

部材損傷を受けた鋼製透過型砂防ダムの安全性について

防衛大学校 ○白石博文, 香月 智, 金子智成
(財)砂防・地すべり技術センター 嶋 丈示

1. 緒言

写真-1, 2 の事例 1)から察するに, 鋼製砂防ダムは, まず巨礫衝突により部材損傷が生じた状態で巨礫による閉塞が完成し, 後続の土石流荷重に耐えなければならないことがわかる. しかし, 現設計では, 全部材が健全である前提で応力照査されており, 実現象と異なる. そこで本研究は, 荷重, 鋼管損傷度, 鋼管の降伏応力のランダム性を考慮した3次元骨組構造解析によるモンテカルロシミュレーション 2)を行い, 部材損傷が砂防ダムの信頼性に及ぼす影響を考察し, 現行設計と実現象との安全性の差異を考察する.

2. 解析法

本解析では, 実被災があった砂防ダムを図-1のようにモデル化し, 最下段部材に損傷を考慮した. 使用限界状態として応力が弾性限界に達する限界状態と仮定した. すなわち,

$$Z = \sigma_y - \sigma_{max} \quad (1)$$

ここで, Z :限界状態関数, σ_{max} :最大応力, σ_y :鋼管の降伏応力

現行設計では, 土石流時において図-2に示す土石流と堆砂圧荷重を載荷している. 荷重のばらつき分布は図-3に示すように設計荷重を平均値と仮定したうえで, 土石流については100%, 堆砂圧については30%の変動係数に相当する標準偏差を有するばらつきを与えた. また, 損傷については図-4の実損傷断面のへこみを鋼管の径圧比を基準に1列目と2-4列目に分類し, それぞれの平均へこみ率を変動係数10%としてばらつきを与えた. へこみ率の確率分布を図-5に示す. なお, それぞれのばらつきについては対数正規分布に従うものとした. また, 鋼材の降伏応力については, 図-6に示すように300N/mm²を平均値と考え, 変動係数5%の対数正規分布に従うばらつきを与えた.

以上の確率変数の特性与え, 破壊確率についてはモンテカルロ法で10,000回のシミュレーションを

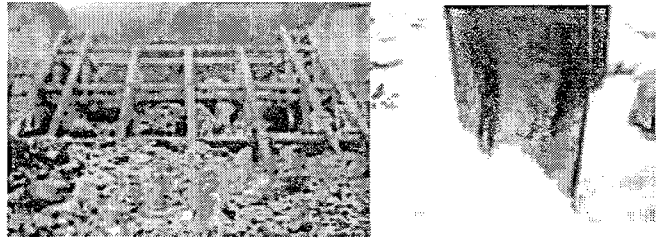


写真-1 鋼製透過型砂防ダム 写真-2 部材の損傷例

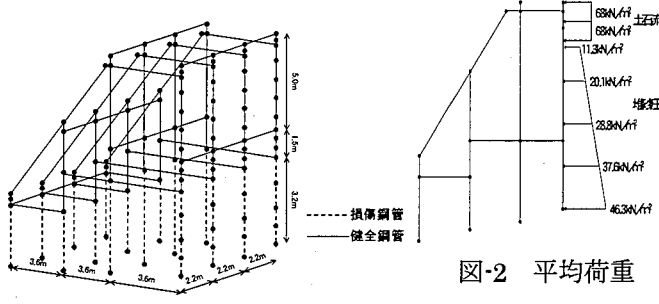
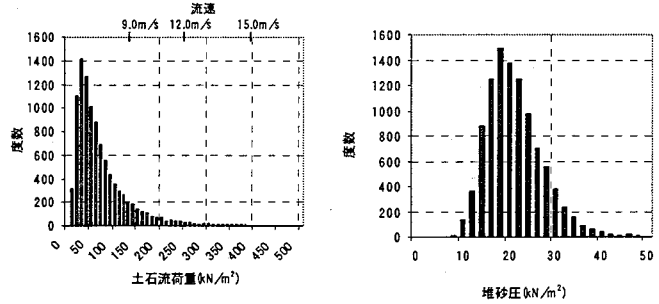


図-1 解析モデル

図-2 平均荷重



(a) 土石流 (b) 上部堆砂圧

図-3 荷重分布

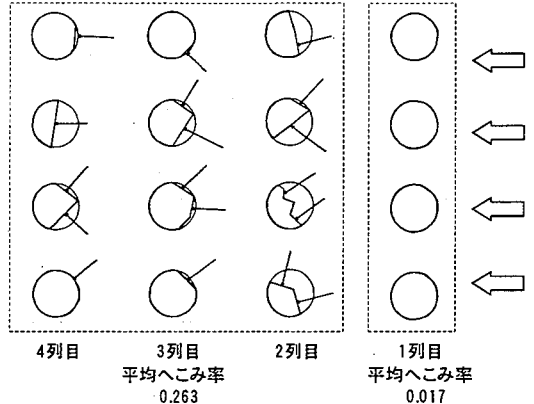
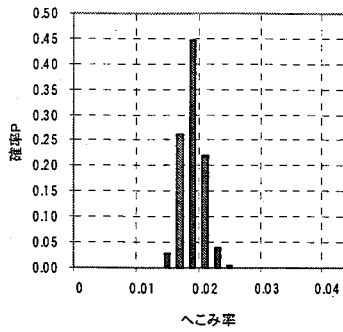
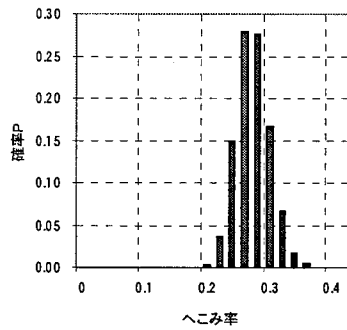


