

降雨模型実験からみた竹林斜面の崩壊メカニズムとその類型化

福岡大学大学院 学生会員 松尾 雅伸

福岡大学工学部 正会員 佐藤 研一 藤川 拓朗 古賀 千佳嗣

1. はじめに 近年の豪雨災害がもたらす斜面崩壊において、竹林地帯における被害が多数報告されている。しかしながら、竹林は斜面崩壊の素因となる一方で抵抗因子となり得る考えもあり、竹林地帯の斜面崩壊のメカニズムは未だ明らかでないのが実情である。そのため著者らは、これまで竹林と斜面崩壊の因果関係を明らかにすべく、竹の根茎網を麻布でモデル化した一連の研究を行ってきた^{1),2)}。本報告では、これまで実施した竹林斜面を模擬した一連の模型実験の結果をもとに斜面の崩壊メカニズムを類型化し、得られた知見について報告する。

2. 実験概要

2-1 実験試料 実験試料は、まさ土に、シリカパウダーを用いて細粒分含有率を10%に調整を行ったものを用いた。各試料の物理特性を表-1に示す。また、日浦ら³⁾は竹林根茎網を模擬する材料として麻布(写真-1)を用いており、本報告でもこれに倣い目合い約3mmの麻布を縦6cm×横6cmで用いて実験を行っている。(以下、麻布を根茎網と定義する。)

2-2 実験装置 実験に用いた降雨模型実験装置の概略図を図-1(a), (b)に示す。この装置は長さ50cm、幅30cmと長さ60cm、幅30cmの亚克力板をそれぞれ傾斜20°と傾斜40°を組み替えて構成し、2パターンの斜面において検討を行った。また、降雨装置は、装置内の水位を調整し、降雨強度をコントロールする仕組みである。模型土槽の底部は亚克力板であるため、摩擦が少ないことから滑り止めを敷設している。

2-3 実験手順 まず間隙水圧計 P-1～P-4 を斜面底部に設置する。次に試料の初期含水比を10%に調整し、均一に混ぜた試料を所定の密度($\rho_t=1.65\text{g/cm}^3$)となるように斜面の作製を行う。その後、加速度計 A-1～A-

表-1 物理特性

試料名	まさ土	シリカパウダー
土粒子の密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$	2.642	2.600
初期含水比 $w(\%)$	8.7	0.2
強熱減量 $lg-loss(\%)$	2.9	0.3
細粒分含有率 $F_{20}(\%)$	6.9	100.0



写真-1 竹林の根茎網と模擬材料の麻布

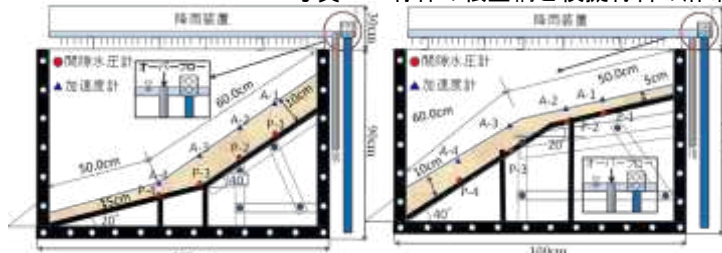


図-1(a) 降雨模型実験装置(斜面 A)

(b) (斜面 B)

4 を斜面表層部に埋設し、降雨強度を調整後、録画・間隙水圧・加速度の記録を開始する。麻布の敷設深さは、竹林が地表面付近を生育する特徴より斜面表層部から深さ2cmの箇所に敷設している。降雨強度は設定できる最低値の144mm/hとし、実際の降雨強度より強いものの、雨水の浸透による斜面内間隙水圧分布と斜面の崩壊形態を調べるためこの値を用いている。実験条件として斜面の形状や麻布の敷設範囲や間隔を変えて全19ケースを行っている。

3. 実験結果及び考察

3-1 間隙水圧及び加速度の発生挙動と PIV 解析 本報告では、初期段階に流動化が生じ崩壊が発生したものを小規模崩壊、流動化やすべり面を伴う広範囲に及ぶ崩壊を大規模崩壊と定義する。また、実際の崩壊の分類とは異なるが、根茎網以浅での崩壊を表層崩壊、根茎網より深い箇所から滑る崩壊を深層崩壊と定義する。図-2 に模型実験により得られる結果の一例として間隙水圧及び加速度の発生挙動を示す。この図より降雨開始後、間隙水圧は各地

