



題目：竹林地下部の力学的効果を考慮した斜面安定解析手法の構築

第1章 序論

近年、西日本を中心に管理が放棄された竹林が拡大し、周辺の植生に侵入することで植生の急激な変化が起こっている。植生には斜面を安定化し、崩壊深の小さい表層崩壊の発生を抑止する効果があるため、森林から竹林へと植生が変化することによる斜面の不安定化が危惧される。木本植生の表層崩壊発生抑止効果については多くの先行研究があり、主に根系がすべり面を貫入することによるせん断抵抗力の増強として評価されている。竹林の地下茎や根系（本研究では合わせて竹林地下部と呼ぶ。）は土層の浅い部分に集中しているため、同様の斜面安定解析手法ではその効果が評価できない。しかし、竹林の場合、地下茎が地表に沿って網目状の構造を形成し、斜面全体を覆うようにして表層崩壊を抑止する効果が考えられる。このような竹林地下部特有の斜面安定効果を評価するためには、竹林地下部の強度特性を知った上で、竹林地下部の効果を組み入れた新たな斜面安定解析手法を構築する必要がある。そこで本研究では、モウソウチク (*Phyllostachys pubescens*) 林を対象に、竹林地下部の強度特性を試験や調査により明らかにするとともに、竹林地下部の力学的効果を考慮した斜面安定解析手法を構築し、実際に発生した竹林斜面での表層崩壊事例の再現計算を行うことで、構築した手法の適用性を検証した。

第2章 既往の研究

まず、森林植生の根系がもつ斜面安定効果および従来の斜面安定解析手法での竹林地下部の評価に関する知見をまとめた。つぎに、竹林の周辺植生への侵入・拡大と竹林地下茎の伸長との関係および管理放棄された竹林の地下茎や根系の生態的特徴についての研究をまとめた。最後に、竹林の拡大や管理放棄と表層崩壊発生の危険性との関係についての研究をまとめた。これらの研究の知見に基づいて竹林の斜面安定効果の評価法や斜面安定解析に用いる強度特性などの解明すべき課題について整理し、本研究の課題設定を行った。

第3章 竹林地下部の強度特性

斜面安定解析に必要な竹林地下部の引張破断強度やせん断強度などの強度特性についてはこれまでに研究例が少なく、斜面安定解析に用いる値が得られていない。竹林地下部は、竹稈

を連結し節や髓孔のようなタケ類特有の組織を有する地下茎と、地下茎を周囲の土砂と一体化させるような効果を持つ根系から構成される。地下茎の強度特性を明らかにするために、まず、生育時に発生した曲りや扁平、ねじれなどの形状を保持したままの地下茎を実大試験体として用いた引張試験を行った。つぎに、地下茎の部位別の強度特性を明らかにするために、節部を有する試験片（節部試験片と呼ぶ。）と節間のみの試験片（節間試験片と呼ぶ。）を用いてそれぞれ引張試験を行った。節部試験片と節間試験片による引張試験の結果、節部試験片は節間試験片に比べて破断に至るまでの最大荷重が約 50% 小さかった。実大試験体による引張試験においてもほとんどの実大試験体が節や節近傍で破断が認められたことから、地下茎の節部が引張に対する弱点となることが明らかになった。それら引張試験の結果から斜面安定解析に用いる破断面積と引張破断荷重との関係式を求めた。一方、根系の効果については根系による土のせん断抵抗力 C の増強分 ΔC に着目し、密集して根系が含まれている土層から非攪乱で採取した土塊と、根系を除いた土砂でのせん断試験を行い、それらの結果の比較から ΔC を求めた。地下部全体の崩壊に対する抵抗力は、根系によるせん断抵抗力の増強による効果に比べて地下茎の引張破断強度による効果の方が寄与していると考えられた。したがって、竹林斜面の斜面安定解析に用いる竹林地下部の強度特性としては、地下茎の引張破断強度を取り入れるべきであると考えられた。

