

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－

BASIC STUDY ON THE MONITORING METHOD FOR THE ROCK SLOPE FAILURE USING THE MICRO GEO-ELECTRIC SIGNAL MEASUREMENT

-PART I :THE RESEARCH FOR THE MATERIAL OF THE ELECTRODE AND THE METHOD TO GROUND THE ELECTRODE-

加藤卓朗*・村山秀幸*・伊東佳彦**・日下部祐基**・橋本祥司**・長尾年恭***

Takuro KATO, Hideyuki MURAYAMA, Yoshihiko ITO, Yuki KUSAKABE, Shoji HASHIMOTO, Toshiyasu NAGAO

Recently, it has been clarified that the electromagnetic phenomena occur when rocks collapse. We have examined a ground hazard prediction using a micro geo-electric signal measurement, such as the rock and sand during the uniaxial compression and tensile test, and the surface failure measurement of the cut slope. This paper describes the outline of this method and its field test. Because the quality of electrode is important when this method is executed on rock slope for a long term this field test was conducted to determine the material of the electrode and the method to ground the electrode. The result is as follows.

- 1) The electrode made of copper and lead is excellent as the electrode due to these sensitive reactions.
- 2) Using a ground resistance reducer is effective in improving the quality of the electrode because it makes the apparent superficial area large and the ground resistance low.

Keywords : micro geo-electric signal measurement, ground hazard, field measurement, field test, electrode

1. はじめに

我が国では、地すべりや岩盤崩壊などの地盤災害が毎年多数発生しており、橋梁やトンネルなどの土木構造物に多大な被害を生じさせ、時には尊い人命までも奪うといった重大事故の発生も少なくない。また、このような地盤災害により道路や鉄道などの交通機関が遮断されると、その地域住民の生活基盤に甚大な被害が生じる。特に、積雪寒冷地である北海道では平成8年に豊浜トンネル（死者20名）、平成9年に第2白糸トンネル、平成13年に北見北陽道路斜面（死者2名）の各崩落事故が発生しており、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。従来から、地すべりや岩盤崩落における観測手法として、伸縮計や傾斜計などに代表される地盤変位計測が実施されているが、これら変位計測は、現状と今後の推移を確認することが主な目的であり、岩盤斜面の崩壊予測や危険度診断との観点からは議論が進展していない。すなわち、地盤災害の発生位置、規模、時期などの予測や斜面の危険度評価を目的とする観測手法は、現時点では技術的に非常に困難で実務的手法は未だ研究途上にあると言える。

一方、地盤深部の破壊現象である地震に関連する分野では、従来から地震発生前後に様々な電磁気学的な現象が発生することが主に定性的あるいは現象論として報告されてきた。最近、その地震時の電磁気学的な現象に関する科学的な論拠が固体物理あるいは固体力学分野の研究によって議論されつつある。特に地盤の電位変動をと

* 株式会社フジタ 技術センター 土木研究部

** 独立行政法人北海道開発土木研究所 地質研究室

*** 東海大学 地震予知研究センター

表-1 電磁波発生メカニズムに関する諸モデル（固体力学的観点より）²⁾

モデル名称	必要な仮定	機 構
流動電位	応力勾配・間隙水	岩石表面との電氣的な相互作用のために、岩石中の空隙を圧力勾配によって流れる間隙水は電荷を運ぶ。
圧電分極の補償電荷 (Ikeya, 1997)	応力変化・圧電物質・ 導体	圧電物質に応力が加わると分極が生じ、この分極を遮蔽するために自由電荷が再配置される。応力がなくなると、この自由電荷の対消滅によって電磁波が放出される。
転位の移動による電気 双極子 (Slifkin, 1996)	応力変化・刃状転位・ 不純物イオン	帯電したジョグは不純物イオンなどによって遮蔽されている。応力変化に刃状転位は素早く追従できるが、不純物イオンは出来ないために電気双極子が生成される。
圧力誘導電流 (Varotsos, 1998)	応力変化・格子欠陥	価数の異なる不純物イオンによって、結晶中に電気双極子が生成される。圧力が高くなるとこの双極子が回転し易くなり、ある圧力のとき外部電場の方向に向きが揃う。このとき、双極子の回転にともなって電流が流れる。

らえる地電位(流)は地震予知手法として注目されている。また、岩石を用いた室内力学実験における微小電位測定は、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が確定的な結論には至っていない。

微小電位計測を崩落危険性の高い岩盤斜面に設置し長期観測により本手法の適用性を検証するためには、計測に用いる電極材料の選定および設置方法、様々な気象条件の変動に伴う微小電位変動傾向の把握、計測システムの構築、周辺ノイズの除去方法およびデータの処理・評価手法など多くの課題がある。

