

土砂斜面崩壊時の電位変化に関する研究

豊田工業高等専門学校

山口 智世

正会員 小林 睦

正会員 伊東 孝

1. はじめに

わが国は傾斜地が多く、地震や豪雨に伴った斜面崩壊による災害が多発している¹⁾。そのため日頃から斜面観測を行い、災害時の被害を最小限に止めることが急務とされている。

一方、岩石が変形・破壊する際、圧電効果や界面動現象、土粒子の摩擦によって電位が発生することが今日までの研究によって確認されている²⁾。この現象を応用すれば、斜面崩壊時にも電位が発生することが確認できる可能性がある。

これらのことから、斜面崩壊時に電位が発生することが確認されれば、観測データを元に、斜面崩壊を予知し、発生する被害を最小限に止めることができると考えられる。

本研究は、土砂で構成された斜面が崩壊する際の電位変化を、実験を通して調査し、電位測定が斜面観測の方法として有効であるか検証することを目的としたものである。

2. 標準砂の電位発生挙動²⁾

今日までに、標準砂を用いた一軸圧縮試験から、破壊時に、土粒子の摩擦や変形に際して電位差が生じることが確認されている。図 - 2 に示したグラフは、直径 5cm、高さ 7cm の円筒形のセルロイド板に標準砂を詰めたるものを供試体とし、上下をゴム板ではさみ絶縁を保った状態で載荷を行ったときの一軸圧縮試験結果である。材料内部の微小な破壊・変形やそれに伴う摩擦によって発生する AE (Acoustic Emission, 弾性波現象) とほぼ同時期に電位変化が現れていることと、土粒子の性質 (供試体破壊時、土粒子は破壊せずに土粒子間で相対的にすべる) から、供試体内部に発生している土粒子の摩擦や変形によって電位が発生しているものと確認できる。



図 - 1 標準砂供試体

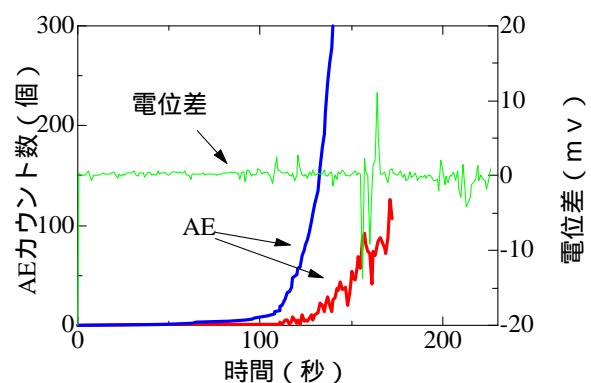


図 - 2 標準砂試験における電位と AE

3. 実験方法

模型斜面崩壊実験を行った。この実験では、斜面のすべり位置と計測位置の関係、および含水比と測定電位の関係を明らかにすることを目的とした。

水槽内に作成した人工斜面を人力で崩壊させ、電位変化を測定した(図-3)。

斜面崩壊時の電位変化を崩壊状態別で測定するため、斜面の3分の2にすべり面を設置し、斜面部を、右エリア(他エリアが崩壊しても崩れず残る部分、電極は不動)・中央エリア(真上から载荷し、崩壊させる部分、電極動)・左エリア(力は直接かからないが崩壊する部分、電極動)に分けた。測定点は斜面部に4点(No.1~4)設置し、電極挿入の向きを水平・垂直・斜面に対し垂直の3方向とした。電極を挿入するパターンは、A~Cとし、1パターンずつ測定した。測定開始2分後から6秒間で载荷・崩壊させ、1エリア1挿入方向で5回ずつ、計45回測定した。また、材料にはまさ土を用いた。まさ土とは、火成岩の一種である花崗岩が風化して形成された土であり、日本に多く存在し、かつ、圧電体である鉱物晶(SiO₂)を約7割含んでいることが特徴である。含水比は0.5%、5%と変化させ、間隙率は任意とした。

