

室内岩石試験における微小電位発生 のメカニズムと発生傾向の検討

宍戸政仁^{1*}・伊東佳彦¹・日下部祐基¹・村山秀幸²・丹羽廣海²・長尾年恭³

¹ 独立行政法人土木研究所寒地土木研究所（〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34）

² 株式会社フジタ 技術センター 基礎技術研究部（〒243-0125 神奈川県厚木市小野2025-1）

³ 東海大学海洋研究所 地震予知研究センター（〒424-8610 静岡県静岡市清水区折戸3-20-1）

*E-mail: m-shishido@ceri.go.jp

筆者らは、岩盤が破壊するときに発生する微小電位の計測手法を、岩盤崩落や地すべりなどの地盤災害の監視・予測に適用することを目的として、室内や現場において各種調査試験を実施している。ここでは、現在微小電位計測を実施している現場の既存ボーリングコア、および人工材料であるアクリル（絶縁体供試体）と銅（導電体供試体）等を用いて、一軸圧縮試験時の微小電位を計測して、電位発生メカニズムと発生傾向について検討した。

その結果、ボーリングコアでは微小電位の発生が確認されたが、アクリルおよび銅供試体、絶乾試料ではほとんど見られず、微小電位の発生には含水状態が影響していることが推察された。

Key Words : *micro geo-electric signals, rock failure, rock mechanics, laboratory test*

1. はじめに

我が国では、岩盤崩壊や地すべりなどの斜面災害が毎年多数発生している。橋梁やトンネルなどの土木構造物への多大な被害を生じており、時には尊い人命をも奪うといった重大災害の発生も少なくない。特に北海道では、豊浜トンネル崩落（平成8年）や第2白糸トンネル崩落（平成9年）などの大規模な岩盤崩落が多数発生しており、岩盤崩落監視技術に関する研究開発が急務となっている。これをうけ、現在、岩盤崩壊の前兆を捉えるための斜面観測技術の研究が様々な分野で行われているが、いまだ確立された手法がないのが実情である。

岩石や地盤は、破壊に先立って微小な電位変動を起こすことが知られており¹⁾、筆者らはこれを微小電位と呼んでいる。この微小電位を計測することで岩盤崩壊の前兆を捉え、斜面災害の監視・警戒システムに適用できる可能性があると考えている。

本報告では現在、実際の変状斜面を対象とした現地微小電位観測を実施している箇所掘削されたボーリングコアや攪乱試料、人工材料であるアクリル（絶縁体供試体）や銅（導電体供試体）などを用いて様々な一軸圧縮試験時の微小電位を計測し、電位の発生傾向やそのメカニズムについて検討したので報告する。

2. 微小電位計測の概要

(1) これまでの微小電位計測試験

最近、地震や火山活動に伴い様々な電磁気現象が発生することが、固体物理あるいは固体力学の研究分野において科学的に議論されつつある¹⁾。一方、岩石を用いた室内力学実験における微小電位計測は、国内外で10数年前から実施されており岩石の破壊過程で微小な電位が発生することは周知の事実であり、固体力学分野においてその発生メカニズムに関する検証がなされつつある。

微小電位発生メカニズムとしては、流動電位、圧電効果の補償電荷、転位の移動による電気双極子、圧力誘導電位モデルなど、いくつかのモデルが提案²⁾されている。固体の応力変動に伴って電位差が発生するためには、電荷イオンが伝達あるいは遮蔽される必要性があり、これらの現象の担い手がどのような物理現象であるかを明らかとすることが、微小電位発生メカニズム解明の論点となる。例えば、流動電位モデルでは固体の応力勾配に伴う間隙水の変動によって、電荷が移動して電位差が発生すると考えている。

これまでの研究では、岩石が破壊するときに発生する微小電位について室内試験や実際の変状斜面において各種調査・試験を実施しており、供試体破壊前に微小電位の発生傾向が変化することの確認³⁾や現地での電極設置

方法等の検討⁴⁾、さらに測定電位の大きさに対する供試体含水比の関与等を調査し^{5),6)}、実際の変状斜面において微小電位観測を行い、その適用性について検討を行ってきた⁷⁾。

(2) 現地観測の課題

現地での微小電位計測では、外的要因による影響を受けやすく、計測された微小電位データから斜面変動によって発生している微小電位変動を抽出することが今後の課題となっている。

そこで筆者らは、この現地観測をおこなっている変状斜面において採取したボーリングコアや岩塊、掘削土を用いた攪乱試料等を用いて一軸圧縮試験時の微小電位計測を行い、これらの試料の物性値との相関や電位発生のパターンを確認することで、微小電位発生メカニズムを検証し、現地計測において得られている電位変動の解析のための基礎資料とすることを目的とした。

