



|                  |   |
|------------------|---|
| Title            | 大形岩石破壊実験装置について  |
| Author(s)        | 前田, 亘; MAEDA, Itaru   |
| Citation         | 北海道大学地球物理学研究報告, 38, 55-61   |
| Issue Date       | 1979-11-30  |
| DOI              | <a href="https://doi.org/10.14943/gbhu.38.55">https://doi.org/10.14943/gbhu.38.55</a> |
| Doc URL          | <a href="https://hdl.handle.net/2115/14082">https://hdl.handle.net/2115/14082</a>     |
| Type             | departmental bulletin paper   |
| File Information | 38_p55-61.pdf   |



## 大形岩石破壊実験装置について

前 田 丞

北海道大学理学部附属地震予知観測地域センター

(昭和53年11月1日受理)

### On the Apparatus for Fracture Experiments Using Large Size Samples.

By Itaru MAEDA

Research Center for Earthquake Prediction, Faculty of Science, Hokkaido University

(Received November 1, 1978)

An apparatus for rock fracture experiments is reported. This apparatus is designed for three kinds of experiments, i. e. (1) for experiments using very large size samples under room condition, (2) for stick-slip or fracture experiments using relatively large size samples under up to 2kb confining pressure, and (3) for deformation experiments under high pressure and temperature. For experiments (1), maximum sample size is  $40\phi \times 95\text{cm}^3$ , and for (2),  $10\phi \times 20\text{cm}^3$ . The power of the press is 2500 t.

#### §1. 経 緯

才3次地震予知計画の地震予知基礎部門の一環として52年度に北海道大学理学部地震予知観測地域センターに岩石破壊実験装置が設置された。本稿ではこの装置について報告する。

#### §2. 実験目的

地震予知に関係した岩石実験として考えられるテーマは、ほとんどあらゆる岩石実験のテーマを含んでいるであろう。すべてのテーマについて実験を行なえるという様な装置は存在しない。実験技術的な問題及び、当センターが微小地震観測網をもっているという状況を考慮し次のテーマが重要でありかつ、実験可能であると判断した。

(1) 地殻内の微小地震活動の動向及び性質を岩石内の微小クラックによりシュミレーションする。この為には、実験に於いてクラック発生に伴って観測される音波(A.E.)を、観測される地震波形と同程度の水準で測定する必要がある。即ち、得られたA.E.波形が地震波形と同様に定量的に扱

える事が大切である。定量的な解析は地震とA.E.の関係、例えば相似則を与えるものと期待される。

(2) 巨大地震が群発的に生じかつ多数の余震を伴っている様な震源領域(例えば根室半島沖)における地震の発生機構としてスティックスリップ運動が考えられている(前田1977)。このスティックスリップ運動をより実際に近い状態で実験的に調べる。

(3) 地震は600~650 kmという地下深い領域でも生じている。この深い地震と、被害をもたらす様な浅い地震の発生機構の違いは何かという問題を調べる。これは結果として浅い地震の発生機構を側面或いは裏面から調べることを意味する。例えば、深発地震では余震を伴わない、或いはそれが少ない等と言われている。それは本質的なものかどうか、もしそうだとすれば何故浅い地震では前震、余震を伴っているのか等々を明らかにすることは有意義である。実際に行うことは高封圧下での差応力に対する岩石物性を実験的に調べることである。

