

氏名	ただ やすゆき 多田泰之
学位の種類	博士(農学)
学位記番号	甲第320号
学位授与年月日	平成16年 3月12日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	斜面土層内に発達するパイプと斜面の安定性
学位論文審査委員	(主査) 奥村武信 (副査) 田熊勝利 深田三夫 橋本 哲 藤村 尚

学位論文の内容の要旨

森林斜面土層内にはパイプと呼ばれる管路状の連続した大孔隙が存在する。このパイプは高い排水性をもち、山地斜面の雨水流出機構に大きく関与していることが知られている。一方で、崩壊発生前に湧水の停止や湧水の突発的噴出等の現象が経験的に知られていることや崩壊地滑落崖に多量の湧水や湧水痕跡が観察されていることなどから、パイプ流と崩壊現象の関連が考えられる。現に、ここ30年間に全国で発生した9,372件の崩壊地のうち約20%で、地質の種別に関係なく湧水が認められている。このことから、パイプから排出される地中水と崩壊の関連性を解明することは、崩壊発生メカニズムをよりよく理解するだけでなく警戒・避難対策を策定する上でも非常に重要であると考えられる。そこで本論文で、森林斜面土層内に発達するパイプが斜面安定性に及ぼす影響を、模型実験および数値解析的手法によって検討した。また、パイプが斜面の安定性に関与するとすれば、不均一な斜面土層の種々の物性ならびに‘水みち’の存在位置を精度よく推定する必要がある。しかし現時点ではこれらを精度よく推定する手法が無いので、これらを推定する手法を新たに提示した。

本論Ⅱ. では、パイプの斜面安定に及ぼす影響を検討するために行った、模型土槽と人工降雨装置を用いた崩壊実験とその結果に関する考察を述べている。実験条件はパイプの無い場合と、パイプを模した多孔管を模型土槽底に設置し①パイプが土層外へ開口し、完全な排水系として働く場合、②パイプの一部が閉塞した不完全な排水系の場合、③完全な排水系として働いているパイプが途中で閉塞し、不完全になる場合の4条件とした。実験で測定した間隙水圧の挙動・土層の変形および簡便Janbu法によった斜面の安定解析から、次の知見を得た。①パイプが土層外へ開口する排水システムとして完全なパイプ系は崩壊発生を遅延する。場合によっては、崩壊発生そのものも発生しない。これは、パイプがその存在する範囲での飽和帯形成を抑制し、間隙水圧の上昇を防ぐことで、斜面の不安定化を妨げるためである。②パイプの一部が閉塞した、排水システムとして不完全なパイプ系は、崩壊発生を早める。これはパイプに一旦集水された土中水が、閉塞点で土層へ還流し、閉塞点近傍の間隙水圧を急激に上昇させ、閉塞点近傍土層を不安定化するためである。閉塞点近傍土層の局所的飽和が原因で不安定化した土層が滑動すると、上部土層がこの土層に連行された形態の崩壊となる。そのためパイプの無い場合よりも短時間で土層が崩壊する。③不完全な排水システムの場合でも、排水系の一

部が降雨初期から閉塞している場合より、パイプ流量が生起時に閉塞した場合の方が崩壊を早める。これは、後者は閉塞時にパイプ孔内に土中水が流れているため、閉塞直後から地中水が土層へ還流し、閉塞点での急激な間隙水圧の上昇が発生するためである。

Ⅲ. では、パイプなどの‘水みち’の関与する崩壊発生時刻を精度よく予測するための解析方法を検討するために、模型実験で得た間隙水圧分布の再現を試みた。パイプの閉塞条件に起因する特徴的な間隙水圧分布は、パイプを傾斜方向に非常に大きな透水性をもつ異方性土層に置き換えることで、常例の有限要素法による飽和－不飽和浸透流解析で良好に再現できた。山腹土層の浸透解析に水みちを組み込めば、崩壊発生時刻の予測精度が向上するものと考えられる。

Ⅳ. では、水みちを有する斜面の安定度を評価する場合に必要な斜面土層の物理性、および水みち経路を推定する手法を提案した。土層のせん断強度、保水性、透水性などの土層の物理性を簡易貫入試験機によって求められる貫入抵抗から評価する試みは従来からもされてきた。しかし、それらの手法では精度良く推定できていないと言ってよい。そこで、従来よりも軽いウエイトを使って求めた貫入抵抗値と従前の貫入抵抗値からの土層物理性推定の精度を比較した。また、母岩の風化程度を表す指標とされている土色を土層の物理性推定のための新たなツールとすることを考え、その精度を検討した。次の結果が得られた。①2kg ウエイトで得た貫入抵抗値を適用することで、土層の物理性の推定精度は改善される。これは 2kg ウエイトの適用で貫入抵抗値の分解能が向上するためである。②調査した母岩種の範囲では、土色計で得られる値を適用することでせん断強度を除く土層の多くの物性値を良好に推定できた。今後異なる地質においても検討する必要があるが、土層の物理性推定の新たな指標として土色計で得られる値を適用する可能性を見出した。③斜面土層に穿った多くの孔で地温の鉛直分布を測定することで浅層水みちの3次元的位置を推定した。推定された水みち経路は約40cm 以内の偏差で掘削現認され、斜面土層中の浅い水みち位置推定への本手法の有効性を確認した。本手法は、貫入試験を行いつつ地温測定孔を穿つことで貫入抵抗値と地温の深度分布の対比が可能なので、水みちの存在形態も推定できる利点をもつ。