本稿では、微小電位計測による岩盤崩落監視技術の概要と試験フィールドにおいて電位観測に用いる電極材料とその設置方法に関する基礎的な検討を実施した結果について報告する。

2. 微小電位計測による岩盤崩落監視技術の概要

(1) 微小電位計測と破壊に伴う電磁波発生メカニズム

微小電位計測による岩盤崩落監視技術は、ギリシアにおける地震予知手法であるVAN法（地電位）を応用したものである。VAN法とは地盤内に設置した電極間の電位差を精密かつ連続的に観測し、地震前後に発生すると考えられている電位信号(SES: Seismic Electric Signals と称する)を捕らえようとする手法である。本手法の特徴は、複数の電極を長測線と短測線として直交に配置すること、この電極配置から様々な方向から得られる電位信号を捕らえると同時に外的ノイズを判定すること、計測間隔は1秒～10秒で精密な連続観測を実施することなどが挙げられる。

地盤の破壊過程でSESが発生するメカニズムに関しては、いくつかのモデルが提案されているが確定的な結論には至っていない。表-1に、提案されている電磁波発生メカニズムとその発生メカニズムに関するいくつかの仮説²⁾を示す。表の諸モデルでは、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が論点になる。例えば、流動電位モデルでは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。

地盤破壊に伴う電磁波発生現象に関する研究として、国内では主に岩石材料の力学試験（一軸圧縮試験、せん断試験、引張試験など）において実証実験がなされ、岩石の破壊過程における電磁波の発生現象^{3)~7)}が明らかになりつつある。筆者らは、特に岩石の含水比変化に注目した実験を実施している。土質材料を用いた室内実験に関しては、岩石と比較してその実施例が少ないが、筆者ら^{3),8)}の豊浦標準砂を用いた土槽実験では、模擬斜面のすべり・崩壊過程において電位差の発生が確認されている。一方、地すべりや斜面崩落などの実現場への適用は、現在のところ非常に限られているが数例の報告^{9),10)}がなされている。

(2) 微小電位計測による岩盤崩落監視技術の概要

微小電位計測による岩盤崩落監視技術とは、地すべりや岩盤崩落などが危惧される箇所において地中に電極を設置し、精密かつ連続的に電位差を計測することにより地盤破壊現象の発生を予測しようとする手法である。

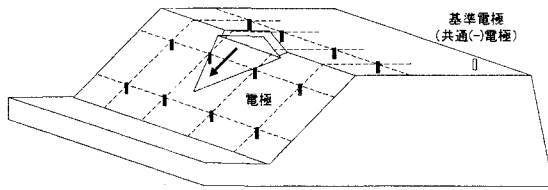
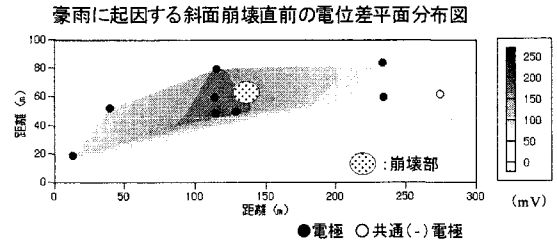


図-1 斜面における電極配置例



★崩壊部に近い電極ほど電位変化量が大きくなっている

※のり面展開図における電位差の平面分布

図-2 微小電位計測例（電位差平面分布図）¹¹⁾

従来からの地盤変位や AE 計測は、いずれも計測位置近傍の局所的な地盤状態を反映しているにすぎず計測位置の選定が難しく、広範囲な観測を実施することは費用・管理の面で難しい。一方、微小電位計測は、電磁波変化に遠隔性（距離による減衰が少ない）があるため、地すべりや岩盤崩壊が危惧される危険地帯全体を少ない観測機器で広範囲に網羅できる可能性がある。よって、例えば、地すべり地帯を通過する道路の後背斜面数力所において微小電位観測を実施し、降雨などによって滑動を開始した地すべりブロックの位置を特定し、そのブロックの監視を微小電位観測で強化する、あるいは、そのブロックに変位観測機器を設置するという斜面監視方法が想定され、危険箇所に対する対策あるいは予防的処置を早期に施すことが可能であると考えている。

本手法は、図-1に示すように複数の電極を斜面に設置し各電極を電位測定用データロガーに接続する。このうち計測対象から最も遠方の電極(崩壊による影響が最も少ないと考えられる電極)を共通(-)電極(COM)とし、各電極と共通(-)電極との電位差を1～10秒間隔で連続観測する。筆者らがこれまでに現場計測で使用してきた電極は、鉛-塩化鉛電極（φ20mm,L=500mm程度、地電位観測に用いられる鉛の表面を塩化物で被覆した電極）や異形鉄筋（φ20～30mm,L=3m程度の鉄製、切土補強土工などに用いられる亜鉛メッキ処理された鉄筋やトンネル支保部材として用いられる防錆処理を施さないロックボルト）などである。

