

火砕流を受ける鋼製砂防堰堤の構造耐力変化に関する考察

防衛大学校 学生会員 ○宮原 邑太 正会員 香月 智, 堀口 俊行
砂防・地すべり技術センター 非会員 嶋 丈示

1. 緒言

我が国には、多くの活火山が存在し、過去に多くの犠牲者を出した火山災害も発生している。さらに、雲仙普賢岳での火砕流によって 43 人の犠牲者を出しており、それ以後、火砕流という言葉が日本でも広く知れ渡りようになった。日本以外でも、ハワイでは断続的に火山活動が活発であり、インドネシアのメラピ山では数千人、西インド諸島のプレー火山の噴火では大規模な火砕流が発生し、28,000 人も犠牲者をだしており、火山災害発生後における危険性が窺える¹⁾。

火砕流とは、高温の溶岩片、軽石および火山灰が、それから発生するガスにより浮いた形で山腹斜面を流下する現象で、空気の乱れやガスの噴出による熱風部を伴って高速で流下する。一般に、その温度は摂氏数 100 ~ 1000 °C、速度は、数 10~100 m/s 以上にも達する²⁾。よって、一旦発生してしまうと早期に警戒区域から避難所への避難が必要となり、そのための対策として火砕流から住民を守るために鋼製砂防堰堤を使用することも考えられる。この構造物は、本来は土石流を捕捉するものであるが、十勝岳火山砂防ではすでに実用化が図られている。

しかし、高温の火砕流を捕捉した鋼製構造物は時間とともに構造物の内部温度が上昇すると考えられる。これに伴い、鋼製構造物の強度は低下すると思われるが、実捕捉事例がないので、どの程度保有耐力を持つのかは未知数である。

そこで本研究は、弾塑性解析を用いて火砕流を捕捉した鋼製透過型砂防堰堤の保有性能を検討するために、基礎的段階として鋼製部材に着目して熱伝導の影響を解析的に検討するものである。

2. 火砕流を捕捉した堰堤の熱伝導解析

本章では、堰堤に高温の熱源を接触させ、非定常熱伝導現象の解析を行うことで、火砕流温度が鋼製透過型砂防堰堤に与える影響を検討する。

2.1 熱源解析モデル

図-1 に示すように、800 °C の熱源が堰堤の捕捉面前面に接触した場合の熱伝導現象について検討する。堰堤の初期温

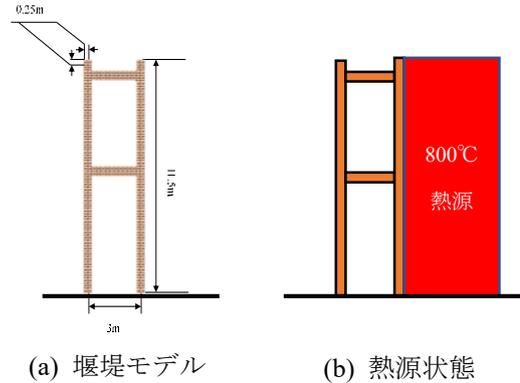


図-1 温度変化解析モデル

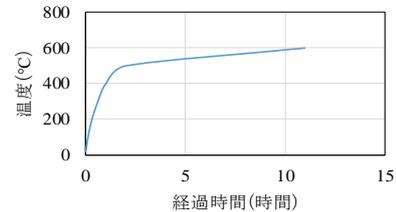


図-2 堰堤捕捉面の温度～時間関係

表-1 堰堤部材の性質

項目	値
比熱 c [J/(kg·K)]	5.02×10^3
密度 ρ [kg/m ³]	7.90×10^3
熱伝導率 λ [W/(m·K)]	45.0
初期温度 $T=T_{\infty}$ [°C]	20.0
温度伝導率 a [m ² /s]	1.17×10^{-5}

度は 20 °C とする。熱伝導解析のモデルは、2 次元とした。

2.2 堰堤モデル

図-1(a)の堰堤モデルの性質を表-1 に示す。この堰堤の部材は 0.25 m のメッシュで x 、 y 軸方向にそれぞれ区切り、各メッシュ間を熱量が移動するものである。その際、伝熱は x 、 y 軸方向にのみ起こり、メッシュから斜め方向に熱量が移動することはない。

2.3 解析結果

図-2 に、堰堤の火砕流接触面の温度と時間の関係を示す。接触面の温度は、接触直後の 2 時間程度で急激に上昇するが、温度が 500 °C を超えてからは、600 °C に達するのに 10 時間以上かかることが分かる。

本解析において接触面以外の部材では、顕著な温度上昇が見られないため部材の強度低下は接触面の鋼管部材のみで

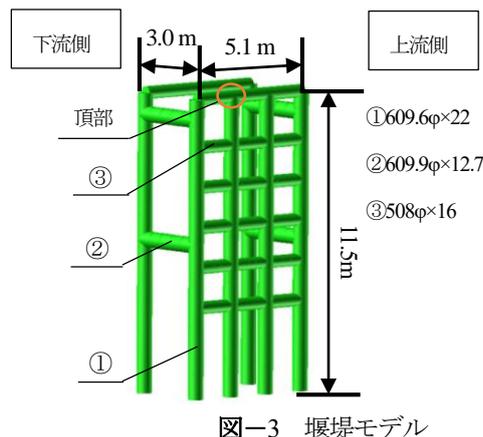
表一 堰堤モデル部材の性質

(a) 609.6φ×22	
項目	値
断面積(m ²)	4.06 × 10 ⁻²
断面 2 次モーメント(m ⁴)	1.76 × 10 ⁻²
降伏モーメント(kN・m)	1.74 × 10 ³
破断モーメント(kN・m)	2.99 × 10 ³
破断曲率(1/m)	0.600

