

ジオシンセティックスによる補強盛土実験と浸透・安定解析

長崎大学工学部 正会員 棚橋由彦 長崎大学工学部 正会員 蔭 宇静
 長崎大学大学院 学生員 〇高原敬一 長崎大学工学部 学生員 筒井章久
 長崎大学工学部 学生員 篠原 努

1.はじめに

従来の有限要素法による浸透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土土でさえ、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。

2.解析方法

解析は、飽和-不飽和浸透流解析と、浸透力と飽和度上昇による強度低下を考慮した局所破壊解析の2段階による連続解析である。

2.1 飽和-不飽和浸透流解析

飽和-不飽和浸透流解析は、赤井他(1977)の手法を用いており、飽和-不飽和領域の浸透を支配する基礎方程式は式(1)で表される。

$$\text{div} K(\theta) \cdot \nabla (\varphi + z) = (c(\theta) + \alpha \cdot S_s) \frac{\partial \varphi}{\partial t} \quad (1)$$

ここに、 $K(\theta)$: 2階の透水係数テンソル、 φ : 圧力水頭、 θ : 体積含水率、 z : 位置水頭、 $c(\theta) = \partial \theta / \partial \varphi$: 比水分容量、 S_s : 比貯留係数($\alpha=0$: 不飽和領域、 $\alpha=1$: 飽和領域)。式(1)は、有限要素による定式化が行われ、時間 t に関しては差分法による漸化式を用いている。式(1)を任意の境界条件のもとに数値解析を行うには、 θ - φ 関係、 θ - K 関係、飽和時の透水係数(k_{sm})、 S_s 、初期圧力水頭(φ_0)などを入力する必要がある。出力結果として任意時刻(t)における各節点の全水頭($H = \varphi + z$)、圧力水頭(φ)、体積含水率(θ)などが得られる。これにより、初期の浸潤面が盛土内部でどのように移動したかを把握することができる。

2.2 局所破壊解析

飽和-不飽和浸透流解析で得られた結果を利用し、任意時刻 t での各要素に流線方向に作用する浸透力とそれと等価な節点力を把握する。図-1をもとに誘導すると、要素 e の x 方向の動水勾配 $\{ix\}^e = \{\partial H / \partial x\}^e$ 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 $Ax + CH = D$ で表されるので

$$\{ix\}^e = \{\partial H / \partial x\}^e = -A/C \quad (2)$$

同様に y 方向の動水勾配は

$$\{iy\}^e = -B/C \quad (3)$$

また要素 e の x 、 y 方向の浸透力 $\{Px\}^e$ 、 $\{Py\}^e$ は式(4)で表される。

$$\left. \begin{aligned} \{Px\}^e &= \gamma_w \cdot \{ix\}^e \cdot dvol \\ \{Py\}^e &= \gamma_w \cdot \{iy\}^e \cdot dvol \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

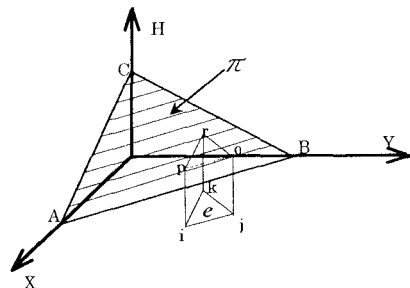


図-1 浸透力質定の模式図

ここに、 γ_w は水の単位体積重量、 $dvol$ は要素 e の体積である。したがって浸透力と等価な x 、 y 方向の節点力 f_x 、 f_y は式(5)で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} f_x &= \{P_x\}^e/3 = \frac{\gamma_w}{6} \cdot \{H_i(y_k - y_j) + H_j(y_i - y_k) + H_k(y_j - y_i)\} \\ f_y &= \{P_y\}^e/3 = \frac{\gamma_w}{6} \cdot \{H_i(x_j - x_k) + H_j(x_k - x_i) + H_k(x_i - x_j)\} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

