

## (11) サクションを考慮した粘土層内 間隙水圧の上昇について (I)

東京大学農学部 川辺 洋

### (1) はじめに

地すべり発生の重要な原因のひとつとして従来間隙水圧の上昇が挙げられ、安定解析にも導入された。一方粘土の吸水膨張の影響も強調され実験もされてきたが、実際に強度や安定の計算の段階になると無視されるのが常であった。

本報告では粘土の吸水膨張の原因としてサクションを考え、更にサクションを負の間隙水圧と考えて従来の間隙水圧に加え、水圧上昇の機構を解析しようとするものである。

### (2) サクションについて

サクション  $P''$  は土粒子による水の吸着・吸収の力を表わし、それによる間隙水圧  $U''_w$  は、 $U''_w = -P''$  となる。従って全間隙水圧  $U_w$  は従来の間隙水圧を  $U'_w$  とすると、 $U_w = U'_w + U''_w = U'_w - P''$ 。Bishop の有効応力式によれば、飽和の場合 ( $X = 1$ ) には  $P''$  は吸水膨張圧に等しい。

### (3) 間隙水圧変動の理論

第1図のようなモデル化された地中の構造を考える。帯水層の水は粘土層中で鉛直方向にのみ流れると仮定し、粘土層は飽和であるとする。ここで間隙水圧の変動を表わす式として等方弾性媒体中の水の流れの一次元基礎方程式を用いる。

$$U = U'_w + U''_w = U'_w - P'' \text{ として} \\ \frac{\partial U}{\partial t} = k^2 \frac{\partial^2 U}{\partial Z^2} = \frac{K}{S_s} \frac{\partial^2 U}{\partial Z^2} \quad \dots\dots\dots(1)$$

$K$  は透水係数、 $S_s$  は比貯留量、 $k^2$  は水頭拡散率で一定とする。

境界条件:  $Z = 0$  で  $U(o, t) = U_o(t)$  粘土層は半無限体とする。

初期条件:  $t = 0$  で  $U(z, o) = U_1(z)$

以上の条件のもとで(1)式を解くと、

$$U = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_{Z/2k^2t}^{\infty} e^{-\beta^2} U_o(t - \frac{Z^2}{4k^2\beta^2}) d\beta + \frac{1}{2\sqrt{\pi}t} \int_0^{\infty} (e^{-\frac{(\lambda-z)^2}{4k^2t}} - e^{-\frac{(\lambda+z)^2}{4k^2t}}) U_1(\lambda) d\lambda \quad \dots\dots\dots(2)$$

$U_o(t) = \text{const.} = U_o$ 、 $U_1(z) = \text{const.} = U_1$  のときには(2)式は

$$U = U_o + \frac{2(U_1 - U_o)}{\sqrt{\pi}} \int_0^{Z/2k^2t} e^{-\beta^2} d\beta = U_o + 2(U_1 - U_o) I(\frac{Z}{k\sqrt{2t}}) \quad \dots\dots\dots(3)$$

ここで  $I(x) = \int_0^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} dx$  を表わし、正規分布表から直ちに求められる。

(3)式の場合の水圧上昇速度は、 $\frac{dU}{dt} = \frac{(U_o - U_1)z}{2\sqrt{\pi}k} \cdot \frac{1}{t\sqrt{t}}$   $e^{-\frac{z^2}{4k^2t}}$   $\dots\dots\dots(4)$

粘土層中のある水平面から上の膨張量はダルシーの法則を使って単位時間当たり

$$V = -K \frac{\partial U}{\partial Z} = -K \frac{U_1 - U_o}{k\sqrt{\pi t}} e^{-\frac{z^2}{4k^2t}} \quad \dots\dots\dots(5)$$

$Z = 0$  では、 $V_o = \frac{K(U_o - U_1)}{k\sqrt{\pi t}}$   $\dots\dots\dots(6)$

$t$  時間後の粘土層の歪 ( $\triangle\ell$ ) は  $K$  を一定として、

$$\triangle\ell = \frac{t}{V_o} \frac{dV}{dt} = \frac{2K(U_o - U_1)}{k\sqrt{\pi}} \sqrt{t} \quad \dots\dots\dots(7)$$

#### (4) 実験結果

試料は由比地すべり地で採集された粘土で、湿潤密度  $1.91 \text{ g/cm}^3$ 、土粒子比重 2.7、初期含水比 33.7%，初期間隙比 0.89、初期飽和度 100%，初期サクション  $1 \text{ g/cm}^2$  である。この粘土を底面直径 15 cm、高さ 8 cm の円筒形容器に入れ、下から  $25 \text{ g/cm}^2$  の水圧を加えた。従って  $U_0 = 25 \text{ g/cm}^2$ 、 $U_1 = U'w - P'' = 0 - 1 = -1 \text{ g/cm}^2$  となる。(3)式は、

$$U = 25 - 52 I \left( \frac{z}{k\sqrt{2t}} \right) \quad \dots\dots\dots (8)$$

$Z = 0, 1, 2 \text{ cm}$  の場合を第2図に示す。

次に間隙水圧をパラメーターとして求めた第3図から  $k^2$  を定める。理論上原点を通る一本の直線になるはずであるが、一応  $Z$  の値毎に  $k^2$  を求める。これを用いて第4図が得られる。第4図には膨張歪も併記してある。

また第5図はある時刻での底面から  $Z$  の位置における間隙水圧  $U$  の状況を示している。

第6図は  $Z = 1 \text{ cm}$  のところでの間隙水圧上昇速度である。サクションを考えた時の方が速度・上昇量は大きいが〔(4)式〕、正の水圧の出現が遅れ、値そのものも小さい〔(3)式〕。

圧密試験より  $K_s$  を求めれば、実験で得られた  $k^2$  と比較することができるが、膨張過程（上記実験）と圧縮過程（圧密試験）の違い、マノメーター水頭出現のタイム・ラグ等を考慮しなければならない。