筆者らがこれまで実施してきた現場観測において図-2に示すような地盤崩壊現象に伴う特徴的な電位変化をとらえている¹¹⁾。図-2は、切土のり面の施工現場において微小電位観測を実施し、降雨に伴う小崩落が発生した直前に観測された微小電位変動であり、崩落発生箇所における電位変動が大きいことが分かる。しかしながら崩壊を伴わない降雨時にも電位変動が発生しており、このような気象変動や外部からの電磁気ノイズ、また電極自体の化学変化など地盤の破壊現象と直接関係のない様々なノイズと崩壊現象に起因する電位変動を分離することが本研究の課題であるといえる。

一般に、2地点間の電位差を測定する場合、2地点A、Bの電位を $\phi(A)$ 、 $\phi(B)$ とすると、電位差計によりA点とB点の電位差、 $V=\phi(A)-\phi(B)$ 、が測定できればよい。しかし、一般に異なる物質の接触面（界面）では電位差が生じ、電気化学的な平衡に達するまで界面を通して荷電粒子の移動が起こる。すなわち、電極と地盤の界面では複雑な化学反応が起こると予想される。この化学反応による電位差は電極電位と呼ばれている。したがって、実際の電位差測定では、以下のように各地点の電位に電極電位が加えられたものの差を測っていることになる。

$$V = (\phi(A) + \Delta\phi(A)) - (\phi(B) + \Delta\phi(B)) \\ = (\phi(A) - \phi(B)) (1 + (\Delta\phi(A) - \Delta\phi(B)) / (\phi(A) - \phi(B)))$$

ここで、 $\Delta\phi(A)$ と $\Delta\phi(B)$ は、A、B地点の各々の電極電位である。上式から明らかなように、2地点間で電極電位が等しいか、あるいは $\Delta\phi(A) - \Delta\phi(B)$ に比べて $\phi(A) - \phi(B)$ が遙かに大きい場合に、正確な電位差が測定できる。ところが、微小電位計測で対象としている地盤の破壊現象に伴う電位差変動は微小と考えられるので、後者の条件は満たしそうにない。したがって、前者の条件である2地点での電極電位がほとんど等しい状態を確保することが必要となる。以上から、微小電位計測では化学的に安定した電極を用意する必要があり、そのような電極として、銅-硫酸銅電極、鉛-塩化鉛電極などの非分極性電極が良いとされている。しかし、1年から数年といった長期間の観測では、分極性電極である銅電極の方が安定していたという報告もある。これは非分極性電極の

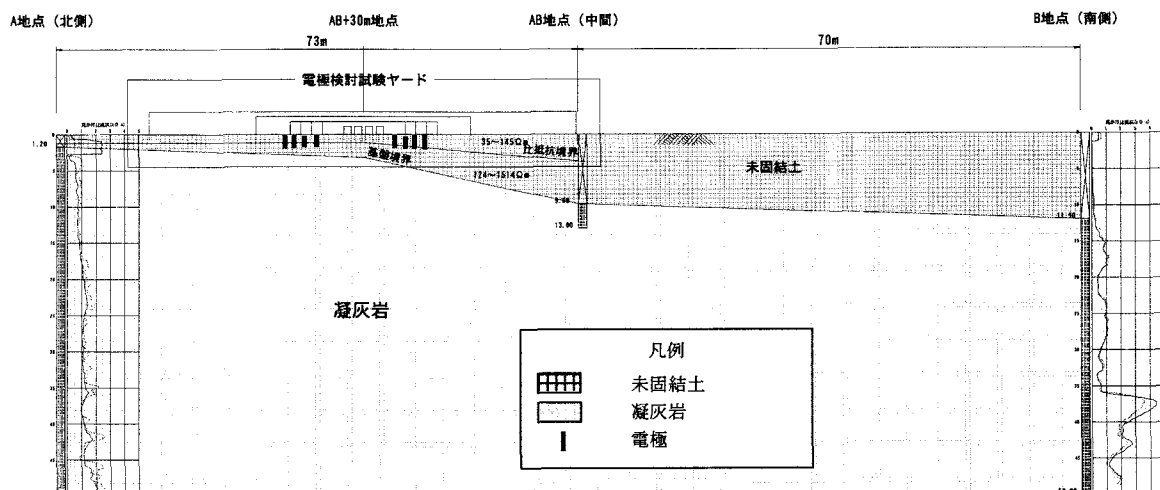


図-3 電極配置と地質・比抵抗構造断面

加工上の難しさや設置時に電極表面を損傷してしまうなどに起因する問題であると考えられる。

微小電位計測では、以上のように地盤の微小な電位変動を計測対象とするため電極材料の選定および設置方法が重要となり測定精度が規定されと考えられる。本手法は観測点に多数の電極を配置し長期観測を実施するので、電極の基本性能として各電極に発生する電極電位にばらつきがないことおよび長期的に安定していることが要求される。

