

ジオシンセティックス補強盛土実験による排水・補強機能の評価

長崎大学工学部 正会員 棚橋由彦 長崎大学工学部 正会員 蔣 宇静
長崎大学大学院 学生員○筒井章久 長崎大学大学院 学生員 篠原 努
長崎大学工学部 学生員 井 英樹

1.はじめに

従来の有限要素法による浸透流解析では飽和領域内の地下水の挙動だけを対象とした解析が多い。しかし、地下水が移動する際には、不飽和領域の保水状態および不飽和透水係数は飽和領域の透水係数や貯留関数と同様に重要な役割を果たす。また、盛土の安定性を評価するには、地下水の移動による浸透力の影響を考慮しなければならない。近年では、従来盛土材として用いられることのなかった高含水比火山灰質粘性土でさえ、補強土工法を採用することにより、急勾配盛土の築造が可能になっており、高剛性・高強度である排水・補強両機能を有するジオシンセティックス(複合ファブリック)が開発されている。

本研究は、複合ファブリックを用いた補強盛土の安定解析を自由水面より上部の不飽和領域も考慮した飽和-不飽和浸透流解析¹⁾を行い、それにより得られた任意時間における各節点の全水頭などを局所破壊解析²⁾に入力することで、浸透力を把握し、複合ファブリックの排水・補強材としての有効性を確認するものである。また、円弧すべりにおける分割法プログラムを用い盛土斜面の安定性を評価している。

2.解析内容

2.1 飽和-不飽和浸透流解析

飽和-不飽和浸透流解析では、全水頭を圧力水頭と位置水頭の和と仮定し、飽和領域では圧力水頭が正、不飽和領域では圧力水頭が負であると仮定すると、自由水面は圧力水頭が零の点を連ねた面であるといえる。すなわち、この面を浸潤面として扱い、時間経過に伴う浸潤面の挙動を把握しようとするものである。

解析ではジオコンポジットの排水・補強材としての有効性を検証するために補強盛土、無補強盛土の2通りを想定した解析モデルを図-1に示す。入力パラメータは表-1の通りである。なお、解析モデルでは $b:h=10:7$ 、法面勾配1:0.6に設定している。

2.2 浸透力計算手法

飽和-不飽和浸透流解析で得られた結果を利用し、各要素で流線方向に作用する浸透力を図-2より、次のように誘導する。

任意要素 e の接点 i, j, k の全水頭 H_i, H_j, H_k を H 方向に取り、三角形 pqr を含む π 面を考える。 π 面の方程式は式(1)で示される。

$$\pi : A \cdot x + B \cdot y + C \cdot H = D \quad \text{-----} \quad (1)$$

ここに

$$\begin{aligned} A &= H_i(y_k - y_j) + H_j(y_i - y_k) + H_k(y_j - y_i) \\ B &= H_i(x_j - x_k) + H_j(x_k - x_i) + H_k(x_i - x_j) \\ C &= x_i(y_j - y_k) + x_j(y_k - y_i) + x_k(y_i - y_j) = 2\text{dvol} \\ D &= H_i(x_j y_k - x_k y_j) + H_j(x_k y_i - x_i y_k) + H_k(x_i y_j - x_j y_i) \end{aligned}$$

x_m, y_m ($m=i, j, k$): 各節点の x, y 座標; dvol : 各要素 e の体積;
 H_m ($m=i, j, k$): 各節点の全水頭。

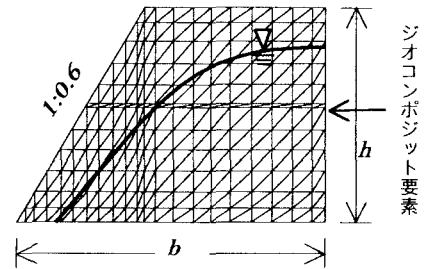


図-1 要素分割した解析モデル図

表-1 入力パラメータ

飽和-不飽和浸透流解析	
関東ローム	
飽和透水係数 k_{sat} (m/s)	1.0×10^{-7}
体積含水率 θ (%)	69.90
比貯留係数 S_r	1.0×10^{-6}
ジオコンポジット	
透水係数(水平) k_x^* (m/s)	1.0×10^{-3}
(鉛直) k_y^* (m/s)	9.0×10^{-5}

