

3D-FEMによる根系の有する斜面安定度評価に関する基礎的研究

○福岡大学工学部社会デザイン工学科 千田知弘

金沢工業大学工学研究科 篠原己観郎

日鐵住金建材株式会社 岩佐直人

東京農工大学農学府 石川芳治

1. はじめに

根系が有する斜面安定効果には、主根が有するアンカー効果と側根が有するネット効果が知られており、実際の自然斜面における各効果の寄与を、定性的、定量的に明らかにしようとする研究が近年では多く行われている。本研究はその一環であり、3次元有限要素解析(3D-FEM)を用いて、中間部の背面すべりのシミュレートを行ったものである。3D-FEMにおいては、複雑な力の伝達および複合応力状態を適切に考慮・評価することが可能であり、ジオグリッドを用いたのり面保護工の開発¹⁾などで積極的に用いられている。本研究では、それらFEM解析技術を根系に応用し、すべり土塊に2種類の変位を与えてシミュレートを行い、根系に生じる変位挙動、応力、力の伝達経路を調べた結果を報告する。

2. 対象モデルおよびFEM解析モデル

本研究では汎用有限要素解析ツール ANSYS (ver.13) を用いて解析を行うが、節点数と要素数の上限が25万であることから、ジオメトリを可能な限り簡略化した。対象とした地山とすべり土塊の側面図を図-1に、斜面における根系とすべり土塊の配置を図-2に、根系のモデル化詳細を図-3に示す。地山の斜面の角度は 35° とし、幅 7000mm ×高さ 4020mm ×奥行き 5730mm とした上で、斜面に対し垂直方向に 900mm だけモデル化した。すべり土塊は、幅 2200mm ×高さ 2200mm 、深さ 500mm とし、位置は斜面中央部とした。主根は外接円半径 100mm の正八角形、長さ 800mm でモデル化し、すべり土塊中央位置を中心に上下左右 2m 間隔で配置した。側根は幅 100mm 、厚さ 5mm とし、深さ 100mm の位置に格子状に配置し、斜面から深さ 100mm の位置で主根に結合するモデルとした。要素分割図を図-4に示す。図-4中に O で示した位置に原点を取り、幅方向に x 軸、高さ方向に y 軸、奥行き方向に z 軸を取った。本モデルは図-2に示すように左右に対称な構造を有するので、 yz 平面で2分割された右半分を解析対象とした。各部位に使用した要素形状・自由度、メッシュサイズ、材料定数を表-1に、根系の材料定数を表-2に示す。根系の材料定数は明らかではないので、今回はスギ材の材料定数を便宜的に用いた。地山-すべり土塊、根系-地山・すべり土塊の界面の節点は共有させず、摩擦係数 0.1 を用いた接触解析とした。変位はすべり土塊底部、 z 方向に -1mm 、 -10mm を与えて解析した。

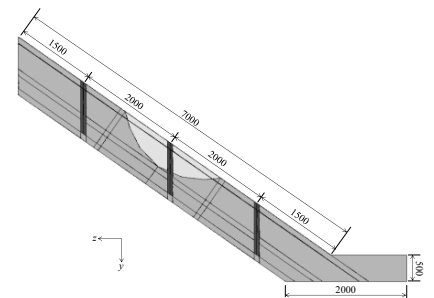


図-1 側面図

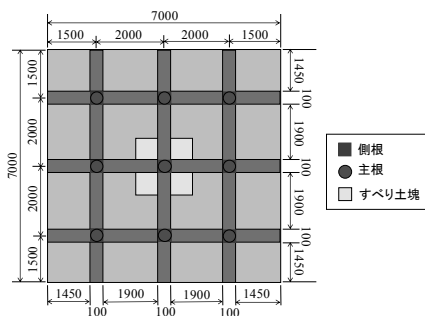


図-2 根系とすべり土塊の配置

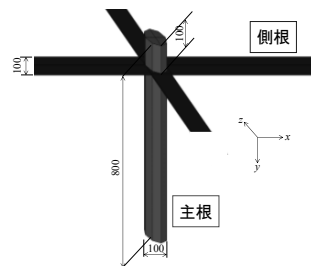


図-3 根系詳細図

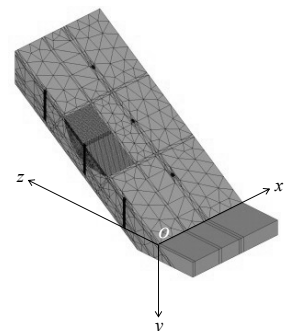


図-4 要素分割図

表-1 各部位の材料定数

部位	要素形状・自由度	メッシュサイズ(mm)	ヤング率(GPa)	ポアソン比	単体積重量(MN/m ³)
地山	4面体10節点 30自由度	25~500	0.2	0.25	0.018
すべり土塊	6面体8節点24 自由度	25	0.2	0.25	0.018
主根・側根	6面体8節点24 自由度	25~500	表-2	表-2	0.0037

