

京都大学工学部地球工学科 学生員 ○池永 隼也
京都大学大学院工学研究科 正会員 大津 宏康

1. はじめに

近年日本において、温暖化に伴う気候変動の影響の一つと捉えられる短期間集中豪雨が多発しており、それに伴い斜面崩壊による被害が拡大する傾向にある。そのような被害を軽減・防止するソフト対策として一般的には図-1に示すような土砂災害早期警戒体制が用いられ、統計的手法により定めた限界包絡線によって規制を行っている。しかし、現行の規制値では地盤内への雨水の浸透挙動や地盤内の実際の雨水による影響が反映されていない。そこで、本研究ではまずタンクモデル解析を行うことで斜面表層における雨水の流出浸透特性を把握する。そして、実際に斜面の不安定化に寄与する間隙圧と各種降雨指標の相関性をみることで指標の妥当性を検討し、最終的に土砂災害早期警戒体制における注意喚起領域を提案する。なお、本研究では短期間集中豪雨による斜面浅層崩壊を対象とした図-1の領域2に関して検討を行った。

2. 3連マルチタンクモデルによる解析

短期間集中豪雨時の斜面における雨水流出浸透特性解明を目的として、タイにおいて、降雨特性が短期間集中豪雨と等価と推定されるスコール時の斜面における原位置計測（体積含水率・降雨量・間隙圧・表面流出量）を実施している¹⁾。その原位置計測結果をもとに本研究では斜面表層に対して、図-2に示すような3連マルチタンクモデルを適用し解析を行った。3連マルチタンクモデル解析では、観測値として斜面中腹部の浸透量および斜面法尻部の流出量を与えて逆解析・誤差計算を行うことで、3つのタンクそれぞれの流出係数・浸透係数を推定している。

斜面における浸透特性を把握するために、タンクモデルによる解析結果からタイ・プーケットにおける2012年11月21日の中腹部と法尻部の浸透量を比較したものを図-3に示す。この図によると、降雨時の浸透量は中腹部と法尻部でほぼ等しいということが分かる。一方、同日のGL-0.6mの体積含水率を中腹部と法尻部で比較した

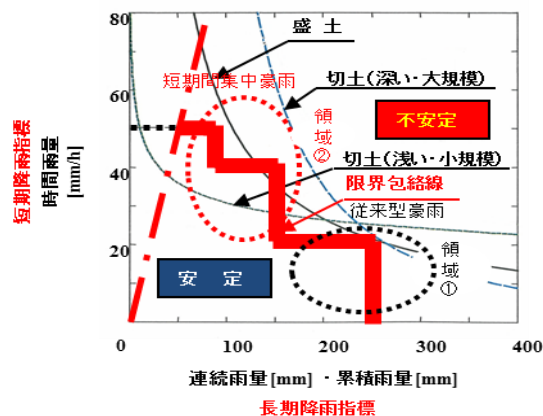


図-1 既往の土砂災害早期警戒体制

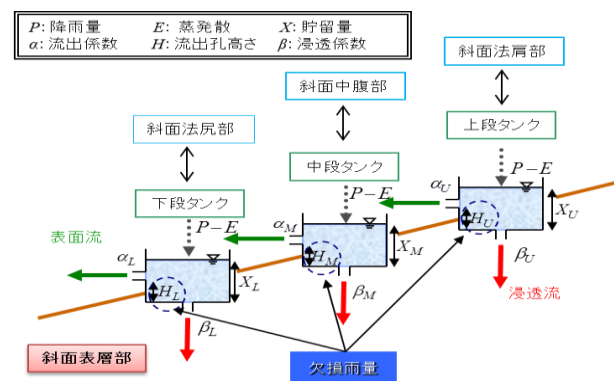


図-2 3連マルチタンクモデル

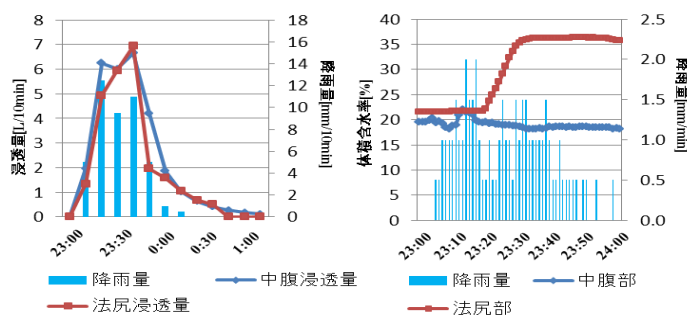


図-3 浸透量の比較

図-4 体積含水率の比較

図-4をみると、降雨時の体積含水率は法尻部が中腹部に比べて明らかに上昇していることが分かる。以上のことから、中腹部と法尻部では地盤内に浸透している雨量はほぼ等しいにもかかわらず地盤内に貯留されている雨量は法尻部の方が多い、中腹部よりも法尻部の方が雨水を貯留しやすく豪雨時に危険な状態になりやすいということが分かった。よって、本研究では法尻部の方が危険に

なりやすいことから法尻部における原位置計測結果，中でも斜面崩壊に大きく影響を及ぼす間隙圧の計測結果をもとに降雨指標を検討し，土砂災害早期警戒体制における注意喚起領域を設定する。

