

圧力条件下における岩石の比抵抗測定

林 為人*・後藤忠徳**・中村敏明***・三ヶ田均****

要旨

三軸圧縮試験機の圧力容器と比抵抗測定装置とを組み合わせることにより封圧と間隙水圧を負荷した条件における岩石比抵抗の測定システムを構築した。これを用いた測定例として、最大約30MPaの有効拘束圧までの圧力条件下において、水深約2,000mの熊野舟状海盆にある泥火山の上部斜面で採取した泥岩試料の比抵抗を測定した。この測定システムでは再現性の高い岩石の比抵抗測定を行うことができた。また、供試体にジャケットを被せることにより、供試体が開放状態にある従来の測定法と比べて、供試体の乾燥の防止や供試体外表面の余分な付着水の除去が簡単にできるメリットがある。限られた個数の熊野海盆の泥岩試料および間隙水の電気伝導度条件において、泥岩の比抵抗を測定した結果、最大約30MPaまでの有効拘束圧までは、比抵抗の顕著な急変点が認められなかった。したがって、泥岩などの比抵抗値を左右する要素である粘土鉱物などの電気二重層の性質に間隙水圧が影響を与えないと仮定すれば、熊野海盆の泥岩試料が過去に受けた最大応力履歴は約30MPaよりさらに大きく、その起源は海底下2 kmより以深であった可能性があると考えられる。また、き裂を含む供試体の比抵抗は、圧力増加に伴ってき裂が閉塞するため、インタクト供試体より圧力の影響を受けやすいことが確認された。

Key words : 比抵抗 electrical resistivity, 圧力条件 confining and pore pressure condition, 泥岩 mudstone

1. はじめに

電気比抵抗は、応用地質学・地球科学・地下資源開発などの分野において地下深部の地層・岩盤の構造の調査や透水性などの物性を推定するためによく利用されている有効な物性パラメータである。さまざまな地下の環境を再現する圧力・温度・間隙水などの条件下において岩石の比抵抗を測定することにより、原位置条件下での比抵抗特性を把握することは、孔内検層や広域な電磁・電気探査の結果をより高い分解能で解釈するために必要不可欠である。近年、各種岩石の比抵抗特性に関して、温度依存性や表面伝導・間隙水の比抵抗などの影響、また弾性波速度などの他物性との関連などに関する基礎的な実験研究が盛んに行われてきた^{1)~9)}。これらはすべて大気圧下の測定であり、圧力ファクターを考慮した例はほとんど見あたらない。圧力下における岩石の比抵抗測定はBRACEら^{10),11)}により先駆的に行

われてきたが、実施例はまだ少なく、さらなるデータの蓄積が重要と考えられる。

本研究は、今後予定されている深海掘削により採取される岩石試料の比抵抗を含む各種物性を正しく評価するために、圧力を負荷した条件における比抵抗測定システムの開発を目的としている。この研究の背景は、同実験手法・技術を開発して、巨大地震の震源域でもあるフィリピン海プレートがユーラシアプレートの下に沈み込むプレート境界付近の構造や物性などを解明し、地震の発生に関する理解を深めるための調査・研究に寄与することである。本稿では、新たに構築した封圧と間隙水圧を負荷した条件下で比抵抗を測定するシステムと測定手法を紹介するとともに、一例として水深約2,000mの熊野舟状海盆で採取した泥岩試料の限られた実験条件下での比抵抗測定結果ならびに得られた知見を速報する。

2. 実験方法

2.1 圧力下での比抵抗測定システムと測定手順

封圧および間隙水圧を制御した条件下において岩石試料の電気比抵抗を測定できるシステムを構築した。それを模式的に図-1に示すが、三軸圧縮試験装置の圧力容器に新たに電気信号の取り出し口を付けたうえ、既存の比抵抗の測定装置⁹⁾を組み合わせることによって構成した。現状では、

* (独)海洋研究開発機構 Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC) (会員)
 E-mail : lin@gamstec.go.jp

