

土石流を受けた船石川鋼製セルえん堤の変形挙動解析

鹿児島県土木部 三上 幸三 防衛大学校 別府万寿博
共生機構（株） ○ 牛窪光昭 中村 徹

1. はじめに

平成 19 年 7 月、鹿児島県南大隈町の船石川では豪雨により深層崩壊に起因した土石流が発生し、下流に設置されていた透過型砂防えん堤は大量の土砂を捕捉して下流の被害を軽減することができた。このえん堤は、透過部は鋼製スリット構造、非越流部は鋼製セルと鋼製ダブルウォール構造になっており、土石流を受けて鋼製スリット部は局所的なへこみ変形は生じたが全体変形は見られなかった。右岸側の鋼製セルえん堤だけは、写真-1 に示すように天端部が下流側に 1.4m と大きく変形した。そこで、本研究は、3次元有限要素法モデルにより、土石流荷重を受ける鋼製セルえん堤の変形挙動の再現を試みたものである。



写真-1 鋼製セルえん堤の変形状況

2. 解析の概要

2.1 解析モデルおよび材料定数

図-1 に解析モデルを示す。解析モデルは、鋼製セルおよびダブルウォール構造をモデル化し、下流側には裏込め土をモデル化した。鋼製セルおよびダブルウォール構造の鋼矢板は、板厚 9.5mm のシェル要素でモデル化し、中詰め土および裏込め土はソリッド要素でモデル化した。

地盤材料の密度は 1.6g/cm^3 とし、ポアソン比は 0.3 とした。材料モデルには、拘束圧の影響を考慮できる Drucker-Prager の降伏関数を用いた弾塑性モデルを用いた。これらのパラメータは、地盤材料の粘着力 c と内部摩擦角 ϕ を基に算出されるが、地盤材料の粘着力 c および内部摩擦角 ϕ は、 N 値を基に以下の式によって算定した。

$$c = q_u / 2 \quad (1a)$$

$$\phi = \sqrt{20N} + 15 \quad (1b)$$

ここに、 q_u は一軸圧縮強度を示し、 $q_u = 12.5N$ の関係がある。変形後セル中詰の簡易貫入試験結果から N 値は 15 となり、上式より $c=0.094N/\text{mm}^2$ および $\phi=32.3^\circ$ とし、れき混じり砂の N 値と変形係数の相関図より $E=20N/\text{mm}^2$ とした。裏込め土は砂質土の一般的な値 $\phi=30^\circ$ より、上式から、 $c=0.070N/\text{mm}^2$ 、 $E=17N/\text{mm}^2$ とした。

鋼材の密度およびポアソン比は、それぞれ 7.8g/cm^3 および 0.3 とした。ヤング率は、実際の鋼矢板が連続した板ではなく継ぎ手を有しかつ長さ 1m のセグメント化した構造で、予備的な解析結果から連続したシェル構造とした場合には変形をかなり過小に評価するため、ここではヤング率を実際の約 0.3% である 0.6GPa として解析を行った。すなわち、鋼材の剛性をほとんど考慮していないため、主として中詰め材料のせん断抵抗力を評価した解析を行っている。

2.2 荷重モデル

発生した土石流規模は、ピーク流量 $400\sim 750\text{m}^3/\text{sec}$ 以上、流速は $1\sim 12\text{m/sec}$ 程度、水深は $4\sim 7\text{m}$ 、流下幅は $9\sim 18\text{m}$ 程度の範囲と推定されている。そこで、土石流荷重は、当初設計荷重（土石流波高 1.0m、流速 2.72m/s ）および水深 5m、流下幅 15m と仮定して土石

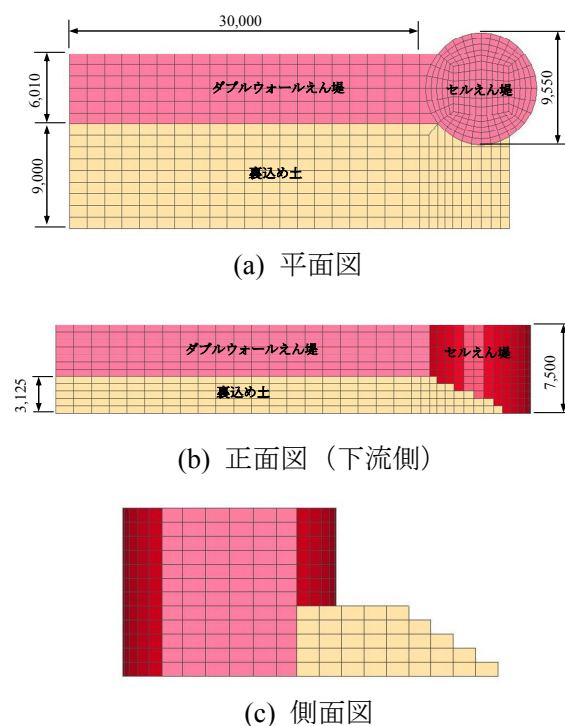


図-1 解析モデル

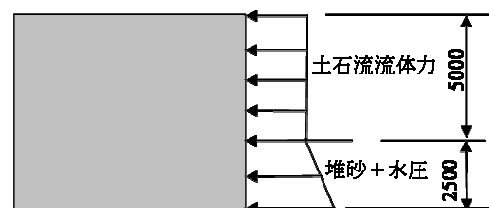


図-2 荷重のモデル化

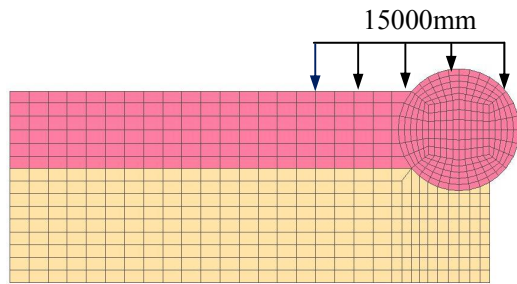


図-3 荷重の作用範囲

流流速をパラメータとして土石流流体力を算出して作用させた。堆砂圧および水圧の大きさは、土石流・流木対策設計技術指針によって算定した。本解析では自重および堆砂・水圧を 10 秒間作用させ十分に減衰させた後に、土石流流体力を作用させた。

