

高圧下の弾性波実験

井波 和夫

はじめに

高圧下における弾性波速度測定の実験は ふるくから多くの研究者によって行なわれてきた。たとえば 静水圧下では Birch(1960) Hughes and Maurette(1957) Simons(1964) Christensen(1965) 金森・水谷(1965) などがある。また非静水圧下では 下鶴(1955) 松島(1960) などがある。下鶴は大理石をつかって一軸圧縮下における縦波速度を測定し、破壊点以前において速度の減少を観測した。松島は三軸圧縮下の花崗岩について同様の実験を行ない、下鶴と同じく破壊点以前における速度の減少を観測している。地殻内部では地表付近の未固結岩および流動化していると考えられる深い深度の岩石にたいしては、これに加わる応力は静水圧下の状態にあると考えられる。しかしその間にある地殻を構成する大部分の岩石は、非静水圧下にあると考えられる。

実験室内で非静水圧下の実験を行なおうとすると、静水圧下に比べてむずかしい点が多くある。しかし地殻変動や地震は、非静水状態に関連していることが多いので、この実験は重要である。地質調査所においては、昭和41年に高圧岩石変形試験機が設置され、岩石試料を使って非静水圧下の高圧変形破壊実験を行なうことができるようになってきたが、これと平行して高圧下にお

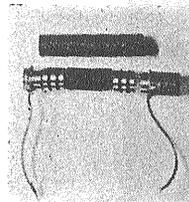
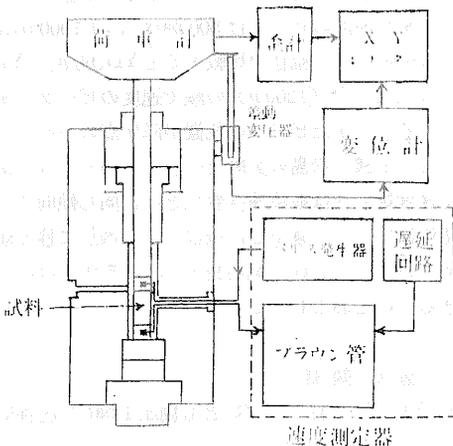


写真1
銅チューブ(上)と試料
シール金具および振動子の配置を示す

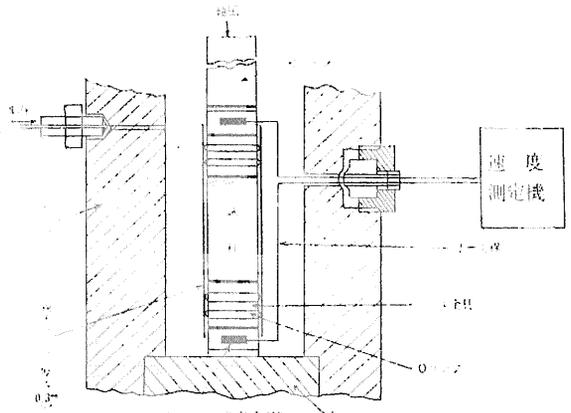
る弾性波速度測定を試みてきた。その間多少の改良を加えて、縦波については測定が可能となっており、今までに二、三の実験を行なうことができたので、その結果を報告する。

実験装置および実験方法

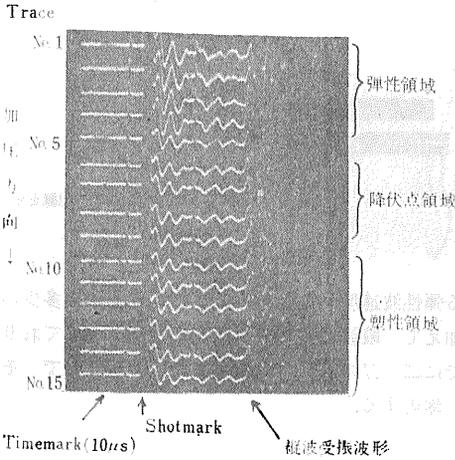
実験器機の配置を第1図に示した。使用した高圧試験機は三菱原子力工業 K. K. 製 封圧4000 bars 軸圧50 ton の高圧岩石変形試験機で、封圧はニューハイポンプまたは手動により、指示計は Heise 圧力計を使用している。軸圧は電動機または手動ポンプで行ない、指示はラムに固定した荷重計で検出し歪計を経て X-Y レコーダーに自動記録させている。歪はピストンの変位を差動変圧器で検出し、変位計を経て X-Y レコーダーに入れている。速度測定器は開発電子測器製 SLS-1002D型を使用した。第2図は高圧容器内の速度測定部分を示したもので、速度測定器から発生した超音波パルスは岩石試料の両端にシール金具と合わせてとりつけた鋼製容器に納めた 1MH のチタン酸バリウム振動子に加えられ、ここで機械的振動に変換され弾性波として試料中を伝播する。試料の他端に取付けた受振子がこれを受けて再び電気信号に変換して増幅回路を通り、ブラウン管上に波形を写す。伝播時間はブラウン管上で遅延回路の操作により直接読みとるか、あるいは接写装置により写真記録にして読みとるかである。試料の長さ