本装置は以上の3点を主たる実験目的として考案された。

### §3. 設計方針

(1)の実験では岩石試料の大きさとクラックに伴うA.E.の波長との関係が、A.E.波形を解析する上で重要である。一般に破壊実験に用いられる試料寸法は、測定されるA.E.の波長の高々数倍程度である。この場合、測定される波は試料の境界を感じて極めて複雑なものとなる。この波形の複雑化を防ぐために、A.E.は可能な限り無限媒質又は半無限媒質に近い境界条件の下で測定されることが望ましい。その為には、単純には、試料を大きくすれば良い様に思われる。しかし、波の伝播経路が長くなるとより高周波成分が減衰されることにより測定可能な周波数帯域は低くなる。即ち、より長い波長の波のみを測定することになるので、試料寸法とA.E.の波長の比は小寸法試料の場合から見て大巾には改善されない。測定可能な波長と試料寸法の間には相反する関係があるから、この比が最も大きくなる最適試料寸法があると思われる。しかし、その寸法は用いる岩石のQとクラックの発生機構とに関係している。従って、実験装置としては、可能な限り大きな試料を用いて実験が出来る事が望ましい。

試料に封圧をかけるという条件は、経費の点から考えれば、試料を出来るだけ大きくするという条件と相反する。本装置は、試料寸法に関する条件を優先させることにした。大きな試料を用いて、高温下で実験することは、試料内の温度分布の均質化及び温度上昇に要する時間を考えれば、今のところ不可能である。従って、巨大寸法試料を用いる実験では、封圧も温度も考慮しない。

(2)のスティックスリップに関連した実験としては、モデル的なスリップ実験(ex. T.L. Johnson et al. 1976)も考えられる。しかし、その為には、全くそれ専用の装置を必要とする。それに反し切断された試料を用いた低封圧下での実験(ex. J. Weeks et al. 1978, J. Byerlee 1968)ならば単軸プレスに一寸した工夫をすることにより行うことが可能である。また、その様な工夫をした装置は、低封圧下での単純な破壊実験も行うことができる。試料寸法を多少犠牲にすれば、500~

600°C程度の高温下での実験も出来る事が望ましい。

(3)の実験では、高温(1000~1500°C)高封圧(50~100kb)下で差応力を制御した形で実験を行なわねばならない。この程度の封圧下での差応力発生或いはずり応力発生の方法としてGiardini(1974)の方法やピストンシリンダを用いた方法(ex. H.W. Green II 1972)等が考えられる。しかし、これ等の方法は十分差応力が制御されているとは言い難い。更に、(1)及び(2)の実験装置との関連が薄い。(1)と(2)の実験が可能な装置と整合する装置として6分割ブロック装置を考えた。この装置は未だ試作中であるので、詳述しない。

#### §4. フレーム及び圧力容器

Fig1に全体の組図、Fig2に圧力容器部分の断面を示す。Fig1の左側はプレスフレーム正面図、右側は側面図をそれぞれ示している。フレームは、厚さ19mmの横板と縦板を交互に重ね合せ、交った部分をボルトで締めた構造をもつ。縦板の寸法は50×370cm<sup>2</sup>で横板は200×70cm<sup>2</sup>である。材質はSS41を用いている。フレームは固定型であるから、単軸プレスとして種々の長さの試料を加圧する場合にはスペーサを用いなければならない。

主シリンダーの寸法は外径80cm、長さ86cm、内径40cmである。ピストンは40cm<sup>φ</sup>×40cmの大きさをもっている。材質は、前者はSCM、後者はSKD61である。(1)の実験を行う場合には、ピストンはシリンダの奥まで入っている。この時、使用可能な最大試料寸法は40cm<sup>φ</sup>×95cmである。これが本装置で実験できる試料の最大寸法となる。ピストンのストロークは約20cmであるが、試料をセットする時に10cm程度の空間が必要であるから、試料を押せる実質的なストロークは10cm程度である。最大寸法の試料を用いた場合の最大歪は約10%である。試料が普通の岩石である限り、このストローク長は十分な長さである。

