

8 岩石中を伝わる地震波の速度

1. 目的

地震波の伝播速度については、教科書等で大まかな数値は把握している。しかし、地殻やマントル中を伝わる速度は地表からの深さや地下の密度の増加によって速くなっているように表されている。そこで、さまざまな岩石を用いて、岩石中の弾性波の伝わる速さを測定し、弾性波速度が種類や密度によりどのように変わるのかを調べる。

2. 準備

岩石試料（8種類）、デジタルオシロスコープ、圧力センサー、木づち、ものさしメジャー、メスシリンダー、水槽、バケツ

3. 方法

岩石表面の2点で波が振れ始める時刻の差を、圧力センサーとデジタルオシロスコープを用いて測り、その間の波の伝わる速度を求める。ここで、2つの圧力センサーの間の距離を l [m]、2点の波の到達時刻の差を D_t [ms]とすると、求める速さ V [km/s]は、

$$V = l/D_t$$

圧力センサーの横感度が十分に小さいと見なされるので、図1のようなセンサーの取り付け方と振動の与え方を考える場合には、オシロスコープに表示される波はS波（横波）またはL波（表面波）に相当すると考えられる。

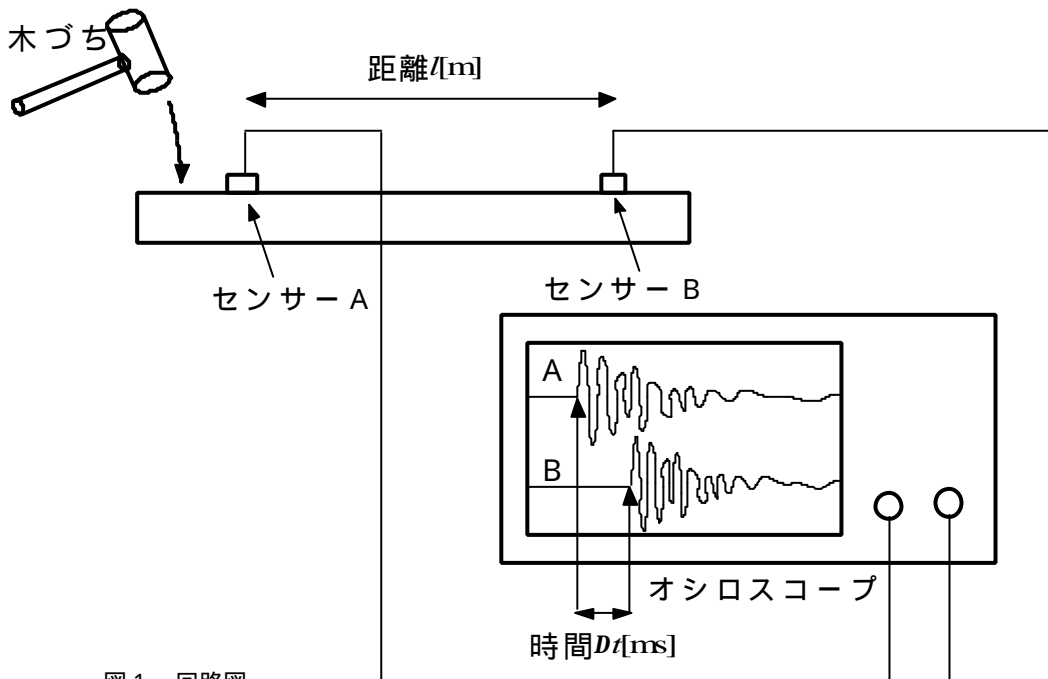


図1 回路図

(1) 岩石中の弾性波（横波）の伝播速度の測定

圧力センサーを岩石の2カ所に置き、2つの圧力センサーの間の距離 l [m]を測る。

木づちなどで弾性波（おもに横波）を発生させる。

オシロスコープで2つの波を電氣的に測り、揺れ始める時刻の差 D_t [ms]を各試料毎に10回ずつ測定する。用いる岩石の長さにもよるが、時間の差はおよそ1万分の1秒程度である。（オシロスコープの誤差については、説明書によると、0.005ms）

