

引張力で抵抗する斜面安定工の設計指針の策定に向けた FEM 解析による背面すべりシミュレーション

福岡大 学生会員 今井晴輝 正会員 千田知弘 正会員 渡辺浩
日鐵住金建材(株) 正会員 岩佐直人 正会員 堀謙吾 副田尚輝 安富懸一

1. はじめに

近年、フレームの引張抵抗で斜面安定化を図り、施工直後から即時全面緑化が可能な斜面对策工法が提案され、実用化されている。本構造は、すべり土塊をコンクリートのり枠のような枠材で押さえつけるのではなく、移動し始めたすべり土塊をフレーム全体で受け止め、すべりを抑制する設計となっている。しかし現在、本構造の設計に最適な設計法は整備されておらず、設計に際してはコンクリートのり枠工の設計の考え方を代用しているため、冗長な設計になっていると考えられる。これは、実際に生じるすべりの挙動を再現できていないことが理由の一つであると推察される。そこで本研究では、本構造の最適な設計法確立に向けた基礎研究として、対象とするすべりを実際の挙動に近似する FEM 解析手法を試みた結果を報告する。

2. 対象モデルおよび FEM 解析モデル

(1) 対象モデル

対象モデルの代表例として斜面角 30° 、軟弱地盤層 1.0m のモデルを図-1 に示す。対象モデルの地山は、のり面勾配の違いによる背面すべりの挙動を比較するため、斜面角 $30^\circ \sim 60^\circ$ の範囲で 10° きざみの 4 種類をモデル化した。地山の寸法は、対象モデルを幅方向に連続する斜面の内、幅 5.0m 分を取りだしたモデルと仮定した上で、のり肩長 4.0m、幅 5.0m、斜面長は 10.0m を基準寸法とし、各角度に応じて各々のモデルの高さ等を設定した。なお、参考文献¹⁾を参考に、全てのモデルの斜面の前面に 2.0m、斜面の下に 2.5m 分の地山を拡張してモデル化した。背面すべりのモデル化に関しては、既往のモデル化のようにすべり面を予め設定し、すべり土塊を変位させる手法ではなく、のり肩および斜面に 1.0m~3.0m の 3 種類の軟弱地盤層を設定し、変形によって背面すべりの挙動に近似する手法とした。

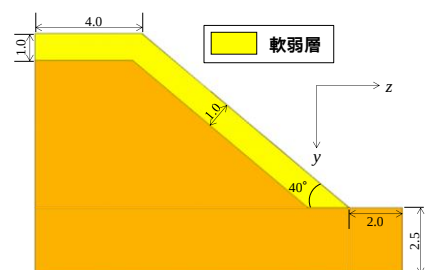


図-1 地盤の横断面図 (単位: m)

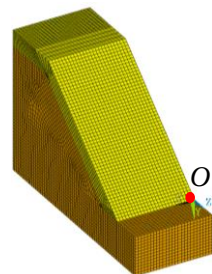


図-2 要素分割図

(2) FEM 解析モデル

本研究の解析では、汎用有限要素解析ツール ANSYS アカデミック版(ver.15)を用いて解析を行った。解析モデルの一例としてののり面勾配 40° 、軟弱地盤層深さ 3.0m のモデルの要素分割図を図-2 に示す。図-2 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。境界条件は、x 軸方向左右両端に位置する yz 平面上の全ての節点の x 方向変位を拘束、地山底面の全ての節点の y 方向変位を拘束、地山背面の全ての節点の z 方向変位を拘束した。解析に用いた各材料定数を表-1 に示す。軟弱地盤層には地山の 1/1000 のヤング率を設定することで大変形を生じるモデルとした。また、軟弱地盤層の下面全体と地山の境界部分は摩擦係数 0.1 を用いた接触モデルとし、より軟弱地盤層に大変形が生じるようにした。荷重条件は、各要素に単位体積重量を設定した上で重力加速度を鉛直方向に 1G を与えた。

表-1 解析に用いた各材料定

部材	ヤング率 (MPa)	ポアソン比	単位体積重量 (kN/m ³)
地山	200	0.25	18.4
軟弱地盤層	0.2	0.25	18.4

3. 結果と考察

軟弱地盤層の深さ別に見たのり肩、のり尻部における最大鉛直変位及び最大水平変位を表-2~表-4 に、対象モデルに生じる水平変位分布の代表例として、法面勾配 40° ・軟弱地盤層深さ 1.0m のモデルの水平変位

分布を図-3、鉛直変位分布を図-4に、のり面勾配 40° ・軟弱地盤層深さ 3.0m のモデルの水平変位分布を図-5、鉛直変位分布を図-6に、のり面勾配 60° ・軟弱地盤層深さ 3.0m のモデルの水平変位分布を図-7、鉛直変位分布を図-8に示す。表-2においては、のり肩の鉛直変位、水平変位ともに斜面角度が大きくなる程大きくなるのに対し、のり尻の水平変位は、減少する傾向が見られる。この傾向は軟弱地盤層深さに関係なく、表-3、表-4でも同様に見られる。この挙動を各図で比較すると、水平変位分布である図-5と図-7においては、斜面角 40° ではのり尻に大きな水平変位が生じているのに対し、斜面角 60° ではのり尻よりものり肩に大きな水平変位が生じている。一方、鉛直変位分布である図-6と図-8においては、斜面角 60° ののり肩部の鉛直変位が斜面角 40° よりも大きい。これらの挙動によって、のり尻から 1.0m~2.0m に見られる土砂の堆積(図-5、図-7で円で囲んだ箇所)に似た変形を示す。図-4と図-6を比較すると、図-4においては、鉛直変位は斜面に平行に様に分布するのに対し、図-6においては、のり肩周辺で大きい変位が分布しており、のり肩周辺の変形挙動が大きいほど土砂の堆積挙動に近い挙動を示すと考えられる。上記の複雑な挙動は、すべり面を与えてすべり土塊を変位させる解析手法よりも、実際の背面すべり挙動に近い挙動を示す可能性が示唆される。

