

審査の結果の要旨

氏名 ムハマド イルファン

本研究は、豪雨時の斜面の状態を監視し、斜面崩壊を起こすような不安定な状態を検知することを目的に、斜面地盤内を伝わる弾性波速度が、雨水の浸透や崩壊前の変形によってどのように変化するかを、斜面地盤を構成する不飽和土の要素実験により調べたものである。

我が国で豪雨により発生する斜面災害のほとんどは、小規模な深さ 1 m 程度の表層すべりである。先行研究では、表層すべりの現地観測や模型による再現実験などから、斜面崩壊の前に、地盤の土壌水分量の上昇と、長時間にわたるゆっくりした変位・変形が観察されている。これらの値を監視することが、リアルタイムの災害予測には有効である。従来、地盤内の土壌水分の状態を測定するには、間隙水の体積を測る土壌水分計や、間隙水圧（サクション）を測るセラミックカップなどのセンサーが使われてきた。また斜面の変位や変形の測定には、伸縮計や傾斜計などのセンサーが使われてきた。

これに対し、Muhammad Irfan 君は、斜面地盤内を弾性波が伝わる速度を監視することで、その変化から土壌水分量の増加や変形を検知する方法を提案した。その利点の一つは、従来のセンサーが、1 個につき斜面の 1 点の状態のみを測定するのに対して、弾性波を使う方法は、起振点から受信点までの範囲の状態を監視するので、空間的な拡がりを持つ斜面を効率的に監視できることである。

そのための基礎研究として、不飽和土の室内供試体を伝わる弾性波速度を精密に測定し、水分量が増加し、変形、破壊に至る過程でどのように変わるかを調べた。

本論文の第 1 章は序章であり、上記の問題を提起し、弾性波速度を使った斜面の監視を提案した。

第 2 章は、関連する先行研究のまとめである。豪雨による斜面崩壊のメカニズムと雨水浸透やサクションとの関係、不飽和土の強度変形に関する土質力学、斜面の監視と早期警報の技術の現状、地盤内の弾性波速度に関する知見や基礎理論などを整理した。

第3～5章は、実験の方法、材料、装置の説明である。本研究では、供試体の応力と変形を測定・制御しやすい三軸圧縮試験を用いて、斜面の状態を模擬した一定の異方応力条件下で、水を注入し、水分量を高める方法をとった。高さのある供試体に均一に水を浸透させるのは難しいが、Muhammad Irfan 君は、供試体の周囲にろ紙を巻いて水を誘導する方法で、この問題を解決した。また、弾性波速度は、供試体両端の圧電素子を使って測定したが、供試体に水を均一に注水するために、キャップとペダスタルの表面積の大部分をセラミックディスクで覆う必要があった。そのため、P波とS波を測る圧電板を重ねた構造の省スペース型の素子を導入し、弾性波測定と注水を両立できる装置を開発した。

第6章は、不飽和土の土壌水分量が、弾性波速度に与える影響についての実験結果のまとめと考察である。飽和度が20%から90%に上昇する過程で、弾性波速度は、P波、S波とも30～40%低下した。また、試料の土壌水分曲線（飽和度とサクシヨンの関係）を測定しながら、弾性波速度を測る実験を行い、この速度低下が見られる飽和度の範囲は、土壌水分曲線の中でもサクシヨンの変化が大きい遷移領域に対応していることを確かめた。

第7章は、一定の異方応力をかけられた不飽和土が、浸水によって強度低下し、変形・破壊する過程での弾性波速度の変化を測定した。弾性波速度は、P波、S波とも、供試体が降伏し破壊を始めるときに、急激に低下する。さらに、この速度低下や、降伏時の水分量、降伏前後の変形の進み方などと、供試体の密度、応力比との関係を系統的な実験で明らかにした。

第8章は、上記の知見をもとに、弾性波速度を使って斜面の状態を監視し、崩壊の予兆を捉えるための、いくつかの方法を議論している。いずれも、斜面表層部の弾性波速度の変化を捉えるものである。

本研究で示された、一定の異方応力下に置かれた不飽和土が、浸水による変形し、破壊する過程、およびそのときの弾性波速度の精密な測定結果は、従来の研究例が少なく、貴重なデータを提供している。

また、本研究は、不飽和土の性質について基礎的なことがらを調べた段階で、実用化に向けて課題が残されているが、斜面の新しい監視手法につながる貴重な結果を残し、今後の技術開発への貢献が期待される。

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。