

継手モデルを用いた鋼製透過型砂防堰堤の解析的検討

防衛大学校 ○ 堀口俊行 小松喜治 香月 智

1. 緒言

近年、異常気象に誘発された大規模な土石流による砂防構造物の損傷事例が報告されている。これに伴い、現行の設計荷重より大きな荷重（以下、レベル II 荷重と呼ぶ。）での設計体系の検討が進められており、実規模構造の研究が行われている<sup>1),2)</sup>。

鋼製透過型砂防堰堤（以下、透過型と呼ぶ。）の現行設計は、土石流流体力と堆砂圧荷重を想定した設計荷重に対して静的外力を作用させ、構造物に作用する断面力に安全率を確保した設計が行われている。しかし、レベル II 荷重とする設計法が導入された場合、構造物は弾塑性応答を許容されることになる。この際、複雑な形状とフランジを含む継手を要する透過型は、様々な地形状況下での適用性と粘りのある耐荷性能を評価するために解析的な検討は不可欠であり、継手モデルを考慮した解析的な手法が望まれている。

そこで本研究は、弾塑性解析を目的とした数値解析プログラムを用いて、構造物に作用する設計荷重を徐々に大きくした際の構造応答について検討するものである。さらに、継手の有無についての耐荷性能について比較する。

2. 解析の概要

2.1 解析モデル

図-1に、解析モデルを示す。解析モデルは通常建設されている透過型の構造形式を模したものである。解析モデルは、底面が固定されており、その高さは11.5m、幅5.1m、奥行き3.0mの構造モデルである。図-1(a)は、継手を考慮せずすべて中空鋼管(モデルA)とし、図-1(b)は、部材間の継手を考慮したモデル(モデルB)である。解析モデル前面(上流面)は、縦間隔、横間隔ともに1.0mの間隔となるように柱部材を配置している。鋼管モデルは、直径 $D=609.6\text{mm}$ 、管の厚さ $t=22$

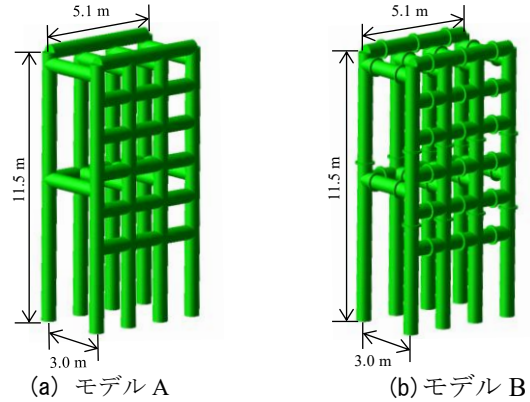


図-1 解析モデル

mmとし、継手モデルは、Bolt-M22×16本としている。

2.2 解析パラメータ

本解析で用いたパラメータは、断面分割法を用いており、断面の主として曲げモーメント $M$ ~曲率 $\rho$ 関係を求めた<sup>3)</sup>。さらに、継手部分にはフランジの大きさとボルトの位置を均等に16個配置したモデルとして計算をして、曲率 $\rho$ を0から徐々に大きくすることにより求める。図-3に、中空鋼管における曲げモーメント $M$ から曲率 $\rho$ 関係、軸力 $N$ からひずみ $\epsilon$ 関係を示す。さらに、図-4には、継手部分を考慮したものを示す。

2.3 解析要領

本解析では、弾塑性解析プログラムを用いており、弾性限界を表す関数 $\Phi_y$ （以下、降伏関数と呼ぶ。）および塑性化を表す関数 $\Phi_p$ （以下、塑性化関数と呼ぶ。）を次式として、関連流れ則による塑性変形を求めた。

$$\Phi_y = \left(\frac{M_1}{M_y}\right)^2 + \left(\frac{M_2}{M_y}\right)^2 + \left(\frac{N}{N_y}\right)^2 + \left(\frac{T}{T_y}\right)^2 - 1.0 \leq 0 \quad (1)$$

$$\Phi_p = \left(\frac{M_1}{M_p}\right)^2 + \left(\frac{M_2}{M_p}\right)^2 + \left(\frac{N}{N_p}\right)^2 + \left(\frac{T}{T_p}\right)^2 - 1.0 \leq 0 \quad (2)$$