3. 岩石試験と発生メカニズムの検討

(1) 微小電位計測システム

一軸圧縮試験時の微小電位の測定は、図-1に示すような微小電位計測システムを構築し行った。供試体の上下端面に直径100mm、厚さ3mmの銅板を設置して電極とし、載荷板との間に絶縁シートを挟み電極と載荷試験器が絶縁されるようにした。電位の計測は、電位測定用専用データロガーを用いて行い、サンプリングタイムは0.1secとした。変位はダイヤルゲージをロードセル躯体に接触させている。

(2) アクリル樹脂供試体と銅供試体

前項のような計測システムを用いて試験を行うが、計測された電位が供試体内からの発生ではなく外部からの電氣的ノイズである可能性、さらには岩石試料と銅板電極との摩擦や電極自身の変形によって電位が発生している可能性も考えられるため、基礎実験として絶縁体供試体であるアクリル樹脂製の供試体と、電極として用いている銅製の供試体を用いて、一軸圧縮試験を試みた。

アクリル樹脂供試体および銅供試体は、通常の一軸圧縮試験用供試体のサイズであるφ50mm×100mmで作成した。

試験結果の一例を図-2,3に示す。ここで、供試体間電位とは供試体の上端電極(+)と下端電極(-)の電位差である。いずれの試料についても、電位に変化はみられず、これらの材料では応力がかかっても微小電位は発生しないことが判明した。このことから、岩石コアを用いた試験時に確認される電位は外部からの電氣的ノイズではなく、

岩石の内部から発生した電位であることが確認できた。また、電極の摩擦、変形による発生電位への影響は無いと考えられる。

(3) 岩石コア試料

使用した岩石試料を表-1に示す。泥岩、砂質泥岩、

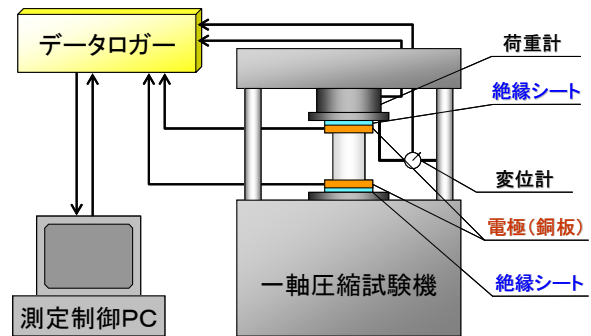


図-1 室内試験における微小電位計測システム

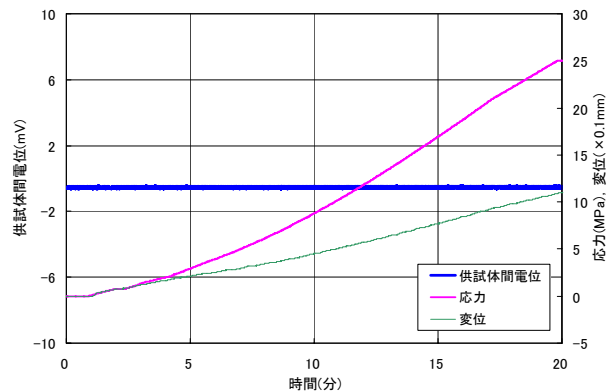


図-2 アクリル供試体試験結果の一例

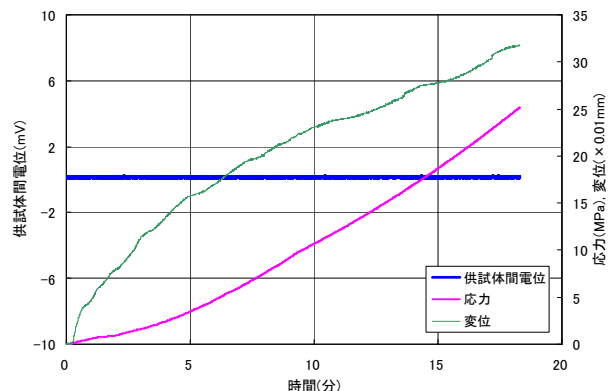


図-3 銅供試体試験結果の一例

表-1 岩石試料一覧

岩種	試料数	試験項目
泥岩	14	密度・吸水率・間隙率・含水比・超音波伝播速度・一軸圧縮試験
砂質泥岩	2	同上
砂岩泥岩互層	2	同上
砂岩	9	一軸圧縮試験

