

# 部材損傷が鋼製透過型砂防ダムの許容値への余裕度に及ぼす影響

防衛大学校 学生会員 金子 智成 学生会員 白石 博文 正会員 香月 智

## 1 緒言

鋼製透過型砂防ダムは、平常時の流出土砂は流下させ、土石流時は格子形状により巨礫を捕捉するという機能を持つ。土石流に含まれる巨礫衝突については鋼管部材断面のへこみ変形により、礫の運動エネルギーを吸収する構造となっている。このため設計段階から礫捕捉後の損傷は考慮されている。しかし、一度巨礫衝突によりへこみ変形の生じた部材をそのまま使用した場合の部材損傷が、構造全体に及ぼす影響は明らかでない。そこで、本研究は損傷部材をもつ鋼製透過型砂防ダムをモデル化し、3次元骨組構造解析により部材損傷が構造全体に及ぼす影響について検討したものである。



写真-1 鋼製透過型砂防ダム

## 2 解析手法

### 2.1 3次元骨組構造解析

式(2.1)～(2.3)に解析の基本式を示す。

$$\text{力の釣合条件式} \quad \mathbf{C}^T \mathbf{Q} = \mathbf{F} \quad (2.1)$$

$$\text{変形適合条件式} \quad \mathbf{q} = \mathbf{C} \mathbf{u} \quad (2.2)$$

$$\text{構成則} \quad \mathbf{Q} = \mathbf{k} \mathbf{q} \quad (2.3)$$

ここで、 $\mathbf{C}^T$ : 釣合マトリックス、 $\mathbf{Q}$ : 内力ベクトル、 $\mathbf{F}$ : 外力ベクトル、 $\mathbf{k}$ : 集成要素剛性マトリックス、 $\mathbf{q}$ : 内変形ベクトル、 $\mathbf{C}$ : 変形適合マトリックス、 $\mathbf{u}$ : 外変形ベクトル。

以上より曲げ・軸力要素の基本マトリックスを求め、3次元棒要素断面に設定した、1軸・2軸まわりのモーメントおよび軸力による複合応力を求めた。

### 2.2 解析モデル

図-1に解析モデル(144部材, 118節点)および表-1に鋼管部材諸元を示す。部材損傷は図-2の実損傷断面から損傷度を示すへこみ率( $\delta/D$ )を求め、星川<sup>1)</sup>の提案に基づき変形断面を楕円に仮定することで、図-3の断面2次モーメント比～へこみ率関係を求めた。ここで、損傷度に応じた断面2次モーメントを与えることにより部材損傷を表現した。また、荷重は自重を考慮するものとし、図-4に示す平常時(満砂時)と土石流時に分け、最上流側部材の節点にそれぞれの場合の荷重を与えた。

### 2.3 損傷箇所の設定および応力計算

実例では2～4列目への損傷が報告されていることから、まず2列目の全部材に一樣にへこみ率0.1～1.0に相当する損傷を順に与え、同列に損傷があった場合の各部材断面に発生する最大応力を式(2.4)より求めた。次に、3列目、4列目と同様の損傷を与え、損傷列の位置が全体に及ぼす影響を考察した。

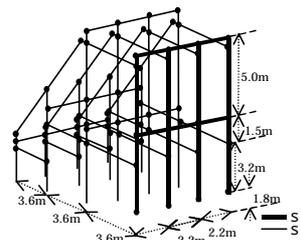


図-1 解析モデル

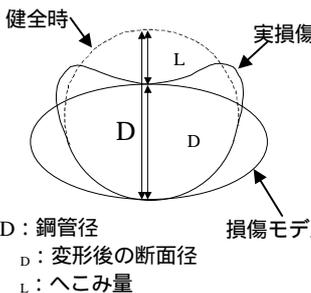


図-2 損傷断面モデル

表-1 鋼管部材諸元

	s1	s2
鋼管種	STK490	STK400
鋼管径D(mm)	609.6	609.6
肉厚t(mm)	22.0	12.7
径圧比D/t	27.7	48.0
断面積A(mm <sup>2</sup> )	4.06 × 10 <sup>4</sup>	2.38 × 10 <sup>4</sup>
断面2次モーメントI(mm <sup>4</sup> )	1.75 × 10 <sup>9</sup>	1.06 × 10 <sup>9</sup>
ヤング係数(N/mm <sup>2</sup> )	2.1 × 10 <sup>5</sup>	