本論文で扱った斜面土層内に発達するパイプの存在が表層崩壊に及ぼす影響、その排水機能の不全による崩壊発生および発生時刻への影響の解明や、パイプを組み込んだ浸透流解析法による発生時刻予測精度の向上は、土砂災害防止軽減といった国民の安全と安心のための方策の改善に役立つものだと考える。とりわけ、災害発生を未然に防止するための避難勧告を出すタイミングを決定するのに重要な意味をもつ。また、本論文で検討した軽量のウエイトを適用した貫入抵抗値あるいは土色から土層物性を評価する手法、土層の地温分布から土中パイプのような水みち位置を決定する手法は、土中パイプを賦存する自然斜面の崩壊発生時刻を前記の解析でより精度よく推定する上で有用である。

論文審査の結果の要旨

降雨に伴う斜面土層崩壊発生前兆としての湧水停止現象は経験的に知られているところであり、崩壊地頭部滑落崖に地中水の集中流出やその痕跡が発見されることも多い。この湧水は多くの場合斜面土層内に管路状に発達する連続した大孔隙＝パイプを通じての流出である。本論文は、このパイプ系が高い排水性を維持する場合と何らかの障碍でパイプ系が排水システムとして機能しなくなった場合の斜面土層の安定性への影響を実験的・解析的に解明し、水みちを有する斜面安定度を評価する場合に

必要となる斜面土層の物理性および水みち経路推定手法を提案したものである。

本論Ⅱ. では、パイプに擬した多孔管をもつ模型土槽と人工降雨装置を用いた崩壊実験と簡便 Janbu 法解析により斜面土層内に発達するパイプの存在およびその排水機能の全・不全による崩壊発生および発生時刻への影響を論じている。①排水システムとして完全なパイプ系は、パイプがその存在する範囲の土層内での飽和帯形成・間隙水圧上昇を抑制し斜面の不安定化を妨げることで崩壊発生を遅延させ、場合によっては崩壊発生そのものもない。②一部が閉塞した排水システムとして不完全なパイプ系では、一旦パイプに集水され閉塞点で土層へ環流する土中水が閉塞点近傍の間隙水圧を急速に上昇させ土層を不安定化するために崩壊発生を早める。局所的飽和が原因で不安定化した閉塞点近傍土層が滑動すると、上部土層もこの土層に連行された形態で崩壊する。③降雨初期から排水システムが不完全な場合とパイプ流生起後に閉塞して不完全となる場合を比較すると、後者の方が土層へ環流する水量が多く閉塞点近傍での間隙水圧上昇が急激に発生し崩壊を早める。との知見を得ている。これら現象の解明は、従来推論段階に止まっていた現象の理解を進展させるものである。

本論Ⅲ. では、常例の有限要素法による飽和－不飽和浸透流解析によって模型実験で得た間隙水圧分布の再現を試み、パイプを傾斜方向に非常に大きな透水性をもつ異方性土層に置換すればこの数理モデルでパイプ系の存在やその閉塞に起因する土層内の特徴的な間隙水圧分布が計算可能であることを論じ、降雨強度が異なる場合の試算した間隙水圧分布と動的計画法を用いた臨界すべり面解析によって土層の安定度を検討し、降雨強度が小さいほど崩壊発生に及ぼすパイプの影響は大きく崩壊発生時刻に大きな差が生じると論じている。提案された解析手法によって、従来指摘されてきた土層内の水移動の不均質に起因する崩壊発生時刻予測精度の悪さが改善されるものと判断できる。

未だ概念を提示する研究段階にあったパイプ流の崩壊に及ぼす影響の問題に数理モデルによる解析手法の可能性を提示したことは、災害発生未然防止のための避難勧告発出のタイミングを決定する行政技術上でも重要な意味をもち、土砂災害防止軽減といった国民の安全と安心のための方策の向上に有益である。

本論Ⅳ. では、水みちを有する斜面安定度を評価する場合に必要となる斜面土層の物理性および水みち経路を推定する手法を提案している。内容は3項である。第1は従前の簡易貫入試験により軽量の2 kg 重錐を適用すること、第2は地すべり調査の分野でも母岩の風化程度を表す指標に適用例のある土色を土層物理特性値推定のツールとすること、第3は地すべり地内の地下水脈探索法として適用例の多い「1m深地温探査」と「多点温度検層」の概念を融合させた浅層水みちの3次元的位置を推定する調査・解析手法である。前2者の結果は異なる地質においても検証する必要があるけれども、土色値は検土杖や半円形刃先ハンドオーガー等を用いて少量の土試料を採取すれば判定できるのでの土層物理特性指標としての定式化が望まれる。

提案された浅層水みちの3次元的位置推定手法は、極めて良好な結果を得ている。この手法は貫入試験と同時並行的に地温探査をするもので、貫入抵抗値と地温の深度分布を対比することで水みちの存在形態も推定できる利点をもつ。提案された手法は未完成な部分もあるが、ものの考え方は斜面土層内での不均質な土層の透水性、強度特性を把握する技術の進展、上記の崩壊発生時刻予測精度改善に寄与するものである。

以上のように、本研究の手法には独創的なものが多くあり、その成果は関連分野の学術的、技術的水準を高揚するものである。本論文は博士（農学）の学位論文に値すると認められる。