3. 解析結果および考察

3.1 堤体の変位～時間関係および変形状況

図-4 に流速 12m/s の場合のセルえん堤頂部の変位～時間関係を示す。これより、まず、自重と堆砂・水圧の载荷によって上下流側ともに約 8mm の変形が生じていることがわかる。次に、土石流流体力が作用すると、変位が大きく増大していき、上流側では約 0.47m、下流側で約 0.38m の最大変位が生じた。

図-5 に、流速 14m/s の場合のえん堤の変形状況を示す。これより、平面および側面の変形状況は、実際の変形と比較的類似しており、FEM 解析によって、ある程度再現できたと言える。

3.2 堤体に作用した荷重特性

図-6 に、セルえん堤の頂部に生じた最大変位と土石流の流速との関係を示す。これより、流速が 8 および 10m/s の場合には、上下流ともに最大変位は 0.2m 以下であるが、流速が 12m/s 以上になると急激に最大変位が増加し、流速 14m/s の場合には約 1.4m の最大変位が生じた。なお、設計荷重を作用させた場合には、上下流ともに約 1cm（堤高の 0.1%）程度の変形しか生じなかった。

4. 結言

船石川では地盤支持力が小さく、現地発生土の有効活用を図る観点からセルえん堤が計画された。本研究で検討した解析条件によると、設計荷重では許容変位量 1% 以下であるが、流速が設計流速の 4.5 倍程度（12m/s）を超える規模の荷重になるとえん堤頂部の変形が急激に増加した。今後は、鋼矢板の継ぎ手のモデル化および材料物性値や荷重分布等の影響等についてさらに検討を加えたい。

参考文献

- 1) 田村圭司，内田太郎，武澤永純，鈴木隆司：平成 19 年 7 月鹿児島県船石川で発生した深層崩壊に起因する土石流の実態，平成 20 年度砂防学会研究発表会概要集，pp.374-375，2008.5
- 2) 牛窪光昭，中村徹，別府万寿博：不透過型砂防えん堤の堤体材料が動的応答に及ぼす影響に関する解析，平成 20 年度砂防学会研究発表会概要集，pp.226-227，2008.5

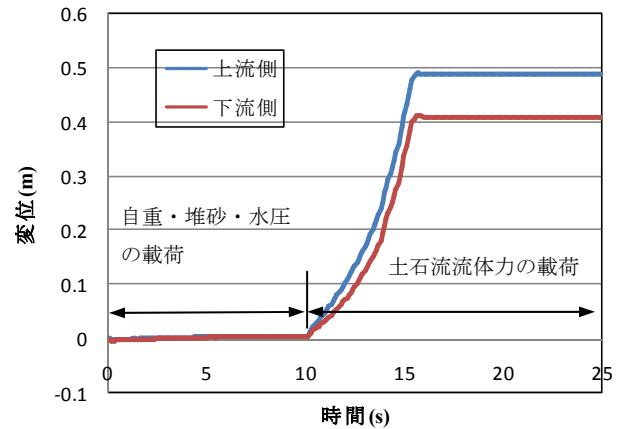
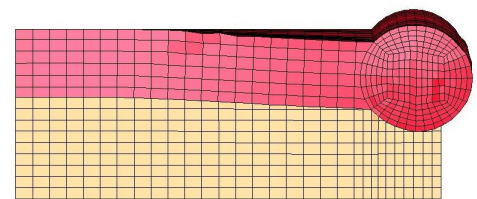
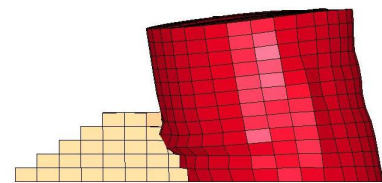


図-4 流速 12m/s 時の変位～時間関係



(a) 平面図



(b) 側面図

図-5 流速 14m/s の場合の変形状況

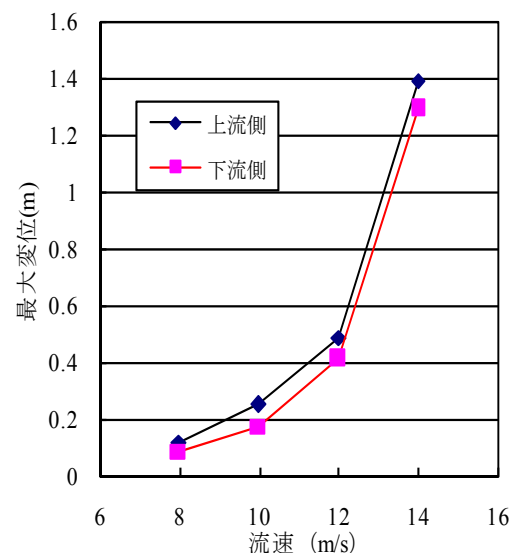


図-6 最大変位と流速の関係