

(D-3) 塑性変形を考慮したアースダムの振動特性について

京都大学 農学部 農業土木研究室
土木学会員

南 勲

まえがき

アースダム、ロックフィルダムのようなフィルタイアダムが地震動を受けた場合の振動特性は、堤体材料を粘弾性として解析された場合が多い。しかるに現在フィルタイアダムの設計に当っては、塑性平衡状態における安定解析すなわち、堤体の震度分布を与えてこれに基づいたにり面による解析が行われている。現在上述の仮定のもとに堤体の震度分布の推定が2.3試みられているが、これは変形が少量の場合には、よく成立するとも考えられるが変形量が大となつても成立するとは考えられない。したがつて、耐震設計を行うためには、これら大きい変形状態をも取り入れた解析が必要と考えられるので、今回土の破壊試験で得られる stress-strain 関係の近似式を出し振動方程式に取り入れた。

以上の方法によつて、アースダムの振動解析結果の実用的設計への接近を試みた。

1 土の応力-歪関係式に対する仮定

現在土の静的破壊試験は数多く行なわれ、土が剪断破壊する場合の応力-歪関係の一般的傾向はすでに予想しうるものと思われる。勿論正しくは土の急速剪断試験が必要であるが、緩速剪断試験の結果得られた stress-strain 関係式に剪断速度の影響と粘性係数を考慮して加味すれば急速剪断時の stress-strain 関係をある程度近似できるものと思われる。

一般に stress-strain 関係が直線を示す時は 剪断振動の微分方程式は線型となるが図1のように stress-strain 関係が曲線となすと非線型となる。

$$\tau = \delta G - (\tau_0 - \tau_c) \left(\frac{\gamma}{\gamma_c} \right)^2 + \eta \frac{d\gamma}{dt} \quad (1)$$

緩速剪断試験において右边ヤ3項を無視すれば

$$\tau = \delta G - (\tau_0 - \tau_c) \left(\frac{\gamma}{\gamma_c} \right)^2 \quad (2)$$

となる。こゝに τ = 剪断抵抗応力、 δ = 剪断歪、 τ_c = 破壊時剪断歪、 τ_0 = クーロンの剪断抵抗力、 η = 粘性係数、 t = 時間とする。右边ヤ1項は弾性的剪断抵抗力、ヤ2項は塑性的剪断抵抗力に対応するための修正項である。

勿論 土の振動時においては 大なる変形量になつても外力が除されれば必ず原状に復帰するとの仮定を入れてある。

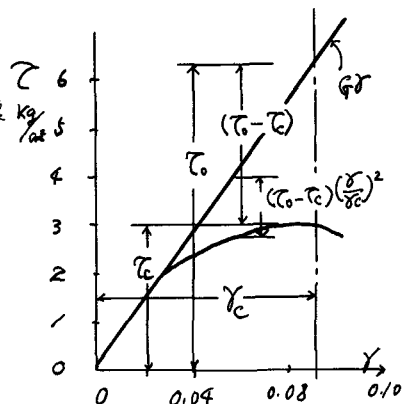


図1 土の Stress-Strain 曲線

2. 剪断振動の基礎微分方程式

図2のようなアースダムを考え、その基礎が振動した場合ダム斜面は着しく緩勾配であるから水平剪断振動とするものと仮定する。したがつて剪断振動の基礎方程式は次のようになる。

$$AB \text{ 面に働く剪断力} \quad -b \left\{ G \frac{\partial w}{\partial z} + \eta \frac{\partial^2 w}{\partial t \partial z} - (\tau_0 - C - p \tan \phi) \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \right\}$$

$$CD \text{ 面に働く剪断力} \quad b \left\{ G \frac{\partial w}{\partial z} + \eta \frac{\partial^2 w}{\partial t \partial z} - (\tau_0 - C - p \tan \phi) \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ b G \frac{\partial w}{\partial z} + b \eta \frac{\partial^2 w}{\partial t \partial z} + (\tau_0 + C + p \tan \phi) \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \right\}$$

