

中部工業大学 正員 市原 松平
名古屋大学 正員 O河邑 眞

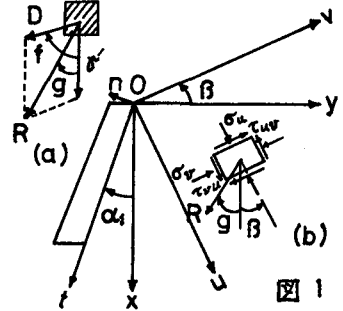
1. まえがき 豪雨時に擁壁が崩壊をおこす事故がしばしば見られる。このような事故の大きな要因として、裏込め土中の浸透流による土圧の増加が考えられる。このような問題に対して、Terzaghiは浸透流によって生じる間げき水圧をすべり面に付加し、すべり土楔の釣合を考え極値法によって豪雨時の主働土圧を決定する方法を示した。この考え方に対し、筆者らはすべり領域内の応力状態とすべり面の形状をより正確に知るために、流れの接線方向にそって土に作用する浸透力を考え、特性線を用いて塑性論における応力場を求めることによって、豪雨時の主働土圧を算定した。

2. 豪雨時の土圧の算定法 土が静水中にある場合には、土粒子に浮力が作用するだけであるが、土塊中を水が流れる場合には、流線の接線方向に浸透力が作用する。浸透力は単位体積に作用する力であり、土の単位体積重量と同じ元を有し、水の単位体積重量 γ_w と動水傾度 i を用いて、 $D = \gamma_w \cdot i$ で与えられる。図1(a)に示すように、鉛直下方に対して時計回りに f なる角度をもつ浸透力 D が単位体積の土に作用する場合を考えると、自重と浮力による力 γ' と浸透力 D との合ベクトルの大きさ R 、および R が鉛直下方に対して時計回りになす角度 g の値は次式で求められる。

$$\left. \begin{aligned} R &= D \cdot \sin f / \sin g \\ g &= \tan^{-1} \{ D \cdot \sin f / (\gamma' + D \cdot \cos f) \} \end{aligned} \right\} (1)$$

ここで、図1(b)に示すように、 xy 座標、 uv 座標、 nt 座標をとって、土の微小要素に作用する力の釣合を考えると次式が成立する。

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \sigma_u}{\partial u} + \frac{\partial \tau_{uv}}{\partial v} &= R \cos \beta_0 \\ \frac{\partial \tau_{uv}}{\partial u} + \frac{\partial \sigma_v}{\partial v} &= -R \sin \beta_0 \end{aligned} \right\} (2)$$



ここに、 $\beta_0 = \beta + g$ であり、 β は地表面の傾角を表わし、水平面から反時計回りにとるときを正とする。式(2)の R と β_0 は裏込め土中の各場所異なる値である。

極限応力状態における応力をMohrの円の関係から次式で表わす。 $\sigma_u = \bar{\sigma} (1 + \sin \phi \cos 2\psi) - c \cot \phi$ 、 $\sigma_v = \bar{\sigma} (1 - \sin \phi \cos 2\psi) - c \cot \phi$ 、 $\tau_{uv} = -\bar{\sigma} \sin \phi \sin 2\psi$ 。これらの式を式(2)に代入し、すべり線の接線方向を与える関係式、および ψ と ψ についての一価条件を用いると、すべり線上で次式が求まる。

$$d\bar{\sigma} \pm 2\bar{\sigma} \tan \phi d\psi = \frac{R}{\cos \beta_0} \{ \cos(\beta_0 \mp \phi) du - \sin(\beta_0 \mp \phi) dv \} \quad (3)$$

複号の上号は $+m$ すべり面に、下号は $-m$ すべり面に適用される。式(3)を差分化して、Sokolowskiの方法にしたがって地表面から計算を進めて壁面の応力を求める。

壁面に作用する垂直土圧合力 P_n は土の自重と浸透力による成分 P_{nw} と粘着力による成分 P_{acw} にわけて考えると、 $P_n = (P_{nw} - P_{acw}) \cdot \cos \delta$ で与えられ、土圧係数 K_{nw} 、 K_{acw} を用いて表わすと、 $P_{nw} = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_{nw} / (\cos \delta \cdot \cos \alpha_1)$ 、 $P_{acw} = c' H K_{acw} / (\cos \delta \cdot \cos \alpha_1)$ で表わされる。

3. 計算結果 図2は不透水層が壁底から鉛直下方に位置する場合(タイプ3)の裏込め土中の等ポテンシャル線と浸透力の分布の一例を示したものである。浸透力の影響は壁の下端近くで最も大きくなっていることがわかる。計算は壁高 $H=6.7m$ 、壁の背面の傾角 $\alpha_1=-10^\circ$ として行なった。図3(a)は図2で求められた浸透力分布を用いて、式(9)より求めたすべり線を実線で示した。また、すべり線に対数法として極値法から求まるすべり線を破線で示した。