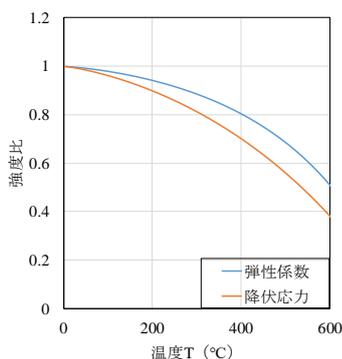
(c) 508φ×16	
項目	値
断面積(m ²)	2.47 × 10 ⁻²
断面 2 次モーメント(m ⁴)	7.91 × 10 ⁻⁴
降伏モーメント(kN・m)	8.73 × 10 ²
破断モーメント(kN・m)	1.53 × 10 ³
破断曲率(1/m)	0.700

(b) 609.6φ×12.7	
項目	値
断面積(m ²)	2.38 × 10 ⁻²
断面 2 次モーメント(m ⁴)	1.11 × 10 ⁻³
降伏モーメント(kN・m)	1.13 × 10 ³
破断モーメント(kN・m)	1.78 × 10 ³
破断曲率(1/m)	0.600

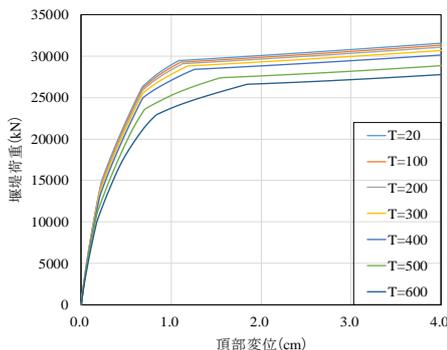
(d) STK400	
項目	値
降伏応力(kN/m ²)	2.40 × 10 ⁵
破断応力(kN/m ²)	4.00 × 10 ⁵
破断ひずみ	0.200
ヤング率(kN/m ²)	2.00 × 10 ⁸



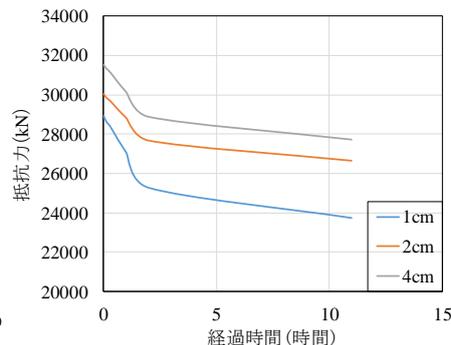
図一 堰堤モデル



図一 鋼材性能の低下率と温度の関係



図二 堰堤抵抗力～変位関係



図三 堰堤抵抗力～時間関係

起こるものとして解析を行うこととした。

後において抵抗力が時間経過とともに低下したとしても、避難に十分な時間的な余裕があるものと示唆される。

3. 温度変化を考慮した鋼製透過型砂防堰堤の解析

3.1 解析の概要

解析は、図一に示す鋼製透過型砂防堰堤に水平外力を与えることで、堰堤の抵抗力～変位関係を求めた。この際、熱伝導解析で求めた堰堤の温度分布の変化に基づいて、鋼管の強度を低下させた。図一に、鋼管の降伏応力と弾性係数における強度比～温度関係を示す³⁾。さらに、堰堤の捕捉面を100～600℃まで100℃ごとに変化させて抵抗力～変位関係を求め、火砕流温度の影響を検討した。

3.2 堰堤モデル

表一に、図一で示した堰堤モデル部材の性質を示す。使用部材は609.6φ×22、609.6φ×12.7、508φ×16の3種類で、材質はSTK400である。また、このモデルは48節点と65要素により構成されている。

3.3 解析結果

図二に、各温度における堰堤の抵抗力と頂部変位の関係を示す。温度の上昇に伴い堰堤の強度が低下し、捕捉面の温度が500℃になると、初期強度の80%程度に低下する。図三に、堰堤強度の時間変化を示す。火砕流捕捉後2時間で強度が20%低下することがわかる。さらに、火砕流の捕捉

4. 結言

本研究は、熱伝導シミュレーションを行ったうえで、弾塑性解析を行い、火砕流温度が鋼製透過型砂防堰堤の性能に与える影響を検討したものである。火砕流温度により部材強度が低下しても捕捉機能が保たれていることがわかった。これは、火山地帯においても鋼製透過型砂防堰堤が有効であることを示唆している。

ただし、さらに高温の火砕流に対しても捕捉機能が維持されているか、また、溶岩流に対して同様に言えるかなど、今後、火砕流の性質および温度変化の影響について検討範囲を拡大する必要がある。

参考文献

- 1) 山田孝, 宮本邦明, 水山高久: 火砕流の流動メカニズムとシミュレーション, 砂防学会誌, 44(3), pp.20-27, 1991.
- 2) 建設省土木研究所 石川芳治: 火砕流の流動・堆積実験, ながれ11, pp.232, 1992
- 3) 金子洋文: 有限要素法による鋼構造部材鋼製板要素の火災時の力学性状に関する解析法, 日本建築学会構造系論文報告集, 第406号, pp.94-95, 1989.12