

審査の結果の要旨

氏名 謝 濟 仁

本研究は、斜面の主に浅層地すべりや表層崩壊において、表層の傾斜の経時変化から、斜面崩壊の発生時刻を予測し、早期警報に役立てる手法について検討した。

従来、斜面の変状を監視するために、斜面の地表に沿ってワイヤーを張った伸縮計を用いて、地表の変位量を測定する方法が用いられている。地表の変位を連続的に測定し、その経時変化から、斜面崩壊の危険度を判断したり、崩壊時刻を予測したりする手法が研究され、実務にも適用されている。

これに対して、本研究では、斜面表層の変位量でなく、傾斜の経時変化を崩壊時刻の予測に用いる。ここでいう傾斜とは、表層に地表面から鉛直に挿入した鋼棒の微小な回転を、傾斜角として連続的に測定するものである。伸縮計は、斜面に沿って、長ければ数 10m にわたってワイヤーを張る必要があり、設置や運用に技術とコストが必要であるが、傾斜計は、表層に鋼棒を挿すだけで簡単かつ廉価に設置運用できる。既往の研究では、このようにして測った表層の傾斜から、斜面崩壊の予兆を捉えられることが分かっている。しかし、測定された鋼棒の回転が、すべり面上や表層内部の状態のどのような変化を反映しているのか、その機構を解釈することは難しく、その経時変化から崩壊時刻を定量的に予測することはできなかった。

本研究では、まず表層の鋼棒が回転する機構について考察した。鋼棒の下端がすべり面の下の不動層に届いている場合、下端は固定点になるので、鋼棒の回転角度と、鋼棒の地表部の変位量との間には、鋼棒の長さを倍率とした比例関係が保たれる。一方、鋼棒が短く、その下端がすべり面に届かない場合は、鋼棒はすべり土塊と一緒に変位する。多くの場合、斜面内部のすべり面は、単一の円弧ではなく、より複雑な形状を持ち、場所によって曲率が異なる。そのため、すべり面の上で移動する表層のすべり土塊も複雑に変形し、結果として鋼棒の回転も複雑になる。本研究では、この機構を大幅に単純化して、「すべり土塊を部分ごと局所的に見た場合、各部分はほぼ剛体として変位し、それぞれの直近のすべり面に沿って回転変位する」という仮説を立てた。これによって、すべり土塊の各部分に設置された傾斜計は、直近のすべり面の曲率に応じた円

弧に沿って、円弧中心から一定の距離を保って回転することになる。そのとき、鋼棒の回転角度と、鋼棒の地表部の変位量との間には、円弧中心と傾斜計との距離を倍率とした比例関係が保たれる。つまり、鋼棒の下端がすべり面に届いていても、届いていなくても、鋼棒の回転角度と、鋼棒の地表部の変位量との間には比例関係が保たれる。模型実験と実斜面での観測データの解析により、これらの仮定がおおむね成り立っていることを確認した。

次に、伸縮計による地表の変位量に基づく既存の崩壊時刻の予測式に、上記の比例関係を代入することで、鋼棒の回転角に基づいた崩壊時刻の予測式を導出した。これにより、時刻と、回転角速度の逆数との間に直線関係が得られ、それを延長して角速度の逆数が0となる時刻を、崩壊時刻の予測値とする方法を提案した。この予測では、変位量と傾斜とが比例関係にあることだけが使われ、その比例定数がいくらであるかには依存しない。すなわち、すべり面の位置や形状を知る必要はない。関係実斜面で、崩壊時のすべり面を事前に推定することは極めて困難なので、これは実用上重要である。

本論文の第1章は序章、第2章は先行する技術と研究の概要であり、豪雨による斜面崩壊の発生状況や発生機構、斜面の監視と早期警報の技術に関する知見と課題、観測データに基づく崩壊時刻の既存の予測手法とその問題点についてまとめている。

第3章は、本研究で斜面模型に用いた土と、装置類、および実斜面での実験現場の諸元、第4章は、模型および実斜面での実験の方法を記述している。

第5章は、傾斜を測定する鋼棒がすべり面に届く場合と届かない場合の回転機構の違いについて、第6章は、鋼棒の回転角度と、鋼棒の地表部の変位量との比例関係について、模型実験、実斜面での実験に基づいて検証している。

第7章は、この比例関係を用いて、鋼棒の回転角として測られた表層の傾斜による崩壊時刻の予測式を導出し、予測の妥当性を検証している。さらに、すべり土塊の変位の過程で、降雨強度が変化したときに、傾斜の進み方と予測される崩壊時刻がどのように影響されるか検討した。また、斜面監視の実務において表層崩壊の前に観測された傾斜データにも、この結果を適用して検証した。

第8章は、以上の研究成果の総括と、今後の研究課題の提案である。

一般に、斜面地盤は不均一であり、すべり面の位置や形も把握が難しいため、斜面表層に挿した鋼棒の回転から斜面内部の状態を推定することは難しい。本研究では、模型や実斜面での観察から、現象を大幅に単純化する仮定を設けて、傾斜の観測データに基づく崩壊時刻の予測手法を導いた。これは、斜面の監視による防災技術に新しい考え方を提案する成果である。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。