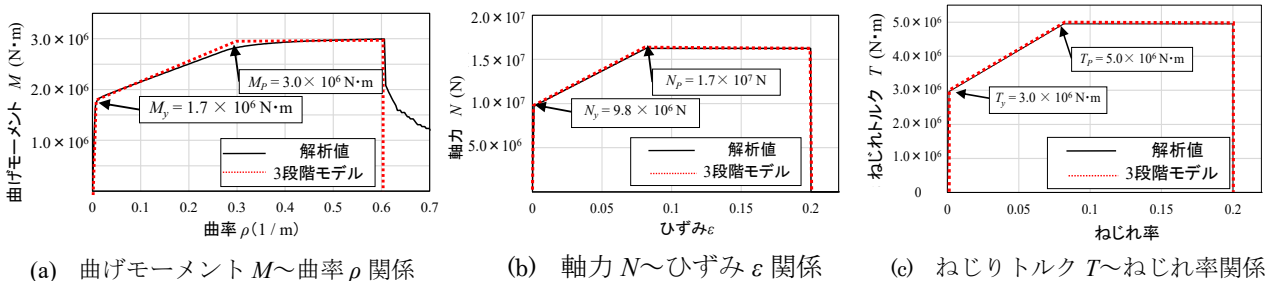


図-3 中空鋼管

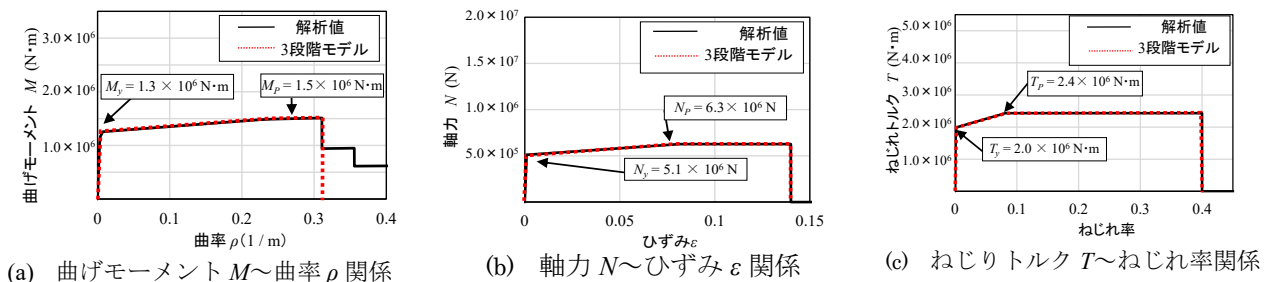


図-4 継手部分

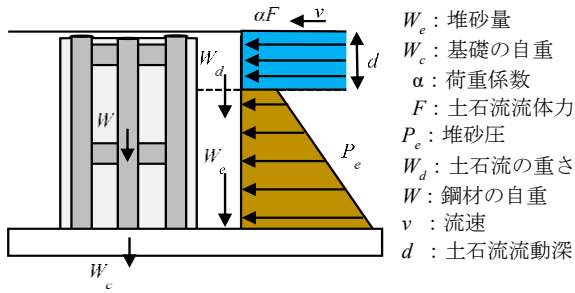
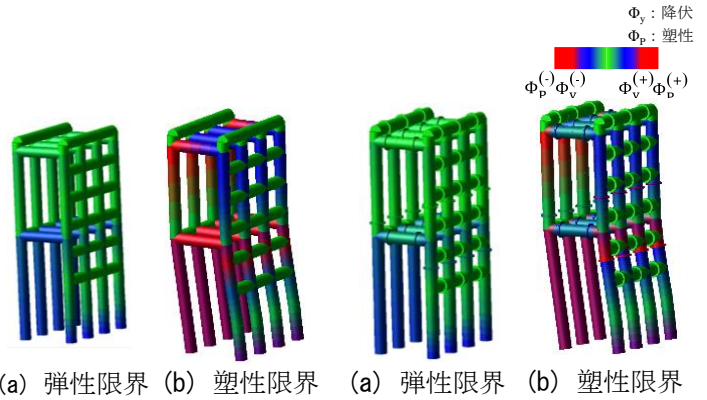


図-5 荷重分布モデル

$W_e$  : 堆砂量  
 $W_c$  : 基礎の自重  
 $\alpha$  : 荷重係数  
 $F$  : 土石流流体力  
 $P_e$  : 堆砂圧  
 $W_d$  : 土石流の重さ  
 $W$  : 鋼材の自重  
 $v$  : 流速  
 $d$  : 土石流流動深



