

(I - 9) 土石流流体力のばらつきを考慮した鋼製枠砂防ダムの弾塑性信頼性解析

防衛大学校 学生員 ○三浦 明夫 正員 香月 智 正員 石川 信隆

1. 緒言 鋼製枠砂防ダムは、現在掃流区域において数多く設置されているが、将来は土石流区域における使用も検討されている。このためには、土石流流体力を考慮する必要がある、またある部材が降伏しても構造物全体が崩壊しなければ安全であるという弾塑性の考え方も必要である。本研究は、このような観点から、土石流のばらつきを考慮した鋼製枠砂防ダムの弾塑性変位に関する安全性照査法を提示するものである。なお本研究では次の仮定を用いた。①部材の挙動は、完全弾塑性モデルとする。②荷重は、活荷重（土石流流体力 q ）と死荷重（中詰材の土圧 P_n 、堆砂圧 P_s 、静水圧 P_w ）とに区分する。土石流流体力 q は、 $q = q_0 \alpha$ で表され、基準荷重 q_0 は確定量、荷重係数 α は確率量（正規分布）と仮定する。③許容変位は確定量とする。④構造物の荷重係数～変位関係は、1対1に対応し、かつ単調増加な硬化型の弾塑性挙動であり、劣化型の挙動を示さないものとする。

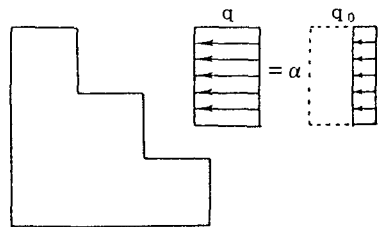


図-1 土石流流体力の考え方

2. 土石流による流体力のばらつきの考え方

鋼製砂防構造物設計便覧¹⁾によれば、土石流による流体力は次式によって表される。

$$q = \frac{\rho_a}{g} h U^2 \quad (1)$$

ただし、 q ：単位幅当りの土石流の流体力(t/m)、 ρ_a ：土石流の単位体積重量(t/m³)、 g ：重力加速度(=9.8m/s²)、 h ：設計土石流水深(m)、 U ：ダム地点における土石流の平均流速(m/s)。

ここで、式(1)を図-1のように基準流体力 q_0 とその倍数を示す α とによって、次式のように表すものとする。

$$q = q_0 \alpha \quad (2)$$

ただし、 $q (= \rho_a \cdot h / g)$ ：基準流体力(確定量)、 $\alpha (= U^2)$ ：荷重係数(確率量)。

よって、基準流体力 q_0 は一定値であるので、土石流流体力 q のばらつきは荷重係数 α のばらつきによって表されることになる。

3. 弾塑性変位に関する破壊確率の算定法

(1) 破壊確率の考え方

いま土石流流体力 $q (= q_0 \alpha)$ を受ける構造物の弾塑性解析を行うと、図-2(b)のような荷重係数 α^* ～応答変位 u_1^* の関係(ただし、 α^* 、 u_1^* は標本値を示す)が得られるものとする。構造物の弾塑性変位に関する破壊は、応答変位 u_1^* がある許容変位 u_{1s}^* を越えるときの図-2(c)の斜線部の面積 P_{fu} によって定義される。しかし、この P_{fu} を算出するのは、図-2(c)のように極めて複雑である。そこで、 $\alpha^* \sim u_1^*$ 関係が1対1に対応し、かつ単調増加であることから、図-2(c)の許容変位 u_{1s}^* に対応する図-2(a)の許容荷重係数 α_s が図

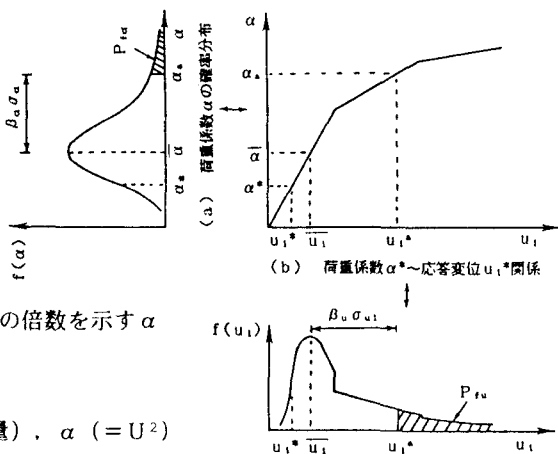


図-2 荷重係数の破壊確率 P_{fa} と弾塑性変位の破壊確率 P_{fu}

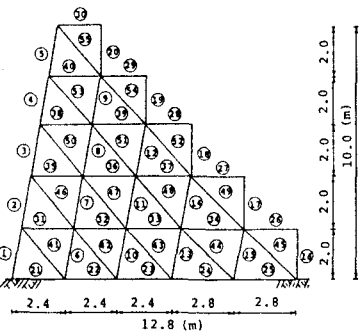


図-3 鋼製枠砂防構造物の一例 (○内の番号は部材番号)

- 2 (b) の $\alpha^* \sim u_1^*$ 関係を介して必ず存在する (ただし, $u_1^* \leq u_u$, u_u : 終局変位) ことに着目すると, u_1^* が u_1^* を越えるときの破壊確率 P_{fu} は, α^* が α_a を越えるときの破壊確率 P_{fa} に等しい ($P_{fu} = P_{fa}$) ことがわかる。

