

I-28

岩盤破壊時の微電圧測定に関する基礎実験

北海道土質試験協同組合 ○正会員 榎本義一 佐田頼光 小林諭
北海道開発局 佐藤昌志 中井健司 日下部祐基

1. まえがき

平成8年、平成9年に発生したトンネル崩落事故を契機に、事故防止を前提とした斜面監視に関する調査研究が行われている。斜面監視に関する手法については、各種センサ測定装置が考案され、その中では実用に供されているものもあるが、確立されておらず、現状では岩盤崩落の前兆となる斜面の変状を的確に把握することは容易ではない。

本研究では、岩石に応力を与えたときに発生する微電圧を測定し、亀裂の発生などによる微電圧の変化をとらえることで、斜面監視に対する応用の可能性について基礎実験を行ったものである。

2. 実験概要

2. 1 微電圧測定

微電圧計測は、これまで地質調査の分野などでは、電気探査や電気検層の自然電位法として用いられているが、調査の目的が地層構成や地下水分布の概略を知ることにより、微電圧の測定の目的を異にしている。また、現在行われる計測手法は、電流を地盤に流して抵抗を測定する比抵抗法が主流となっており、比抵抗法を用いて地滑り計測や地盤改良効果の確認などに用いられた事例は報告されている。

自然電位法では、電圧（電位差、あるいは電位と記されることがあるが、ここでは電圧と呼ぶ）の発生要因は、以下の項目が示されている。

- 1) 金属鉱床などにおいて、金属のイオン化傾向による金属溶出に起因する電圧
- 2) 酸化および還元に起因する電圧
- 3) イオン濃度差に起因する電圧
- 4) 河川・熱水移動などにおいて見られるイオンを含んだ物質が流動することに起因する電圧
- 5) 自然界に起こる電氣的現象（雷・電離層による異常）により誘導される電圧
- 6) 地殻・地盤内部の応力差に起因する電圧
- 7) 地球内部の物体の移動に起因する電圧

これらのうち、筆者らが着目した電圧は6)の電圧である。

この応力差に起因する電圧の発生原因の1つとして、岩石に含まれる鉱物の圧電効果によるものであることが考えられる。圧電効果はピエゾ効果ともよばれ、結晶学の分野では100年以上も研究されてきたものである。圧電効果は20程度の結晶族で発生することが知られ、岩石中にもこれらの結晶族の一部が含まれていることより、岩石の圧縮時などに圧電効果による微電圧が発生すると考えられる。筆者らは、日常行っている岩石の一軸圧縮試験の供試体に電極を貼り付け、一軸圧縮時や圧裂引っぱり時などの微電圧の動向を測定した。

A Elementary Study of Piezo-Electrical Signal on the Previous Rock Failure under Compression Test
by Yoshikazu Enomoto, Yorimitsu Sada, Satoshi Kobayashi, Masashi Sato, Kenji Nakai, Yuki Kusakabe

3. 3 一軸クリープ試験

一軸クリープ試験の試験数量は少ないが、図-3に示すように、載荷時間に対し、破壊点の事前に微電圧が急減するなどの信号状の変化が数回起きている。

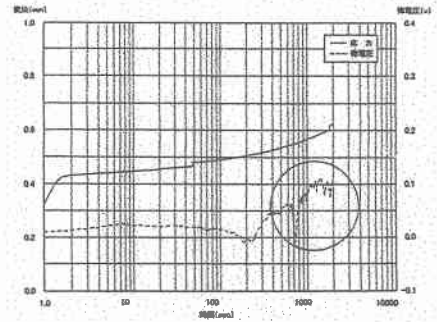


図-3 クリープ試験結果

4. 考察

一軸圧縮試験の結果は、図-4に示すように微電圧の動向を大別すると、3つの様式に分類できる。

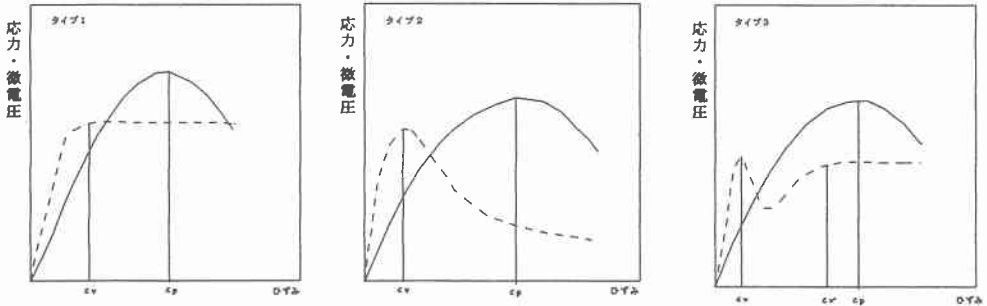


図-4 一軸圧縮試験パターン模式図

1) タイプ1

ひずみ増加に従い、応力同様に微電圧も線形に増加し、ひずみ硬化点付近で微電圧の上昇に変曲点が現れ、微電圧の明確なピークが現れない様式であり、実験を行った供試体数の約65%にこの傾向が見られた。

