

I-360

弾塑性信頼性理論による鋼製砂防ダムの安全性照査法

防衛大学校 正員 ○石川信隆 学生員 三浦明夫 正員 香月智
関東学院大学 正員 佐藤尚次

1. 緒言

鋼製砂防ダムは、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、土石流荷重を受ける鋼製砂防ダムの安全性照査が必要であり、その考え方の一つとして、部材のある弾塑性変位が許容変位を越えなければ安全であるとするような、いわゆる弾塑性変形に関する安全性照査法がある。

本研究は、このような観点から、土石流荷重を受ける鋼製砂防ダムの安全性照査法を弾塑性信頼性理論を用いて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、鋼製砂防構造物設計便覧¹⁾における設計荷重Ⅱ(浮力考慮の中詰材の土圧 P_n 、堆砂圧 P_a 、静水圧 P_w)にばらつきを考慮した土石流による流体力が作用する場合を導入する。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る。

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。

$$q = \frac{\rho_a}{g} h U^2 \quad (1) \quad \text{ただし、} q: \text{単位幅あたりの土石流の流体力(t/m)} \\ \rho_a: \text{土石流の単位体積重量(t/m}^3\text{)}$$

g : 重力加速度($=9.8\text{m/s}^2$), 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。 $q = \alpha q_0 \quad (2)$

ただし、 $q_0 (= \rho_a \cdot h / g)$: 基準流体力(確定量), $\alpha (= U^2)$: 荷重係数(確率量で対数正規分布を仮定)。よって、基準流体力 q_0 は一定値であるので、土石流による流体力 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 $q (= \alpha q_0)$ を受ける構造物の弾塑性解析を行うと、図-1(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_1^* を越えるときの図-1(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-1(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に着目すると、図-1(c)の許容変位 u_1^* に対応する図-1(a)の許容荷重係数 α_s を必ず見つけることができる(ただし、 $u_1^* \leq \delta_u$, δ_u : 終局変位)。よって、 u_1^* が u_1^* を越えるときの破壊確率 P_{fu} は、 α^* が α_s を越えるときの破壊確率 P_{fa} に

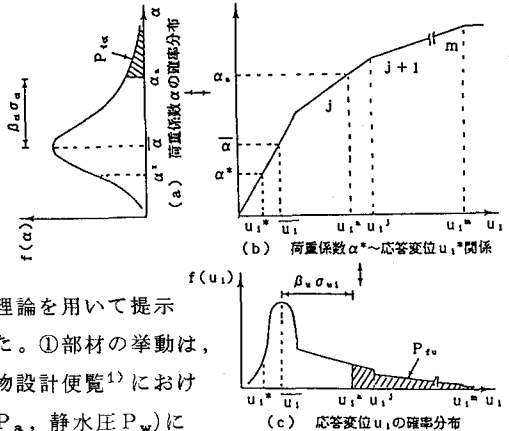


図-1 荷重係数の破壊確率 P_{fa} と弾塑性変位の破壊確率 P_{fu}

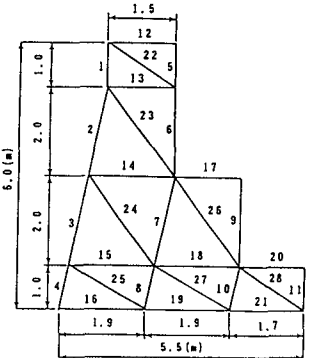


図-2 鋼製砂防ダムの一例 (番号は部材番号)

等しい ($P_{fu} = P_{fd}$) ことがわかる。ここで、荷重係数 α は対数正規分布を仮定しているので、荷重係数の破壊点すなわち許容荷重係数 ($\alpha = \alpha_s$) において確率密度関数の値が等しくなるように正規化近似行っている。したがって、安全性指標 β_d と破壊確率 P_{fd} との間には次式の関係がある。

$$P_{fd} = 1 - \Phi(\beta_d) \quad (3)$$

ただし、安全性指標 β_d は次式で求められる。

$$\beta_d = \frac{\alpha_s - \bar{\alpha}'}{\sigma_{\alpha}'} \quad (4) \quad \text{ここで、} \bar{\alpha}', \sigma_{\alpha}' \text{ は}$$