** (独)海洋研究開発機構 Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC)

*** (株)ダイヤコンサルタント Dia Consultants Co., Ltd.

**** 京都大学大学院工学研究科 Graduate school of Engineering, Kyoto University

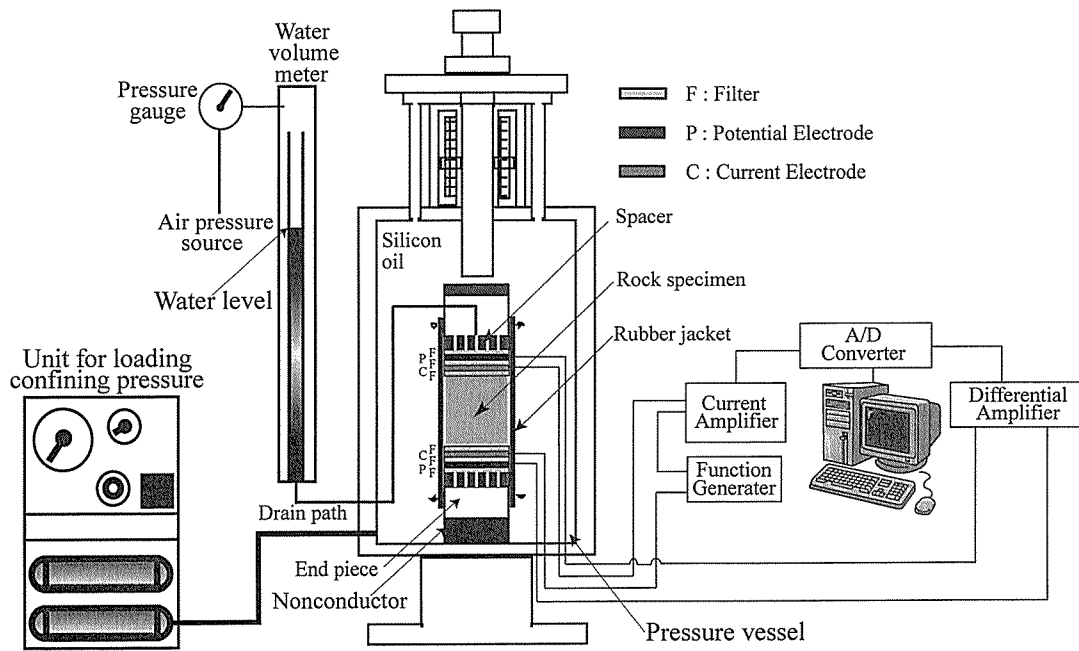


図-1 封圧と間隙水圧条件下における岩石比抵抗の測定システム

封圧の負荷能力は50MPaであり、間隙水圧はコンプレッサを圧力源としているため上限が1MPaで、やや低めとなっている。高圧ポンプを用いれば、封圧を上限として数10MPaの間隙水圧まで負荷することが可能である。なお、測定環境温度は室温である。

供試体と電極などのアセンブリは、岩石試料の比抵抗計測に最もよく使われている千葉・熊田³⁾のGeoscience typeサンプルホルダと同様に、4極法を採用した。4つの電極(電位電極P、2個；電流電極C、2個)は図-1に示したように濃度0.1NのNaCl溶液でぬらした濾紙Fを介して岩石試料(Rock specimen)の両側に、F、P、F、C、F、Rock specimen、F、C、F、P、Fの順に配置した。エンドピースはステンレス製としたが、スペーサは絶縁性の材料で作製した。また、供試体の上下両端において排水した場合、導電性の海水とステンレス製の排水チューブがステンレス製圧力容器を介して、電気回路を形成する可能性がある。この可能性を防ぐために、供試体の上端のみによる排水とした。

圧力条件下での測定は大気圧下と異なって、供試体を被覆して圧力媒体のオイルから隔離しなければならない。本研究では厚さ1mmの三軸圧縮試験用メンブレン(天然ゴム製)を用い、また、圧力媒体としてはシリコンオイルを用いた。このオイルの比抵抗値は、50ppm以下の含水条件では $10^{12} \Omega \cdot m$ 以上とされている¹²⁾。本研究に用いた比抵抗測定システムのインピーダンスから推定される岩石試料の比抵抗測定限界は、直径5cm×高さ10cmの供試体に対して約 $2 \times 10^5 \Omega \cdot m$ である¹³⁾ため、このオイルの比抵抗は十分に高いといえる。

圧力下での比抵抗測定の手順としては、まず、含水飽和状態の供試体、電極、エンドピース、メンブレン、排水チュー

ブなどを組み立てて、圧力容器にセットした。その後、シリコンオイルを圧力容器に注入・充満したうえで、圧力下での測定と同様な供試体の設置状態において、圧力を負荷しない第1圧力条件での比抵抗測定を実施した。次に、封圧と間隙水圧を交互に、かつ間隙水圧が封圧を超えないように、封圧1MPa程度、間隙水圧0.6MPaに上昇させてから、第2圧力条件での比抵抗を測定した。第3圧力条件以降での比抵抗測定は、間隙水圧一定で、封圧を載荷する過程での10、20、30MPa、および除荷過程の20、10MPaの圧力条件で行った。また、封圧と間隙水圧との両方を完全に除荷した後でも、比抵抗測定を行った。封圧の載荷過程では、封圧をそれぞれの所定の圧力にしてから、排水バルブを開けて、圧密による排水を行った。比抵抗測定は、圧密に伴う排水量を水位計でモニタリングし、排水がほぼ停止してから実施した。排水がほぼ停止するまでの所用時間は概ね1時間程度であった。一方、封圧の除荷過程では、排水バルブの解放状態において封圧をそれぞれ所定の圧力に下げ、数分後に比抵抗測定を行った。