測定した距離 l [m]、時間 D_t [ms]の平均値から速度 V_s [km/s]を計算する。

(2) 岩石密度の測定

質量 m [g]をはかる。

満水にした水槽に岩石を沈め、溢れ出た水の体積を測定し、体積 V [cm³]を求める。

の結果から岩石の密度 r [g/cm³]を計算する。

4. 結果と考察

(1) 岩石中の弾性波（横波）の伝播速度の測定

8つの岩石試料について、弾性波の測定結果を表1に示した。この結果によると、地殻中を伝わるS波（3～4 km/s）に比べると、その伝播速度はやや低いと思われる。

試料	距離 l [m]	時間 t [ms]	速さ V [km/s]
岩石試料1 (ホルソフェルス)	0.450	0.139	3.237
岩石試料2 (ホルソフェルス)	0.190	0.066	2.879
岩石試料3 (砂岩)	0.270	0.128	2.109
岩石試料4 (チャート)	0.420	0.155	2.710
岩石試料5 (大理石)	0.360	0.151	2.392
岩石試料6 (結晶質石灰岩)	0.350	0.117	2.991
岩石試料7 (不明)	0.400	0.131	3.053
岩石試料8 (不明)	0.300	0.125	2.400

表1 測定した岩石の波の伝わる速さ

速さ V は時間 D_t の10回の平均値を用いて算出した。

(2) 岩石密度の測定

8つの岩石試料について、密度の測定結果を表2に示した。この結果によると、標準的な岩石の密度に比べて同等か、わずかに低い程度の値が得られた。

岩石	質量 m [g]	体積 V [cm ³]	密度 r [kg/cm ³]
岩石試料1 (ホルソフェルス)	5.37	1.36	3.949
岩石試料2 (ホルソフェルス)	0.51	0.17	3.000
岩石試料3 (砂岩)	1.89	0.96	1.969
岩石試料4 (チャート)	2.74	1.13	2.425
岩石試料5 (大理石)	1.01	0.45	2.244
岩石試料6 (結晶質石灰岩)	2.32	0.94	2.468
岩石試料7 (不明)	4.67	1.69	2.772
岩石試料8 (不明)	8.47	3.36	2.521

表2 測定した岩石の密度

(1)(2)の結果から密度 r と弾性波速度 V の関係をグラフ化し、図2に示した。これによると、岩石

の密度が大きくなるほど、S波の速度は大きくなった。しかし、岩石中の弾性波速度の測定には、地下の状況を考慮して高圧条件下で測定が行われる。このため、高圧条件下で測定した密度と弾性波（S波）のデータ（理科年表）を同時に掲載したグラフ(図3)に示す。

