損傷を受けた鋼製砂防えん堤の信頼性解析

防衛大学校　学生員　白石博文　　学生員　坊原尚記
防衛大学校　正会員　梶田幸秀　　正会員　香月　智

1.緒　言

写真-1 に示すような鋼製透過型砂防えん堤は，土石流を捕捉・減勢するために建設される．この際，鋼管部材がへこみ変形することが許容されているが，損傷部材をそのままにして使用を続けた場合の安全性をどのように評価すべきか明確な基準は無い．そこで，本研究は実部材損傷データからその河川における土石流規模を推測し，同規模土石流が発生したときの部材損傷度の推定を行ったうえで構造物の破壊確率を算定することにより，評価尺度を与えることを提案するものである．

2.解析手法

2.1　礫径および流速分布の推定

巨礫衝突による鋼管のへこみ変形は式(1)に示す修正エリナス式により推定する[1]．

$$\alpha_d = \left(\frac{1}{2} m v^2 \frac{7.2}{161} \left(\frac{D}{D_0} \right)^{0.11} \frac{1}{\sigma_{y,d} t^2} D^{0.8} \right)^{\frac{1}{1.8}} \Big/ D_0 \qquad (1)$$

ここで，α_d:へこみ率，m:礫質量，v:流速，D:礫径，$\sigma_{y,d}$:鋼管の動的降伏応力，t:肉厚．

図-1 に被災後の実損傷断面を，**表-1** にはこのへこみ率の平均値および標準偏差を示す．ここでは，起きた事象から原因となった土石流の礫径および流速分布を求めるものとした．すなわち，礫径と流速の平均値および標準偏差が**表-2** に示す範囲にあるものと仮定し，それぞれを各 30 個に分け 30^4=810,000 通りの組合せをつくり，各組合せを用いてモンテカルロシミュレーション[2]を用いて式(1)による損傷発生推定を行った．そのうえで，式(2)を用いて実損傷に最も近い損傷度となる礫径・流速の確率分布推定を行った．

$$E = \sqrt{(\overline{\alpha}_1 - \alpha_1)^2 + (\sigma_1' - \sigma_1)^2 + (\overline{\alpha}_{2-4} - \alpha_{2-4})^2 + (\sigma_{2-4}' - \sigma_{2-4})^2} \rightarrow \min \qquad (2)$$

ここで，E:空間距離，α_1:実へこみ平均(1 列目)，α_{2-4}:実へこみ平均(2-4 列目)，$\overline{\alpha}_1$:得られたへこみ平均(1 列目)，$\overline{\alpha}_{2-4}$:得られたへこみ平均(2-4 列目)，σ_1:実標準偏差(1 列目)，σ_{2-4}:実標準偏差(2-4 列目)，σ_1':得られた標準偏差(1 列目)，σ_{2-4}':得られた標準偏差(2-4 列目)．

2.2　次回土石流に対する部材損傷推定

上記の方法で決定された礫質量と流速にばらつきを与えてモンテカルロシミュレーションを行い，損傷放置後のへこみ率分布を推定する．

2.3　破壊確率算定

本解析に用いたモデルを**図-2** に示す．使用限界状態として応力が弾性限界に達する状態を仮定した．

$$Z = \sigma_y - \sigma_{\max}$$

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

確率変数は土石流荷重，堆砂圧荷重，鋼管降伏応力と

写真-1 鋼製砂防えん堤

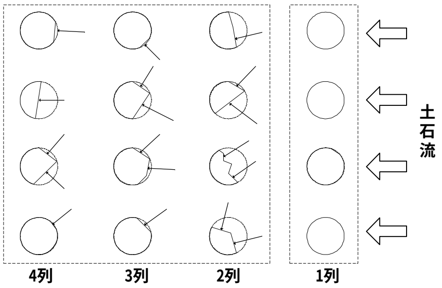


図-1　実損傷断面図

表-1　実損傷(へこみ)の平均値および標準偏差

	1列目	2～4列目
平均値	0.019	0.263
標準偏差	0.009	0.132
変動係数	0.47	0.50

表-2　礫径・流速範囲

	礫直径(m)	流速(m/s)
平均値	0.2～3.0	3.5～20.0
標準偏差	0.02～3.0	0.35～20.0

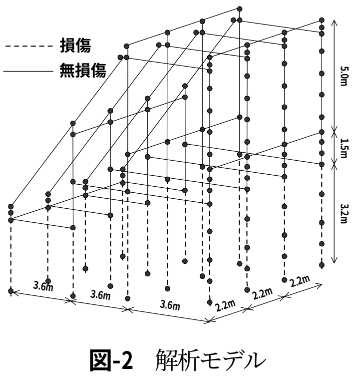


図-2　解析モデル

キーワード：土石流荷重，モンテカルロシミュレーション，破壊確率
連絡先：〒239-8686　横須賀市走水 1-10-20　防衛大学校　TEL: 046(841)3810　 e-mail:d03005@nda.ac.jp

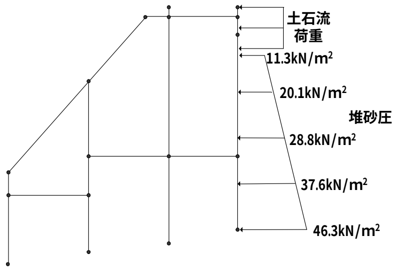


図-3　平均荷重

表-3　平均値および変動係数

	降伏応力	堆砂圧
平均値	300N/mm^2	-
変動係数	0.05	0.3

表-4　礫径および流速の推定値

	礫径(m)	流速(m/s)
平均値	0.9	7.5
標準偏差	0.2	4.0
変動係数	0.22	0.57

し，土石流荷重は**2.1**で得られる礫径・流速分布に従わせた．また，堆砂圧荷重および降伏応力は**図-3**および**表-3**に示す平均値, 変動係数を対数正規分布により与えた．なお，ここでは，いずれかの部材が弾性限界を超えた場合を破壊とみなし，試行回数 10,000 回のモンテカルロシミュレーションを行った．