次に、含水比と計測電位差の関係を調査するため、模型斜面に一定の電圧を入力し、斜面の含水比を変化させたときの電位測定値の変化を調査した。

模型斜面天端部の、水槽側面から20mm離れた位置に発信器(ファンクションジェネレータ)を設置しこれを入力電極とした。測定電極は、一方(High極)を入力電極から150mm離れた場所に設置し、もう一方(Low極)は接地させた。入力電極から電圧10V、周波数10Hzの三角波を入力し、含水比を20%まで変化させたときの土中電圧を測定した。

4. 実験結果

4.1 模型斜面崩壊実験

実験結果のグラフを図-5~8に示す。横軸に時間(秒)、縦軸に電位差(V)をとり、図中のNo.1~4は図-3に示す電極1~4の番号を表す。

まず、含水比 $w=0.5\%$ の結果を図-5、図-6に示す。

図-5は右エリア(他エリアが崩壊しても崩れず残る部分)、図-6は中央エリア(真上から载荷し、崩壊させる部分)の実験結果である。3エリア中、右エリアの電位差が最少となった。これは他エリアに比べ、測定点から崩壊時に移動するすべり土塊まで距離があるため、土粒子が抵抗となり、電位差が測定電極に到達するまでに減少したものだと考えられる。中央エリア・左エリア(力は直接かからないが崩壊する部分)は類似した結果が得られたが、この2エリアが右エリアの電位差よりも大きくなった要因として、両エリア

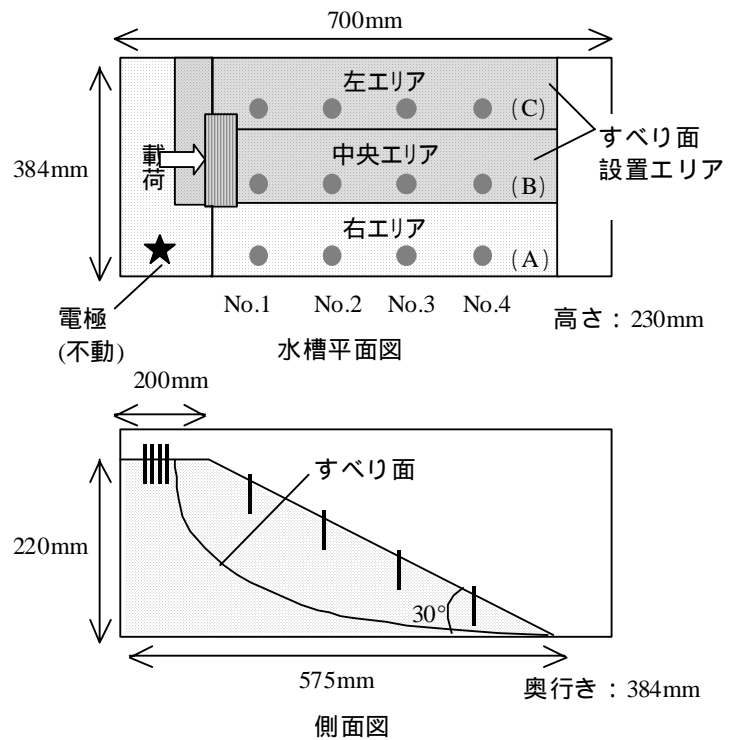


図-3 模型斜面崩壊実験概略図

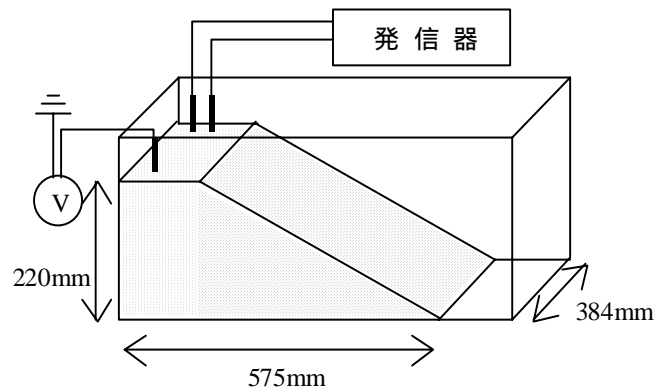


図-4 含水比 - 電位関係調査実験概略図

とも電極が土塊と共に移動する点であること、荷重終了までに電極周りの土塊が変形したことが考えられる。また、中央エリアと左エリアを比較した場合には、左エリアの方が電位差をより明確に確認することができた。この原因として、荷重によってすべり土塊に発生した亀裂の影響が考えられる。上から直接力がかかる中央エリアでは荷重開始 - 終了間にすべり土塊表面に多くの亀裂発生を確認したが、力が直接かからない左エリアでは亀裂は多くは確認されなかった。このことから、電位差微減増の原因の1つであると予見している。

