

(I-25) 土石流のばらつきを考慮した礫中詰型砂防ダムの安全性評価法

防衛大学校 正員 ○香月智 横浜防衛施設局 深和岳人 防衛大学校 中村英二
防衛大学校 正員 伊藤一雄 フェロー 石川信隆

1. 緒言

近年、写真-1に示すような鋼壁または鋼殻の中に現地発生土砂などの中詰材を詰めて作られる礫中詰型砂防ダムが多く建設されるようになってきた。本構造物は主として傾斜の緩い掃流区域に建設されてきたが、火山災害対策で土石流対策構造として使用される例も見られるようになってきた。この砂防ダムを土石流対策に用いるには土石流荷重および堤体の抵抗力のランダム性および不確定性を適切に考慮した安全性評価法の確立が望まれる。本研究は、巨礫衝突を受ける礫中詰型砂防ダムの信頼性解析により安全性評価法に関する基礎的検討を行ったものである。

2. 2質点モデルによる衝撃応答解析

礫中詰型砂防ダムの重要な破壊形態¹⁾であるせん断変形と局部変形応答を表す巨礫の砂防ダムへの衝突解析を、図-1に示す2質点ばねモデルによって行うこととした。ここで、局部ばね定数 k_1 およびせん断抵抗力は、本研究に先立って行った実験結果²⁾の抵抗～変形関係をもとにモデル化した。動的数値積分は、ニューマークβ法を用いた。

3. モンテカルロ法による破壊確率の算定 実物大のダブルウォール砂防ダム(H:10m×B:12m×W:10m)の安全性評価をするためにモンテカルロ法により破壊確率 $P_f(z_1 \leq 0, \text{or}, z_2 \leq 0)$ を算定する。本構造システムの限界状態は、次式のような局部変形とせん断変形の2つの限界状態関数である。

$$Z_1 = \delta_a - \delta \quad (1)$$

$$Z_2 = \gamma_a - \gamma \quad (2)$$

ここで、 z_1 :局部変形限界状態関数、 z_2 :堤体のせん断変形限界状態関数、 δ, δ_a :堤体の衝突点局部へこみ量およびその許容値(30cm)、 γ, γ_a :堤体のせん断変形量(= u_2/h)およびその許容値(5%)。

本研究では、土石流中に含まれる巨礫の径 $D(\text{cm})$ と速度 $v(\text{cm/s})$ 及び衝突位置 $h(\text{cm})$ 、また局部ばね定数 k_1 およびせん断ばね定数 k_2 がばらつきや不確定要因を含んでいるものとし、これらを確率変数とした。 k_1, k_2 は実験推定値を平均としてその倍数 a, b が確率量であるものとし、5つの確率変数は表-1に示す平均値及び標準偏差をもつ正規分布であるものと仮定した。図-2は他の3つのパラメータを平均値における確定量としたうえで、礫径 D および速度 v のみを確率変数とした場合のシミュレーション結果を示したものである。

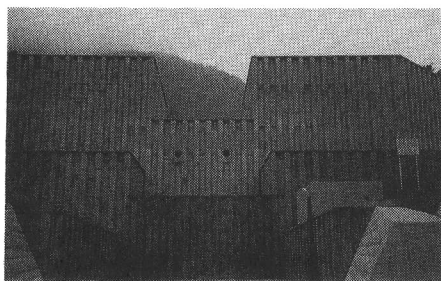


写真-1 礫中詰型砂防ダムの一例
(ダブルウォール砂防ダム)

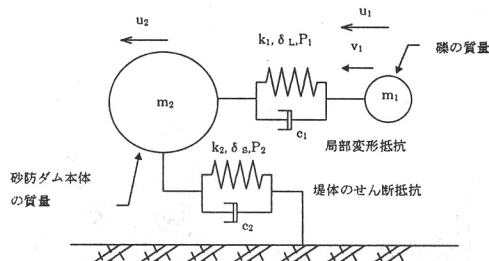


図-1 2質点ばねモデル

表-1 確率変数として与える変数の諸元

	D (cm)	v (cm)	h (cm)	a	b
平均値	300	500	500	1.0	1.0
標準偏差	90	150	150	0.3	0.3

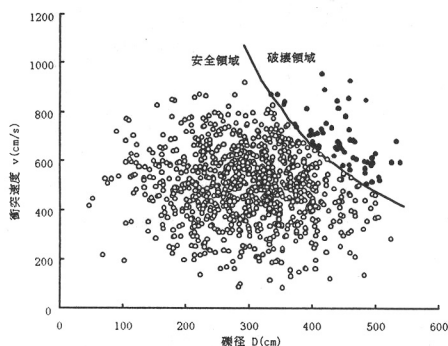


図-2 モンテカルロ法による破壊確率の算定
($\bar{V} = 5m/s, \bar{D} = 3m$)