第1図 速度測定系統図

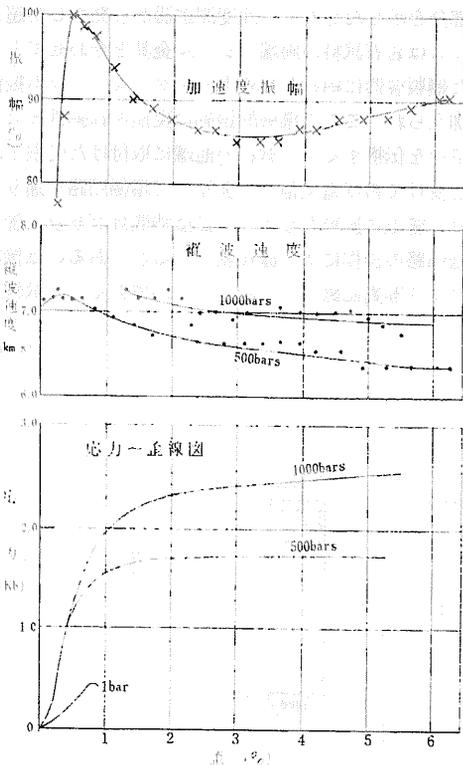


第2図 速度測定部



第3図 封圧500 barsにおける粗粒大理石 (YS) の縦波記録

はマイクロメーターで測定した。実験に使用した速度測定用リード線は多芯銅線に木綿糸を巻き その上をシールドで覆い 1.5 mm φ 程度にし 2本組にしてアラルダイトで取付金具に固結した。リード線は比較的か酷な条件下で使用するため たびたび取換えることが必要である。試料の両端にOリング入りの当て金具をつけ 0.03 cm 厚みの焼鈍し 銅チューブで全体をおおい 圧力媒体の侵入を防いでいるが 銅チューブを通ってくる



第4図 山口県産大理石 (YS) の応力歪 縦波速度および加速度振幅関係図

表1 最大強度・降伏強度・粒径

試料名	密度	粒径 (μ)	最大強度 (Kb)	降伏強度 (Kb)
Y D	2.70	60	0.76	2.3
Y E	2.70	600	0.57	1.8
Y S	2.70	1,200	0.45	1.3

波は厚みが薄いので問題にならないようである。耐油ゴムチューブおよびシートによるシールを試みたが

- ① 適当な円径のチューブがないこと
- ② 接着剤の問題
- ③ 実験後の取りはずしの問題

などで この場合適当ではなかった。

大理石による実験

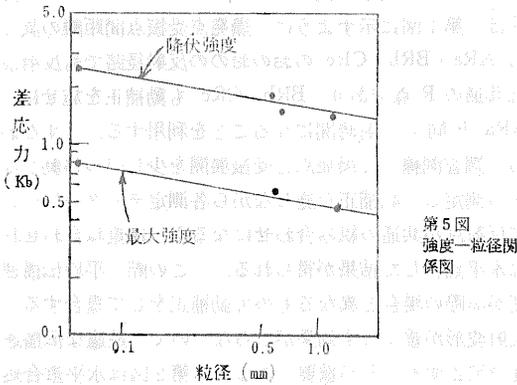
第3図は山口県秋吉台産大理石試料による縦波速度記録である。封圧500 bars で応力を増加しつつ縦波の変化を記録している。記録No. 1は差応力0 (500 barsの静水圧に相当する) No. 15は差応力1700 kg/cm²における波形である。応力-歪曲線から No. 1~No. 5は弾性領域 No. 10~No. 15は塑性領域 両者の間は降伏点領域に相当している。記録から伝播時間 t 振幅 A を読みとり 縦波速度 振幅を図示すると第4図のようになる。