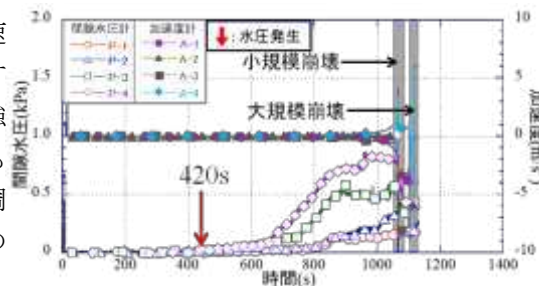


図-2 間隙水圧及び加速度の発生挙動の一例

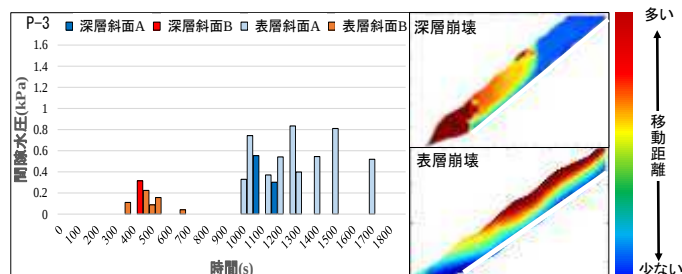


図-3 崩壊発生時の時間と間隙水圧の関係と模型斜面側面における PIV 解析の一例

点で上昇し、やがて小規模崩壊が発生し、その後に大規模崩壊に至ったことが分かる。また、図-3 に崩壊発生時の時間と間隙水圧の関係と模型斜面側面における PIV 解析の一例を示す。ここで PIV とは粒子画像流速測定法(Particle Image Velocimetry)の略で、画像解析を用いて地盤の変形量を求めることができる手法である⁴⁾。そこで、この手法を用いて模型斜面の崩壊の発生地点や深さを把握し、土砂の移動(青→赤:変形量が大い)を確認している。

表-2 根茎網の敷設状況と模型実験により得られた崩壊形態

崩壊形態	深層崩壊		表層崩壊										崩壊なし
	後退性崩壊		流動性崩壊										
崩壊の時間	速い ← → 遅い												
実験条件													
	斜面A 20°×40°	緩斜面全体	敷設なし	急斜面全体 縦10×横4間隔	急斜面下部 縦4×横4等間隔	急斜面全体 縦4×横4等間隔	急斜面下部 広範囲	急斜面全体					斜面全体
	斜面B 40°×20°	敷設なし		斜面下部から 上部へ減少	急斜面から 緩斜面	急斜面下部 広範囲	斜面両端	急斜面下部 等間隔	凸形尾根型	凹形尾根型	凹形谷型	凸形谷型	急斜面 全体

3-2 竹林斜面の崩壊メカニズムの類型化 表-2 に検

討を行った全 19 ケースにおける根茎網の敷設状況と模型実験により得られた崩壊形態を斜面形状ごとに示す。斜面 A の表層崩壊では、根茎網の敷設面積が増加(疎→密)するにつれて崩壊の時間が遅くなる傾向がみられた。斜面 B のような斜面の末端が急斜面の場合は、どの敷設条件においても斜面 A に比べて早い時間で崩壊に至ることが分かった。また、竹林の繁殖タイプを考慮した 4 条件²⁾においては、斜面中腹から流動性崩壊が発生する。その後、斜面上部の不安定化に伴い、深層崩壊に至るケースも確認された。表-2 で得られた結果を基に図-4 に豪雨による竹林斜面の崩壊メカニズムの類型化を行った結果について示す。前提条件として、まず斜面(含水比