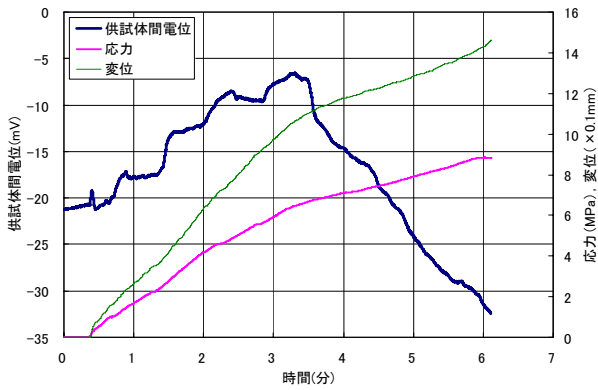


図-4 電位発生パターン (泥岩①)

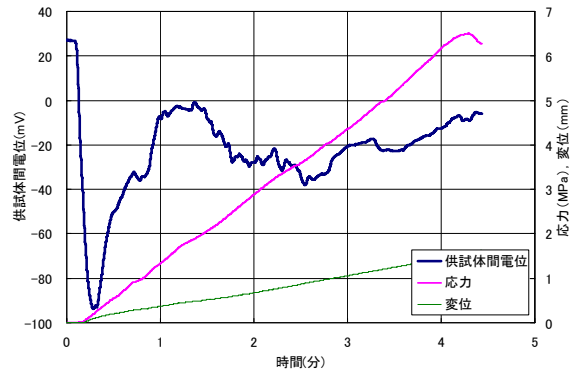


図-5 電位発生パターン (泥岩②)

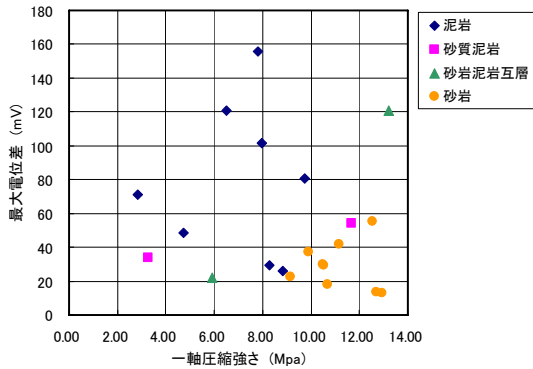


図-6 電位差と一軸圧縮強さの関係

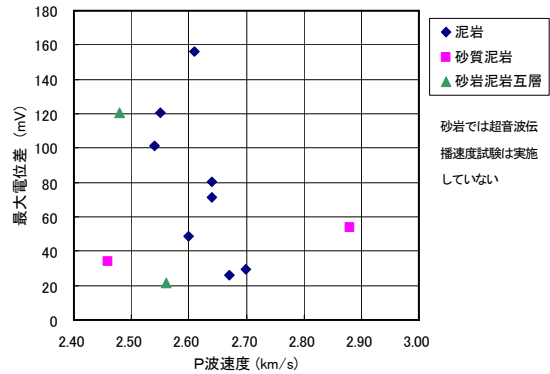


図-7 電位差とP波速度の関係

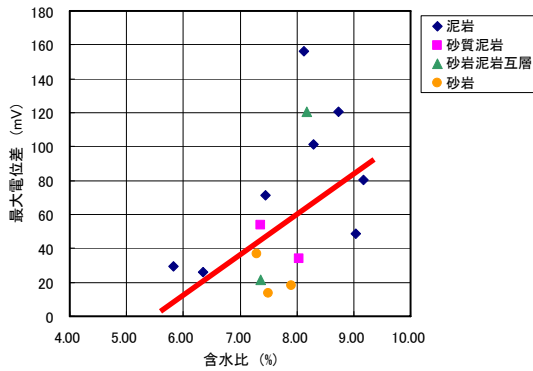


図-8 電位差と含水比の関係 (岩石試料)

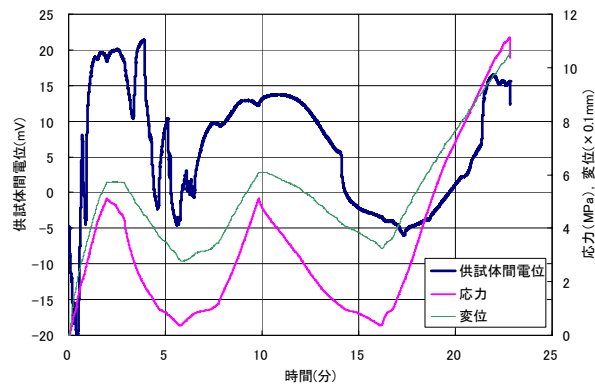


図-9 繰り返し载荷試験結果

砂岩泥岩互層の試料については、現地ボーリングコアを用いて一軸圧縮試験時の微小電位計測をはじめとした物理試験をおこない超音波伝播速度、有効間隙率などの物理特性について把握した。

