

防衛大学校 土木工学科 ○香月智, 伊藤一雄, 石川信隆
 砂防・地すべり技術センター 阿部宗平, 共生機構(株) 中村徹

1. 緒言

近年, 写真-1に示すような鋼壁の中に現地発生土砂などを充填して作られるダブルウォール砂防ダム(礫中詰め型砂防ダム)が多く建設されるようになってきた。本構造物は短期施工性の利点から火山災害対策で土石流対策構造物としての使用も検討されている。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め型砂防ダムの外力が変形挙動に及ぼす影響について考察するとともに信頼性解析により安全性照査を行い, 重要な不確定要因について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

礫中詰め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. 流体力と礫の衝突エネルギーが砂防ダムの変形挙動に及ぼす影響

本研究では, 土石流中に含まれる巨礫の径 D (cm) と速度 v (cm/s) および衝突位置 h (cm), また局部ばね定数 k_1 およびせん断ばね定数 k_2 および土石流の流体力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, 6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と仮定した。

まず, 確定論的に流体力と衝突礫の運動エネルギーが砂防ダムの変形挙動に及ぼす影響について考察を行う。ここで, 局部変形とせん断変形の許容値をそれぞれ30cm, 4%として計算を行った。

図-2(a)は礫径以外の変数を表-1の平均値とし, 礫径を変化させた場合の局部変形およびせん断変形量の最大値との関係を表す。図より礫径が大きくなるほど, 局部変形およびせん断変形が増加することがわかる。しかし, 局部変形の方が礫径500cmで許容値の30cmに達するため, この場合にはせん断変形ではなく局部変形による破壊が卓越することがわかる。一方, 図-2(b)は流体力の変化と局部変形およびせん断変形量の関係を示す。図より流体力が増加するほど, 局部変形およびせん断変形が増加することがわかる。しかし, 局部変形の方が流体力150.0tonfで許容値の30cmに達するため, この場合にはせん断変形ではなく局部変形による破壊が卓越することがわかる。

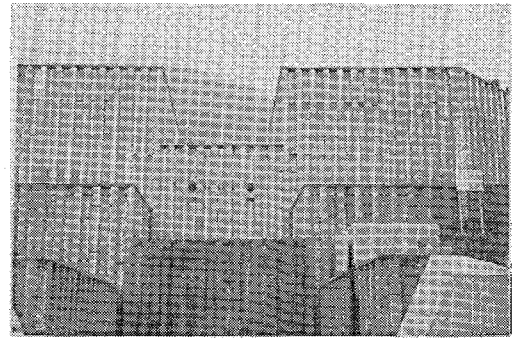


写真-1 ダブルウォール砂防ダム

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	流体力 (tonf)
平均値	300	500	500	1.0	1.0	69.0
標準偏差	90	150	150	0.3	0.3	21.0

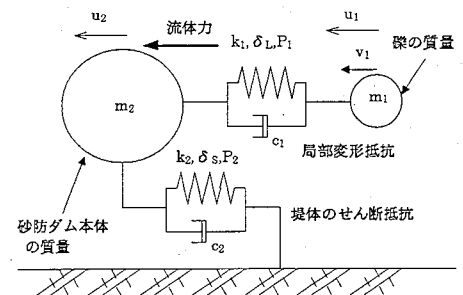


図-1 2質点バネモデル

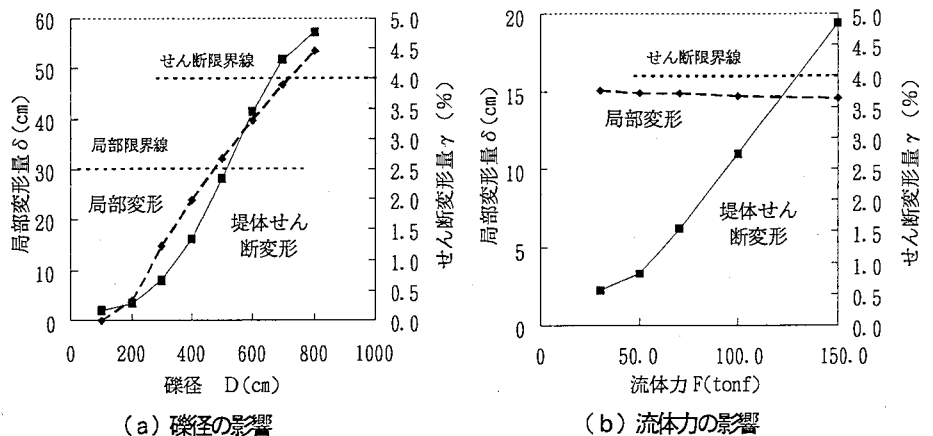


図-2 変形挙動に及ぼす影響

びせん断変形量との関係を示しているが、この場合は、ダム堤体のせん断変形によって破壊することがわかる。

4. 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、局部変形とせん断変形のいずれかか許容値を超えると破壊する限界状態によるシステム問題であり、それぞれ次式によって与えられる。