また、電極挿入方向別の結果では、水平に挿入した場合にわずかではあるが他の場合と比べて電位差をより大きく測定できることがわかった。

次に、含水比 $w=5\%$ の結果を図 - 7, 8 に示す。

図 - 7 は右エリア (他エリアが崩壊しても崩れず残る部分)、図 - 8 は中央エリア (真上から荷重し、崩壊させる部分) の実験結果である。エリア別結果の傾向としては、含水比 $w=0.5\%$ の場合と同様の結果が得られたが、全体ではすべてのエリアにおいて含水比 $w=0.5\%$ の場合よりも明確な結果を得ることができた。さらに、図 - 7, 8 を比較すると、中央エリアの電位差発生前後では差が発生していることがわかる。これは、右エリアが、他エリアが崩壊しても崩れず残り、電極も移動しない点であるのに対して、中央エリアは真上から荷重・崩壊させ、すべり土塊と共に電極が移動する点であることから、電極の移動による電位差発生であるということが言える。このことから、右エリアでは電極の移動がなくとも土粒子の摩擦・変形のみによって電位差が発生していることが言え、同時に、まさ土を用いた模型斜面崩壊実験でも土粒子の摩擦・変形によって電位差が発生していることが確認できた。

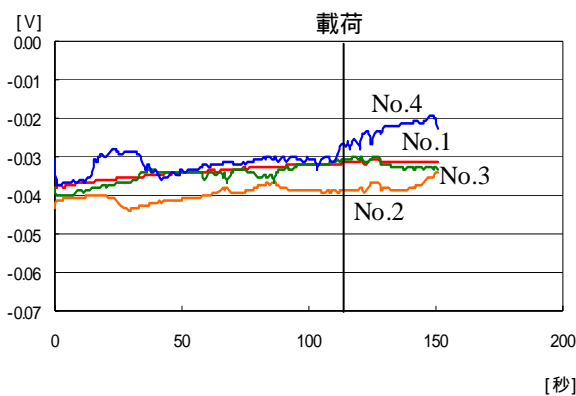


図 - 5 電位発生挙動 ($w = 0.5\%$, 右エリア)

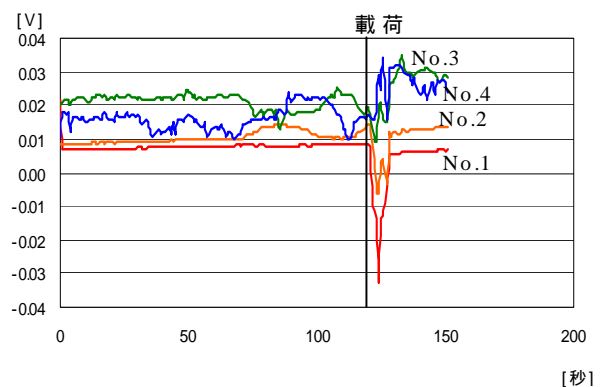


図 - 6 電位発生挙動 ($w = 0.5\%$, 中央エリア)

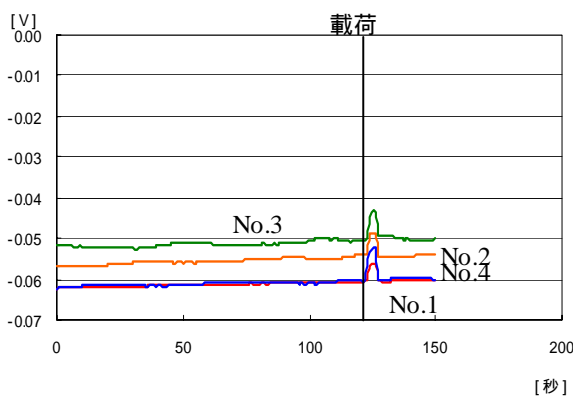


図 - 7 電位発生挙動 ($w = 5\%$, 右エリア)