泥岩における電位の発生パターンを図-4,5に示す。同じ岩種の供試体を試験した場合でも、図のように全く異なったパターンを示している。また、供試体間電位の最大値と最小値の差(以後、最大電位差)は、大きいもので155mV程度、小さいものでは13mV程度であった。

これらの最大電位差と各種物性値との関係を図-6,7に示す。この図から、発生する電位の大きさと一軸圧縮強さやP波速度などの物性値との相関は明確でないことがわかる。しかしながら、図-8に示すとおり最大電位差と含水比の関係をみると正の相関を示しており、これ

は岩石内の水が微小電位に影響を及ぼしていることが示唆される。

岩石コアを用いた試験について考察すると、その電位の発生パターンには規則性や再現性がみられず、含水比以外の物性値との相関性もみられなかった。このことから、微小電位の大きさや発生パターンは、その岩石の岩種や強度に依存するものではなく、発生メカニズムとしては岩石内の間隙水の移動によって発生する流動電位モデルが適用できる可能性がある。

(4) 繰り返し载荷試験

微小電位の発生メカニズムが流動電位であるとした場合、岩石中の水の移動によって電位が発生することになる。そこで、岩石コア供試体を用いて加圧中の電位挙動

とともに、減圧中の電位の変動を確認する目的で、繰り返し一軸圧縮試験を行った。

一軸圧縮試験によって得られた一軸圧縮強さをもとに、破壊荷重の約 50%まで荷重したのち、荷重を徐々に減少させ、再び荷重した。図-9 に示すとおり、荷重の増減に伴って供試体間電位も同様に呼応しており、供試体にかかる応力の増減と発生する電位の間には、何らかの関わりがあることが示唆された。

また、電位は 1 サイクル目が激しく変動しながら応力の変動に呼応するが、2 サイクル目には滑らかな変動となっている。

(5) 攪乱調整試料

次に、一度乱された岩石や土砂について一軸圧縮試験時の微小電位計測を行った。試験に用いたのは、現地微小電位観測を行っている変状斜面において行われた対策工施工箇所から産出した破碎された掘削土である。

試験結果を図-10 に示す。最大電位差は最大で 25mV 程度と比較的低い値ではあるが、微小電位の発生が確認された。これは、前項の繰り返し荷重試験の結果からも、微小電位観測は緻密な岩盤のみならず、地すべりのような再活動性のある斜面変状や、盛土のような土構造物の変状監視にも適用できる可能性があると考えられる。

(6) 模擬岩盤材料

岩石コア試料で確認された、含水比と最大電位差の相関性について、より明確にするために、含水比を比較的簡易に操作でき、高含水比に設定可能な材料である接地抵抗低減材を用いて、同様の試験を行った。一部の供試体は炉乾燥を行って絶乾状態とした。

試験結果を図-11, 12 に示す。含水比は 0%から 200%であり、高含水比の供試体でバラツキはあるものの、最大電位差と含水比には概ね正の相関が見られる。絶乾状態の供試体に至っては最大電位差が 0mV に等しく、含水が無ければ微小電位が発生しないことを示している。

4. まとめ

今回の室内岩石試験における微小電位の測定によって以下の知見が得られた。

1. 岩石コアによる試験では微小電位の発生が確認されたが、アクリル供試体や銅供試体による試験では電位が発生しないことから、微小電位は岩石供試体内で発生している電位である。
2. 含水の無い試料では微小電位の発生が確認できないことから、微小電位発生メカニズムとしては岩石中の水の移動などで発生する流動電位モデルがあてはまる可

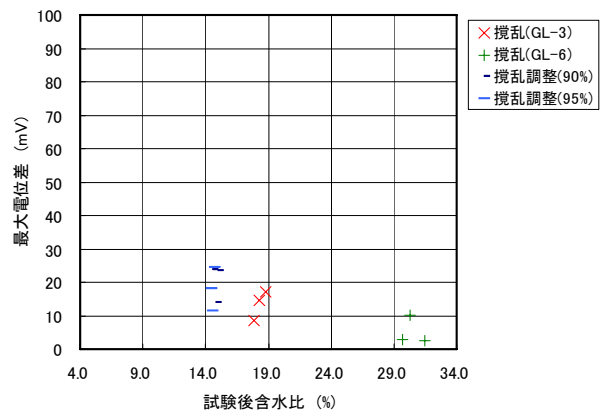


図-10 電位差と含水比の関係 (攪乱試料)