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

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

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(4%)。

破壊確率の算定には、著者ら³⁾が提案する領域分割法により破壊確率を算定した。これは、図-3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カイ二乗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。表-2は2つのパラメーターのみ変化させ、モンテカルロ法と本法の破壊確率を比較したものである。これより、両者はほぼ一致しており、計算時間を考慮すると本法が有効であることがわかる。

5. 確率変数の不確定性が破壊確率に及ぼす影響

図-4, 5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-4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-5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定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:ダブルウォール砂防ダムの衝撃ゲル実験, 構造工学論文集 vol. 42A, pp. 1295-1303, 1996.
- 2)伊藤ら:丸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ソポゾウム講演論文集, pp.295~300, 1996.
- 3)Katsuki, Satoshi, Dan M. Frangopol: Hyperspace Division Method for Structural Reliability, J. of Eng. Mech., ASCE, Vol.120, No.11, pp.2405-2427, 1994.

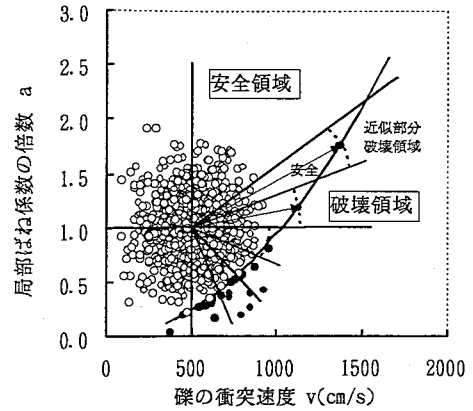


図-3 モンテカルロ法と領域分割法

表-2 破壊確率算定結果(モンテカルロ法と比較)

確率変数	Pf モンテカルロ法(10万回)	Pf 領域分割法(64分割)
D-v	5.171×10^{-2}	5.41340×10^{-2}
D-h	3.557×10^{-2}	3.65450×10^{-2}
D-a	4.501×10^{-2}	4.66680×10^{-2}
D-b	2.080×10^{-2}	2.19619×10^{-2}
v-h	8.51×10^{-3}	7.46452×10^{-3}
v-a	1.491×10^{-2}	1.45707×10^{-2}
v-b	6.6×10^{-4}	6.42119×10^{-4}
h-a	1.084×10^{-2}	1.07301×10^{-2}
h-b	2.61×10^{-3}	2.87202×10^{-3}
a-b	5.94×10^{-3}	5.86488×10^{-3}

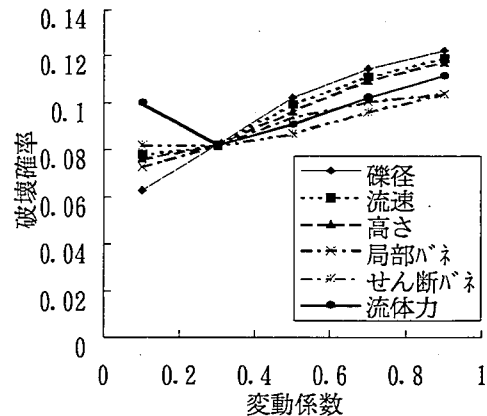


図-4 変動係数と破壊確率の関係

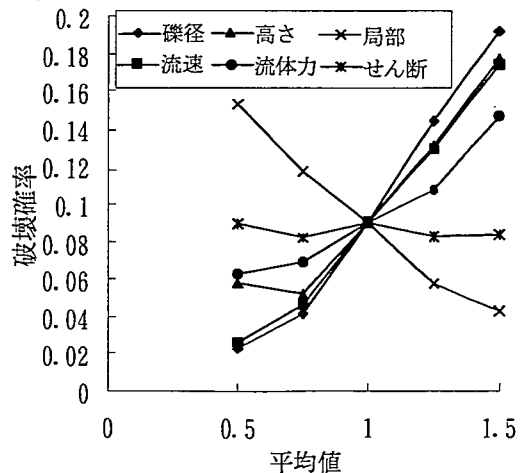


図-5 平均値と破壊確率の関係