第 4 章 竹林地下部の力学的効果を考慮した斜面安定モデルの構築

本章では、京都府内の斜面勾配の異なる 3 つの竹林斜面で行った地下部の分布調査結果に基づき、竹林地下部の力学的効果を考慮した新しい斜面安定モデルを構築した。

竹林地下部の分布調査の結果、地下茎の出現本数は平均で 4.2 本/m²、直径 24.8 mm となり、根系の出現本数は平均で 60.3 本/m²、直径 3.2 mm であった。また、出現本数に与える竹稈の本数密度や斜面勾配の影響は小さかった。地下部の分布は勾配が急になるにつれて地表面付近に集中する傾向が示唆され、竹林地下部の分布範囲は鉛直深さ約 1m までであることが確認できた。

これらの結果より、崩壊の危険性のある斜面において竹林地下部の斜面安定への影響範囲は鉛直深さ 1m までであると考えられた。竹林地下部の力学的効果は、崩壊周縁部の表層付近において上端面での吊り上げ効果と側面でのせん断抵抗力の増強効果とし、これらの力学的効果が評価可能な 3 次元斜面安定モデルを新たに構築した。

第 5 章 斜面安定モデルの崩壊事例への適用性の検証

本章では、竹林斜面で実際に発生した表層崩壊の現地調査から得られた崩壊の特徴および崩壊周縁部に残存した地下茎の分布特性や破断形状について述べる。また、これらの結果と前述した斜面安定モデルを用いて実際の表層崩壊事例の再現計算を行い斜面安定モデルの適用性を検証した。

現地調査から、竹林での表層崩壊斜面内には崩壊土塊がブロック状で残存しており、竹林地

下部によって土塊の破断が抑制されている様子が観察できた。また、崩壊周縁部に残存した地下茎は節や節近傍で破断していることも観察できた。

再現計算に際して、崩壊規模を変化させて斜面の安定性を計算した結果、実際の崩壊規模と同程度の結果を得ることができた。したがって、本研究で構築した斜面安定モデルは竹林地下部の斜面安定効果の評価が可能なモデルであると考えられた。

また、森林斜面で発生した表層崩壊事例についても現地調査および再現計算を行った。現地調査の結果、森林根系も竹林地下部と同様に表層の浅い部分に集中している根系が観察され、すべり面を貫入していたと考えられる根系はみられなかった。この結果より、森林斜面においても根系がすべり面を貫入していないようなケースも考えられる。このような斜面で発生する表層崩壊に対しては、斜面安定解析についても従来のすべり面上でのせん断抵抗力の増強による効果ではなく、表層付近での根系による土塊の破断抑制効果を考慮した斜面安定解析が必要であると考えられた。この崩壊事例をもとに構築した斜面安定モデルを用いて再現計算を行ったところ、森林斜面についても実際の崩壊規模を再現することができた。以上のことより、本研究で構築した斜面安定モデルは竹林地下部による斜面安定効果に加えて、森林根系のすべり面への貫入が想定できないような斜面での根系による斜面安定効果の評価にも適用可能であると考えられる。

第6章 結論

本研究では、竹林の拡大による斜面の不安定化が危惧されている中で、これまで明らかにされていなかった斜面安定に対する竹林地下部の効果を評価するために、竹林斜面に適用できる斜面安定解析手法を新たに構築した。斜面安定解析に用いるモデルは、竹林地下部の強度特性試験や分布調査の結果を用いて、竹林地下部の力学的効果を考慮した斜面安定モデルとした。実際に発生した竹林斜面での表層崩壊をもとに、斜面安定解析を行ったところ、実際の崩壊規模を再現するような結果を得ることができた。また、森林根系がすべり面に貫入していなかったと考えられる表層崩壊事例についても崩壊規模の再現が可能であったことから、すべり面にまで根系が到達していない森林斜面の斜面安定の評価が可能であると考えられた。以上のことより、本研究で新たに構築した手法を用いると、従来の斜面安定解析手法では評価ができなかった竹林地下部や浅根性の森林根系による斜面安定効果の評価が可能となったことを示した。