比抵抗の測定に用いた電位・電流の周波数、波形の種類、データサンプリングの頻度などはすべて西田・川上⁸⁾と同じとした。実際の測定では、岩石供試体を流れる電流は $\pm 10^{-3} A$ 未満で、印加した電位差は $\pm 0.5V$ 程度であった。電流 $I(A)$ および岩石供試体の両端に印加した電位差 $V(V)$ を読みとり、供試体の比抵抗 $\rho(\Omega \cdot m)$ を次式により算出した。

$$\rho = RS/L \tag{1}$$

ここに、 R は供試体の電気抵抗($R = V/I$; Ω)、 S : 供試体の断面積(m^2)、 L : 供試体の長さ(m)である。

なお、それぞれの圧力条件下では、比抵抗測定を3回実

施して、その平均値を求めた。また、1回の比抵抗測定に必要な時間は数10秒程度である。

2.2 泥岩試料

研究用泥岩ブロック試料(約 $10 \times 10 \times 20 \text{cm}^3$)は、深海無人探査機「かいこう」を用いて、図-2に示した、深さ約2,000mの熊野舟状海盆で採取したものである。この海盆には7つの小規模な泥火山(Mud volcano)が存在しており、それぞれ第一〜第七熊野海丘(Kumano Knoll No.1〜7)と呼ばれている^{14)~16)}。これらの泥火山は概ね高さが100m程度、直径2km以下であり、ダイアピルにより形成されたものである。本研究に用いた泥岩ブロックは、第四熊野海丘(高さ約80m、直径約1km)の東側斜面上部で採集した。その付近には数多くの岩塊が点在し、そのほとんどは10cm程度あるいはそれ以下の大きさであり、まれに20cm以上のものもあった。これらは海底下深部からの泥火山噴出物であると推測されている¹⁶⁾。

この泥岩ブロックの堆積層界面は肉眼で確認できないが、不規則な配置を呈する方解石鉱物脈が多数存在している。また、この泥岩のバルク密度は、湿潤飽和状態では 2.59g/cm^3 、乾燥状態では 2.50g/cm^3 であり、含水飽和法による有効間隙率は8.8%であった。また、カラム浸透法による陽イオン交換容量(CEC)の全量分析¹⁷⁾の結果、この泥岩のCECは $5.2 \text{meq}/100 \text{g}$ であった。粘土鉱物は、その表面あるいは破断面に負の電荷を帯びているため、電気的な平衡を保とうとして、陽イオンと静電的に結合している。この陽イオンは交換性陽イオンと呼ばれ、その総量を陽イオン交換容量という。この陽イオンの存在は電気伝導度に寄与するものと考えられるが、この泥岩のCECは比較的小さな値であった。

採取できたブロック試料の大きさの制限から、電気比抵抗測定用供試体を2本作製した。明瞭な異方性構造が肉眼で認められなかったため、円柱状供試体の軸方向は、ブロック試料の形状および作製上の都合で、適宜な直行する2方

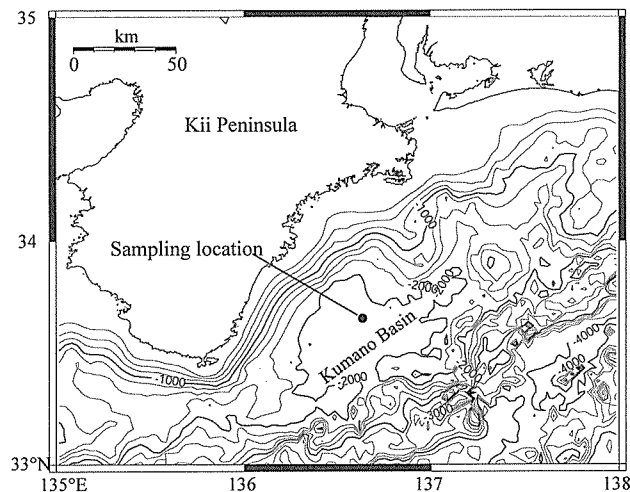


図-2 泥岩試料の採取場所(紀伊半島沖、熊野舟状海盆)

表-1 比抵抗測定用供試体の諸元

Specimen symbol	Diameter (cm)	Length (cm)	Wet bulk density (g/cm^3)
HS2-H	5.00	4.99	2.57
HS2-V2	4.98	6.41	2.59

