検討する。

〇計測手法

円筒形の花崗岩試料の端面にオリンパス NDT 社製の広帯域探触子（中心周波数 500kHz, 1MHz, 2.25MHz）を貼り付け、周波数をさまざまに変化させながら電圧を加え発振させる。反対側の端面では同じタイプの探触子を貼り付けて振動を受信する。広帯域探触子は従来型の共振圧電素子よりも発振効率が悪いが、共振による揺れ残りが少なく、幅広い周波数帯において高い分解能で単色の弾性波を集録することが可能になると期待される。

また、探触子の発振特性については、色々な入力電圧時系列に対する探触子自身の振動をレーザードップラー振動計（DC から 6MHz まで応答特性がフラット）を使用して受信する。レーザードップラー振動計による計測は圧電素子による受振よりも S/N がかなり低下するが、数万回スタックすることにより信頼のおけるデータを取得することが可能である。

〇解析

弾性波速度の周波数依存性についてその正確な推定方法は確立されていない。その原因のひとつとして正弦波的な電圧信号の立ち上がりはどうしてもゆっくりとなだらかに立ち上がり、その初動走時は必ずしもその周波数の弾性波速度を反映しないことが挙げられる。また、初動より後の位相の部分で位相を読んだ場合、直達波線近傍からの散乱波が到達するため、干渉により正しい位相速度を反映しない可能性がある。そこで、さまざまな周波数の正弦波の 1 周期分バースト信号を探触子に与え、初動ピーク部分などにおいて、走時が周波数とともにどのように変化するかを調べる。この情報をもとに各周波数における正しい弾性波速度を推定することを検討する。

○結果

レーザードップラー振動計で得られた入力速度波形の例を図1に示す。圧電型探触子は印加電圧に対応した変位を示すため、速度波形としての振動は、正弦波を一回微分したものはじめをつぶしたような形になる。そのため、やはり初動走時は入力した正弦波の周波数に対応したものとはならないと考えられる。

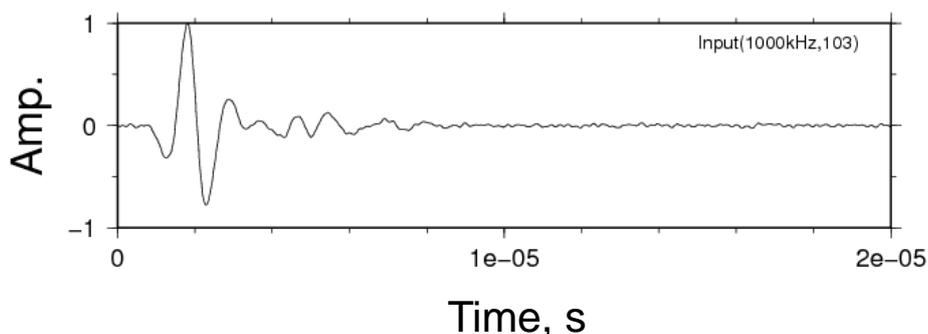


図1. 中心周波数 1MHz の広帯域探触子に、1MHz の正弦波電圧一周期分を印加したときの探触子自身の振動（速度波形）。レーザードップラー振動計は、振動面が光源から遠ざかったときに負になるが、探触子は縮んだ際に正になるため、互いに極性は反転する。

受振波形の例を図2に示す。初動の最初のピークは高周波ほど先行しているように見える。入力振動が正しい正弦波一周期になっていないため、現時点でははっきりとは分らないが、弾性波速度は周波数と正の相関を持つかもしれない。このことは、Oda et al. (1990, PAGEOPH)の花崗岩を用いた一軸圧縮試験時の弾性波速度計測の結果でも示唆されている。しかしながら、図1と図2にその例を示した入力波と受振波のランニングスペクトルを比較したところ、特に顕著な速度の周波数依存性は確認できなかった。

○考察・まとめ・今後

使用した Westery 花崗岩は粒径が 1mm 以下と小さく、高速異常を示す有色鉱物が含まれており、空隙率も 1%未満と低い。そのため、含まれる不均質はクラックによる低速度異常よりも有色鉱物による高速度異常が顕著であり、短波長であることが期待される。高周波の波はこの短波長不均質を反映した経路で伝播すると期待されるが、一方で低周波の波は個々の不均質を反映するわけではなく、全体的な特徴を反映した経路、速度で伝播する。このことが、速度の周波数依存性をもたらす可能性もあり、今後さらに計測を進めることによって、実証的にこの問題に取り組んでいきたい。具体的には、低速度異常の不均質を含む Porous な岩石を用いた計測、端面反射の影響を受けにくい断面の大きな試料を用いた計測を試みるとともに、入力振動についても再考する予定である。

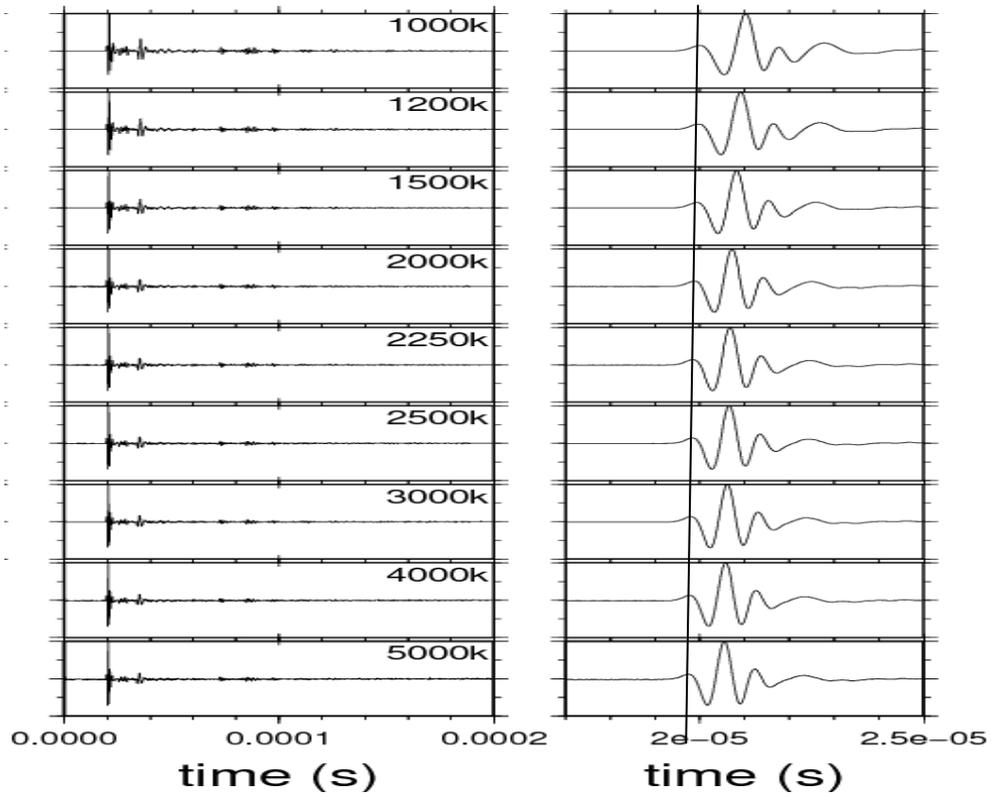


図2. 中心周波数 2.25MHz の広帯域探触子に、1~5MHz の正弦波電圧一周期分を印加したときの受振波形. 右は、初動付近の拡大.