上式を $\eta = m z$, 粘性係数 $\eta = \text{const}$, 剪断弾性係数 $G = \text{const}$, 垂直圧応力 $P = \frac{1}{2} \rho z^2$ の密度 $\rho = \text{const}$ のもとに整理すれば、次の剪断振動の基礎方程式が得られる。

$$\frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = \left\{ z \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} + \frac{\partial w}{\partial z} \right\} \left\{ \frac{G}{\rho z} + \left(\frac{C - \tau_0}{\rho c^2} \right) \frac{1}{z} + \frac{\tan \phi}{c^2} \right\} \left(\frac{dw}{dz} \right) + \frac{C - \tau_0}{\rho c^2} \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{\eta}{\rho z} \left\{ z \frac{\partial^2 w}{\partial t \partial z} + \frac{\partial^2 w}{\partial t \partial z} \right\} \quad (3)$$

3. 境界および初期条件

(3) 式を次の境界条件のもとに解析すればフィルタイフダムの変形量が求まり、したがって震度を計算できる。

$$\text{初期条件} \quad \left. \begin{aligned} t = 0, w = 0 \\ t \rightarrow \infty, w = 0 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$$\text{境界条件} \quad \left. \begin{aligned} z = H, w = f(t) \\ z = z_0, \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

4. 振動特性解析

(3) 式は非線型微分方程式であるから解析は相当の困難がある。そこで近似的な解をうけるために階差を用いて、(3) 式の関係式を図 3 の各節点間の w の代数方程式に直して Gauss Seidel 法によって逐次近似で解く方法を考えた。この場合 (4) 式 $t = t_0$ は地震動が終った後、更に余裕を加えた時間と採用する。すなわち t_0 以後は静止したと認める。求めんとする w は振動開始後の時間が $t > t_0$ の範囲にあるものを取りにした。この解析結果の一例を図 4 に示す。

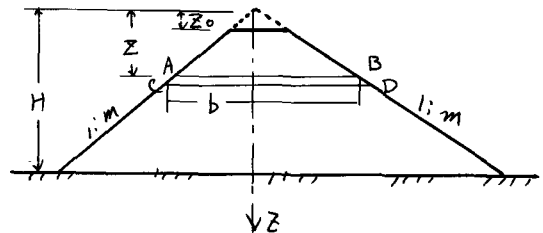


図 2. フィルタイフダム横断面

5. 結 び

(3) 式の解法および土の急速剪断試験については更に研究を続行するつもりである。

(しかし 図 4 に示す如く、

実用的精度内では本解法が $t=0, w=0$ の範囲に w の値があるものを取り、この解析結果の一例を図 4 に示す。一般的に変形量の増加する非線型項の影響が大きいと考えられる。

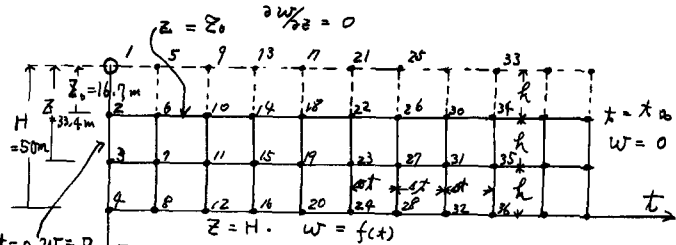


図 3

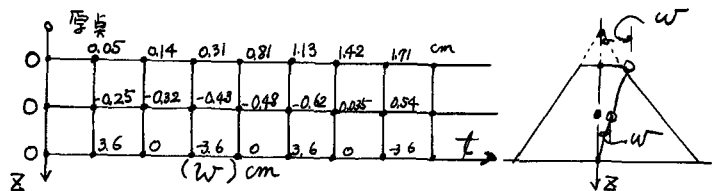


図 4. 変位解析結果