

審査の結果の要旨

氏名 鄧 検良

本論文は Case studies on the mechanism of earthquake-induced failure of dip slopes containing a weak layer (弱層を含む流れ盤斜面の地震時崩壊メカニズムに関する事例研究) と題した英文の論文である。

2004年の新潟県中越地震では、斜面崩壊が多数生じて河道閉塞や家屋・道路等の被害を引き起こした。被災した地域は活褶曲地帯であったために、斜面と平行な地層構造を有する流れ盤構造が崩壊した事例も多かった。特に、小千谷市横渡と旧山古志村東竹沢で発生した斜面崩壊は、流れ盤構造であったことに加えて、地層中の既存の弱層をすべり面とした崩壊が生じた点が特徴的であった。

これらのような弱層を含む流れ盤斜面の地震時崩壊現象については、地盤工学的な観点から検討を行った例は限定的であり、弱層の強度特性等については未解明な点が多い。また、すべり破壊が生じた場合にどの程度まですべり変位が発生するかについての検討は十分には行われていない。特に、2004年新潟県中越地震では、地震発生の数日前に大量の降雨があり、その影響を考慮した検討を実施する必要がある。

以上の背景のもとで、本研究では前述した横渡と東竹沢の2箇所における斜面崩壊を対象として、原位置で採取した乱れの少ない試料を用いた室内土質試験を系統的に行って弱層の強度特性を明らかにするとともに、その結果を用いた安定解析と地震時変位解析を行い、最終的にはこれらの斜面の地震時崩壊メカニズムを解明することを目的とした事例検討を実施している。

第一章では、既往の研究を整理したうえで本研究の目的を設定し、論文全体の構成について説明している。

第二章では、関連研究として別途実施された原位置調査の結果のうち、本研究の内容に関わる成果についてとりまとめている。

第三章では、試験装置と試験方法および試験に用いた試料の詳細について記述している。各斜面において今回の地震ではすべり破壊の生じなかった位置で弱層を含む試料をブロックサンプリングにより採取し、主として三軸試験に供している。さらに、横渡ではボーリング孔を利用した試料採取も行って、ブロックサンプリング試料との比較を行っている。一方で、東竹沢で採取したブロックサンプリング試料については、その一部を用いて単純せん断試験も実施している。

第四章では、試験結果を提示してその考察を行っている。単調載荷試験の結果に基づいて強度定数を求めるとともに、非排水繰返し載荷試験の結果に基づいて地震中の過剰間隙水圧の発生量を評価している。破壊時には弱層にひずみの局所化が生じることを示し、弱層面の角度が供試体ごとにばらつく点を考慮してせん断抵抗角の評価を行っている。横渡の弱層は一部空洞を含む凝灰岩質のゆるい砂層であるために、地震中に過剰間隙水圧が初期有効応力の55%程度まで発生する可能性があることを示す一方で、東竹沢の弱層は塑性指数19の砂質シルトであるために地震中の過剰間隙水圧の発生量は限定的であることを示している。東竹沢の試料については繰返し単純せん断試験も実施して、累積せん断変位の増加とともに明確なひずみ軟化現象が生じ、その特性は繰返しせん断変位振幅や高拘束圧の違いによらないことを明らかにしている。さらに、厚さの異なる砂層を有する人工供試体の繰返し三軸試験も実施して、試験結果に及ぼすシステムコンプライアンスの影響を定量的に評価している。

第五章では、試験結果として得られた弱層の強度特性を用いた安定解析の結果を記述している。地震前には降雨により地下水位が上昇しても斜面の安定が保たれる一方で、地震時には水平震度0.3~0.35相当の地震力が作用することにより斜面がすべり破壊をおこすという結果が得られ、実際の挙動と整合することを見出している。

第六章では、すべり破壊が生じた後の地震時変位量の解析結果について記述している。横渡の事例に対しては、飽和した弱層で過剰間隙水圧が発生する影響を考慮し、さらに地形の影響も考慮することにより実事例と同程度な大変位が解析でも得られることを示している。また、東竹沢の事例に対しては、弱層のひずみ軟化特性を考慮し、さらに地形の影響も考慮することにより実事例よりやや小さい変位が解析で得られることを明らかにしている。東竹沢の事例で解析値が過小評価された理由として、試料を採取した位置での弱層の特性が、必ずしもすべり面全体の特性を代表していない可能性を指摘している。

第七章では、本研究で得られた成果を結論としてまとめ、今後の課題を整理している。

以上をまとめると、本研究では、弱層を含む流れ盤斜面が崩壊した2事例を対象として、室内土質試験により弱層の強度特性を測定するとともに、安定解析と地震時変位解析により地震前の降雨の影響と地震動自体の影響を明らかにし、これらの結果に基づいて地震時崩壊メカニズムを解明している。このことは地盤工学の進歩への重要な貢献である。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。