水圧破壊に伴う地電位変化

高知大学理学部地質学教室　村上英記
名古屋大学理学部地球科学教室　山田功夫

Self-Potential Variations associated with Hydroulic Fracturing

MURAKAMI Hideki* and YAMADA Isao**
* Department of Geology, Faculty of Science, Kochi University
**Department of Earth Sciences, School of Science, Nagoya University

1．はじめに

地震や岩石破壊に伴う，あるいは先行する電磁気現象に関しての報告例は数多くなされており，それに関する研究も多い．最近では，ギリシャのＶＡＮグループがおこなっている地電位変化に基づく地震予知の驚異的な予知率に多くの関心がよせられている．しかし，地電位発生のメカニズムに関してはまだ未知の部分が残されている．

これまでにも，地震予知を目的とした地電位観測がさまざまな国でおこなわれ，地震に先行あるいは伴うと考えられる地電位異常が報告されているが，そのメカニズムに関しては幾つか提案されているが未解決のまま残されている．これまでに提案された地電位変化のメカニズムの主なものには，次のものがある：１）応力変化に伴う圧電現象[1)]；２）応力変化に伴う地下水の流動による流動電位[2)]；３）応力変化に伴う格子欠陥の再配列[3)]．これらは，それぞれ異なった地電位変化のパターンを独自に説明するものであり，どれか一つのメカニズムですべての変化が説明できるわけではないようである．また，実験的な研究が不十分なものもある．このように，地電位変化のメカニズムに関しては，まだまだ検討の余地がある．我々は，野外で実施された水圧破壊実験の際に地電位の観測をおこない，破壊に伴う流動電位を観測したのでその結果について報告する．水圧破壊実験[4)]は，国立防災センターにより実施されたものであり，これまでにもこの一連の実験で地電位観測がおこなわれその結果が報告されている[5),6)]．我々は，伊豆下田における水圧破壊実験の際に地電位観測を実施した．

2．水圧破壊実験装置と電極配置

図１．に観測をおこなった場所を示す．水圧破壊実験用のボアホールの側にカーボン電極（Ａ）を設置し，６６ｍ（Ｂ）と１３５ｍ（Ｃ）離れた２箇所に電極を設置して長さと方向のことなる２測線を設けた．記録はペンレコーダでおこない，記録を取るのにじゃまになる短周期変化は，ローパスフィルタをかけることにより切っている．

水圧破壊実験装置と電極配置については図２に示す．水圧破壊実験は，地表のポンプを使い水をパッカにより仕切られたボアホール中の一部分に圧入することによりおこなわれる．