3. 電極材料の選定と設置方法に関する実験

(1) 実験目的

本実験は、微小電位計測に用いる電極材料の選定および電極設置方法の検証を目的として、野外の試験フィールドに各種の電極（母材と表面処理をパラメータ）を主に2通りの方法（コア抜き器による削孔とハンマーによる打ち込み、接地抵抗低減剤の有無）で設置した。また、設置した各種電極の感度と応答特性を把握することを目的として強制的に地盤に電位を作用（電圧負荷実験）させ各種電極の性能を検証した。最後に、特に降雨の影響を検討するために、電極が地表面に露出する部分（電極頭部）の防護方法を変更したケースに関して長期観測（暴露試験）によって検証した結果について述べる。

(2) 地質および比抵抗構造の概要

試験フィールド（㈱フジタ技術センター敷地内）は、神奈川県厚木市の北西部の丹沢山麓南西に位置し、第三紀中新世愛川層群中津峡層に属する凝灰岩を主体とした丘陵地端部に相当する。

敷地周辺の地質・比抵抗構造断面を図-3に示す。敷地では図-3に示すようにA, B, AB地点の3地点において既にボーリング調査と比抵抗電気検層を実施している。A, B地点で実施した比抵抗電気検層結果および、A-B間の地表で実施した比抵抗電気探査を基に比抵抗断面を作成した。今回、電極を設置したのはA-AB区間である。

地質は基盤層（凝灰岩）と未固結土（ロームおよび盛土）に区分される。基盤層（凝灰岩）はA地点からB地点に向かい傾斜するが、A地点からAB地点間は緩やかで、AB地点からB地点間ではやや傾斜が急になる。B地点側の敷地南側は沢筋に相当し基盤にローム層がやや厚く堆積している。電極設置箇所は、未固結土でありその層相は粘性土主体の盛土である。

比抵抗構造は二層に分けられる。第一層は $35 \sim 145 \Omega m$ 、第二層は $124 \sim 1,514 \Omega m$ で比抵抗境界は基盤層の境界と一致しない。地下水は、基盤表層（基盤と未固結土の境界）を流れやすく、沢筋に近いB地点方向に流下するものと推測される。この地下水の流動はA, B地点の孔内電気検層結果においてB地点の未固結土の見掛け比

抵抗値が A 地点よりも非常に小さいことから示唆される。また、未固結土は保水性の高い粘性土（火山灰質ローム）から構成されており降雨の一部が未固結土層中に保水され、浅

表-4 実験パラメータおよび実験目的と検証方法

実験パラメータ	実験目的と検証方法	備 考
I. 設置方法 ①コア抜き器による削孔式 ②ハンマー打ち込み式	設置方法の相異による電極特性を電圧負荷実験で検証する。	①：接地抵抗低減剤あり ②：接地抵抗低減剤なし
II. 電極材料 ①母材 ②表面処理（メッキ）	母材と表面処理の相異による電極特性を電圧負荷実験で検証する。	①：鉄，銅，鉛 ②：なし，亜鉛，銀，塩化鉛
III. 防護方法 ・電極頭部の防護方法	降雨などの気象変動の影響を長期暴露試験で検証する。	・塩ビ製保護キャップの有無

部に地下水面を形成している可能性もある。よって、この地下水性状によって比抵抗境界と地質境界は一致しないものと考えられる。

(3) 検討内容および実験方法

今回の実験では、表-4 に示すような電極の設置方法、電極材料および防護方法に関して検討を実施した。

図-4 に電極設置状況を示す。電極の形状はφ20mm，L=500mm の棒状で、設置は以下の2通りの方法で実施した。コア抜き器による削孔式は、コアドリルでφ50mm，L=600mm 程度削孔し電極を孔内に固定しながら接地抵抗低減剤を充填した。打ち込み式は、電極長さ L=450mm 程度まで