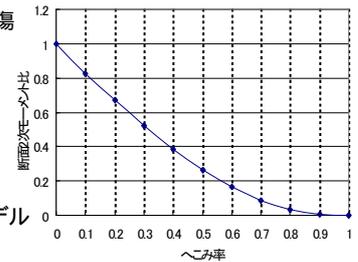


図-3 断面2次モーメント比～へこみ率関係

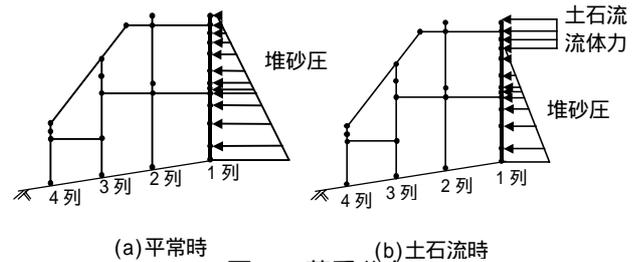


図-4 荷重分布

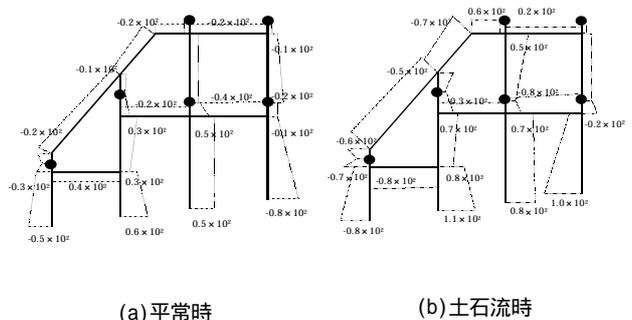


図-5 各部材に発生する最大応力(N/mm<sup>2</sup>)

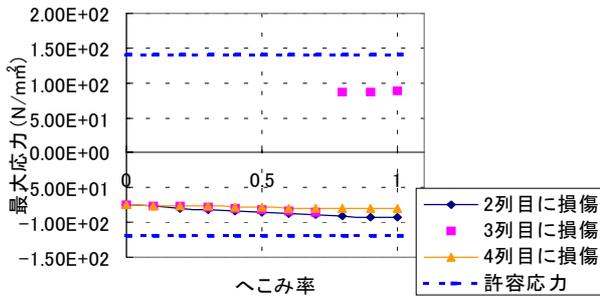


図-6 最大応力(1列目)～へこみ率

$$\sigma = \sigma_N \pm \sigma_M \quad (2.4)$$

$$= \frac{N}{A} \pm E \varepsilon_n$$

$$= \frac{N}{A} \pm \sqrt{\left(\frac{M_1}{I_1} y\right)^2 + \left(\frac{M_2}{I_2} x\right)^2}$$

ここで、 $\sigma_N$ ：軸力による応力、 $\sigma_M$ ：曲げモーメントによる応力、 $N$ ：軸力(N)、 $A$ ：断面積(mm<sup>2</sup>)、 $\varepsilon_n$ ：要素断面に発生する最大ひずみ、 $M_1$ ：1軸周りの曲げモーメント(N・mm)、 $M_2$ ：2軸周りの曲げモーメント(N・mm)、 $I_1$ ：1軸周りの断面2次モーメント(mm<sup>4</sup>)、 $I_2$ ：2軸周りの断面2次モーメント(mm<sup>4</sup>)、 $y$ ：1軸に対する中立軸高さ(mm)、 $x$ ：2軸に対する中立軸高さ(mm)。