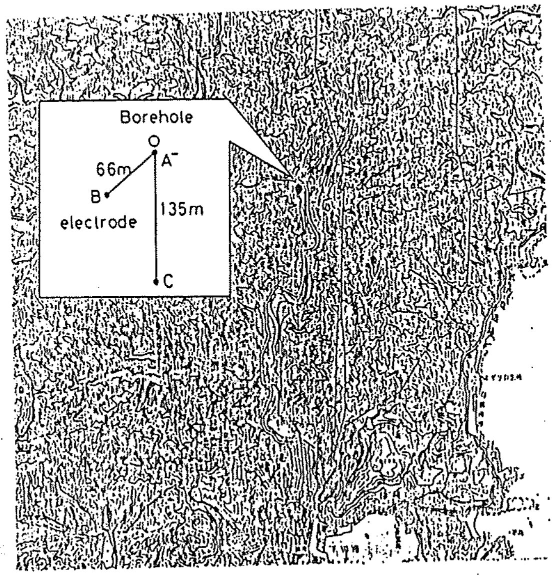

図１．観測位置と電極配置

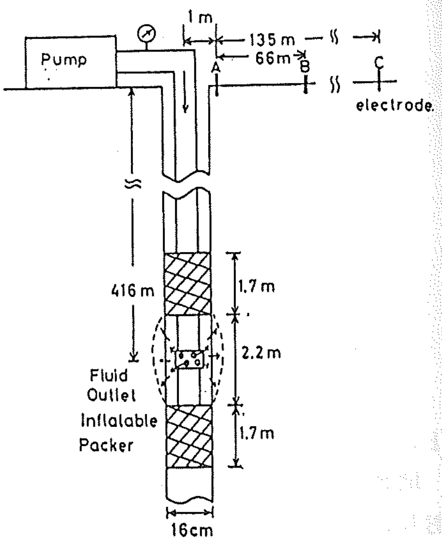

図２．水圧破壊実験装置と電極配置

３．測定結果と考察

図３は，深さ４１６mにおける水圧破壊実験の際に測線Ｃ－Ａ⁻，Ｂ－Ａ⁻で得られた地電位変化である．１回目の破壊の際には，地電位変化は見られないが，２，３そして４回目の破壊実験の際には水圧の変化に対応して地電位が変化しているのがわかる．これらは，水圧破壊により生じた亀裂から注入した水が流出することにより生じた流動電位と考えられる．

下田における水圧破壊実験は深さ２５３，３９０，４１６，そして４３７mで複数回おこなわれたが，そのときの地電位変化をまとめたものを表１に示す．表のなかで×印は，地電位変化が観測されなかったことを，また□印は変化が大きくスケールオーバしてしまい正確な値がわからないことを示している．表１で特徴的なことは，いずれの深さにおいても１回目の破壊の際には地電位変化が観測されなかったことである．また，深さ３９０mでは５回の実験中に一度も地電位変化が観測されなかった．これは，水の注入により破壊面が生じたが，そこから水が流出していないことを示すものと思われる．このことは，その深さの岩盤中に既存の亀裂等が少ないのではないかと考えられる．ボアホールの物理検層データ（比抵抗，弾性波速度など）も岩盤がしっかりしていることを示している[4]．また，表１の深さ４１６mの４回目と４３７mの６回目の結果を見ると，測線によって電位の変化量が違っていることがわかる．これは，ある程度亀裂が広がってゆくと応力場に応じて亀裂の進展しやすい方向とそうでない方向とができ，水がある特定の方向に流れ安くなることを示しているのではないかと考えられる．観測された電位変化が流動電位であり，ボアホール中に水を注入するパイプが鉄管であり流電電極となることを考慮すると，流動電位係数はおよそ１～２m