ハンマーを用いて地盤に直接打ち込むので接地抵抗低減剤は充填できない。電極材料は、母材として鉄、銅、鉛を用意し、各母材の表面処理（メッキ）としてメッキを施さない場合（メッキなし）、亜鉛メッキ、銀メッキを施した場合を作成し、母材が鉛の場合のみ表面処理として塩化鉛を用いた。すなわち、鉛—塩化鉛電極のみ非分極性電極に相当し、その他の電極は分極性電極である。表面処理（メッキ）は、電位変化に対する感度や応答速度がメッキの種類によって変化するか、あるいは電極の腐食・防錆を踏まえた長期的な安定性を検証するために実施している。

電極頭部の防護方法としては、鉄—亜鉛メッキ電極の打ち込み式において一対の電極のみ塩ビ製保護キャップ無しとし、残りの電極全て塩ビ製の保護キャップを設置し頭部に直接降雨が当たらないようにした。

接地抵抗とは、電極を大地（地盤）に接地する際に発生する抵抗値を意味し、大地抵抗率や電極形状（表面積）などに関係する値で、一般に接地抵抗が小さいほどアースとしての性能が高い。接地抵抗低減剤とは、大地に埋設された電極の周囲に化学的処理（主成分は塩化カリウム）によって疑似電極を形成させるものであり、電極は見掛け上の表面積が大きくなり接地抵抗値が低減する。よって、接地抵抗は電極性能を表す一つの指標となる。長期間観測を実施する場合には、電極の劣化などにより接地抵抗が増加することが考えられるため、接地抵抗が経年変化しない電極は長期的に安定しているといえる。

図-5 に電極配置および電圧負荷実験に用いた電極位置および電位測定チャンネルの一覧を示す。電極は14種類の電極を各々北側と南側に設置して1組とし、同一種類の電極間隔を16mとした。電圧負荷実験は、各電極の内側（中間点）で電極間隔を1mとしたケース（電極配置の関係でA地点、B地点、C地点、D地点の計4箇所）と、各電極の外側で電極間隔30mと60mとしたケースについて実施した。負荷電圧は直流DC電源（5V，8V）を一定時間（1分、5分）サイクルで保持と停止を繰り返し、各電圧負荷位置で負荷の極性（+，-）を反転させて実施した。

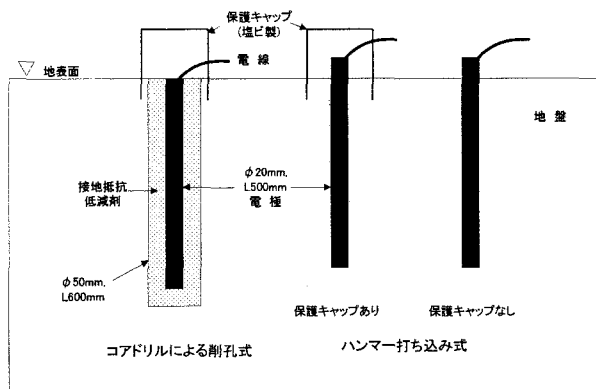
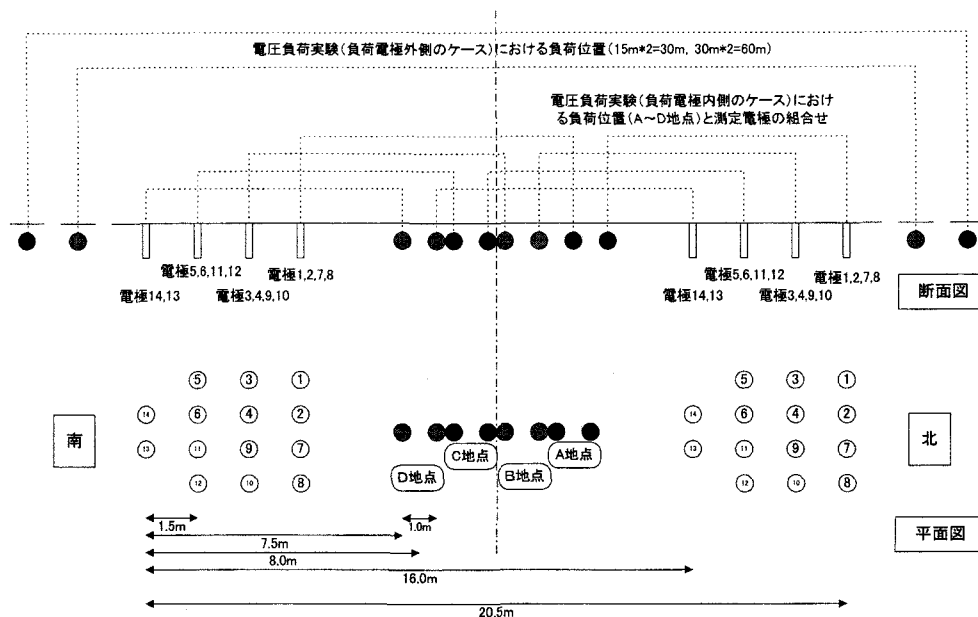


