

審 査 の 結 果 の 要 旨

氏 名 陳 宇 龍

本研究は、降雨時に斜面が表層崩壊するまでの雨水浸透と変形の過程を、表層地盤内の弾性波伝播の特性の変化から把握する方法を模型実験で検討した。

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 程度の表層滑りである。先行研究では、模型実験から、崩壊の前には、斜面の法尻部の飽和度が 80% ～ 90% に達すること、また斜面地盤の微少な変形が継続して起こることが観察されている。また、斜面監視のために、従来からある伸縮計や孔内傾斜計による変位計測に加えて、表層に鉛直に挿入した鋼棒の傾斜を監視する表層傾斜計を用いて、崩壊前の微少で継続的な傾斜変位を検知して崩壊予測に使う方法が提案されている。これらは災害早期警報に有効であるが、センサーを埋めた 1 点の値を測るため、面積の広い斜面で、一部が浸水したり変形し始めたりする崩壊の初期段階を捉えるには、数多くのセンサーを密に配置しなければならない。そこで、陳 宇龍 君は、斜面の表層に複数の振動センサーを配置し、斜面内部に打撃を加えて、振動がセンサーに到達する時間を監視することで、斜面地盤への雨水浸透や変形を監視する方法を研究した。

本論文の第 1 章は序章であり、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、本研究の弾性波伝播による斜面監視の概念をまとめている。

第 2 章は、地盤内の弾性波伝播の性質、特に斜面を構成する不飽和土中の伝播について先行研究をまとめている。山砂の不飽和三軸供試体に一定の偏差応力をかけて注水する実験で、飽和度増加に伴う弾性波速度低下と、降伏後の変形に伴う急速な速度低下が確かめられている。その変化率は 2 ～ 3 割を超えており、供試体の密度にもよらない。野外でも十分に検知できる変化である。

第 3 章は、本研究で斜面模型に用いた土と、装置類について記述している。土は、砂質の斜面表層土の例として茨城県で採取された江戸崎砂を用いた。土槽内に斜面模型をつくり、降雨と傾斜を加えながら、表層のせん断変形（表層に立てた棒の傾斜変位）と表層内部の体積含水率を計測した。弾性波は、表層底部に埋めた電磁石による加振装置でワンショット加振した。その振動を表層

に並べた小型の圧電振動センサーで受信し、振動の到達時間を調べた。

第4章は、ケース1、ケース2の2通りの実験手順について記述している。ケース1は、土槽内に水平地盤（ただし片方の端は法面になっている）をつくり、降雨を与えて雨水浸透による変化を観察した後、降雨を止めて、土槽ごと傾けてせん断変形による変化を観察した。ケース2は、土槽内に傾斜地盤を作り、連続降雨で雨水浸透とせん断変形、崩壊が並行して生じる場合を観察した。それぞれ表層の厚さ、乾燥密度、斜面の角度を様々に変えて、結果を比較した。

第5章は、ケース1の実験結果と考察である。要素試験による先行研究と同じく、雨水浸透の段階での弾性波速度低下と、その後の土槽傾斜の段階でのせん断変形に伴う急速な速度低下が認められた。弾性波の到達時間を、加振器と振動センサーの直線距離で割った平均弾性波速度で評価した場合、弾性波速度の低下率を、体積含水比の増加量の一次関数、表層のせん断変形（傾斜変位）の増加量の一次関数として、それぞれ表現できた。しかしその低下率は、表層の厚さ、乾燥密度、斜面の角度の条件にはあまり依存しなかった。

第6章は、ケース2の実験結果と考察である。雨水浸透による体積含水比の増加と、表層のせん断ひずみとが並行して生じ、それぞれに応じて弾性波速度が低下した。これらの速度低下率は、第5章で見いだした体積含水比に応じた速度低下率の一次関数と、せん断変形に応じた速度低下率の一次関数との、積として表すことができた。特に、雨水浸透が進行してせん断ひずみが始まった後は、弾性波速度が急速に低下したが、そのときの初期状態からの速度低下率は8～13%程度だった。

第7章は、模型実験で測定した弾性波に関する確認である。同じ土の不飽和供試体に1次元圧縮をかけてP波、S波の速度を測定し、模型実験で測定された弾性波速度と比較した。応力レベルの影響も考察した結果、模型実験ではS波に近い速度が観測されていることが分かった。

第8章は、上記の結果を大型模型実験で確認した。より強い衝撃力が出る加振装置を新しく開発して弾性波を測定し、雨水浸透に伴う速度低下を確認した。

以上の研究成果を、第7章にまとめている。

弾性波を、地盤中の飽和度の測定や斜面災害の前兆の監視に用いる試みは、これまでにほとんどない。本研究は、主に小型の模型実験ではあるが、一定の厚さの表層を持つ斜面地盤で、雨水浸透とせん断変形による弾性波速度の低下を、それぞれ定量的に表現し、両者が同時に起こる場合も、それぞれの影響の積として説明できると結論した。これにより、弾性波による斜面監視の手法を実斜面に適用するための、基礎的な知見を得ることができた。

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。