

3D-FEM による丸太打設軟弱地盤対策のすべり抵抗に関する基礎的研究

東北学院大学 正会員 ○千田 知弘 飛鳥建設 正会員 沼田 淳紀
 飛鳥建設 正会員 三輪 滋 正会員 村田 拓海

1. はじめに

我が国の国土の 1/4 は沖積低地であり、そこに 3/4 の資産が集中している。沖積低地や埋立地盤は、その多くが軟弱地盤で、構造物を構築する際には地盤基礎の対策が必要となるのが一般的である。軟弱地盤における被害要因の一つがすべり破壊である。一方、地球温暖化緩和や脱地下資源化は、喫緊の課題であるが、その対策の一つとして木材の長期大量利用が有効であり、近年軟弱地盤対策に木材を使った取り組みも増えつつある。ただし、多くの取り組みはすべり抵抗を対象としていない。そこで本研究では、丸太打設による軟弱地盤対策における、すべり抵抗に関する基礎研究として、木材の配置の異なる複数のモデルを対象とした 3 次元 FEM 解析を行い、丸太の性能を照査するとともに、適切な配置を検討した。

2. 対象モデルおよび解析手法

対象とする盛土と軟弱地盤層の横断面図の代表例を図-1 に、丸太の配置を示した全てのモデルの平面図を図-2 に示す。本研究における地盤寸法は、各モデルによって異なるが、これは木材の打設間隔と配置方法に起因する。本モデルを設計するに際し、使用する丸太の寸法は、液状化対策として使用実績のある元口径 160mm、末口径 140mm、長さ 4000mm とし、文献¹⁾を参考に末口径 140mm を D とした上で、打設間隔を 3D とする 420mm、5D とする 700mm の 2 種類とし、配置方法は格子配置と千鳥配置とした。後述するが、本報では要素数節約のため、境界条件としてモデル側面の幅方向変位を拘束することによって幅方向に連続する物体として解析する。この際、使用する解析ツールの結果表示の仕様上、最小単位となる 2 本の丸太が、地盤の側面に対し中央断面が側面に並ぶように配置しておく必要があるため、地盤の幅は 0.84m と 1.4m の 2 種類とした (図-2)。盛土の法勾配は 1:1.5 とし、高さは 5m、水平長さ 7.5m、天端長さは高さと同じになるように約 5m とした。予備解析において、図-1 における地盤の左端の境界条件が解析結果に影響しないためには、盛土の水平長さ約 12.5m の 2 倍以上必要であることが示されたので、地盤の水平長さは約 30m とした。天端長さと地盤の水平長さが各モデルで異なるのは、左端、右端に木材間の中央が来るように配置したためである。軟弱地盤深さは丸太が摩擦杭となるように 5m とし、基盤層は同じ深さである 5m とした。

本解析では、汎用有限要素解析ツール ANSYS を用いて弾性解析を行った。要素分割図を図-3 に、解析に用いた各材料を表-1 に示す。図-3 中に O で示した法面下端中央位置に原点を取り、幅方向に x 軸、高さ方向に y 軸、水平方向に z 軸を取った。要素サイズは変形量に応じて、20mm~10000mm とし、合計約 400 万節点で分割した。丸太はテーパの付いた多角柱として、末口、元口ともに正 22 角形でモデル化した。载荷は、鉛直方向に 1G とした。境界条件は両側面の yz 平面上にある全ての節点の x 方向変位を拘束、基盤層底面に位置する全ての節点の y 方向変位を拘束、図-1 で左端、右端の

表-1 解析に使用した各材料定数

部材名	ヤング率 (MPa)	せん断弾性係数 (MPa)	ポアソン比	単位体積重量 (kN/m ³)
盛土	280	112	0.25	19.0
軟弱地盤層	0.25	0.08	0.49	15.0
基盤層	250	100	0.25	18.4
木材	$E_z=6000$ $E_x=E_y=E_z/25$	$G_{xy}=G_{yz}=G_{zx}=E_z/15$ =400	$\nu_{xy}=\nu_{xz}=\nu_{yz}=\nu_{yx}=0.016$ $\nu_{zx}=\nu_{zy}=0.4$	3.8