3. 注意喚起領域の設定

土砂災害早期警戒体制において長期降雨指標として用いられる連続雨量としては6時間無降雨でリセットされるものと12時間無降雨でリセットされるものの2つがあるが，本研究ではそれぞれ連続雨量1・連続雨量2と総称する。図-5に示す2種の連続雨量の推移をみると，連続雨量1はリセットされるまでの無降雨時間が短いので先行降雨による間隙圧の影響を正しく評価できていないことが分かる。よって本研究では連続雨量2を採用する。

早期警戒体制に用いる連続雨量2・時間雨量と法尻部における間隙圧の最大値同士のプロットしたものを図-6に示す。間隙圧は斜面浅層崩壊の可能性があるGL-1.0mの値を用いている。この図を見ると連続雨量2・時間雨量ともに間隙圧と正の相関がとれており，連続雨量2および時間雨量が間隙圧の上昇を評価でき，降雨指標として適切であることが分かる。また，赤い点線で囲った部分を見ると，連続雨量2では40mm程度，時間雨量では25mm程度に達すると間隙圧が正圧領域でさらに上昇する傾向がみられることが分かる。よって本研究では連続雨量2で40mm，時間雨量で25mmを超えると斜面が不安定化しやすい状況になると考え，図-7に示すような土砂災害早期警戒体制における注意喚起領域を提案する。図には実際の降雨履歴(スネークカーブ)も描いている。黒線は間隙圧が0に達しなかった降雨で，赤線は間隙圧が0以上に達した降雨である。図をみると注意喚起領域に達しているにも関わらず，間隙圧が0以上に達していない降雨がある。この降雨は降雨開始時の間隙圧が-11.1であり，低サクション状態で降雨が開始したということから，基準値を超えて注意喚起領域に達しても間隙圧が0以上に達しなかったと考えられる。このことから，豪雨時に斜面が危険な状態に達するかどうかは，降雨開始時のサクションの状態にも依存するということが推察される。よって今後は，降雨開始時のサクション状態によって降雨を分類し考察を加えていく予定である。

4. まとめ

本研究では，タイ・プーケットにおける実斜面に対して3連マルチタンクモデルを適用することで，法尻部

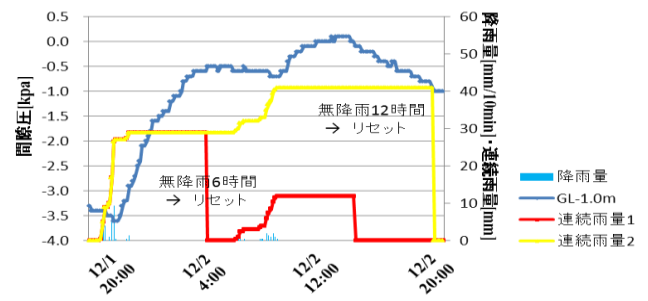


図-5 連続雨量の推移

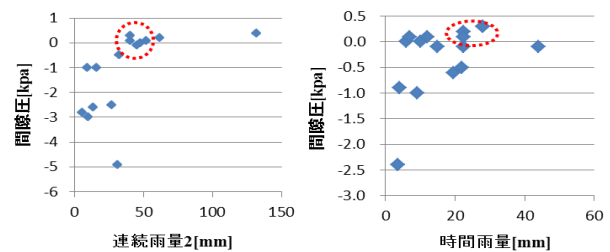


図-6 降雨指標と間隙圧の相関

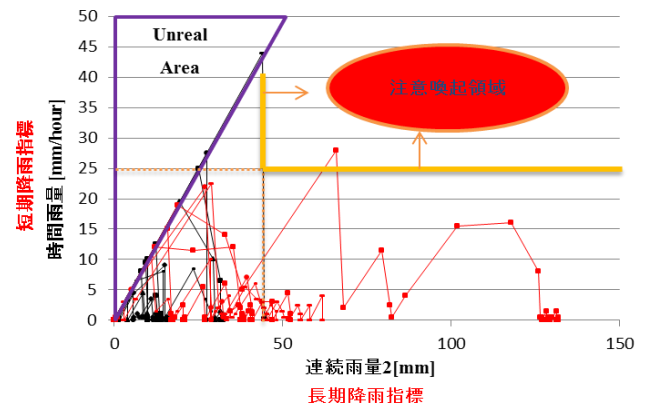


図-7 注意喚起領域

の方が中腹部よりも雨水を貯留しやすく，豪雨時に危険な状態になりやすいということが分かった。それをもとに，斜面法尻部GL-1.0mにおける間隙圧と降雨指標の相関を見ることで，連続雨量2で40mm，時間雨量で25mmを基準値と考え，両基準値を上回る領域を豪雨時の斜面浅層崩壊を対象とした土砂災害早期警戒体制における注意喚起領域と設定した。しかし，降雨開始時のサクション状態によっては注意喚起領域に達しても間隙圧が高くない場合もあることから，今後は降雨開始時のサクションによる降雨の分類を行い，考察を加えていく予定である。

参考文献

- 1) 大津宏康，堀田洋平，高橋健二，中村一樹，新村知也：熱帯性豪雨(スコール)に起因する斜面降雨浸透に関する原位置モニタリング，地盤の環境・計測技術に関するシンポジウム2009論文集，pp1-6，2009。