

III-302

泥流の流体力による盛土の破壊

東京大学工学部 学生員 雅楽川 英樹

正員 石原 研和

1 まえがき

1983年5月26日正午ごろ、秋田県北西部沖を震源とする、マグニチュード7.7の「昭和58年日本海中部地震」が起こった。被害の中から「重ねため池」である「鶴の木」が泥流の流体力によって破壊されたと仮定し考察したのでここに報告する。

2 解析の概要

被災後の状況は図-1の通りである。二号、三号が流体によって破壊されたと仮定する根拠は次の2つである。一つは、似た材質であるにもかかわらず四号は越流したばかりであることから二号、三号は越流によって削られたのではなさそうであるということ、もう一つは、二号、三号にあべつ利跡のないことから地震外力によるものでもなさそうであるということ、の2点である。そこで本研究においては、発生した流形断面の計算、盛土へ及ぼす圧力の計算、簡易解析による盛土のせん断抵抗力の計算を軸にして、安全率による流体定数の決定手法の提案と、有限要素法と簡易解析法との比較を行なった。

3 解析方法と考察

一号盛土の粒度がかなり均一でばらつきの少ないことからビンガム流体モデルを用いた層流解析が適用できる(K. Jeyapalan)。よって流体の様子は図-2のように定数 η_p と τ_y の流体が長方形の砂に静止した状態から流れ出したものと考えて解析した。その方程式は、一次元運動量方程式、質量保存式、それぞれ下のようになる。

$$\rho \frac{\partial u^*}{\partial t^*} + \rho u^* \frac{\partial u^*}{\partial x^*} = - \frac{\partial}{\partial x^*} (\rho g z^*) + \rho g (\delta_0 - \delta_f)$$

$$\frac{\partial z^*}{\partial t^*} + u^* \frac{\partial z^*}{\partial x^*} + h^* \frac{\partial u^*}{\partial x^*} = 0$$

但し、 δ_0 は摩擦勾配、 f は抵抗係数、 Re はレイノルズ数、 β は床面勾配、 η_p は粘性係数、 τ_y は降伏応力であり、 $\delta_0 = \sin \beta$ 、 $f = 16/Re$ 、 $\delta_f = (f/8g) \cdot (u^{*2}/h^*)$ 、 $Re = u^* r^* \rho^* / \eta_a g$ 、 $\eta_a = \eta_p + (\rho^* / 2 u^*) \tau_y$ 、である。さらに各変数 z 、 $x = x^* / H_0$ 、 $h = h^* / H_0$ 、 $C = C^* / \sqrt{g H_0}$ 、 $u = u^* / \sqrt{g H_0}$ 、 $t = t^* \sqrt{g / H_0}$ 、 $\eta_n = 2 \eta_p \sqrt{g} / r^* H_0^3$ 、 $\tau_n =$

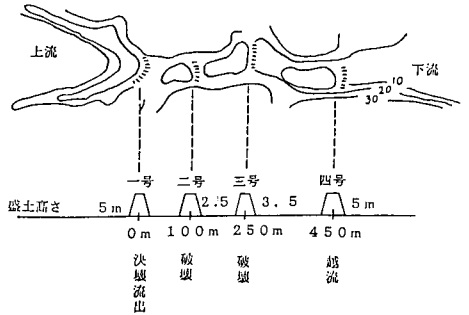


図-1 研究対象のため池

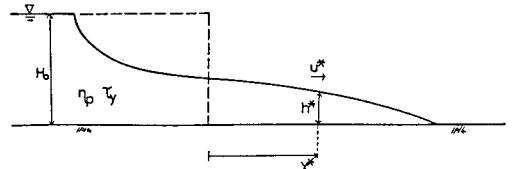


図-2 解析の概念図

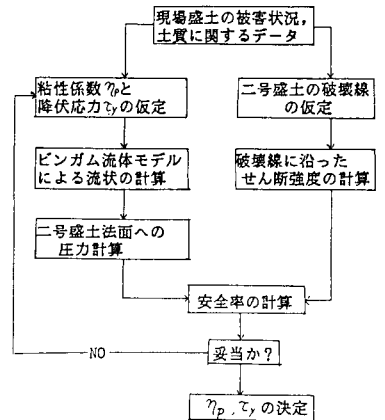


図-3 定数決定のフローチャート

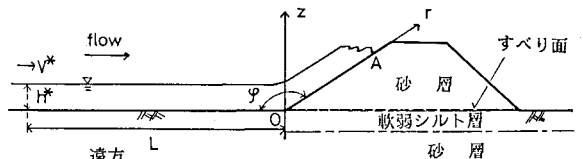


図-4 二号の解析概略図

$\gamma/\rho H_0$ と無次元化することにより、無次元化方程式を解くことができる。その解より、 $u=u(x,t)$ 、 $c=c(x,t)$ 、 $\rho=\rho(x,t)$ となるので、任意の時刻 t 、変位 x において、流速と水深はそれぞれ、 $u=\sqrt{H_0} u(x,t)$ 、 $\rho^*=H_0 c(x,t)^2$ と求められる。 c は流速である。