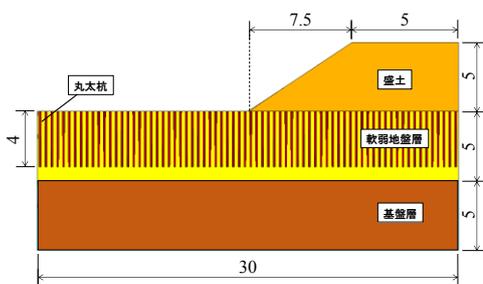


図-1 横断面図 (単位: m)

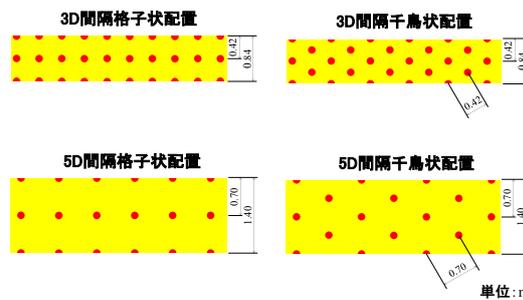


図-2 各モデルの木材の配置 (一部抜粋・平面図)

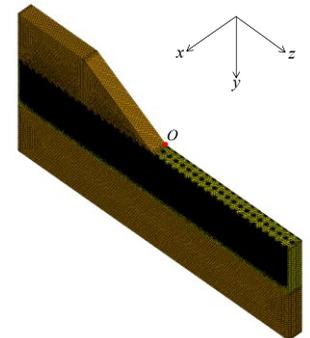


図-3 要素分割図

キーワード 軟弱地盤対策, LP-LiC 工法, 丸太杭, FEM

連絡先 〒985-8537 宮城県多賀城市中央 1-13-1 東北学院大学工学部環境建設工学科 TEL 022-368-7418

xy 平面に位置する全ての節点の z 方向変位を拘束した。解析モデルは、3D 間隔の格子状配置と千鳥状配置の 2 種類、5D 間隔の格子状配置と千鳥状配置の 2 種類に丸太無モデル（無対策モデル）を加えた合計 5 種類のモデルに対し解析を行った。

3. 解析結果と考察

本研究では、丸太の打設間隔と配置の違いがすべり抵抗に与える差を照査するため、各モデルの鉛直方向変位、水平方向変位、鉛直方向ひずみ、水平方向ひずみを比較する。各モデルの鉛直方向変位分布と鉛直方向ひずみ分布を取りまとめて図-4 に、各モデルの水平方向変位分布と水平方向ひずみ分布を取りまとめて図-5 に示す。なお、各図には無対策モデルと、変位とひずみが最小となる 3D 間隔千鳥状配置モデル、最大となる 5D 間隔格子状配置モデルを代表例として示した。図-4 において鉛直方向変位を比較すると、いずれのモデルでも無対策モデルよりも最大約 66%減少しており、丸太のすべり抵抗効果が見て取れる。変位の減少が大きいモデルは 3D 千鳥>3D 格子>>5D 千鳥>5D 格子の順となっており、打設間隔を密にするほどすべり抵抗に大きく寄与し、同じ打設間隔の場合、千鳥状配置の方がすべり抵抗に寄与することが示された。ただし、同じ打設間隔の場合、格子状配置では 5.67 本/m²、千鳥状配置では 6.54 本/m²となるため、単位面積当たりの本数が影響している可能性も唆され、今後検討は必要である。図-5 において水平方向変位を比較すると、いずれのモデルも無対策モデルよりも最大約 76%減少しており、また、打設間隔と配置の違いによるすべり抵抗への寄与は、鉛直方向変位と同じ傾向を示した。図-4 において鉛直方向ひずみ分布を比較すると、いずれのモデルでも無対策モデルよりも最大約 70%減少しており、鉛直変位の減少が大きい 3D 間隔のモデルの方が 5D 間隔のモデルよりもひずみの減少が大きい。また、丸太の下端に位置する軟弱地盤に応力集中が生じており、丸太の効果は明確に視認できる。同じ打設間隔の場合、盛土の下に位置する軟弱地盤層のひずみ分布の大きな差は見られないが、のり尻部の下に位置する軟弱地盤層のひずみ分布が若干ではあるが千鳥配置モデルの方が小さい。よって、ひずみの減少と変位の減少には明確な相関がみられ、丸太の効果が確認された。図-5 において水平方向ひずみ分布を比較すると、いずれのモデルでも無対策モデルよりも最大約 80%減少しており、鉛直ひずみよりも明確に 3D 千鳥>3D 格子>>5D 千鳥>>5D 格子の順にひずみが減少していることが分かる。よって、水平方向に関して、ひずみの減少と変位の減少には明確な相関がみられ、丸太の効果が確認された。なお、木材に生じる応力分布に関しては、曲げ応力、せん断応力ともに、最大でも木材の許容応力度の 1/10 以下しか生じておらず、すべり挙動に対して十分な強度を有することが確認された。