図-4 実損傷断面



(a) 1列目



(b) 2-4列目

図-5 へこみ率の確率分布

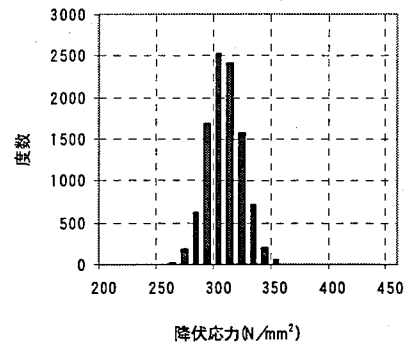


図-6 降伏応力分布

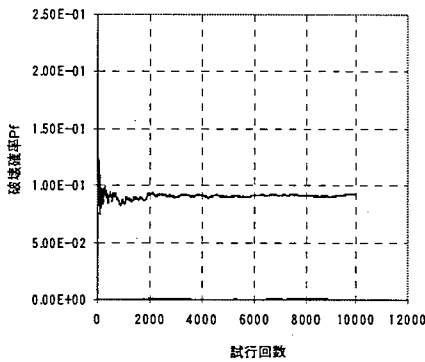


図-7 破壊確率

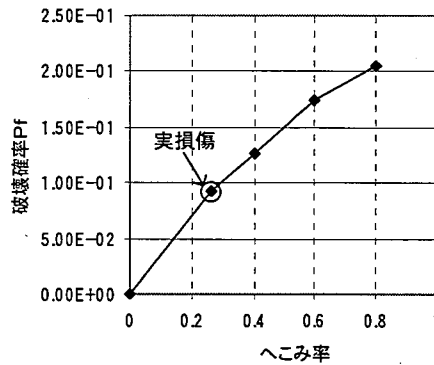


図-8 破壊確率～へこみ率関係

表-1 確率変数と設計点

	健全時	実損傷時
1列目へこみ率	-	0.017
2列目へこみ率	-	0.268
3列目へこみ率	-	0.248
4列目へこみ率	-	0.269
土石流(kN/m ²)	951.9	140.9
土石流流速(m/s)	9.35	24.25
堆砂圧(kN/m ²)	17.7	22.6
降伏応力(N/mm ²)	300.2	291.6

行って求めた。

3. 解析結果および考察

3.1 部材が健全なままとした場合

図-7 に部材が健全時および損傷時の破壊確率～試行回数関係を示す。部材が健全な場合は破壊確率が $P_{f10000} = 5.00 \times 10^{-4}$ 、すなわち約 0.05% の破壊確率に収束している。表-1 にシミュレーションで破壊となった確率変数が標準化対数正規確率変数空間の平均値に最も近い設計点における各確率変数を示す。これより、最も破壊が起りやすい状態は流速が 24.25m/s となっており、通常的设计流速をはるかに超えた値となっている。すなわち、極めて稀であるため生起確率が 0.05% となる。

3.2 部材へこみ変形を考慮した場合

図-7 では、部材損傷時の破壊確率は $P_{f10000} = 9.23 \times 10^{-2}$ 、すなわち、約 9% 強となり、部材健全時と比較して約 180 倍の破壊確率となっている。さらに表-1 に示す設計点においては、鋼管のへこみ状態は実損傷事例と良く対応している。その流速は 9.8m/s となり、一般に考えられている流速の大きめの値となる。すなわち、部材損傷が先行すると構造物の破壊確率が増加し、安

全性を低下させ

ることがわかる。さらに、1列目と2-4列目の損傷比を実損傷比のままとし、2-4列目の平均へこみ率を変化させた場合の破壊確率を図-8 に示す。図より、へこみ率の増大に応じて、破壊確率は増加し、部材損傷が砂防構造物の安全性に大きな影響を及ぼすことが認められる。

4. 結 言

本研究で得られた成果を以下に示す。

(1) 荷重、鋼管損傷度および鋼管部材の降伏応力を確率変数としてモンテカルロシミュレーションを行い、礫捕捉により部材にへこみ変形が生じた後の破壊確率を求める手法を提案した。

(2) 部材が損傷を受けた場合、健全のまま検討する場合と比較して顕著な破壊確率の増加が認められ、部材損傷が砂防ダムの安全性に大きな影響を及ぼすことを示した。

参考文献：

- 「鋼製砂防構造物」ガイドブック、砂防鋼構造物研究会、平成 13 年 11 月
- 星谷勝、石井清：構造物の信頼性設計法、鹿島出版会、2003。