図-4 電極設置状況図



【電極配線】 ※打ち込み式は接地抵抗低減剤なし，コア抜き器式は低減剤あり。

番号	電極材料	設置方法	(+)	(-)	番号	電極材料	設置方法	(+)	(-)
CH1	銅－メッキなし	打ち込み	北側	南側	CH9	鉄－銀メッキ	打ち込み	北側	南側
CH2	〃	コア抜き器	北側	南側	CH10	〃	コア抜き器	北側	南側
CH3	銅－亜鉛メッキ	打ち込み	北側	南側	CH11	鉄－亜鉛メッキ	打ち込み	北側	南側
CH4	〃	コア抜き器	北側	南側	CH12	〃	コア抜き器	北側	南側
CH5	銅－銀メッキ	打ち込み	北側	南側	CH13	鉄－亜鉛メッキ(防護なし)	打ち込み	北側	南側
CH6	〃	コア抜き器	北側	南側	CH14	鉛－塩化鉛	コア抜き器	北側	南側
CH7	鉛－銀メッキ	打ち込み	北側	南側	CH15	なし			
CH8	〃	コア抜き器	北側	南側	CH16	DC 負荷電圧測定CH			

図-5 電極配置並びに電圧負荷実験における負荷電圧位置および電位測定チャンネル一覧

4. 実験結果と考察

(1) 各電極の接地抵抗について

図-6 に各電極の接地抵抗値を示す。図から次のように考察できる。

接地抵抗は総じて 150Ω 以下と小さく，比抵抗電気探査における表層の比抵抗値と調和的である。

接地抵抗は，接地抵抗低減剤の有無に大きく左右され，接地抵抗低減剤を用いた方が接地抵抗は小さく電極としての性能が良好であると考えられる。また，接地抵抗低減剤を用いると電極設置後早期に計測が可能となり即効性との観点から低減剤の利用が有利となる。