3.　解析結果および考察

3.1 礫径・流速分布の推定

表-4に得られた礫径および流速の平均値・標準偏差を，**図-4**にそれぞれをの分布を対数正規分布で示す. **図-5**には**図-4**の分布に従う土石流が作用したときのへこみ分布を示す．図より，実損傷とよく対応していることがわかる．

3.2 損傷放置後のへこみ率分布推移

図-6 には損傷放置後のへこみ率分布を示す．図より，放置回数に応じてへこみ率の平均は徐々に右側にシフトし，全体的にへこみ率が徐々に増加する．また，そのばらつき程度は放置回数の増加に応じて大きくなっている．

3.3 破壊確率

図-7に損傷回数に応じた破壊確率を示す．図より，損傷度の増加なわち損傷を放置するに従い，構造物の破壊確率は増加し，部材損傷が砂防構造物全体の安全性に及ぼす影響が大きいことがわかる．

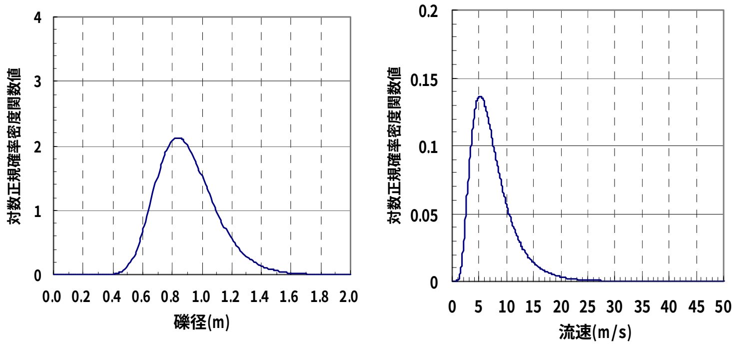
4.結　言

本研究で得られた成果を以下に示す．

(1) 鋼管部材の実損傷例から土石流に含まれる巨礫の質量および土石流流速分布を求めた．

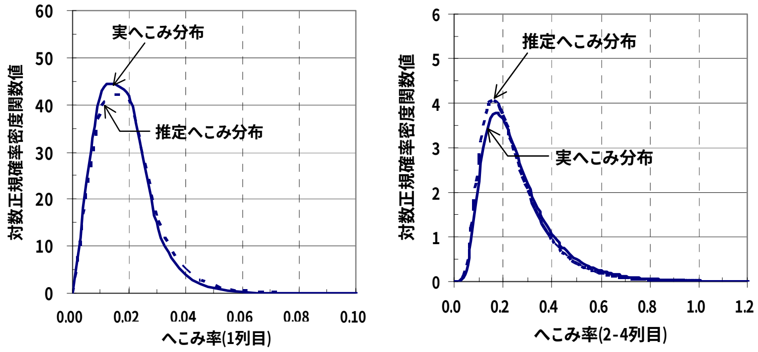
(2) 部材損傷放置後, 再度同規模の土石流が作用した場合の損傷度分布を推定する方法を提案した．

(3) 損傷度に応じた鋼製砂防えん堤の破壊確率を算定し，部材損傷を考慮した構造の信頼性評価法を提案した．



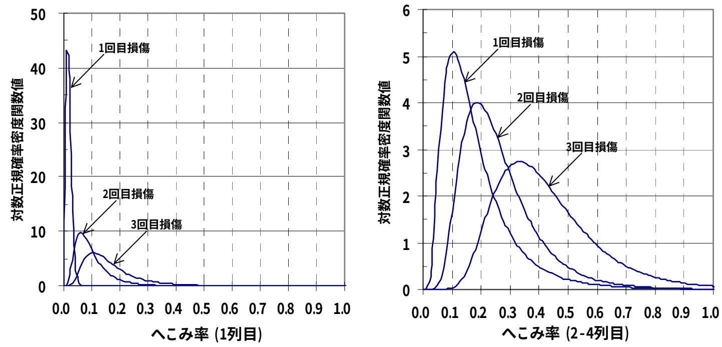
(a) 礫径　　(b) 流速

図-4　礫径および流速分布



(a) 1 列目　　(b) 2 列目

図-5　推定礫径および流速から得られたへこみ率分布



(a) 1 列目　　(b) 2-4 列目

図-6 損傷放置後のへこみ分布推移

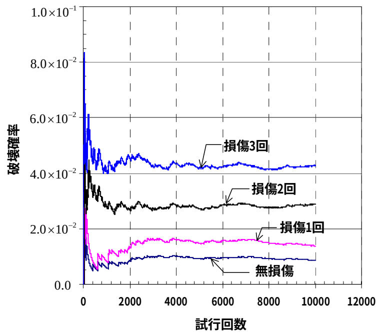


図-7　破壊確率

参考文献：

1) 星川辰雄, 石川信隆, 彦坂　熙, 阿部宗平：局部変形とひずみ速度効果を考慮した鋼管固定はりの衝撃応答変位, 土木学会論文集, No.513/I-31, pp.101-115, 1995.4.

2) 星谷勝, 石井清：構造物の信頼性設計法, 鹿島出版会, 2003.