縦波速度

第4図で下から上に向かって応力-歪 縦波速度-歪 加速度振幅-歪のそれぞれ関係を示している。縦波速度は弾性領域で増加し 塑性領域で減少している。これは試料内部の微小割れ目の発生 増加 成長などに関係しているとおもわれる。速度減少勾配 $-dV/d\varepsilon$ を調べてみると 500 bars より1000 bars が小さな値を示している。また速度のピークは500 bars より1000 bars で緩くなっている。粒径で比較すると YD(60 μ) YE(600 μ) および YS(1200 μ) の順で速度のピークは緩くなっている。またピークの位置が降伏点のやや前にあることは 下鶴 松島の実験と一致しているようである。加速度振幅 A は縦波速度変化とほぼ同じ傾向であるが 塑性領域で一度減少した振幅が再び増加に移る傾向が認められる。これは試料長さの補正をすればむしろ減少するものとおもわれる。

応力-歪の関係

大理石 YD YE および YS とも側圧 1 bar で脆性破



第5図
強度-粒径関係図

壊をし、500 bars および 1000 bars で延性変形に近づく応力-歪曲線から降伏強度 および最大強度を読みとり粒径との関係を調べてみると、表1および第5図のようになる。最大強度は 1 bar (常圧)、降伏強度は500 bars の場合を示す。この図から強度と粒径の間には密

接な関係があり

$$\sigma = d^{-n}$$

であらわされることがわかる。ここに d は粒径 n は定数である。

この式は 金属の強度と粒径の関係について Petch の式として知られているのと同様であって 大理石が力学的に金属とよく似ているばかりでなく 結晶構造的にも類似していることを示しているものとして興味深い。

今後の問題として さらに多くの試料について測定を行なうとともに 一方では横波速度の測定 受振波長の変化の測定なども試みる必要がある。横波振動子は常圧用で性能のよいものがあるが 本装置に組込むためには直径10mm φ 以下にすることが必要で 技術的に可能であるが 性能の点で必ずしもよくないようである。試作した振動子で試みた範囲では 縦波と干渉して初動を読みにくくしている場合が多いが 試料によっては明確に読みとることができる。

(筆者は物理探査部)

反射法地震探査における 最近の構造解析技術

畠山 勉

1. ま え が き

反射法地震探査は人工的に発生させた弾性波が地層の不連続面で反射して地表または海面にかえってくる現象を観測して地下構造を明らかにする技術である。この弾性波発生震源としては ダイナマイトなどの爆薬の爆発によるものが一般的であるが 最近では爆薬を使用しない非爆薬装置利用が広く行なわれ わが国においても海上ではエアガンが主として使われている。スパーカーも地震探査の一種であるが これは音波探査といわれることもある。

弾性波には縦波 (P波)・横波 (S波)・表面波などの種類があるが 現在の反射法では 縦波を対象としている。この縦波が地層で反射する際には

$$K = (\rho_2 v_2 - \rho_1 v_1) / (\rho_2 v_2 + \rho_1 v_1)$$

であらわされる K という反射係数の割合で反射されるここに $\rho_2 \cdot v_1$ はそれぞれ反射面の下および上の層の密

度 $v_2 \cdot v_1$ は同じくそれぞれの層の縦波速度)。各面において この反射係数の割合により弾性波の反射および透過 (屈折) が行なわれるので 地表面または海面から対象反射面までの弾性波の往復伝播径路において その途中の各地層面による反射および透過の積み重ねが行なわれることになる。したがって 受振される反射記録は途中の地層の密度および伝播速度の特性を含んだものであり これを裏返せば 反射記録を細かく分析することにより この特性を引き出すことも原理的には可能である。一般に 各地層間の密度変化は伝播速度変化に比べて微小であるので 伝播速度変化だけに着目しても差し支えない。

最近電子計算機が発達し それに伴ってその周辺機器や反射を記録するデジタル探査機も高度なものが出現するようになってきた。これらを駆使して 上記の伝播特性および反射波のその他の性質を利用して さらに最近の情報理論を巧みに利用することにより 反射波以外のいわゆるノイズから反射波を抽出して 地下の地層のある種の物性や構造を明確に解析する技術が最近発展している。電子計算機を利用した資料処理はデジタル処理と呼ばれる。ここでは われわれの行なっている最近の地震探査デジタル処理の数例について簡単に概要を記すことにする。

2. 動補正および CDP (水平重合法)

爆発による弾性波がある地層面で反射して受振されるとき 爆発点と受振点が同一地点の場合の往復反射時間