3.解析条件

解析には複合ファブリックの排水・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通りを想定して解析モデルを図-3のように作成した。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 $b:h=10:7$ に設定しており、解析結果の有用性を検証するために、遠心模型実験との比較検討を行う。盛土材としては高含水比粘性土の関東ロームを用いており、解析と同条件で盛土を作成し、複合ファブリックを用いた補強盛土と無補強盛土での実験を行っている。

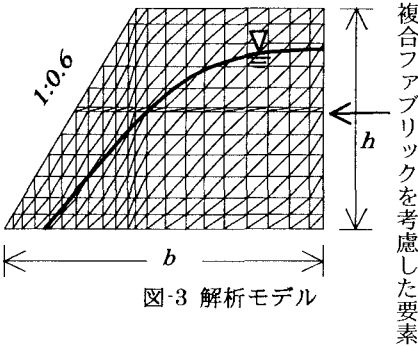


表-1 入力パラメータ

FEM-A			FEM-B			
関東ローム			関東ローム			
飽和透水係数 k_{sat} (m/s)	1.0×10 ⁻⁷		飽和度 S_r (%)	77.4	間隙比 e	2.77
体積含水率 θ (%)	69.90		粘着力 c' (kPa)	43.90	ヤング率 E (kPa)	2.68
比貯留係数 S_o	1.0×10 ⁻⁶		内部摩擦角 ϕ' (°)	16.28	ポアソン比 ν	0.25
複合ファブリック			関東ロームと複合ファブリックとの境界面			
透水係数 k_x^* (m/s)	1.0×10 ⁻³		見かけの粘着力 c (kPa)	2.01		
k_y^* (m/s)	9.0×10 ⁻⁶		見かけの内部摩擦角 ϕ (°)	33.0		

4.実験結果

実験は、間隙水圧計・土圧計等の計測器の配置・形状・寸法を図-4に示すように行った。無補強盛土での崩壊の様子を変位ベクトルで示すと図-5のようになる。約40Gで崩壊に至っており、限界盛土高は、約8.8mと換算できる。図-6の間隙水圧の経時変化を見ると約37Gで急激な変化が見られる。これは、初期浸潤面が移動することにより生じた結果であり、これにより浸透力が働いたために崩壊したと考えられる。この浸透力は、実験では計測することが不可能なため上述の解析により、浸透力を把握していく予定である。

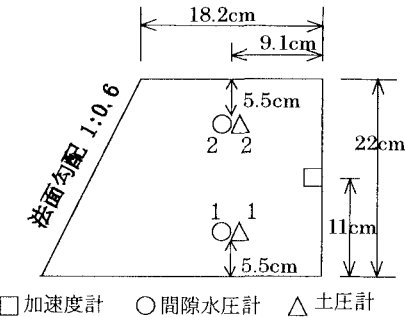


図-4 盛土の形状・寸法・計測器の配置

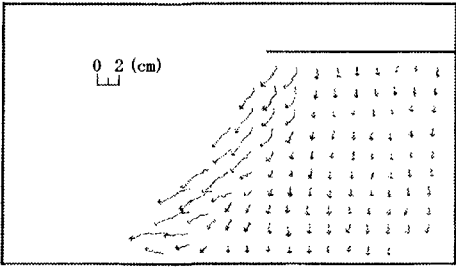


図-5 変位ベクトル図(無補強盛土)

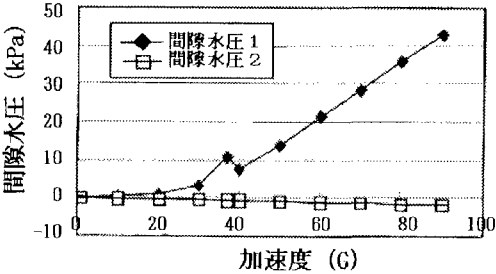


図-6 間隙水圧の経時変化

【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, pp173-184.