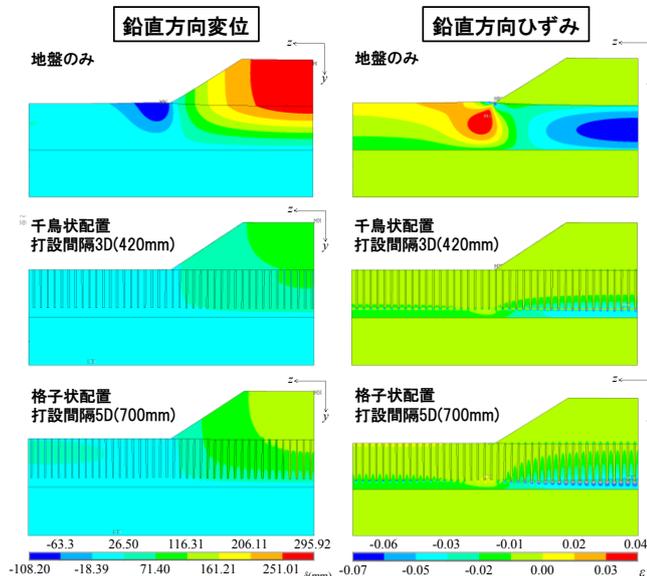


図-4 鉛直方向の変位とひずみの分布

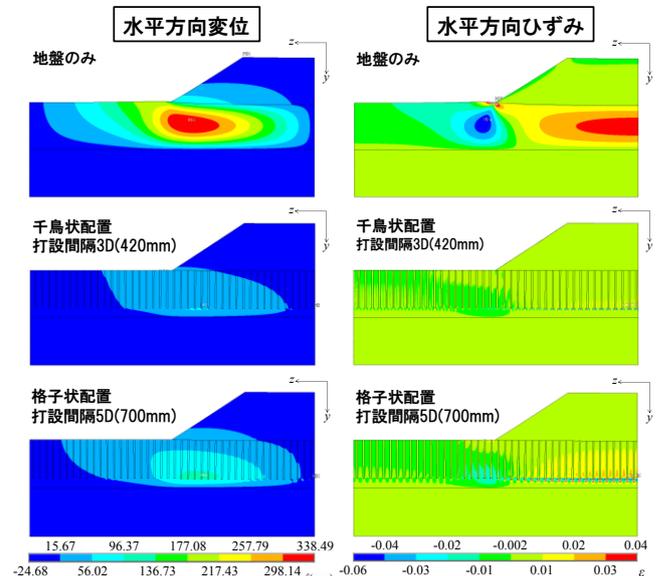


図-5 水平方向の変位とひずみの分布

4. まとめ

本研究では、丸太を用いた軟弱地盤対策に関する基礎研究として、打設間隔、配置方法の違いによって、性能に差が生じるかの照査を 3D-FEM 解析を用いて行った。いずれのモデルでも、丸太の軟弱地盤対策に対する効果が大きい確認されたが、鉛直方向変位、水平方向変位、鉛直方向ひずみ、水平方向ひずみのいずれも、打設間隔が密な方が減少し、同じ打設間隔の場合、千鳥配置の方が減少することが示された。また、丸太に生じる応力分布から、すべりに対して十分な強度を有することも確認された。

参考文献

- 1) 例えば、(公社)土木学会木材工学委員会：土木技術者のための木材工学入門， p.166， 2017.