表-2 軟弱地盤層深さ 1.0mにおける各変位 (単位: mm)

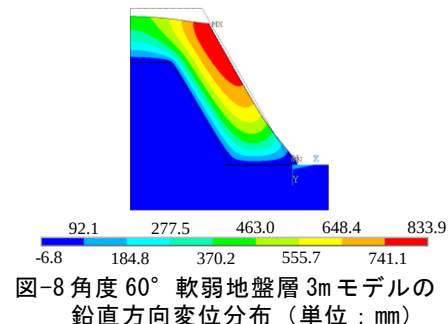
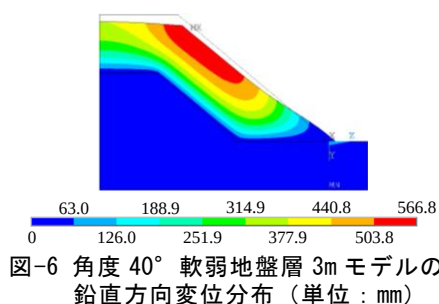
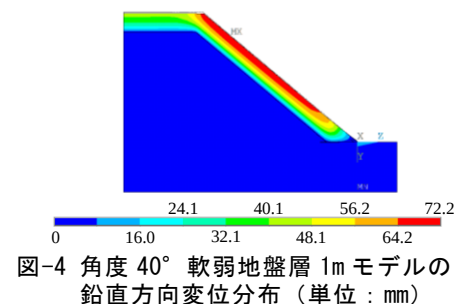
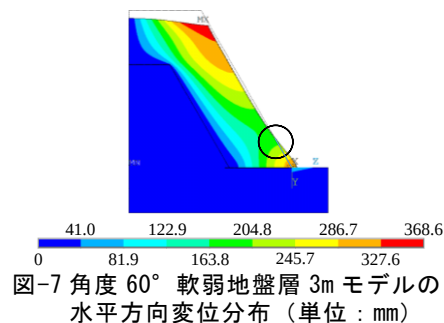
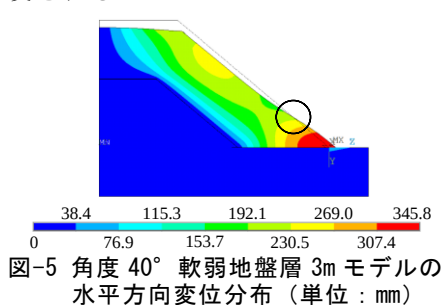
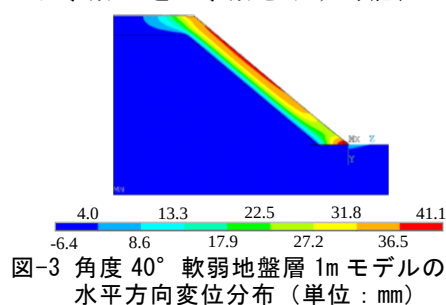
斜面角度	鉛直方向自由度(のり肩)	水平方向自由度(のり肩)	水平方向自由度(のり尻)
30°	56.5	26.1	41.9
40°	68.9	36.9	41.0
50°	85.8	49.2	40.2
60°	106.8	62.7	36.6

表-3 軟弱地盤層深さ 2.0mにおける各変位 (単位: mm)

斜面角度	鉛直方向自由度(のり肩)	水平方向自由度(のり肩)	水平方向自由度(のり尻)
30°	222.1	96.6	159.5
40°	266.9	136.7	158.0
50°	328.3	180.5	153.4
60°	409.3	229.1	139.2

表-4 軟弱地盤層深さ 3.0mにおける各変位 (単位: mm)

斜面角度	鉛直方向自由度(のり肩)	水平方向自由度(のり肩)	水平方向自由度(のり尻)
30°	476.5	162.1	339.8
40°	564.7	231.9	343.2
50°	680.5	299.1	336.2
60°	829.2	367.1	297.6



4. まとめ

本研究では、すべりの挙動をすべり土塊の変位でモデル化するのではなく、地山に軟弱地盤層を設定し、重力加速度を与えることでゆるみ変形を生じさせ、そのゆるみ変形挙動ですべり挙動をモデル化する手法を試みた。斜面角度の違いによってのり肩、のり尻に生じる鉛直変位、水平変位に大きな差が生じることを確認するとともに、のり肩から変位してきた土砂が、のり尻から 1.0m~2.0m の範囲で堆積し、斜面下部で地山がはらむような挙動が見られた。これらの挙動は、より現実的なすべり挙動を表わすものであり、今後の引張力で抵抗するフレーム構造の設計法確立に向け大きく寄与する可能性が示された。

参考文献: 1) 千田ら, 3D-FEM 解析による引張材を用いたフレーム構造の斜面安定効果の評価: 第 71 回土木学会年次学術講演会講演概要集, (CD-ROM), 2016.