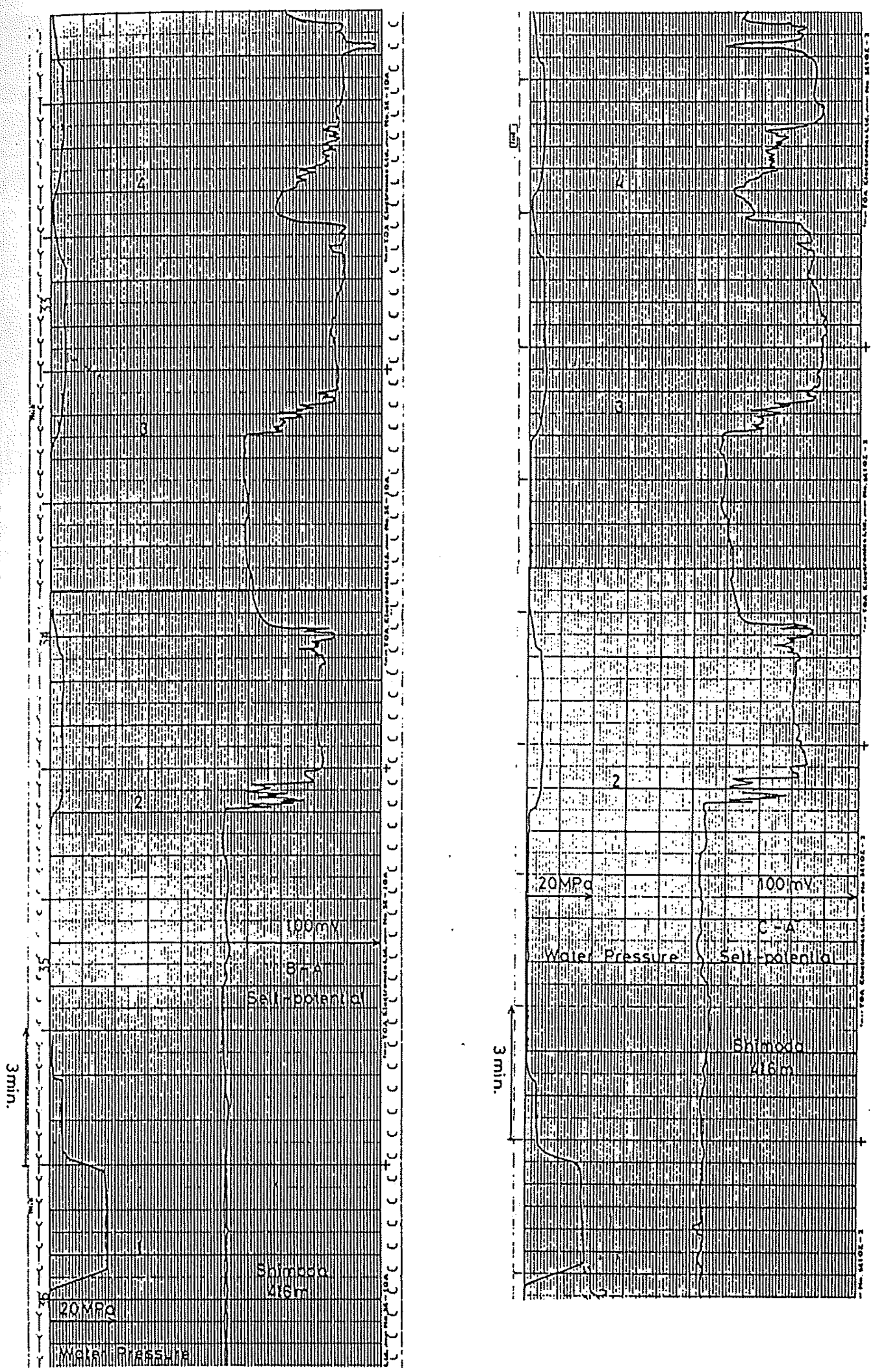

図３．深さ４１６mにおける水圧破壊実験にともなう地電位変化

表1．水圧破壊に伴う地電位変化

No. Depth (m)	地電位変化 C-A⁻ (mV)	 B-A⁻ (mV)	水圧 (bar)
D253-1	×	×	
2	×	×	
3	×	×	
4	55	53	23
5	27	26	9
D390-1	×	×	
2	×	×	
3	×	×	
4	×	×	
5	×	×	
D416-1	×	×	
2	78	73	53
3	77	70	55
4	68	48	53
D437-1	×	×	
2	×	×	
3	×	×	
4	□	□	
5	□	□	
6	31	20	20