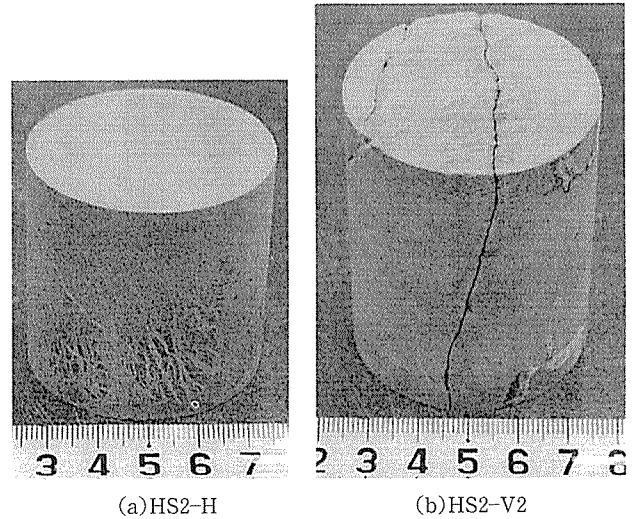


図-3 比抵抗測定用供試体の写真

向とした。この2供試体の記号、詳細寸法、ノギス法によるバルク密度は表-1のとおりである。また、供試体の写真を図-3に示す。HS2-Hはき裂を含まないインタクトな供試体(以下、インタクト供試体と称する)であるが、HS2-V2には中心部を縦貫する大きなき裂が含まれている(以下、き裂を含む供試体と称する)。このき裂は開口性のもので、き裂面は若干褐色に変色している。供試体をコアリングや研磨する段階では冷却水として水道水を用いた。これらは海底から採取された試料のため、比抵抗測定を実施する前に、供試体を海水に浸した容器を真空デシケータに入れて一週間程度真空脱気により減圧しながら、供試体の完全含水飽和と間隙水内の塩分濃度、ならびに間隙水の比抵抗を均一化させた。供試体を完全含水飽和させた一週間後の浸水溶液の電気伝導度は 16.6mS/cm で、約 $0.61 \Omega \text{m}$ の比抵抗に相当する。なお、浸水実験に用いた海水は東京湾内の入り江(横浜市野島公園付近)で取ったもので、塩分濃度は岩石ブロックを採取した海域の海水のそれより低く、その電気伝導度は 14.9mS/cm であり、中塩分の汽水に相当するものである。

3. 実験結果および考察

3.1 電流・電位差測定データの一例

供試体に印加した電位差と供試体を流れる電流の実測データ波形の一例として、封圧30MPa、間隙水圧0.6MPaの圧力条件において3回繰り返して測定したインタクト供試体HS2-Hの波形を図-4に示す。この実験では電気探査を実施する場合によく利用される周波数を考慮して、印加電圧

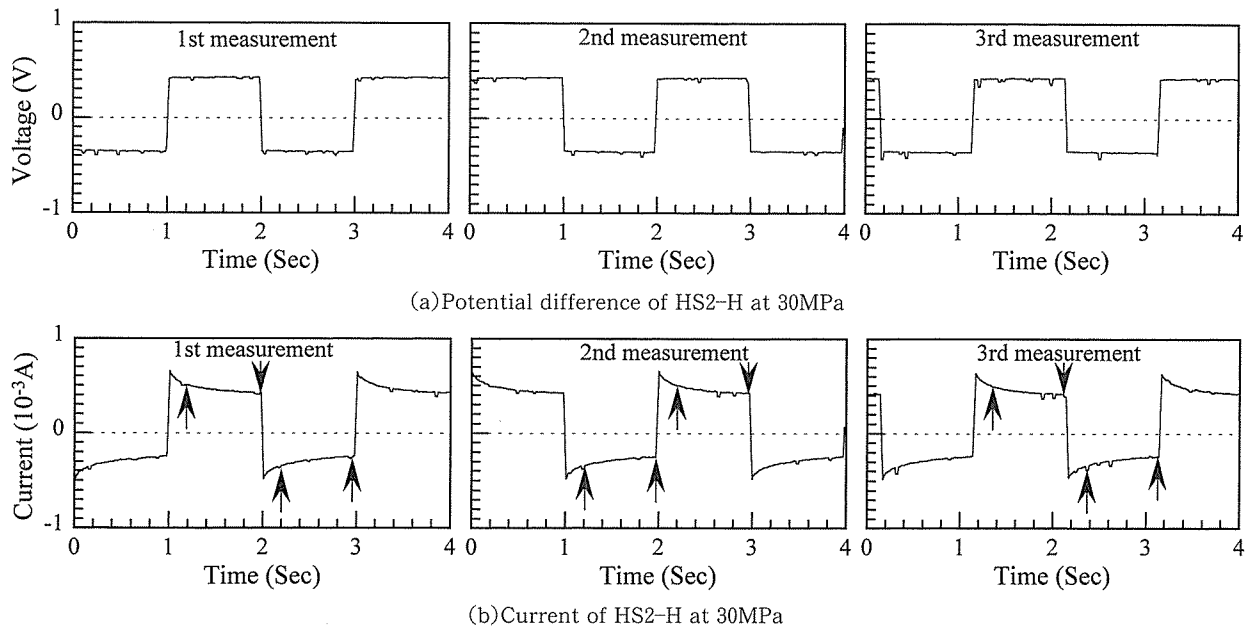


図-4 約30MPaの有効拘束圧におけるインタクト供試体HS2-Hの(a)電位差と(b)電流との実測波形

に周波数0.5Hzの矩形波を採用した。データのサンプリングは2周期分を行い、測定回によって、データサンプリングの開始点が若干異なる。すなわち、図中の波形の位相が異なることがあるが、3回ともほぼ同様な波形が得られたと判断される。