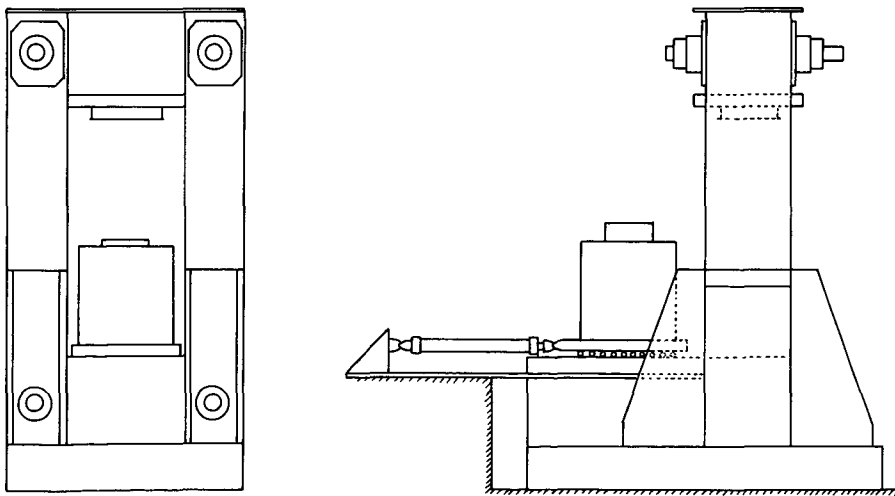
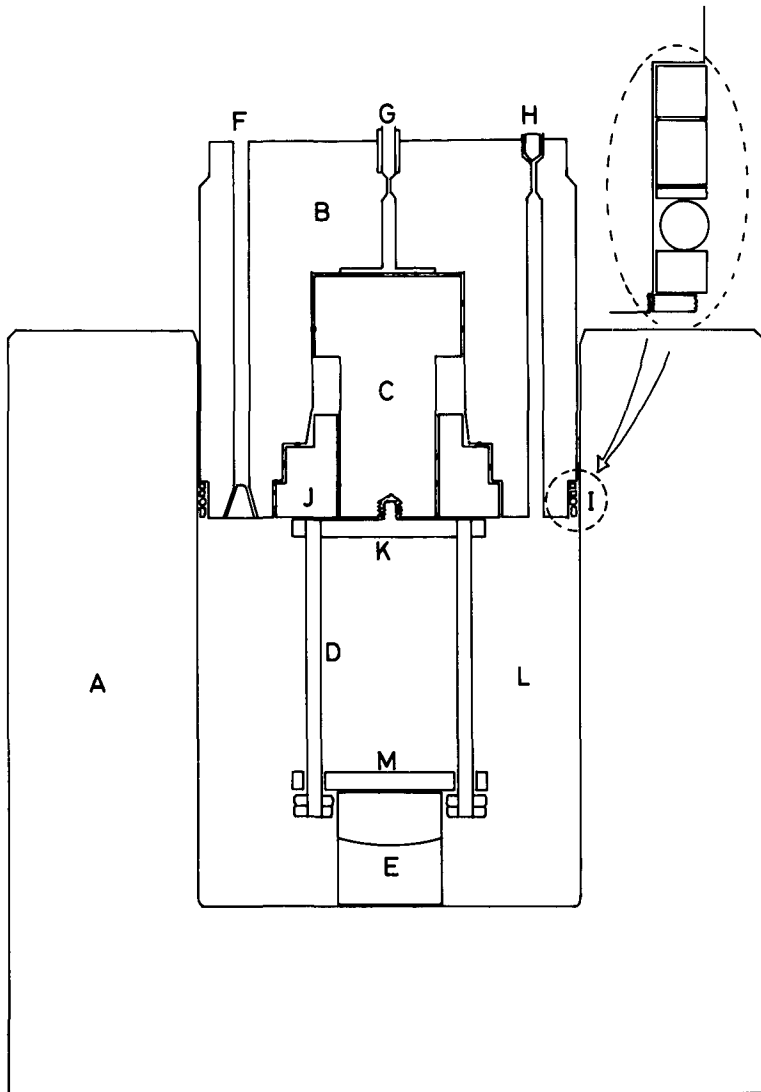


Fig. 1. Schematic diagram of the press.