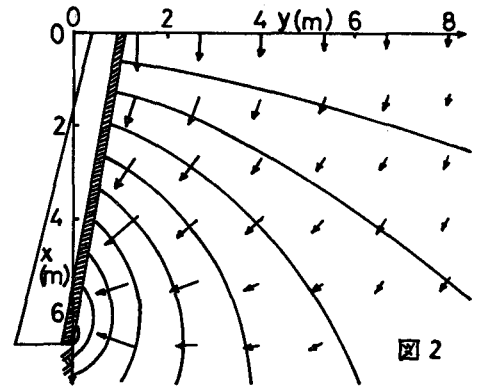


図2

さらに、比較のために、浸透流のない場合のすべり線も示した。両者の比較から、浸透流の影響によってすべりの領域が大きくなるのがわかる。計算は $\phi'=35^\circ$ 、 $\delta=2/3\phi'$ 、 $c'=0.3 t/m^2$ として行なった。図3(b)は図3(a)のすべり線に対応する壁面に垂直に作用する応力 σ_n の分布を示したものである。対数法とSokolovski法とでは土圧の大きさとしては大きな違いがないが、Sokolovski法による土圧分布は、浸透力の局部的影響を正確に表わし、壁の下部で土圧を大きくさせている。

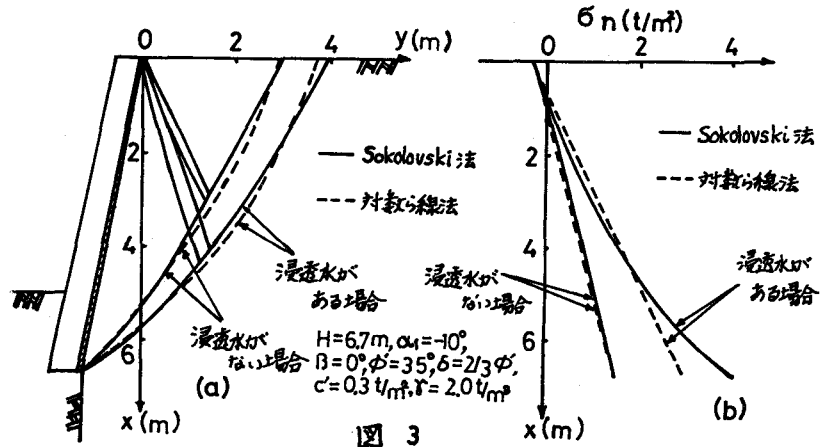


図3

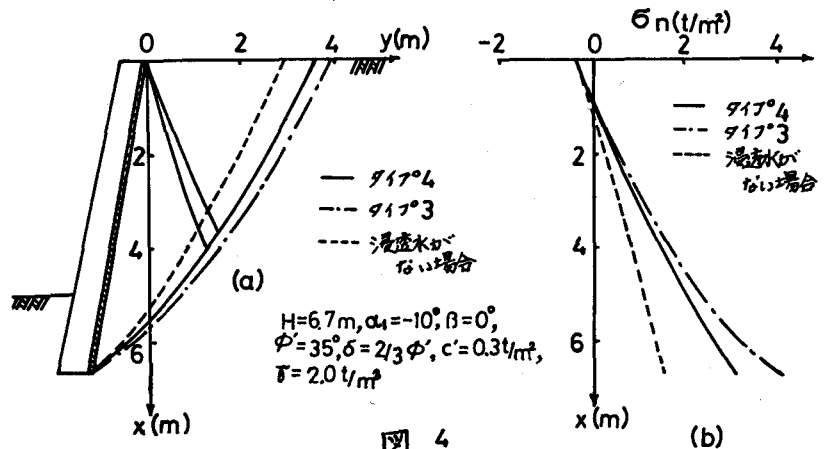


図4

図4(a),(b)には、壁下端から鉛直下方に不透水層が存在しない場合(タイプ4)について求めたすべり面と垂直土圧 σ_n の分布を示した。また浸透水のない場合、タイプ3の場合の σ_n とすべり面を比較のために示す。計算条件は図3と同じである。タイプ4はタイプ3に比して、すべりの領域が小さく、土圧も小さいことがわかる。表1に上記の方法で求めた土圧を無次元化して表わした土圧係数 K_{ATW} と K_{ACW} の値を示す。

表1 土圧係数 K_{ATW} 、 K_{ACW} の値 ($H=6.7m$ 、 $\alpha_1=-10^\circ$ 、 $\beta=0^\circ$ 、 $\delta=2/3\phi'$ 、 $c=0.3 t/m^2$ 、 $\gamma=2.0 t/m^3$)

ϕ'	30.5°		35°	
	K_{ATW}	K_{ACW}	K_{ATW}	K_{ACW}
① 浸透水のない場合	0.2284	1.2919	0.1814	1.1541
② タイプ3	0.3090	1.2919	0.2603	1.1541
③ タイプ4	0.2780	1.2919	0.2289	1.1541
②/①	1.35	1.00	1.43	1.00
③/①	1.22	1.00	1.26	1.00