ここで η と γ を決める必要がある。そこで図-3のように、仮定した η と γ から求めた流速と水深の流体が盛土法面へ及ぼす圧力を計算する。上で求めた流速と水深は、二号、三号地点でほぼ一樣になることから、図-4のように流速 u 、水深 ρ^* の定常流が法面の角を曲がって流れるとして解析した。つまり、土層の方向に垂力の作用した角を曲がる流れの複素関数から、圧力方程式により、法面のA上の圧力分布は、

$$p = -\frac{\rho}{2} \left(\frac{u}{\gamma} \right)^2 r^{2\left(\frac{\pi}{\phi}-1\right)} - \rho g r \sin \theta$$

となる。但し、 $\rho = u^* \rho^* / \gamma \sin \theta$ 、 (r, θ) は表面の極座標である。

次に安全率から、 η と γ を決定する。仮定した η と γ によって計算される流体圧力と盛土のせん断抵抗力の比較によって、破壊に及ぶ η と γ を求める。図-4から二号の破壊すべり面を図のように考えて、側面と底面のせん断抵抗力の和として盛土の強度を簡易計算した。その安全率が図-5に示してある。層流解析のため、層流領域と $F_2 \leq 1.0$ の共通領域が斜線のようなになる。その内部から代表値として、 $\eta_n = 0.0011$ 、 $\gamma_n = 0.001$ を取る。そのときの Reynolds 数と Hedstrom 数は、図-6のようになりこの値は Jeyapalan の解析した値とほぼ同じような値であることから、以上の手法により求められた η と γ は妥当であると考えられる。その値により三号、四号の安全率を計算すると図-7のようになり、被害状況と整合する。さらに有限要素法による安全率のコンターが図-8である。二号では、すべり面の仮定が妥当であることがわかる。また、三号、四号の結果も簡易方法の結果と一致している。

4 結論

上流側盛土の液状化破壊により発生した流体が下流側盛土を破壊する様子をビンガム流体モデルを用いて解析するのが有効であることがわかった。破壊の様子から流体の定数を求め、盛土への影響を考える簡易解析方法を考案し有効であることがわかった。

5 参考文献

J.K.Jeyapalan, J.M.Duncan, and H.B.Seed, "Analyses of Flow Failures of Mine Tailings Dams", ASCE, Journal of Geotechnical Engineering, vol.109, No.2, Feb., 1983.

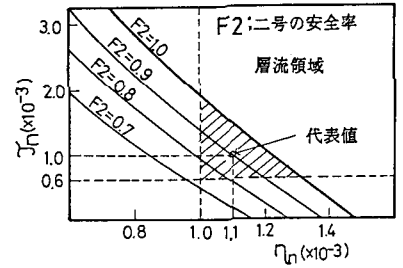


図-5 二号の安全率による粘性係数と降伏応力の決定

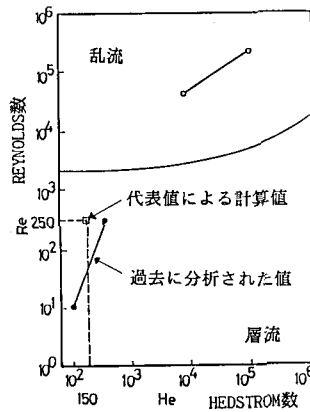


図-6 HEDSTROM数と限界REYNOLDS数

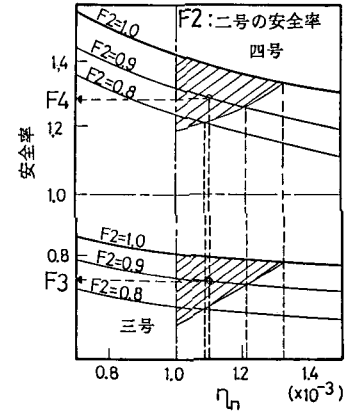


図-7 三号、四号の安全率

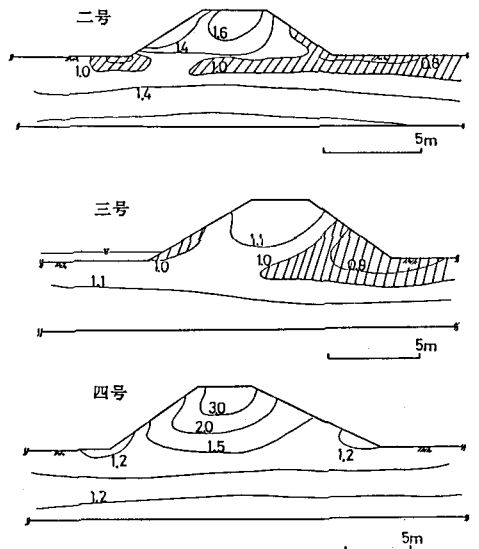


図-8 有限要素法による安全率