表-2 根系の材料定数

ヤング率	$E_x=E_y=E_z/25$
せん断弾性係数	$G_{xy}=G_{yz}=G_{zx}=E_z/15$
ポアソン比	$\nu_{xy}=\nu_{xz}=\nu_{yx}=\nu_{yz}=0.016$ $\nu_{zx}=\nu_{zy}=0.4$

3. 解析結果および考察

変位 10mm 時におけるすべり土塊中の主根の変位・変形挙動を図-5 に、根系の軸方向応力の分布を図-6 に、主根に生じる曲げ応力分布を図-7 に示す。変位 1mm 時の各図においては、変位 10mm と各値は異なるが、変位・変形挙動に大きな差は生じなかったため、ここでは省略する。主根の引抜け挙動に関しては、図-5 に示すように、どちらの変位時にも引抜け挙動はあまり見られなかった。しかしながら、変位 1mm 時で 0.6mm、変位 10mm 時で 2.67mm、主根上部がすべり土塊に対し沈み込むような挙動が見られた。また、主根は、図-5~図-7 に示すように、すべり土塊中に位置する主根が大きな曲げ変形を受けており、変形モードは 2 ヒンジとなった。これら主根の挙動は、すべり土塊中の主根以外には見られなかった。表-3 に各応力が生じる最大値位置と値を示す。表中に示した記号は、図-6 中示した位置であり、また、側根に生じる応力は引張応力、主根に生じる応力は曲げ応力である。縦方向の側根に生じる最大応力位置は、各変位時で異なる。これは、すべり土塊と側根の接触部に生じる応力集中の値が、変位 1mm 時はすべり土塊上方で生じる引張応力よりも大きいためであり、接触部を除くと、変位 10mm と同じ位置に最大引張応力が生じる。日本建築学会：木質構造設計規準・同解説-許容応力度・許容耐力設計法-によれば、スギ製材の基準特性値にある引張基準材料強度の最大値は 16.2MPa、曲げ基準材料特性値の最大値は 27.0MPa とある。変位 1mm 時においては、各値は各基準値よりも下回る一方、変位 10mm 時には、全ての値が各基準材料強度を上回り、すべりに抵抗できていない。各値から根系の破壊挙動を推察すると、まずすべり土塊よりも上部に位置する縦方向の側根、続いてすべり土塊上の横方向の側根が引きちぎれ、最後に主根が曲げ破壊、もしくはせん断破壊すると考えられる。ジオグリッドの解析¹⁾では、横方向のジオグリッドを介して、隣り合う縦方向のジオグリッドに力を伝達する挙動が見られたが、本解析ではそのような挙動は見られなかった。しかしながら、縦方向の側根に生じる引張応力が横方向の側根に生じる引張応力よりも大きくなる挙動に関しては、傾向が共通することが示された。

表-3 最大応力位置と値(MPa)

変位	側根(横)	側根(縦)	主根
1mm	△ : 0.9	○ : 11	7.1
10mm	△ : 64	□ : 207	51



図-5 主根の変位・変形挙動

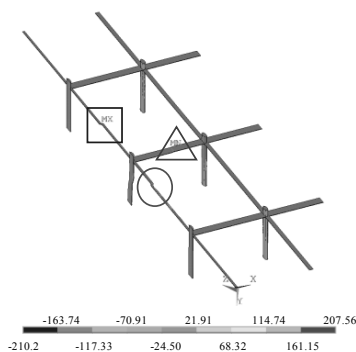


図-6 根系の軸方向応力分布(MPa)

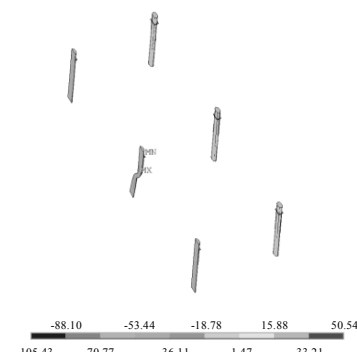


図-7 主根に生じる曲げ応力分布(MPa)

4. まとめ

本解析結果はすべり土塊に強制変位を与えて解いたものであるため、すべり土塊が動き出す前の挙動とは異なると考えられる。しかしながら、土中にある側根と主根の挙動を、十分にシミュレートすることが可能であることが示された。今後、すべり土塊に水平荷重を与えるなどの条件設定を変更し、主根・側根の配置、長さ、材料定数などの検討を行いつつ、シミュレート数を増やし、定性評価を行っていく予定である。

<参考文献>

- 1) 例えば、高橋ら、ジオグリッドの斜面崩壊防止効果に関する FEM 解析(1)：第 67 回土木学会年次学術講演会講演概要集、(CD-ROM)、2012。