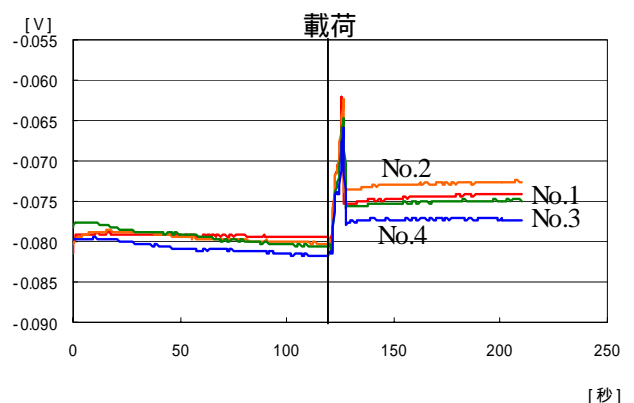


図 - 8 電位発生挙動 ($w = 5\%$, 中央エリア)

4.2 含水比 - 電位関係調査実験

含水比 - 電位関係のグラフを図 - 9 に示す。絶乾状態では電位がほとんど計測できなかったが、これは、砂の比抵抗が非常に高いことによるものと推測される。また、含水比の増加にしたがって測定電位が増加したことについては、土粒子に水が吸着したことにより、地盤内の電気伝導性が向上したことによるものと考えられる。

一方、含水比が最大のケース ($w = 20.7\%$, $S_r=100\%$) では電位差が減少していることが確認できる。これは、地盤の飽和により見掛けの比抵抗値が増加したためであると考えられる。不飽和地盤では、入力電極を中心に、測定電極まで地盤内に円状に電流線分布していた。しかし飽和状態では、入力電極周辺に飽和地盤という極端な低比抵抗体が存在したために電流線分布が歪められ、測定電極まで電流が拡散しなかったために電位差が減少したものと推測される。水中に入力電極を挿入し、他点での電位を測定したところ、飽和地盤と同様の数値を得た。

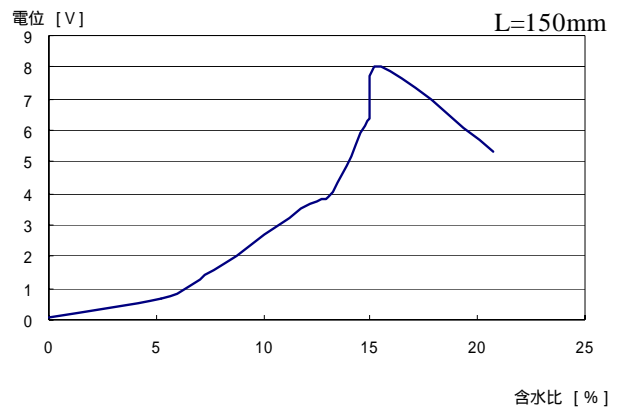


図 - 9 含水比 - 電位関係線

5. まとめ

模型斜面崩壊実験では、崩壊状態エリアの崩壊状態によって電位差の発生に差が出るということが判明した。この結果には、土粒子の比抵抗、測定点 - すべり土塊間距離、すべり土塊状態が関係していると考えられる。また、右エリア（他エリアが崩壊しても崩れず残る部分）では土粒子の摩擦・変形による電位差のみが発生し、中央（真上から載荷し、崩壊させる部分）・左エリア（力は直接かからないが崩壊する部分）では、土粒子の摩擦による電位差とともに、電極の移動による電位差が発生していた。

電極挿入方向別では、水平方向に挿入した場合により大きな電位差が測定されることがわかったが、測定に大きな影響は与えないと考えられる。

含水比と測定電位の関係を調査した実験では、含水比を増加させると地盤内の電気伝導性が向上し、測定できる電位差が増加するが、飽和状態を迎えると比抵抗が増加し測定できる電位差が減少することから、測定電位は含水比と密接な関係があることがわかった。

参考文献

- 1) 山田剛二, 渡正亮, 小橋澄治: 地すべり・斜面崩壊の実態と対策, 山海堂, 1971
- 2) 伊東孝, 小林睦, 橋本久輝, アイダン・オメル, 赤木知之: 岩質材料の変形に伴う電位発生挙動に関する実験的研究, 第 32 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp89 - 94, 2003