

鋼製枠砂防えん堤袖部の耐衝撃性能に関する解析的研究

九州大学大学院 学生会員 加藤 尚 九州大学大学院 正会員 園田 佳巨  
九州大学大学院 学生会員 神田 幸弘 砂防鋼構造物研究会 非会員 大隅 久

1. 緒言

写真-1 に示すような中詰材のせん断抵抗を利用した鋼製枠砂防えん堤は、堆積土砂の地下水位低下に有効な透水機能と地盤の変形に追従できる可撓性など、コンクリート製砂防えん堤に無い特長を有している。しかし、小さな鋼部材断面の枠組み内に中詰材を有するその独特な構造形式であるため、耐衝撃性能について明確にされておらず土石流の衝撃荷重に対して十分な抵抗力を持たないことが懸念されている。そこで、本研究では耐衝撃性を把握するために、鋼製枠砂防えん堤袖部に着目し、3次元個別要素法を改良した衝撃応答解析ソフトを作成し、解析的考察を試みた。



写真-1 鋼製枠砂防えん堤

2. 衝撃応答解析手法

2.1 個別要素法の適用

鋼製枠砂防えん堤は、鋼製骨組と礫中詰材により構成されているため、粒状体の解析を目的として開発された個別要素法をベースとして衝撃応答解析ソフトを作成した。すなわち、解析対象を剛体要素によって離散化し、陽解法を用いた時間積分により動的挙動を求めた。ここでは、鋼製骨組部材および礫中詰材の力学特性を表現するために、鋼製骨組部材と礫中詰材それぞれに対して以下の異なるモデル化を行った。

1) 鋼製骨組部材

鋼製骨組部材は、軸力のみを伝達するトラス構造として設計されている。しかし、部材格点間に充填された小径礫の側圧による影響を正確に評価するには、曲げモーメントを伝達できるモデルを用いる必要があると考えられる。そこで、鋼製骨組部材要素間には軸力を伝達する法線方向バネと、以下の式に示すような曲げ剛性バネ $k_M$ を設けた。

$$F_N = k_N \Delta u_N \quad (1)$$

$k_N$  : 法線方向バネ、 $\Delta u_N$  : 法線方向相対変位

$$M = k_M \Delta \theta \quad (2)$$

$\Delta \theta = \theta_i - \theta_{i-1} \cong (u_{i+1} - u_i) / R_i - (u_i - u_{i-1}) / R_{i-1}$  : 相対回転角、 $k_M = EI / \bar{R}$  ( $\bar{R} = (R_{i-1} + R_i) / 2$ ,  $R_i$  : 部材の長さ)

2) 礫中詰材

実際の中詰材は、ランダムな寸法や形状の礫が複雑に配置されており、実際の中詰材の状態を表現するのは困難である。そこで、本研究では礫中詰材要素に有効半径を設けることで、影響範囲内であれば、直接接触していない要素間でも力の相互伝達を行うものと仮定し、要素配置に依存しないようにモデル化を行った。なお、中詰材は圧縮力のみ抵抗するものとする。

2.2 鋼製骨組モデルの概要

鋼製骨組は、支柱・つなぎ材・横梁・ブレース・スクリーン材の主構造材で構成されている。本解析では、図-1に示すような鋼製枠砂防えん堤袖部のみを対象とし、表-1に示す材料定数を用いてモデル化を行った。

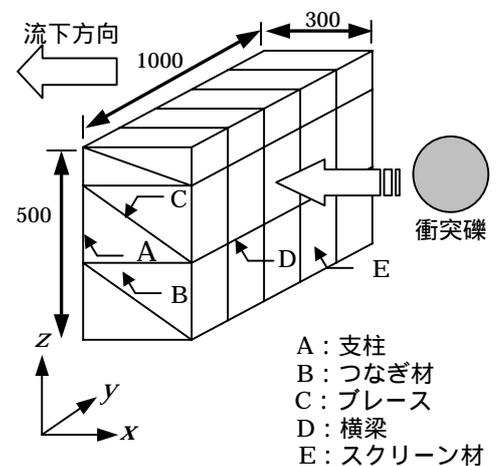


図-1 解析対象 (cm)

表 1 材料定数

|                              |                       |                        |                        |
|------------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|
|                              | 鋼製枠                   | 中詰材                    | 衝突物                    |
| 単位体積重量(kgf/cm <sup>3</sup> ) | 0.00785               | 0.00267                | 0.00267                |
| ヤング率(N/cm <sup>2</sup> )     | 2.0 × 10 <sup>5</sup> | 4.71 × 10 <sup>4</sup> | 4.71 × 10 <sup>4</sup> |
| 減衰定数                         | 0.1                   | 0.1                    | 0.1                    |