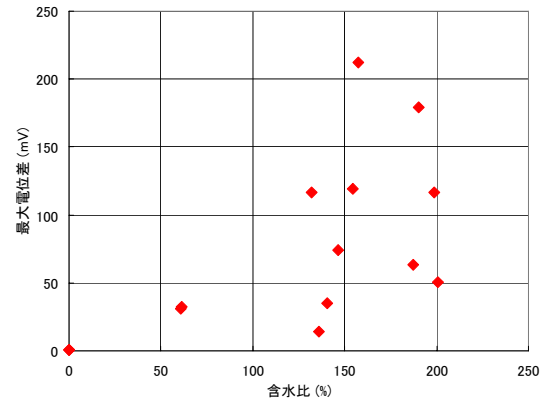


図-11 電位差と含水比の関係 (接地抵抗低減材)

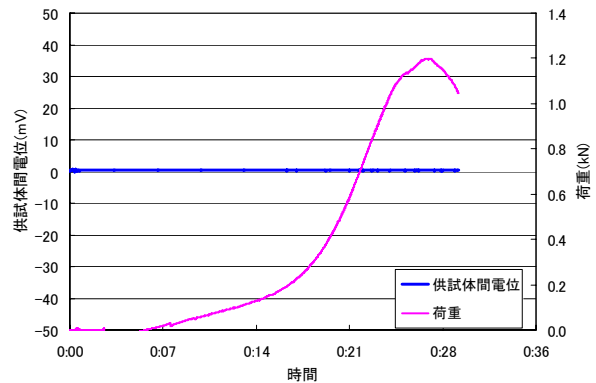


図-12 絶乾状態試料の電位発生傾向

能性が高い。

3. 攪乱試料による試験においても微小電位の発生が確認されたことから、微小電位計測は、地すべりや盛土など初生的な破壊以外の変状監視に適用できる可能性がある。

今後は、現地変状斜面において観測を行っている微小電位データとの比較をすることで、より適用性の高い斜面監視・予測システムの構築に向けた研究を行いたい。

参考文献

- 1) 長尾年恭：地震予知研究の新展開，近未来社，2001。
- 2) 加藤卓朗，村山秀幸，日下部祐基，橋本祥司，伊東佳彦：

- 微小電位計測による岩盤崩落監視技術に関する基礎的研究—
その 1：電極材料と電極設置方法に関する検討，土木学会
第 33 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，pp.41-
48，2004.
- 3) 榎本義一，小林諭，日下部祐基：一軸圧縮試験と圧電気，
北海道土質試験協同組合レポート，No.166，pp.4-6，1998.
 - 4) 日下部祐基，佐藤昌志，中井健司，佐田頼光，榎本義一，
小林諭：岩盤破壊時の微電圧測定に関する研究，地盤工学
会北海道支部技術報告集第 39 号，pp.61-66，1999.
 - 5) 日下部祐基，鈴木哲也，疋田貞良，榎本義一：岩盤破壊時
の微電圧測定に関する研究（その 2），地盤工学会北海道
支部技術報告集第 40 号，pp.187-192，2000.
 - 6) 日下部祐基，伊東佳彦，榎本義一：岩盤破壊時の微電圧測
定に関する研究（その 3），地盤工学会北海道支部技術報
告集第 42 号，pp.47-50，2002.
 - 7) 丹羽廣海，村山秀幸，伊東佳彦，日下部祐基，宍戸政仁：
変状斜面における微小電位の観測，第 43 回地盤工学研究発
表会発表講演集，pp.1971-1972，2008.

CONSIDERATION OF MECHANISM AND GENERATION TENDENCY OF MICRO GEO-ELECTRIC SIGNALS AT LABORATORY TEST.

Masahito SHISHIDO, Yoshihiko ITO, Yuki KUSAKABE, Hideyuki MURAYAMA,
Hiroumi NIWA and Toshiyasu NAGAO

We carried out various tests on the lab and monitoring on the site aiming to develop the measurement method using Micro Geo-Electric Signals(MGES) for watching and forecast of rock slope failure.

As MGES was obtained from rock specimen, but not from acrylic (insulator material) and copper (conductive) ones, the signals were confirmed to be generated from the interior of rock specimen.

The maximum difference of MGES between maximum potential and minimum potential are found to be in positive relation with water absorption of rock samples.

Therefore, Model of floating electric potential has the possibility as generation mechanism of MGES.