以上より，電極の設置方法としては，接地抵抗低減剤を挿入できない打ち込み式は好ましくないと考えられる。

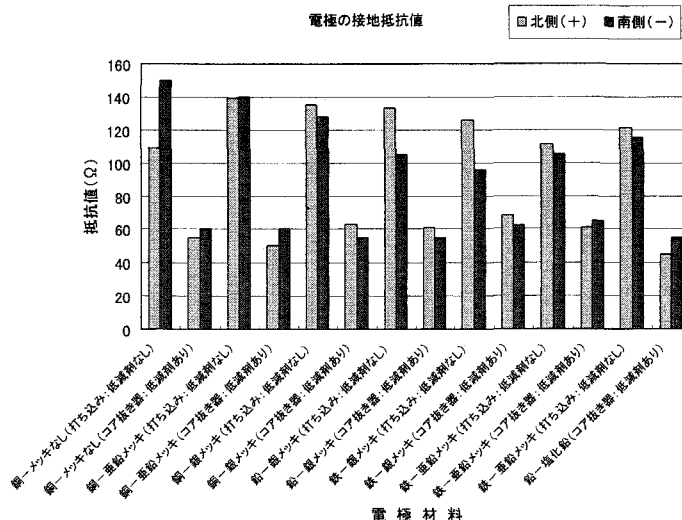


図-6 各電極の接地抵抗比較

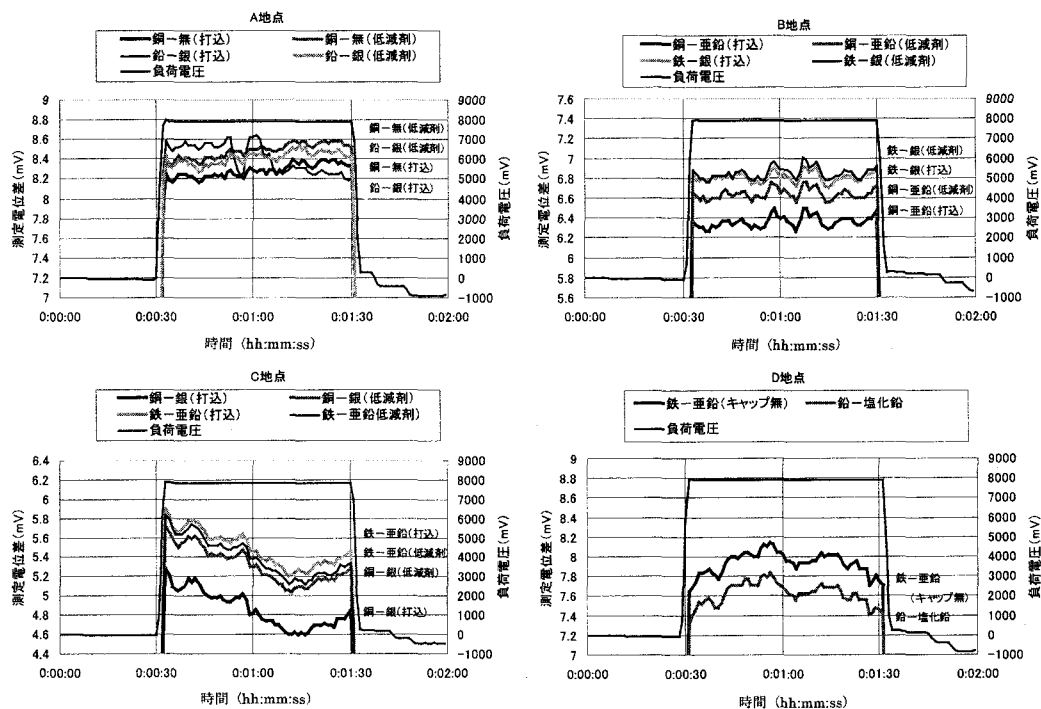


図-7 強制電位実験における各電極の計測結果

(2) 強制電位実験結果

図-7に各電極の内側でDC8Vを1分間負荷した実験における各電極の計測結果を示す。測定された電位差は5～9mVであり、負荷電圧の8Vに対し非常に小さい。前述した電磁波発生メカニズムにおいても発生電圧はボルトのオーダーであり、観測される電圧は発生電流、地盤の比抵抗、発生源からの距離に依存するためミリボルトのオーダーと考えられている。よって、各電極で測定された電位差は妥当な値であると考えられる。また、C、D地点においては電圧負荷中の1分間で電位差が変動しているが、同一地点における複数の電極でほぼ同様の変動を示しているので電圧発生装置と電圧負荷電極に起因すると考えられる。そこで各電極の電位差の評価は1分間の平均値をもって実施した。図より各電極の電位差を比較すると以下の2つのグループに区分できる。

<高感度(7～9mVの値)グループ：銅-メッキなし、鉛-銀メッキ、鉛-塩化鉛>

<低感度(5～7mVの値)グループ：銅-亜鉛メッキ、鉄-銀メッキ、銅-銀メッキ>

(※鉄-亜鉛メッキはC地点負荷の場合低感度でD地点負荷の場合高感度となっており再現性がなく除外した。)

ここで、電極の感度を電位差の絶対値で評価すれば高感度のグループに属する銅-メッキなし、鉛-銀メッキ、鉛-塩化鉛の電極が高感度であると言える。

設置方式の相違による電位変化を比較すると、ほとんどの電極材料でコア抜き器方式の方が電位変化の絶対量が大きくなる傾向を示す。これはコア抜き器方式では接地抵抗低減剤を使用することにより、見掛け上の電極の表面積が大きくなったことに起因すると考えられる。電極材料や表面処理の違いによる電位変化の立ち上がりには各々の電極で相異なく、応答時間という観点からはどの電極も大差ない。よって、特に表面処理の相異は電極の感度や応答速度に関係なく、電極の長期的安定性との観点から今後課題となると考えられる。

(3) 長期暴露実験結果

図-8に保護キャップの有無による電位変動の比較結果を示す。図には、鉄-亜鉛メッキ(キャップ無、打込)、鉄-亜鉛メッキ(キャップ有、打込)および鉄-亜鉛メッキ(キャップ有、低減剤有)の3種類の電極における降雨時の電位変動を示している。図より、「キャップ無、打込」と「キャップ有、打込」においては降雨初期段階や最大雨量(25mm/h)付近で急激に電位差が変化しており、明らかに降雨の影響を受けた電位変動と考えられる。一方

「キャップ有、低減剤有」は降雨に伴うと思われる顕著な電位変動は捕えられていない。「キャップ無、打込」と「キャップ有、打込」を比較すると、「キャップ無、打込」が比較的小刻みな変動に対し、「キャップ有、打込」は変動が少ないが、最大雨量時には約 100mV の急激な電位変動がみられた。