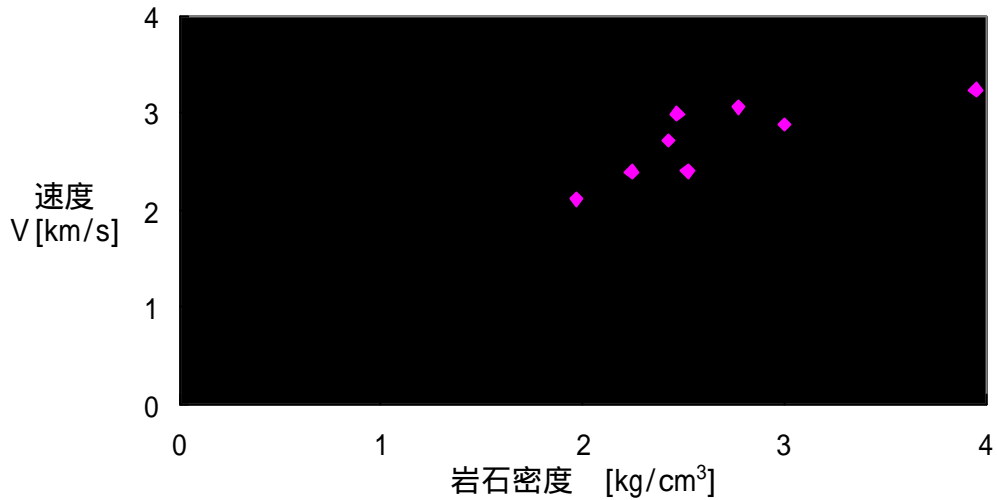


図2 岩石密度と弾性波速度との関係

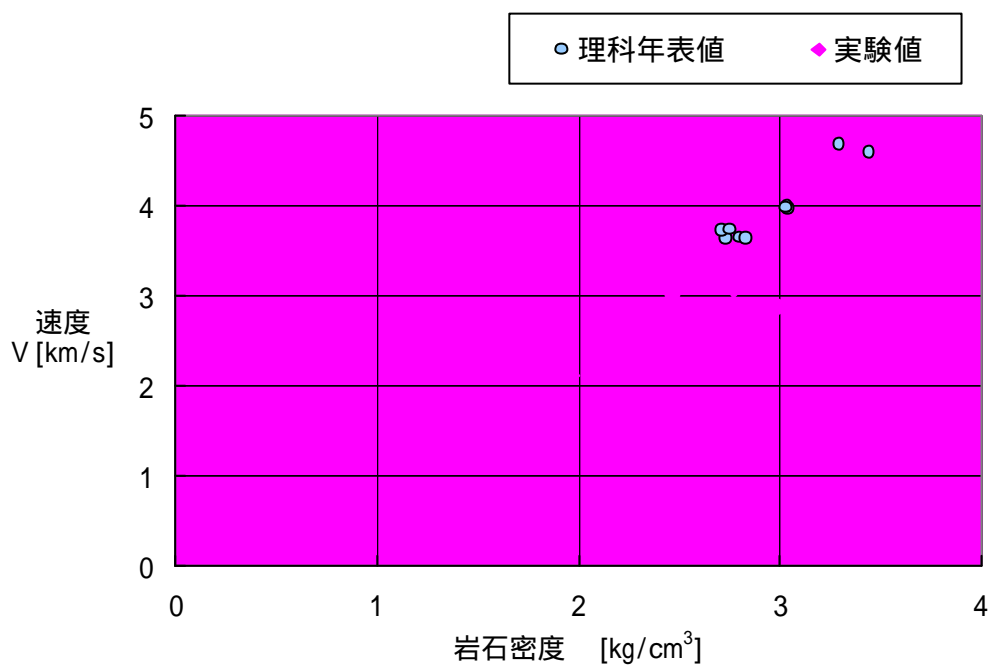


図3 岩石密度と弾性波速度の関係（理科年表との比較）

図3からも、ほぼ岩石中の弾性波速度は、密度とともに大きくなっていると思われる。これは、地学の教科書等に記載されているグラフと似た傾向を持っている。しかし、岩石中の地震波速度 V_s （S波）は通常以下のような式で与えられる。

$$V_s = \sqrt{\frac{n}{r}} \quad r: \text{密度} \quad n: \text{剛性率}$$

つまり、地震波速度は剛性率 n が一定ならば、密度 r の平方根に反比例するはずである。にもかかわらず、密度の増加とともに地震波速度 v が比例して増加していくためには、密度 r は剛性率 n の3乗程度で増加していかなければならない。また、比例関係でなくとも、密度 r と弾性波速度 v のグラフが右上がり傾向にあることから、岩石の剛性率が密度 r の1乗以上に比例していると考えられる。このことは金属結晶と異なり、一般に密度の大きい岩石ほど剛性が大きいというイメージに合致する。岩石の剛性率を測定することによって、さらに検討を加えることができると思われる。

5. まとめ

今回の実験の結果、密度が大きくなるほど、速度が速くなるという結果が得られた。考察でも述べたが、弾性波速度は、金属などの整然とした結晶格子の場合とは異なり、岩石のように固溶体としてイオン結合などの複雑なイオン間の結合が関与しているため、剛性率も一層大きくなり密度に比例するような結果が得られたと思われる。また、岩石の剛性率を測定することで、剛性率と密度の双方から測定する地震波速度に検討を加えることができる。しかし、百kmを越える距離を伝わってくる地震波を実験室で再現することはかなり難しいことではあるが、考察を進めるうちに、地震といった自然界での現象や岩石の不思議さに体感することができると思われる。

6. 発展

今回の実験は、昨年度本校課題実験で行ったものに改良を加えたものであるが、もう少し改良する点を以下にあげる。

岩石試料を棒状（円柱状・四角柱状）に加工し、より実験環境を整える。

ハンマーでの振動を、定周波装置やスピーカを組み込んで音による横波・縦波の双方について検討を加えることができる。

密度については、岩石試料中の空隙等も考えられるため、本来なら真空乾燥し、水を吸収させてその空隙率も求めて補正する。

岩石の剛性率の測定もできると一層深く検討することができると思われる。

7. 参考文献

- ・地震の科学 NHKブックス 竹内 均
- ・地震と火山 東海大学出版会 横山 泉
- ・理科年表 丸善書店
- ・気象研究所 地震火山研究部 第3研究室