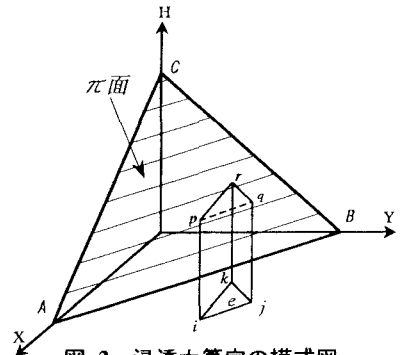


図-2 浸透力算定の模式図

次に要素 e の x 方向の動水勾配 $\{i_x\}^e = \{\partial H / \partial x\}^e$ は、 π 面と $y=0$ 面との交線 $\overline{AC}$ の x 方向の勾配であるから、交線 $\overline{AC}$ の方程式は式 (1) より、 $Ax+CH=D$ で表されるので、

$$\{i_x\}^e = \{\partial H / \partial x\}_{y=0} = -A/C \text{ ----- (2)}$$

同様に y 方向の動水勾配は、

$$\{i_y\}^e = -B/C \text{ ----- (3)}$$

また要素 e の x, y 方向の浸透力は式 (4) のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \{P_x\}^e &= \gamma_w \cdot \{i_x\}^e \cdot dvol \\ \{P_y\}^e &= \gamma_w \cdot \{i_y\}^e \cdot dvol \end{aligned} \right\} \text{ ----- (4)}$$

ここに、 γ_w は水の単位体積重量を表す。

2.3 分割法による斜面安定解析

分割法により盛土の斜面安定解析を行っているが、解析プログラムと計算手順の概要を以下に示す。なお、解析モデル図は図-3 に示す。

円弧の中心とする点 $O(j) = (X(j), Y(j))$ をいくつか取り、座標を入力する。また、盛土を鉛直線によって細片に分割し、鉛直線上部の点 $A(k)$ の座標 $(XX(k), YY(k))$ を入力する。

点 $O(j)$ を 1 つ取り出し、その点 $O(j)$ を中心にした $A(0)$ を通る円弧を想定する。想定した円弧と鉛直線の交点を求め点 $B(k) = (XX(k), P(k))$ とする。

土質条件のパラメータと点 $O(j)$ 、点 $A(k)$ 、点 $B(k)$ の座標を用いることにより円弧長 $L(k)$ 、土塊重量 $W(k)$ 、 $\sin \theta(k)$ 、 $\cos \theta(k)$ を求めることができる。

これらの値を用い、点 $O(j)$ を中心にした円弧すべりの安全率が求まり、その他の点についても同様に計算を行っていく。

以上が無補強盛土の安定計算プログラムの概要であり、これに浸潤面を設定し、浸透力解析手法により算出された浸透力と飽和度上昇に伴う土の強度低下を考慮した新たな分割法に基づく安定解析を行う。

3.解析結果

無補強盛土で盛土高さ 8.8m に設定した場合の計算結果を一例として示す。図-4 に浸潤面の位置変化と 30 分時間経過後の浸透力を示す。図において、水平方向成分を持つ浸透力だけをベクトル化している。盛土下部に比べ、盛土上部に働く浸透力の方が大きく、時間経過後には法面に作用する浸透力が大きくなる。また、従来の分割法とここに提案した分割法を用いて、安定計算の比較を行ったので、その結果を表-2 に示す。粘着力の低下、浸透力を考慮すると安全率が減少する結果となった。

4.おわりに

従来の分割法では、盛土の安全率を過大に評価している可能性があると考え、浸透力の影響を考慮できる新たな分割法を提案した。今後は、更なる実験値と解析値との比較・検討を行い、提案した分割法の改善と実問題への適用を行っていく。

【参考文献】

- 1) 赤井浩一・大西有三・西垣誠 (1977) : 有限要素法による飽和 - 不飽和浸透流の解析, 土木学会論文報告集, 第 264 号, pp.87-96.
- 2) 伊勢田哲也・棚橋由彦・山本芳裕 (1985) : 長崎豪雨における緩斜面の崩壊機構, 土質工学会論文報告集, Vol.25, No.2, pp.173-184.

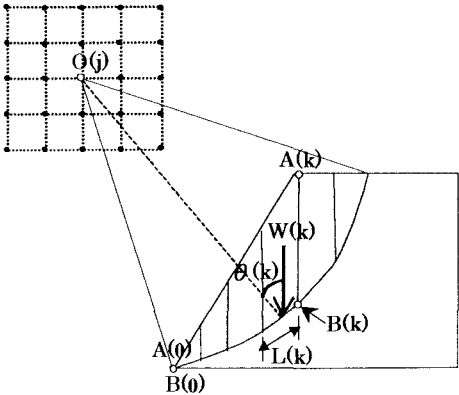


図-3 解析モデル図(分割法)

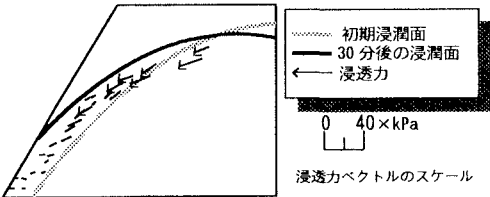


図-4 時間経過に伴う無補強盛土の浸潤面と浸透力 (30 分後)

表-2 各分割法の計算結果

従来の分割法	提案する分割法 ○粘着力の低下を考慮 ○浸透力を考慮
$F_s = 2.79 > 1.00$	$F_s = 0.95 < 1.00$