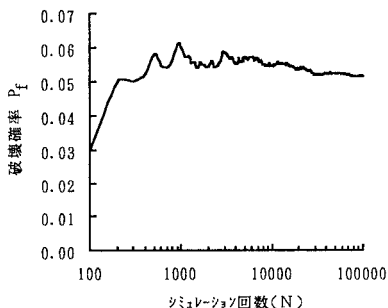


図-3 計算回数と破壊確率の関係

限界状態を越え破壊した D , v の組み合わせを黒丸、安全であるものを白丸で示した。図中に実線で示したものが堤体の局部変形が許容値(30cm)を超える場合の限界状態に対応しており、この場合の破壊確率は、 $P_f = 0.05171$ である。図-3 にシミュレーション回数と解の収束状況を示す。この場合 20000 回を超えるとほぼ収束していることがわかる。

4. 領域分割法による破壊確率の算定

モンテカルロ法による計算負担を解決するために著者ら³⁾が提案する領域分割法により破壊確率を算定する。本手法は、図-4 に示すように平均値(原点)から m 等分された領域ごとに中心線ベクトルを発生させ限界状態線との距離 D_i を求めることにより χ^2 分布を用いて部分領域における P_{fi} を求め、これを積算することによって P_f を求めるものである。本法は図-2 の問題を約 10 分の計算時間で終了し、その解は $P_f = 0.054134$ となった。

ちなみにモンテカルロ法は約 1 日の計算時間を要した。

5. 確率変数の不確実性が破壊確率に及ぼす影響

図-5, 6 はそれぞれ各確率変数の標準偏差および平均値をパラメトリックに変化させ、破壊確率に及ぼす影響を調べたものである。図-5 より、表-1 で示した標準偏差が変動することが破壊確率に及ぼす影響は、礫径 D の影響が最も大きく、次いで衝突速度 v で、逆に堤体のせん断変形に対する剛性 k_2 の影響が最も小さい。この傾向は、図-6 に示した平均値を変化させた場合にも同様に表れる。すなわち、礫中詰型砂防ダムの安全性照査を行ううえで、現状における不確定なパラメータの中では、礫径 D や衝突速度 v 等の衝突エネルギーに関する不確実性の影響が最も安全性照査の信頼性に及ぼす影響が大きい。また、抵抗力の評価では、局部変形に対する剛性評価(k_1)が大きな影響を与えていることがわかる。

参考文献:

- 1) 伊藤ら: ガブールオール砂防ダムの衝撃モデル実験, 構造工学論文集, vol. 42A, pp. 1295-1303, 1996.
- 2) 伊藤ら: セル型砂防ダム中詰め材の局部衝撃実験, 第3回落石等による衝撃問題に関するシンポジウム講演論文集, pp. 295-300, 1996.
- 3) Katsuki, Satoshi, Dan M. Frangopol: Hyperspace division method for structural reliability, J. of Eng. Mech., Vol. 120, No. 11, pp. 2405-2427, 1994.

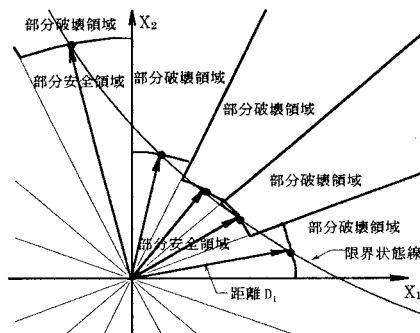


図-4 2次元での領域分割法

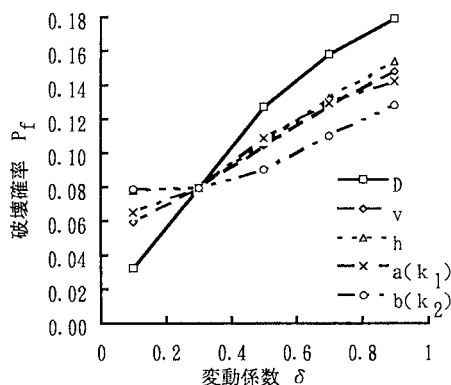


図-5 変動係数と破壊確率の関係

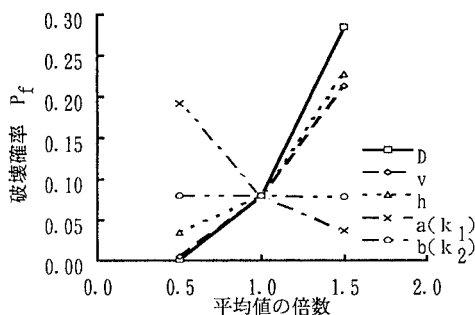


図-6 平均値と破壊確率の関係