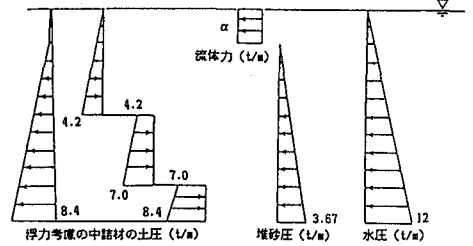


図-3 土石流による流体力+中詰材圧+堆砂圧+水圧

正規化近似された α の平均値と標準偏差である。したがって、式 (4) より β_d が算出されれば、 $P_{fu} = P_{fd}$ 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_s の算定法 式 (4) の β_d 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_s を求めることが必要であり、これ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 ($u_1^* = u_1^*$) を付加した形で、線形相補問題によって求めることができる²⁾。

4. 鋼製棒砂防ダムへの適用

本研究では、昭和63年7月広島県北西部の豪雨による土石

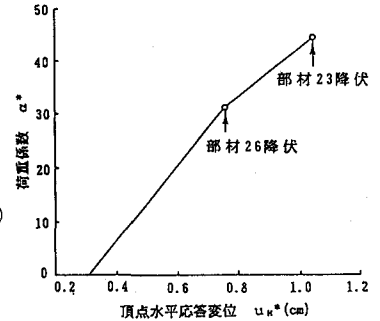
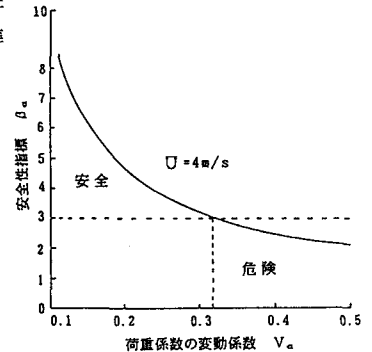


図-4 荷重係数 α^* ~ 頂点水平応答変位 u_H^*

流災害でのデータ^{3), 4)} を利用して、平均荷重係数を求め、図-4 荷重係数 α^* ~ 頂点水平応答変位 u_H^* 許容応力度設計された現行の鋼製棒砂防ダムを設置した場合の安全性について検討した。計算は、津浪川本川ダム番号20103⁴⁾ に標準タイプの鋼製棒砂防ダムを設置した場合について行ったので、図-2 に示すような高さ6m、幅5.5mのものについて検討した。ここでは図-3 に示すように設計荷重II（浮力考慮の中詰材圧+堆砂圧+水圧）に土石流による流体力が作用する場合について検討した。

(1) 荷重係数~頂点水平応答変位関係 図-4 は、確定的な荷重係数~頂点水平応答変位関係について示したもので、弾性~部材26降伏~部材23降伏（崩壊）という崩壊過程をたどり、終局荷重係数 $\alpha_u = 43.8$ (6.6m/s)、終局変位 $\delta_u = 1.04$ cm である。



(2) 安全性指標~変動係数関係 図-5 は、許容変位 u_H^* 図-5 安全性指標 β_d ~ 変動係数 V_d 関係 $= 0.9 \delta_u$ について示したもので、平均荷重係数は $\bar{\alpha} = 1$ ($U = 4$ m/s) である。土 ($u_H^* = 0.9 \delta_u$)

石流の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る。いま、許容安全性指標 $\beta_s = 3$ とすると、変動係数 $V_d = 0.32$ 以上で弾塑性変位に関して危険であり、これはダム地点における土石流平均速度のばらつき（標準偏差）が2.23m/sに相当する。実際の土石流速度のばらつきはかなり大きいことが予想され、この程度のばらつきで破壊するとなれば、本解析法の必要性が益々高まるものと考えられる。

参考文献： 1) 砂防・地すべり技術センター；鋼製棒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.37A，5-3，pp.557~564，1991.3

3) 栃木省二，海堀正博；昭和63年7月の広島県北西部土石流災害に関する調査研究（その1），平成元年度砂防学会研究発表会概要集，pp.1~4，1989.5

4) 栃木省二，海堀正博；豪雨による土砂移動のあった砂防・治山ダムの堆砂の実態，平成2年度砂防学会研究発表会概要集，pp.162~165，1990.5