図-4(b)に示したように、電流量は、電位差が一定となっている区間(直流状態)において、時間の経過に伴い徐々に低下する極端現象が認められた。したがって、(1)式で比抵抗を算出する際、用いる電流データにより求められる比抵抗値が異なることが考えられる。データ解析の利便性から、本研究では2周期分の電位差および電流の全データの正負側の平均値をそれぞれ求めて、比抵抗を算出する方法を採用した。ただし、電流データの取捨が結果に及ぼす影響を把握するために、図-4(b)に示したそれぞれ正負側にある二つの矢印でマーキングした区間(半周期の約80%)のデータのみを用いて比抵抗を求めた。前者の方法(正負両側の全データを使用)で得られた3回測定の結果はそれぞれ39.3, 39.2, 39.8 Ωm 、後者の方法(正負両側のマーキングした区間)で得られた比抵抗値はそれぞれ42.0, 42.1, 42.4 Ωm であり、両解析手法による比抵抗値の相対差は約6%であった。後者の手法では極性を切り替えた初期に生じた大きな電流値の部分を削除したため、得られた比抵抗値はやや大きくなっている。しかし、その差は数%にとどまっております。かつ、両手法による比抵抗値の大小関係はどの圧力条件に対しても同じであるため、圧力が比抵抗値に及ぼす影響に関する検討では、どちらの解析手法でも問題ないと判断される。

また、同一圧力条件における比抵抗値の3回測定の結果について、いずれの解析手法でも得られた値がよく一致しており、比抵抗測定そのものの再現性はかなり高いことが

判明した。

3.2 比抵抗と有効拘束圧との関係

本研究では、圧力データを整理する場合、飽和軟岩を対象とした現行の試験基準¹⁸⁾で定めた方法および類似既往研究の実例(例えば、末永ら¹⁹⁾)と同様に、封圧と間隙水圧との差を有効拘束圧と定義し、これを有効応力とした。両泥岩供試体の比抵抗と有効拘束圧との関係を図-5に示す。有効拘束圧の上昇過程では、インタクト供試体は圧縮されて間隙の量が減少するため、比抵抗が増加傾向を呈した。本研究で実施した最大有効拘束圧は約30MPaで、岩石の密度を2.5g/cm³、水の密度を1.0g/cm³で概略的に見積もれば、有効応力の概念からは海底からの深さ約2kmに相当する圧力条件となる。この圧力範囲では、図-5(a)から明らかのように顕著な比抵抗—有効拘束圧カーブの変曲点が見いだせなかった。したがって、泥岩などの比抵抗値を左右する要素である粘土鉱物などの電気二重層の性質に間隙水圧が影響を与えないと仮定すれば、この岩石サンプルが過去に受けた最大応力履歴は約30MPaよりさらに大きい可能性があると考えられる。

昇圧過程での比抵抗—有効拘束圧関係を、片対数グラフ(図-5参照)において回帰直線で近似すると、インタクト供試体とき裂を含む供試体にそれぞれ対応する次の(2)、(3)式を得た。

$$\log \rho = 0.001 \sigma_e + 1.57 \quad (2)$$

$$\log \rho = 0.004 \sigma_e + 1.65 \quad (3)$$

ここで、 ρ は比抵抗(Ωm)、 σ_e は有効拘束圧(MPa)である。ただし、き裂を含む供試体の場合では、10MPa未満での測定では天然の状態と考えにくいき裂の過剰な開口(図-3参照)による影響が残る恐れがあるため、その回帰直線による近似は有効拘束圧10MPa以上のデータのみを