**Fig. 2.** Section of the pressure vessel and some assemblies. A : main cylinder, B : main piston, C : inner piston, D : rods for suspension M and sample, E : bowl base, F : holes for leadwire, G : connector for axial pressure oil, H : air relief valve, I : oil seal, J : nut, K and M : platens, L : high pressure room.

封圧下での実験をする場合には、可能な限りピストンがシリンダから出ている様にセットする。ピストンを固定する為にフレームとの間には巨大なスペーサを置く。このスペーサを実験の度に移動させるのは面倒であるから、それを避けるためフレーム上部から吊すことが出来る様にしてある。こうしてセットされた状態での圧力室の体積は $40\text{cm}^{\phi} \times 40\text{cm}^3$ になる。

ピストンは Fig2 に示す様に、それ自体シリンダになっている。また、それに内蔵されているピストンと組合せて一つの増圧器にもなっている。内蔵ピストンの先端中央部にはネジがあり、それに Fig2 に示す K.D.M の様な当板と吊棒をつけると、上下の当板に試料をセットすることが出

来る。下側の当板と吊棒は自由に動くことが出来る。下側の当板と主シリンダの底の間には球座を置く。ナット J の内径と内蔵ピストン C の外径を変えることにより増圧器の増巾率を変える。それにより試料に加えることの出来る最大軸圧が変わる。それと共に用いる試料径も変えねばならない。製作された組合せでの最大試料寸法は  $10 \times 20 \text{cm}^3$  である。§ 2 (2) の実験はこうして行う事が可能になる。

§ 2 (3) の実験にはこの圧力室を用いる。圧力室の形状を考慮すれば、分割球型高压装置を用いた静水圧的な超高压実験も可能である。

大形試料のセットや封圧下での実験の準備はラム全体をフレームの外に引き出し(Fig.1右図参照)、天井のクレーンを用いて行う。この時シリンダ下部にコロを挿入する必要がある。その為にシリンダの台座に4本のジャッキが取付けられている。

## § 5. 油圧系統及びオイルシール

油圧系統は  $2000 \text{kg/cm}^2$  と  $70 \text{kg/cm}^2$  の2系統から成る。  $70 \text{kg/cm}^2$  の低压系統はラムのフレームから出入れ及びコロの挿入取はずしの為のジャッキに用いられる。  $2000 \text{kg/cm}^2$  の高压系統は一軸プレスとして § 2 (1) の実験及び封圧下での § 2 (2) と (3) の実験を行う時に用いられる。油圧系統は増圧器を用いておらず、一次圧  $2000 \text{kg/cm}^2$  のポンプがついている。従って一軸プレスの最大荷重は  $2500 \text{t}$  である。この事は最大寸法の試料を用いた場合、試料に加えられる圧力が  $2 \text{kb}$  であることを意味し、岩石によっては最終破壊の段階にまで至らないこともあり得る。しかし、§ 2 (1) の実験目的から考えると、これは本質的な問題ではない。また、封圧下での § 2 (2) の実験の場合の最大封圧も  $2 \text{kb}$  に限られる。

封圧下で差応力を発生させるには内蔵ピストンを用いる訳であるが、この時必要な油圧は四方切換弁で封圧用に用いたものを切換えて使う。従って一定封圧下での軸方向の加圧のみが可能である。実際には内蔵ピストンが圧力室内に出てきた分だけ封圧は上昇する。これはスペーサにより主ピストンが固定されているために生じる。しかし岩石の圧縮率に比して油の圧縮率が十分大きいこと及び油量が試料の体積よりずっと大きいことにより、この封圧の上昇量は特別厳密な測定をするのではない限り無視できると思われる。  $1 \text{kb}$  封圧下でのテストの結果では、内蔵ピストンを最大限押し出した場合の封圧の増加は  $50 \text{bar}$  程度であった。岩石の必要な歪量を考慮すると、岩石が  $5\%$  歪んだ時の封圧増加量は  $10 \text{bar}$  である。従って、封圧の変化は実質的に無視できる。