(a) 弾性限界 (b) 塑性限界 (a) 弾性限界 (b) 塑性限界

図-6 モデル A

図-7 モデル B

ここで、 $M_1, M_2, N, T$  : 断面主軸および回りの曲げモーメント、軸力、ねじれ、 $M_Y, M_P, N_Y, N_P, T_Y, T_P$  : それぞれ降伏モーメント、塑性モーメント、降伏軸力、塑性軸力、降伏ねじれ、塑性ねじれである。

図-5 に、荷重分布モデルを示す。当初、堰堤の下部に堆砂圧荷重を台形分布として一定に作用させ、上部は土石流流体力を等分布に徐々に増加させ作用するものとして、静的な構造応答を求めた。

### 3. 解析結果

図-6, 7 に、解析モデルの変形応答図を示す。図-6(a) は、継手を考慮していないモデルであり、弾性限界まで外力を与えた時の結果である。根元部分が赤くなっており、弾性域の限界点まで到達している。弾性限界に達しているとは、 $\phi_y=0$  以下に達していることである。図-6(b) は、塑性限界まで外力を与えた時の結果である。構造物の前面の固定部の柱部材から塑性変形し、塑性限界では鋼面の固定部分が塑性限界に到達していることが分かる。このことから、下流側にあたる部材のほうが、大きく部材が変形している。図-7(a) は、継手を考慮したモデルであり、弾性限界まで外力を与えた時の結果である。継手を入れることで変化があるのは、前面と後面を繋ぐ部材間において継手に荷重を受ける余裕があるように見える。一方で、前面の下端部において荷重が大きく出ており、弾性限界まで達している。図-7(b) は、塑性限界までに達したものであり、継手の部分において赤く表示されていることから、前面部の継手部分に荷重が集中していることが分かる。これは、継手部分が母材強度の 75% に設定していることから、その部分だけが塑性域に到達しやすいことが示唆される。

図-8 に、荷重～頂部変位関係について示す。黒線がモデル A で継手を考慮していないモデルであり、赤線がモデル B で継手を考慮したモデルである。いずれの結果においても、同様の結果を得られており、継手部分が母材の 75% に相当するとしても構造物全体としての耐久性能に大きく影響を与えていないことが示唆される。このことから、それぞれのモデルにおける継手の影響はないことが示唆される。

### 4. 結言

本研究は、弾塑性解析を用いて、構造物に作用する設計荷重を徐々に大きくし、継手の有無についての耐荷

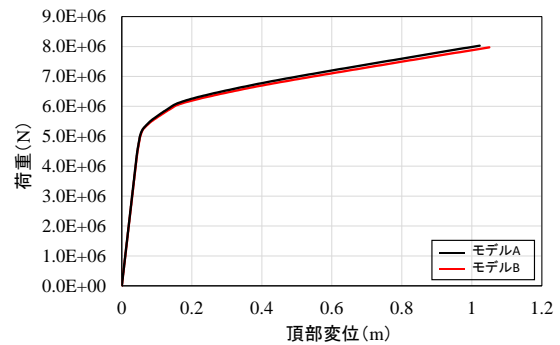


図-8 解析結果

性能について比較したものである。以下に、本研究の成果を以下のように示す。

- 1) 弾塑性解析によって、継手を考慮しないモデルと継手を考慮したモデルを比較して、弾性限界と塑性限界における荷重評価を行い、それぞれの最大荷重は大きく変わらない。
- 2) 継手を考慮した解析は、塑性限界まで到達すると継手部分に大きく荷重が集中していることが分かった。今後の課題として、透過型における継手部分は、モーメントにおいて圧縮側と引張側の分布荷重が異なる。そのため、フランジ間における力の相互作用におけるモデルもしくはその時の荷重モデルを検討する必要がある。

謝辞：本研究は、令和 2 年度における砂防鋼構造物研究会から助成を受けて行われたものである。ここに記して感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 小松喜治, 堀口俊行, 香月智 : 鋼製透過型砂防堰堤の二段階設計に対応する補強効果の検討, 土木学会論文集 A2(応用力学), Vol.75, No.2 (応用力学論文集 Vol.22), I\_361~I\_370, 2020.2
- 2) T. Horiguchi, K. Hiroshi, N. Ishikawa : Failure analysis of steel open dam against an extreme boulder debris flow, International Journal of Protective Structure, Vol.17, pp1-17, 2020
- 3) 山本満明, 梶谷浩, 堀江義徳 : 断面分割法を用いたコンクリートはりの衝撃挙動解析に関する一考察, Vol.4, pp.259-268, 2001.8