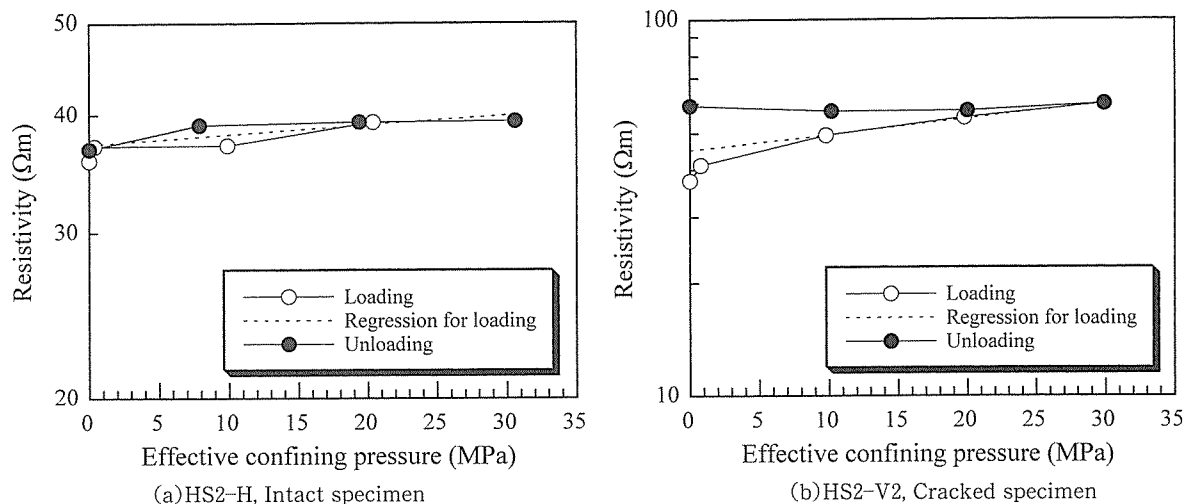


図-5 泥岩(a)のインタクト供試体HS2-Hと(b)き裂を含む供試体HS2-V2の比抵抗と有効拘束圧との関係

用いて行った。

既往の圧力下での比抵抗データは少ないが、BRACE & ORANGE¹³⁾は、1,000MPaまでの圧力下で10種類程度の岩石の比抵抗を測定した。それらの比抵抗—圧力関係曲線は岩種によって大きく変化するが、ほとんどの岩種においては圧力の増加に伴い比抵抗が増大する傾向を呈している。一方、圧力の負荷により構造に変化がもたらされ、比抵抗が低下した例(斑れい岩など)もあった。比抵抗—圧力曲線の勾配、すなわち、圧力に対する比抵抗の変化率は岩種、岩石の圧縮率および有効間隙率、圧力レベルなどに左右され、その値はかなり大きく異なるものであった。本研究のインタクト供試体HS2-Hの、圧力に対する比抵抗変化率は $0.001\text{Log}(\Omega\text{m})/\text{MPa}$ であり、比較的小さいと思われる。既存文献には泥岩の圧力条件下における比抵抗データは認められないが、BRACE & ORANGE¹³⁾のデータの中には、ほぼ同様な値を示す岩種(石灰岩)も認められた。

インタクト供試体の圧力負荷していない状態(有効拘束圧0MPa)で測定した比抵抗と小さな有効拘束圧(0.4MPa)での比抵抗はそれぞれ35.8、37.0 Ωm であった。この2点間の比抵抗値の差は、図-5(a)の有効拘束圧—比抵抗関係曲線から見ると比較的大きな差であり、単純に圧力増加に伴う間隙率の変化だけでは説明することができない。この原因としては、有効拘束圧が負荷しない状態では供試体の表面に付着水が存在し、それに沿う電荷の移動が存在した可能性が高いと考えられる。そのため、若干の封圧を負荷することによりその付着水がなくなり、表面付着水の影響を除去することができたと考えられる。なお、き裂を含む供試体では有効拘束圧が0、0.8MPaでの比抵抗はそれぞれ37.4、41.2 Ωm (図-5(b)参照)であり、この比較的大きな比抵抗の変化については表面付着水のほか、き裂の過剰な開口の影響もあったと推測される。したがって、従来の大気圧下での測定手法(例えば、千葉・熊田³⁾、西田・川上⁸⁾)と比較すると、供試体にジャケットを被覆した状態でわず

かな圧力を負荷して測定する手法は、供試体表面の余分な付着水や乾燥の防止、既存き裂の開口による影響を防ぐことができ、より正しい比抵抗値を得られるメリットがあると考えられる。

また、約30MPaの有効拘束圧においてはき裂を含む供試体のき裂もほぼ完全に閉鎖していると考えられるが、同じ圧力条件におけるインタクト供試体の比抵抗値はき裂を含む供試体に比べて約20 Ωm 小さい(図-5参照)。その要因としてはコアの軸方向の違いや鉱物脈の含有量・配列状態など肉眼では認められなかった供試体内部の異方性構造が想定される。

3.3 既存き裂の影響

き裂を含む供試体は、有効拘束圧の増大に伴ってき裂が閉塞するため、圧力による比抵抗値の変化がインタクト供試体のそれより大きい。き裂を含む供試体の圧力に対する比抵抗の変化率は $0.004\text{Log}(\Omega\text{m})/\text{MPa}$ であり、インタクト供試体のその約4倍程度であった(式(2)、(3)参照)。

また、き裂を含む供試体の除荷過程において、とくに20、10MPaでは閉塞したき裂はほとんど再開口していないため、比抵抗値はほぼ30MPaでの高い値から大きく変化せず、載荷—除荷サイクルのヒステリシスを呈したと考えられる。ただし、完全除荷した圧力条件では、試験装置の構造上の理由からこのき裂が若干再開口した可能性がある。しかし、き裂が再開口した場合においても、再開口したき裂内に水が供給されない実験条件であるため、き裂部が電荷の移動に対して有利な寄与をしなかった可能性が高いと推測される。そのため、完全に除荷した後の比抵抗もほぼ同様な値を呈した。