ここで, 荷重係数 α は正規分布を仮定しているの, 安全性指標 β_a と破壊確率 P_{fa} との間には次式の関係がある。

$$P_{fa} = \Phi(-\beta_a) \quad (3)$$

ただし, 安全性指標 β_a は次式で求められる。

$$\beta_a = \frac{\alpha_a - \bar{\alpha}}{\sigma_{\alpha}} \quad (4)$$

したがって, 式 (4) より β_a が算出されれば, $P_{fu} = P_{fa}$ なので弾塑性変位に関する破壊確率 P_{fu} が得られる。

(2) α_a の算定法

式 (4) の β_a を算定するためには, 許容変位 u_1^* に対応する許容荷重係数 α_a を求めることが必要であり, この α_a は, 従来のホロノミック弾塑性解析の基本式に変位の破壊条件 ($u_1^* = u_1^*$) を付加することにより, 一種の逆解析問題として算定される²⁾。

4. 鋼製枠砂防ダムの計算例

本解析で使用した鋼製枠砂防ダムは, 図-3 に示すようなトラス構造であり, 荷重としては図-4 のように土石流流体力のほかに, 死荷重として中詰材の土圧 P_n , 堆砂圧 P_o および水圧 P_w を考慮する。

図-5 は, 土石流流体力の荷重係数 α^* とダム頂点の水平応答変位との関係を示したもので, 4 つの部材が降伏して崩壊に至っている。

図-6 は, 荷重係数の変動係数 $V_a = 0.2$, 平均荷重係数 $\bar{\alpha} = 9, 16, 25$ (平均流速 $\bar{U} = 3, 4, 5 \text{ m/s}$ に対応) のときの安全性指標 β_a と許容変位 u_1^* との関係を表したもので, モード変換点で傾きが徐々に小さくなる (安全性が低下する) ことが認められ, 平均流速 $\bar{U}$ の値が大きくなるほど安全性指標 β_a の値が急に小さくなり, 構造物の安全性が土石流の平均流速 $\bar{U}$ に極めて顕著な影響を受けることがわかる。

5. 結論 本研究は, 土石流流体力の荷重係数による安全性指標を用いて, 弾塑性変位に関する信頼性解析法を提示したもので, 実際の鋼製枠砂防ダムを例として安全性照査を行ったものである。その成果を列挙すると以下ようになる。

- (1) 安全性指標 β_a の算出に必要な荷重係数 α_a は, ホロノミック弾塑性解析の基本式に変位の破壊条件 ($u_1^* = u_1^*$) を付加することにより, 逆解析問題として算出可能であることが認められた。
- (2) 土石流の平均流速およびばらつきが大きくなるほど, ダムの安全性が低下することが認められた。よって, ダム地点の土石流の平均流速と変動係数 (ばらつき) を溪床勾配や粗度係数などから推定できれば, 本解析法を用いて変位を基準とした限界状態設計法も可能となる。

参考文献: 1) 砂防・地すべり技術センター: 鋼製砂防構造物設計便覧, 昭和62年版。2) 三浦明夫, 香月智, 石川信隆, 佐藤尚次: 弾塑性変位に関するトラス構造物の信頼性解析, 構造工学論文集, vol. 37, 1991年3月

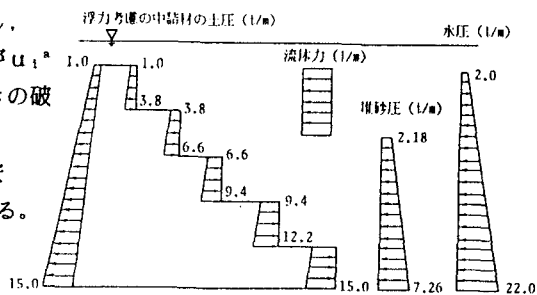


図-4 流体力+中詰材圧+堆砂圧+水圧

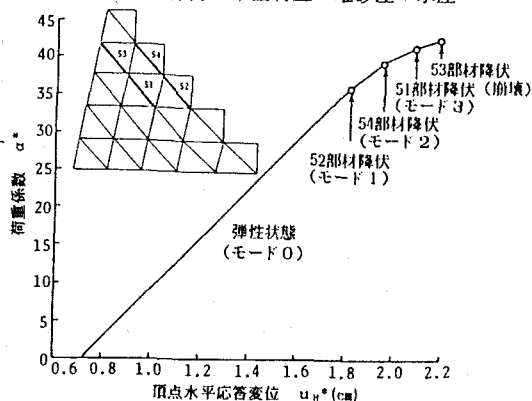


図-5 荷重係数 $\alpha^* \sim$ 頂点水平応答変位 u_H^* 関係

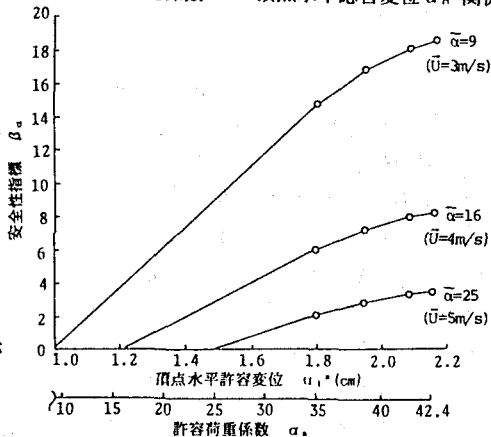


図-6 安全性指標 $\beta_a \sim$ 頂点水平許容変位関係 ($V_a = 0.2$)