2) タイプ2

ひずみ増加に従い、応力同様に微電圧も初期には線形に増加するが、破壊点の前で微電圧のピークが明確に現れる傾向を示す様式であり、実験を行った供試体数の約20%にこの傾向が見られた。

3) タイプ3

タイプ2と同様に、破壊点の前で微電圧のピークが現れるが、さらにひずみが進行すると再度上昇傾向に転じ、破壊点前でタイプ1のように、微電圧の上昇の変曲点が現れ、上昇が止まり明確なピークが見られない様式であり、実験を行った供試体数の約15%にこの傾向が見られた。

これらの様式の違いは、岩石の種類や密度などには関連がなく、目視観察では亀裂の存在に関連があるようである。

タイプ1の岩石は目視的には、ほとんど亀裂が見られない岩石である。タイプ2の岩石は、目視的に亀裂がいくつか見られたり、層理・葉理が明確に見られた岩石である。タイプ3の岩石は、目視で亀裂が明確に見られた。さらにいくつかの供試体では、その亀裂の一部がやや開口状で圧縮の途中で亀裂が閉口した岩石も確認できた。

微電圧の発生は、現在のところ、圧電現象によるものが主因と考えている。すなわち応力の増加とともに微電圧も線形増加することは、微電圧発生の主因が圧電現象であることを裏付けているが、一方で微電圧の線形な上昇が止まったり、下降したりする現象については、岩石供試体中の亀裂に大きく影響されていると考えられる。

亀裂と微電圧変化との関係については現在のところ以下のように推測される。すなわち、ひずみ硬化領域付近で微電圧の上昇がほとんどなくなるタイプ1の場合は、岩石内部に発生する微小亀裂によってエネルギー解放が生じるためと考えられ、破壊点の前に微電圧の明確なピークが現れるタイプ2の場合は、目視的に確認できる亀裂がある応力から徐々に変形を始めるためにエネルギーが費やされ微電圧の減少がおきるためと考えられる。また、複合型のタイプ3の場合は、一度変形した亀裂が閉口し、その後岩石内部に明確な亀裂とは別に微小亀裂が再度発達するため、微電圧はタイプ1と2の複合したような経路をたどると考えられる。

いずれにしても、微電圧の発生経路は供試体すべてについて、破壊前に何らかの変曲点を有しており、その変曲点をのひずみを ε_v 、破壊ひずみを ε_p とすると、 $\varepsilon_v / \varepsilon_p$ は図-5に示すような、 $\varepsilon_v / \varepsilon_p = 0.5 \sim 0.6$ を中央値とする正規分布に近い分布を示した。

圧裂引っ張り試験の結果でも一軸圧縮試験同様に破壊前に微電圧に変曲点が見られることも、一軸圧縮試験と同様の説明が可能と考えられる。

さらに、一軸クリープ試験において、破壊前のひずみ進行の速度が大きくなる時間のやや前に微電圧の変化が測定されたことも、供試体内部で微小亀裂が発達するためと考えられる。

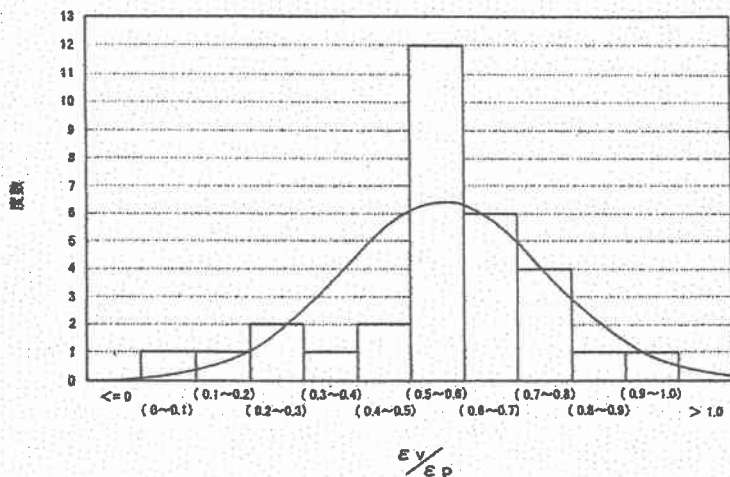


図-5 $\varepsilon_v / \varepsilon_p$ の頻度分布

5. まとめ

一軸圧縮試験を中心とした本実験から、岩石供試体に応力を作用させると微電圧が発生し、微小亀裂が応力作用によって発達すると微電圧の経路に変曲点が現れ、その変曲点は岩石供試体破壊の前に現れることから、将来的には岩盤の崩壊監視センサのひとつとして利用可能と考えられる。

今回の実験においては、岩石供試体の载荷にともない、微電圧が発生し、破壊点前に微電圧の経路に何らかの変曲点が現れる事象を確認できた段階である。今後は、変曲点が現れた時の供試体の微視的観察による微小亀裂発生を検証をはじめとした研究などをすすめ、岩盤監視センサとしての有効性の検討を行っていく予定である。