4. おわりに

本研究は、プレート境界型地震発生に対する理解を深めることを研究背景として、今後の深海掘削で得られる岩石試料の物性を正しく評価するために、圧力を負荷した条件

における比抵抗測定システム開発の目的で実施した。本稿では、新たに構築した封圧と間隙水圧を負荷した条件下で比抵抗を測定するシステムと測定手法を紹介し、最大約30 MPaの有効拘束圧までの圧力条件下において、水深約2,000mの熊野舟状海盆にある泥火山の上部斜面で採取した泥岩試料の比抵抗測定結果を一例として速報した。得られた主な結論は要約すれば、次に示すとおりである。

(1) 三軸圧縮試験機の圧力容器と比抵抗測定装置とを組み合わせて構築した封圧と間隙水圧条件下での比抵抗測定システムを用いて、再現性の高い岩石の比抵抗測定を行うことができた。また、供試体にジャケットを被覆する方法は、供試体の開放状態での従来の測定法より、供試体の表面の余分な付着水の除去や乾燥の防止ができるため、大気圧条件においても、より正しい比抵抗の測定ができるメリットがあると考えられる。

(2) 今回の実験では限られた個数の試料と間隙水の電気伝導度条件において、海底から採集した泥岩の圧力下での比抵抗を測定した結果、最大約30MPaまでの有効拘束圧までは、比抵抗の顕著な急変点が認められなかった。したがって、泥岩などの比抵抗値を左右する要素である粘土鉱物などの電気二重層の性質に間隙水圧が影響を与えないと仮定すれば、この泥岩サンプルが過去に受けた最大応力履歴はそれよりさらに大きく、その起源は海底下2 kmより以深であった可能性があると考えられる。

(3) き裂を含む供試体の比抵抗は、圧力変化に伴うき裂の閉塞が起るため圧力の影響を受けやすく、単位有効拘束圧の増加に対する比抵抗の対数の低下率がインタクト供試体のそれより大幅に大きいことが認められた。

今後の課題としては、様々な岩石試料を用い、各種圧力・温度および間隙水の電気伝導度条件を変えて、比抵抗測定を行う必要がある。また、これらの岩石試料について同様な実験条件下で弾性波速度やその他の関連物性パラメータの測定・分析を行い、岩石の種類や物性間の総合的な検討をすることが望ましいと考えている。さらに、本研究でも確認されたようにき裂の存在が岩石・岩盤の物性に大きな影響を及ぼすことから、複数の手法による総合的な物性評価とともに、イメージング技術等によるき裂の分布特性を評価することも深海掘削による岩盤物性の評価に必要不可欠であると考えられる。

謝辞 本研究に用いた岩石試料を深海から採取することができたことについては、調査研究船「かいらい」KR03-05 Leg2の乗組員ならびに「かいらい」運航チームの各位のご協力によるところが大きい。採取地点周辺の地質概況等については産総研・森田澄人氏、JAMSTEC・木下正高氏から有益なご討論・ご助言、また産総研・高橋学氏から貴重な参考資料をいただいた。海底地形図の作成にはGMT²⁰⁾