C-A:135m　B-A:66m

×: 地電位変化がなかった

□: 変化がおおきくてスケールオーバしてしまった

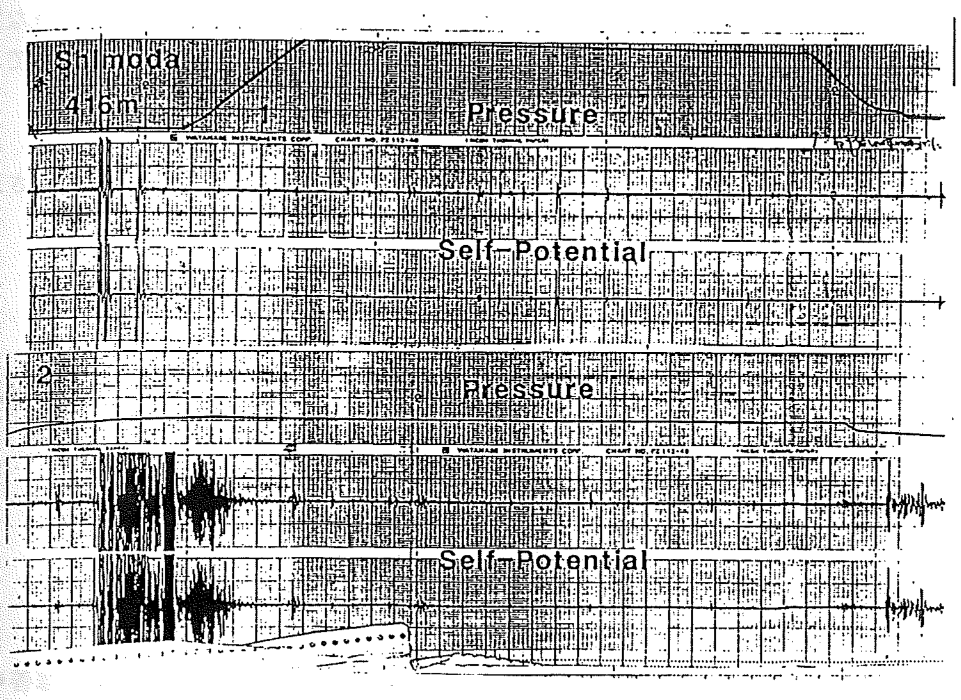

図４．深さ４１６ｍにおける水圧破壊実験にともなう地電位変化（短周期）

Ｖ／ｂａｒとなる．

図４は深さ４１６ｍにおける水圧破壊実験の際の，地電位の短周期変化（１Ｈｚ以下）だけを記録したものである．やはり，１回目の破壊の時には地電位変化はまったくみられないが２回目には亀裂が開いたと思われる時点で変化が見られる．この短周期変化も水の流出に関係したものであることがわかる．ＶＡＮグループが地電位変化のモデルとして考えている格子欠陥の再配列に伴う地電位変化というモデルでは，破壊が起こる前に電位異常が発生するということなので，応力がかかり始めてから破壊が生じるまでの間を注意深く調べてみたが，この期間に電位異常がみられた例は短周期の記録にもなかった．

４．最後に

水圧破壊実験の際におこなった地電位観測から，水圧破壊に伴い地電位が変化することが確認された．特に，破壊に伴っていつでも地電位が変化が生じるわけではなく，水がボアホールから流出した場合だけと考えられるので，原因は流動電位と考えられる．さらに，地電位変化の様子や方向による違いから，地下における破壊の進行過程が読みとられる可能性があることもわかった．

また，ギリシャのＶＡＮグループの提唱している理論[3)]から，応力がかかり始めてから破壊が生じるまでの期間に地電位変化が生じるかどうかに興味があったが，下田でおこなわれた水圧破壊実験においてはそのような地電位変化は一度も観測されなかった．これは，岩盤

が角礫凝灰岩という圧電性の小さいものであったことによるのか，地震が発生するような場所との温度の違いや歪み速度といった物理的条件が違うということによるものかは不明であるが，今後検討されるべき問題であろう．

この観測を許可し，いろいろと便宜を計ってくださった国立防災センターの塚原弘昭さんならびに池田隆司氏に感謝いたします．

参考文献

1)V.J.myachikin, G.A.Sobolev, N.A.Dolbilkina, V.N.Morozov and V.B.Preobrazensky, The Study of Variations in Geophysical Fields near Focal Zones of Kamchatka, Tectonophys., 15, 287-293, 1972.

2)H.Mizutani, T.Ishido, T.Yokokura, and S.Ohnishi, Electrokinetic Phenomena associated with earthquakes, Geophys.Res.Lett., 33, 365-368, 1976.

3)P.Varotsos and K.Alexopoulos, Thermodynamics of Point Defects and their Relation with Bulk Properties, North-Holland, Amsterdam, 411pp., 1986.

4)塚原弘昭・池田隆司・高橋　博，水圧破壊法による地殻応力測定－静岡県岡部町・修善寺町・下田市・神奈川県横須賀市での測定結果，地震，36，551-569，1983.

5)水谷　仁・栗田　敬・石戸恒雄・西沢　修，Hydrofracturingにともなう地電位の変化，地震学会予稿集，No.1，128，1978.

6)塚原弘昭・池田隆司・高橋　博，水圧破壊法による地殻応力測定－伊豆半島（修善寺および下田市）での測定－，地震学会予稿集，No.2，211，1982.