3 解析結果および考察  
3.1 健全時  
図-5に全部材が健全時の最大応力図を示す。最下段部材に最も高い応力が発生している。細かくみると、1列目において平常時は圧縮力、土石流時は引張力と変化するものの2～3列目には平常時・土石流時とも引張力、4列目部材には圧縮力が作用している。しかし、いずれの部材応力も弾性域内にあり余裕度も大きい。

### 3.2 損傷時

実被災例を参考に最下段部材に損傷が発生した場合の検討を行う。平常時の荷重状態に最も高い応力が発生する1列目部材の最大応力が、最下段各部材のへこみ率の変化に応じて得られる応力変化を図-6に示す。図より2列目のへこみ率の変化が最も1列目の最大応力に大きな影響を及ぼすがその感度はあまり大きくない。さらに、損傷が最大となっても許容圧縮応力度を超えることはない。すなわち、平常時の荷重に対しては部材損傷があっても構造全体の安全性は保たれている。一方、土石流時における同様の解析を図-7に示す。図-7(a)～(c)より、1～3列目部材は引張側の応力が発生しており、損傷を与えた当該部材はへこみ率が増大すると応力が小さくなり、一方で他の部材の応力が増大している。すなわち、応力の再配分が行われている。このため、損傷部材以外の部材が許容応力に近づくことになるが、仮にその部材の剛性が全て失われるへこみ率1.0でも許容応力は超過しないので、これらの部材損傷によって構造全体の安全性が許容値を下回ることはない。しかし、図-7(d)の4列目部材の場合には、圧縮側の応力が発生しており、このため許容応力も120N/mm<sup>2</sup>と小さくなる。さらに、3列目の部材のへこみ率を大きくするにつれて、4列目の応力再配分は圧縮側に急激に増大するため、へこみ率0.6以上では許容値を超過してしまうことがわかる。すなわち、この構造形態では、3列目部材の損傷が構造全体の安全性に非常に重要な影響を及ぼすことがわかる。

## 4 結 言

- (1) 損傷を受けた当該部材の最大応力は、損傷(へこみ)が大きくなるにつれて減少し、他最下段部材の最大応力が高くなる。これは、応力の再配分によるものと考えられる。
- (2) 土石流時、構造全体に対して最もクリティカルな損傷は3列目部材の損傷と考えられ、3列目部材の全てがへこみ率0.6に相当する損傷を受けた場合、最下流側部材の応力は許容圧縮応力度を超える結果が得られた。

### 参考文献

- 1) 星川辰雄・石川信隆・彦坂 照・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.

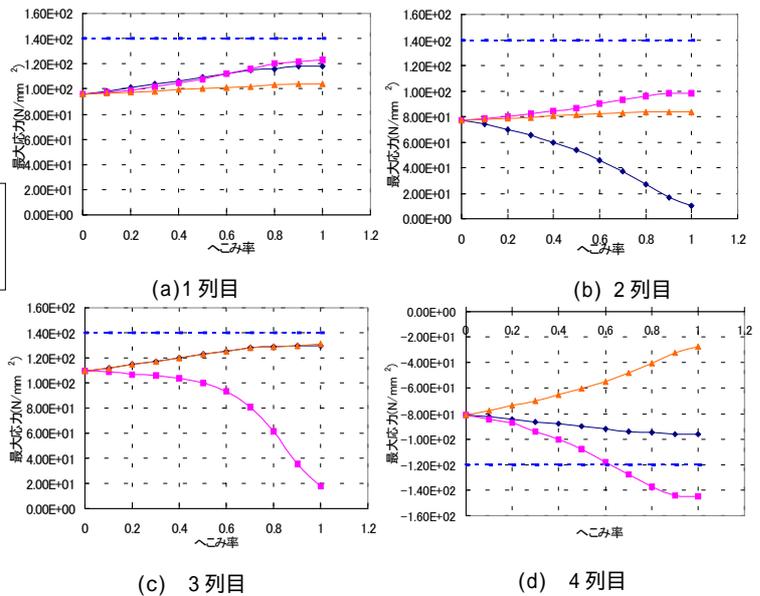


図-7 各部材の最大応力～へこみ率