とSMITH & SANDWELL²¹⁾の海底地形データを使用した。ここに記して各位に深謝の意を表します。

引用文献

- 1) LLERA, F. J., SATO, M., NAKATSUKA, K. and YOKOYAMA, H.(1990) : Temperature dependence of the electrical resistivity of water-saturated rocks, *Geophysics*, Vol.55, pp.576-585.
- 2) SEN, P. N. and GOODE, P. A.(1992) : Influence of temperature on electrical conductivity on shaly sands, *Geophysics*, Vol.57, pp.89-96.
- 3) 千葉昭彦・熊田政弘(1994) : 花崗岩及び凝灰岩試料の比抵抗測定、一、間隙水の比抵抗が岩石比抵抗に及ぼす影響について、物理探査, Vol.47, pp.161-172.
- 4) 関根一郎・西牧 均・石垣和明・原 敏昭・斉藤 章(1996) : 岩石の比抵抗値とその力学的性質との関係、土木学会論文集, No.541/Ⅲ-35, pp.75-86.
- 5) 関根一郎・西牧 均・石垣和明・原 敏昭・斉藤 章(1997) : 岩石の比抵抗における表面伝導の影響とそれを考慮した比抵抗と弾性波速度との関係について、土木学会論文集, No.568/Ⅲ-39, pp.209-219.
- 6) 藤田豊久・秋林 智・北野晃一・山本雄之(1997) : 乾燥した岩石における電気比抵抗の温度依存性に関する基礎的研究、日本地熱学会誌, Vol.19, pp.85-96.
- 7) 朴 三奎・松井 保(1998) : 岩石比抵抗に関する基礎的研究、物理探査, Vol.51, pp.201-209.
- 8) 西田 薫・川上英二(2000) : 間隙水の比抵抗が岩石の比抵抗特性に及ぼす影響と並列回路モデルを用いた検討、物理探査, Vol.53, pp.167-181.
- 9) 鈴木浩一(2003) : 結晶質岩及び堆積岩試料の比抵抗特性に関する研究 一、間隙水比抵抗と表面伝導現象が岩石比抵抗に及ぼす影響について、物理探査, Vol.56, pp.107-116.
- 10) BRACE, W. F., ORANGE, A. S. and MADDEN, T. R.(1965) : The effect of pressure on the electrical resistivity of water-saturated crystalline rocks, *J. Geophys. Res.*, Vol.70, pp.5669-5678.
- 11) BRACE, W. F. and ORANGE, A. S.(1968) : Further studies of the effects of pressure on electrical resistivity of rocks, *J. Geophys. Res.*, Vol.73, pp.5407-5420.
- 12) 信越化学工業：信越シリコンオイル、信越化学工業商品カタログ, 13p.
- 13) 林 為人・廣野哲朗・高橋 学・伊藤久男・杉田信隆(2003) : 掘削コア試料を用いた岩石の電気比抵抗と地震波速度の測定、物理探査, Vol.56, pp.469-481.
- 14) 倉本真一・岸本清行・中尾征三・徳山英一・山本富士夫・平朝彦(1998) : 東海沖海底音響画像図、特種地質図No.37, 地質調査所.
- 15) 澤田拓也・芦寿一郎・村山雅史・青池寛・氏家由利香・倉本真一・木下正高・徳山英一(2002) : ピストンコア試料からみた熊野泥火山の表層地質と活動史、日本地質学会第109年学術大会 講演要旨, 280p.
- 16) MORITA, S., ASHI, J., AOIKE, K. and KURAMOTO, S. (2004) : Evolution of Kumano basin and sources of clastic ejecta and pore fluid in Kumano mud volcanoes, Eastern Nankai Trough, in *Proceedings of the International Symposium on Methane Hydrates and Fluid Flow in Upper*

- Accretionary Prisms (Prism Fluid 2004)*, Kyoto, Japan, pp.92-99.
- 17) 地盤工学会(1989) : 第68章 CEC試験, 岩の調査と試験, 地盤工学会, pp.516-523.
- 18) 地盤工学会基準部(2001) : 新規制定の地盤工学会基準案「軟岩の圧密非排水(CU, CU)三軸圧縮試験方法」について, 土と基礎, Vol.49, No.6, pp.53-65.
- 19) 末永弘・木方建造・岡田哲実(2002) : 室内試験による堆積岩の透水異方性評価について, 応用地質, Vol.43, pp.284-292.
- 20) WESSEL, P., and SMITH, W. H. F. (1988) : New, improved version of Generic Mapping Tools released, *EOS Trans. Amer. Geophys. U.*, 79, 47, 579p.
- 21) SMITH, W. H. F. and SANDWELL, D. T.(1997) : Global seafloor topography from satellite altimetry and ship depth soundings, *Science*, 277, pp.1956-1962.

(2004年8月5日受付, 2005年6月15日受理)

Jour. Japan Soc. Eng. Geol., Vol.46, No.4, pp.220-226, 2005

Measurements of Electrical Resistivity of Rock Specimens under Confining and Pore Pressure Conditions

Weiren LIN, Tadanori GOTO, Toshiaki NAKAMURA and Hitoshi MIKADA

Abstract

Electrical resistivities of two mudstone specimens were measured under high confining pressure until about 30 MPa and under constant pore pressure at 0.6 MPa using a new resistivity measurement system. It is consisting of a pressure vessel of a triaxial compression test apparatus and a resistivity measurement device used for the conventional measurements under atmospheric pressure. The used rock block sample was taken from a mud volcano situated above Kumano Basin of where the depth is about 2,000 m from sea surface. The resistivities of the rock determined by this system have a relatively high reproducibility. In addition, this measurement method employing a rubber jacket and loading some confining pressure can accurately and easily keep the water content of specimen at a constant during the measurement. Thus, the method can more properly prevent the superfluous water existing between the surface of specimen and the jacket than the conventional method by which the specimen was set in a box or laboratory in un-jacketed state. As a consequence, it results in that the resistivity may be determined more accurately. The measurement results of the tow rock specimens saturated by sea water used in this study showed that the resistivity increased as the effective confining pressure was elevated. If the influences of pore pressure to the conductive property of clay minerals can be neglected, the fact that there was not a distinct change of gradient of resistivity-pressure curves on loading process suggests that the maximum historical stress of the rock may be larger than 30 MPa, which corresponds a depth of about 2km beneath the seafloor. By comparison between intact and cracked specimens, it was clear that the effect of confining pressure on the resistivity for the cracked specimen was more significant than that of intact specimen due to the closing of the cracks under pressure loading.

Key words : electrical resistivity, confining and pore pressure condition, mudstone