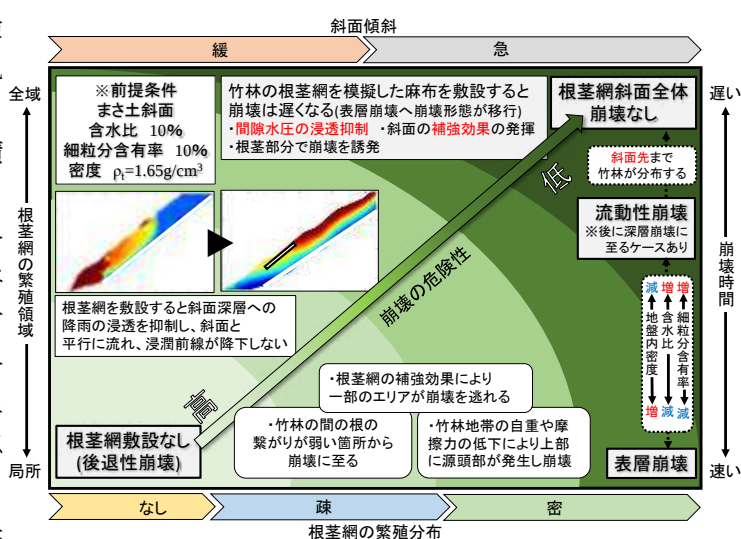


図-4 豪雨による竹林斜面の崩壊メカニズムの類型化

10%、細粒分含有率 10%、密度 1.65g/cm³、降雨強度 144mm/h、緩斜面 20°、急斜面 40°)について検討を行った。根茎網の敷設領域と敷設分布の関係より、根茎網敷設なし斜面においては、崩壊までの時間が最も速く、後退性崩壊⁵⁾という崩壊形態を辿る深層崩壊に至り、崩壊の危険性が非常に高い。これに根茎網を敷設することで、斜面深層への雨水の浸透を抑制し、浸潤前線が斜面と平行に流れ、崩壊形態が表層崩壊へと移行する傾向にあると分かった。さらに、根茎網の敷設領域が広くなるにつれ、崩壊時間が敷設なしに比べて遅くなる傾向にあることから斜面の補強効果を発揮していると示唆される。しかしながら、根茎網の繁殖分布が疎の状態では根茎網同士の繋がりやの弱い箇所から崩壊が発生し、崩壊を逃れるエリアも見受けられた。一方、根茎網の敷設分布が密の状態になるにつれて降雨による竹林地帯の自重の増加や根茎網の持つ斜面の滑りに抵抗する力が低下することが原因となり、根茎網とその周辺の土砂が一体となって崩壊に至るように崩壊形態が変化することが示唆された。また、根茎網の分布と崩壊時間の関係に着目すると、これまでの研究⁹⁾により密の状態の中でも地盤内密度、含水比、細粒分含有率などの地盤条件が変わることで、時間をかけて降雨が浸透して発生する流動性崩壊へと崩壊形態が変化する傾向が示されている。さらに、根茎網を斜面全域まで敷設することで、崩壊の危険性が低くなると考えられる。以上のことより、今回の模型実験において根茎網の繁殖しやすい急斜面では、斜面の全域に分布することで崩壊の危険性は低くなると考えられる。一方で、根茎網の繁殖分布が疎の状態や局所的に繁殖する場合には、崩壊の危険性が高まることが示唆された。

4. まとめ 麻布を用いた竹林地帯の根茎網を模擬する模型斜面実験により、根茎網の敷設分布や領域、地盤条件の違いにより崩壊の形態や時間に影響を及ぼすことが明らかとなった。今後は、この竹林斜面の崩壊メカニズムの類型化と実地盤における斜面崩壊挙動について照査を行う必要がある。

- 【参考文献】1)高口ら：竹林の繁殖状況に着目した豪雨時の斜面崩壊メカニズムの検討，土木学会西部支部研究発表会，2017.3
2)松尾ら：斜面形状が豪雨時の竹林地帯の斜面崩壊に及ぼす影響，第53回地盤工学研究発表会，pp2007-2008，2018 3)日浦啓全：都市周辺山麓部の放置竹林の拡大に伴う土砂災害危険性，Journal of the Japan Landslide Society，pp.323-334，2004 4)柳原ら：粒子画像流速測定法(PIV)を用いた崩壊の同画像解析，砂防学会誌，pp33-38，2004 5)沖村孝：山腹表層崩壊発生位置の余地に関する研究，土木学会論文報告集，pp113-120，1983