高压用油圧ポンプは理研製  $2000 \text{kg/cm}^2$  ポンプである。三木プーリ製無段変速機を介してモータと継っている。最低吐出量は公称  $35 \text{cc/min}$  であるが、実際に用いてみると油圧がほとんどかからない自由状態のピストンを動かす時で  $90 \text{cc/min}$ 、  $500 \text{bar}$  以上になるとその倍以上の吐出量でないと安定に作動しない。これを、大形試料の場合の歪速度に直すと  $(5 \pm 4) \times 10^{-4} / \text{min}$  という値になる。この値は多分に多すぎる。封圧下での実験の軸圧の加圧速度は更に大きい。充分低速の加圧のために手押しポンプがつけられている。

重要な技術的問題の一つとしてオイルシールが挙げられる。シールが問題となる原因の一つは

ピストンが1000~2000kg/cm<sup>2</sup>の油圧状態で数cm動くことにある。これは、大形試料を用い2kbの油圧で直接加圧する限り避けられない。また、別の原因としてピストンとシリンダの径の差（クリアランス）を大きくとっていることが挙げられる。これは容易にピストンを出し入れ（シリンダから抜いてしまう事又その状態からシリンダに挿入する）する事が出来る様にした為である。例えば、試料が破壊しかけた時には、横ずれの方がピストンに働く可能性がある。そのまま加圧することはピストンが傾いたまま移動することを意味する。クリアランスが小さければ問題は無いが、それが大きいとトラブルを生じる可能性がある。

普通の高圧シールとしてはテーパの付いた金属シールがOリングと共に用いられている。しかし、上に挙げた理由によってテーパシールは、危険である。また材料として金属を用いることも好ましくない。本装置では、種々の形状、材質をテストした結果、角リングベークライト製シールとOリング及びテフロン製バックアップリングの組合せを採用した。このシールはFig2に示す様にピストンの下端につけられている。ピストンの首振り防止を為にシリンダ上部の内壁につけてあるテーパ部分にベークライト製のテーパリングをつけた。勿論この部分には油圧はかからない。このテーパリングはピストンとシリンダ間にスケールや岩石粉が入るのを防止する役目もする。現在のところベークライト製シール及び上部テーパリングは十分な特性を示している。

## 後 記

加荷重速度が速い点はサーボバルブ等によって改善され得る。実験準備を行う場合の操作性は良くないが支障はない。この装置には危険防止のため、主シリンダ油を急速に抜く電磁弁がつけられている。

油圧保持能力は次の様である。2kbの油圧がかかった時点でポンプを止めると、その後2時間位の間に5%位減圧する。しかしその後は1日経っても1~2%しか減圧しない。

## 謝 辞

本装置の製作にあたり多大の御尽力をいただいた東京金型工業株式会社社長岡田禧麿氏に感謝の意を表します。プレス設計に際し貴重な助言を戴いた大阪大学基礎工学部の田中健一氏に感謝の意を表します。

## 文 献

- J. Byerlee, V. Mjachkin, R. Summers, and O. Voevoda, 1978, Structures developed in fault gouge during stable sliding and stick-slip., *Tectonophys.*, **44**, 161-171.
- A. A. Giardini, 1974, A review of rock behavior to shear over approximately 100 Kbar of confining pressure and a speculative model for seismic disturbance., *J. Geophys. Res.*, **79**, 1183-1195.
- H. W. Green II, 1972, Metastable growth of coesite in highly strained quartz., *J. Geophys. Res.*, **77**, 2478-2483.
- T. L. Johnson and C. H. Scholz, 1976, Dynamic properties of stick-slip friction of rock., *J. Geophys. Res.*, **81**, 881-888.

J. Weeks, D. Lockner, and J. Byerlee, 1978, Change in b-values during movement on cut surfaces in granite.,  
*Bull. Seism. Soc. Amer.*, **68**, 333-341.