以上のように保護キャップの有無を比較すると、「キャップ無、打込」と「キャップ有、打込」どちらにも降雨時には電位変動がみられた。これは頭部を保護していても、電極周辺において雨水が地盤に浸透することによって電位変動が生じていると考えられる。すなわち、地盤に設置した際に露出した電極の頭部が直接受ける降雨の影響より、電極周辺において雨水が地盤へ浸透する影響の方が顕著な電位変化として現れることが明らかとなった。よって、現場での電極設置作業において頭部防護に関してはさほど気を使う必要はないと考えられる。

一方、図-8 の鉄-亜鉛メッキ電極では低減剤があった方が降雨の影響を受けにくいと判断できるが、他の電極材料では必ずしもその傾向を示さず一概に低減剤を使用すると降雨の影響を受けづらいと言うことはできない。

(4) まとめ

本実験の結果、以下のことが明らかとなった。

- 接地抵抗は、接地抵抗低減剤を用いた方が接地抵抗は小さく電極としての性能が良好で即応性がある。
- 電極の母材としては銅、鉛が高感度であるといえるが、応答時間に関しては大差ない。
- 電極の表面処理に関しては感度や応答との観点からは大差ないが、今後長安定性に対する性能が問題となる。
- 接地抵抗低減剤を用いた方が電極の感度が向上する。
- 降雨に伴う電位変動は地盤に雨水が浸透する影響が大きく、電極頭部への直接的な影響は小さい。

5. おわりに

筆者らは、微小電位計測の岩盤崩落監視技術への適用性を検証するとの立場から、地盤の破壊過程における電位特性に関する研究を進めている。本稿では、微小電位計測を崩落危険性の高い岩盤斜面に設置し長期観測を実施するために、試験フィールドにおいて電極材料とその設置方法に関する基礎的な検討を実施した。その結果、電極材料に関しては、顕著な相違ではないが母材として銅、鉛が高感度であり、電極と地盤との密着や電極感度の向上などの観点から接地抵抗低減剤の使用が有効であることが確認できた。今後は、本実験の結果を踏まえ現場観測を実施し、計測データの処理や電位差の定量的な評価とその判断基準等を検討していきたいと考えている。

【参考文献】 1)長尾年恭：自然電位高精度観測による地震予知可能性の探求とその理論的メカニズムの解明，平成 6 年度～平成 8 年度科学研究費補助金（基礎研究(B)(2)）研究成果報告書，1996. 2)長尾年恭：地震予知研究の新展開，近未来社，2001. 3) 加藤・村山・長尾・小野・入野：室内簡易実験による地盤材料の電位特性について，第 54 回土木学会年次講演会，1999. 4) 加藤・村山・長尾・小野・入野：地電位観測を利用した地盤災害の予測技術の開発（その 1，岩石の簡易破壊実験），第 36 回地盤工学研究発表会，2001. 5) 日下部・佐藤・中井・佐田・榎本・小林：岩盤破壊時の微電圧測定実験，第 34 回地盤工学研究発表会，pp.2171-2172，1999. 6) 福井・大久保・寺嶋：一軸圧縮試験における岩石からの電磁波の発生，土木学会，第 31 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，pp.141-145，2001. 7) 日下部・伊東・榎本：岩盤破壊時の微電圧測定実験（その 2），第 37 回地盤工学研究発表会，2002. 8) 河口・福村・加藤・村山・小野・長尾：地電位観測を利用した地盤災害の予測技術の開発（その 2，模擬斜面の崩壊実験），第 36 回地盤工学研究発表会，2001. 9) 小野・太田・村山・加藤・入野・長尾：地電位観測を利用した地盤災害の予測技術の開発（その 3，切土のり面における現場測定），第 36 回地盤工学研究発表会，2001. 6. 10)伊藤・南雲：地すべり地の斜面変動に伴う土地電位の挙動，地すべり，Vol.29,No.3，pp.27-34，1992. 11) 加藤・村山・小野・太田・入野・長尾，切土のり面の表層崩壊現象に伴う地電位変動について，第 38 回地盤工学研究発表会，2003.

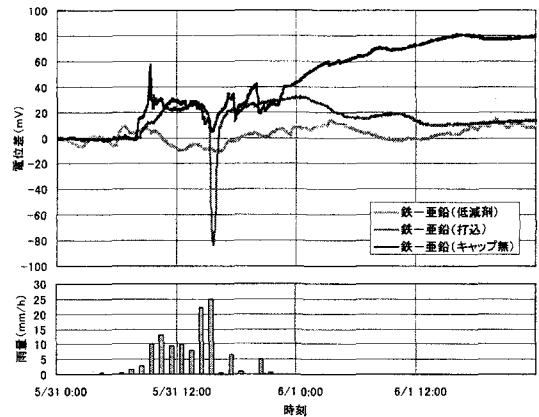


図-8 保護キャップの有無による電位変動の相違