2.3 鋼製骨組モデルの破壊条件

鋼製枠砂防えん堤は、礫中詰材が流出すると十分な耐衝撃性能を発揮できなくなり破壊すると考えられる。よって本研究では、礫中詰材の流出を防ぐために設置されたスクリーン材の下流側が、破断時の回転角( $\theta_{cr}$ )に達したときに鋼製枠砂防えん堤が破壊するとみなした。鋼製骨組には図-2に示すような曲げモーメントと相対回転角によるバイリニア型の構成モデルを適用した。その際、降伏時の回転角( $\theta_y$ )は 0.01rad, 破断時の回転角( $\theta_{cr}$ )は 0.05 radに設定した。

3. 数値計算結果および考察

3次元衝撃応答解析により、鋼製枠砂防えん堤袖部における中詰材の効果と弾塑性応答特性について考察するために、1) 中詰材の有無による比較、2) 衝突礫の直径および衝突速度を変化させた際の応答状況について比較検討した。

3.1 中詰材の効果

中詰材の効果を把握するために、図-1に示すようにスクリーン材に巨礫が衝突した場合の弾塑性衝撃応答解析を行い、衝突箇所の下流方向(x軸方向)変位を比較した結果を図-3に示す。解析条件として、衝突礫の直径は100cm, 衝突速度を600cm/secとし、スクリーン材の破断は考慮していない。図-3のグラフより、流下方向変位が約18cmまで中詰材の有無に関わらずほとんど同じ応答を示すのは、衝突箇所のスクリーン要素と背面にある中詰材の要素の間に約20cmの空間が存在しているからである。そのことを考慮すると、中詰材によってx軸方向変位が約30%に抑えられていることになり、中詰材の抵抗力が顕著に現れる結果となった。巨礫衝突後140msecにおける鋼製枠砂防えん堤の応答状況を図-4に示す。

3.2 鋼製枠砂防えん堤の破壊状態

次に、2.3に示した破壊条件を用いて、衝突礫の礫径や衝突速度をパラメータとした弾塑性衝撃応答解析を行い、鋼製枠砂防えん堤の破壊の可能性について検討を試みた。表-2はその結果を示したもので、この表から本手法を用いて、鋼製枠砂防えん堤の破壊を予測可能であることが認められた。

4. 結論

礫中詰材を有する鋼製枠砂防えん堤の3次元衝撃応答解析プログラムを作成し、適切な破壊基準を設けることで鋼製枠砂防えん堤の破壊の可能性についても予測することができた。今後、中詰材の力学特性と土石流による衝撃力を適切にモデル化することで、信頼性が高い数値シミュレーションを行う予定である。

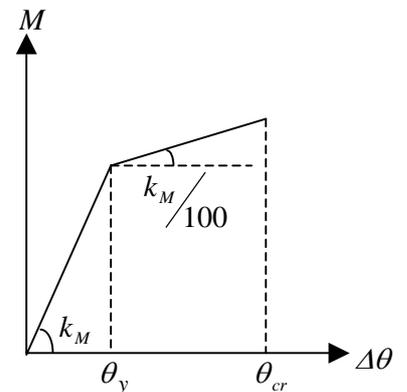


図-2 鋼材の構成モデル

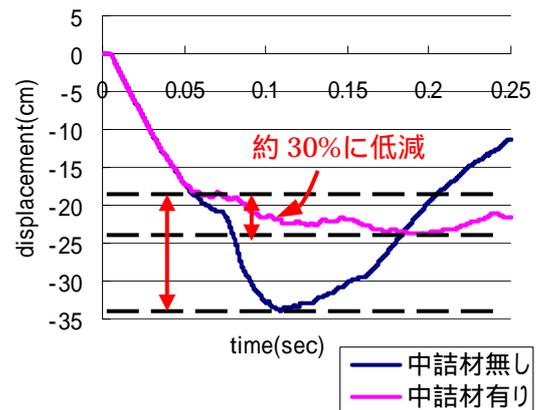


図-3 衝突位置のx軸方向(流下方向)変位

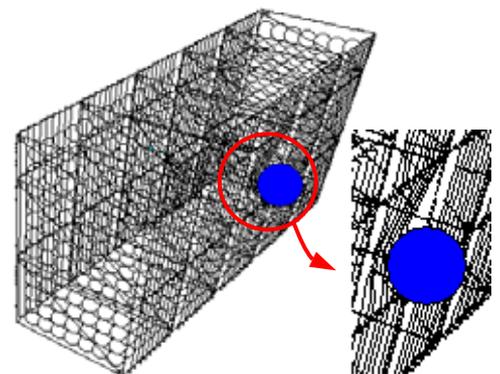


図-4 衝撃解析状況(140msec)

表-2 衝突礫径・衝突速度による破壊状況

|         |        |        |        |
|---------|--------|--------|--------|
| 速度 \ 礫径 | 1.0m/s | 3.0m/s | 6.0m/s |
| 50cm    | OK     | OK     | OK     |
| 100cm   | OK     | OK     | OK     |
| 200cm   | OK     | NG     | NG     |