

礫衝突を受ける鋼製枠砂防堰堤袖部の耐衝撃性能評価に関する研究

九州大学大学院 学生会員 ○神田 幸弘

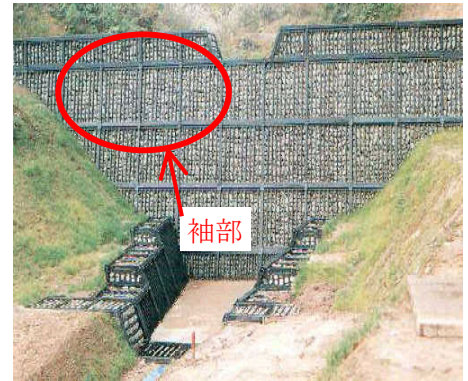
九州大学大学院 正会員 園田 佳巨

砂防鋼構造物研究会

大隅 久

1. 序論

わが国では、毎年のように土石流や地すべり等の土砂災害が各地で生じており、その被害抑制を目的とした防護構造物の一つに写真－1に示すような鋼製枠砂防堰堤がある。鋼製枠砂防堰堤は、施工期間が短く、優れた透水性により堆積土砂の地下水位を低下させることができるなど、コンクリート製砂防堰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充填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、鋼製枠砂防堰堤袖部に着目し、3次元個別要素法をベースとした鋼製骨組と礫中詰材の相互作用を考慮した衝撃応答解析手法を開発し、鋼製枠砂防堰堤の耐衝撃性能評価に関して考察を試みた。



写真－1 鋼製枠砂防堰堤

2. 衝撃応答解析手法

2.1 個別要素法の適用

鋼製枠砂防堰堤は、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手法を開発した。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、鋼製枠内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, Δu_N : 法線方向相対変位

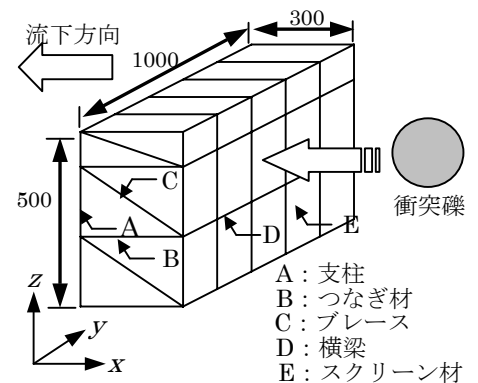
$$M = k_M \Delta \theta \quad (2)$$

$\Delta \theta = \theta_i - \theta_{i-1} \cong (u_{i+1} - u_i) / R_i - (u_i - u_{i-1}) / R_{i-1}$: 相対回転角

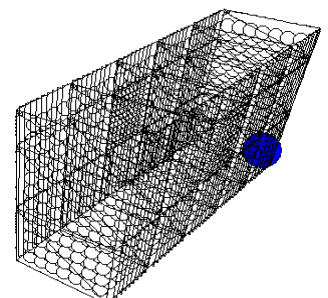
$k_M = EI / \bar{R}$ ($\bar{R} = (R_{i-1} + R_i) / 2$, R_i : 部材の長さ)

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、現実の配置状況を忠実に表現するのは困難である。また、個別要素法は、力の伝達経路が要素配置に依存するが、本解析では鋼製骨組と礫中詰材を一体とした解析モデルを用いた耐衝撃性能評価の可能性について検討を行うため、簡易に直交配列でモデル化した。なお、中詰材は圧縮力のみに抵抗するものとする。



図－1 解析対象



図－2 解析モデル

表-1 材料定数

	鋼製枠	中詰材	衝突礫
単位体積重量(kgf/cm ³)	0.00785	0.00267	0.00267
ヤング率(N/mm ²)	2.0×10^5	4.71×10^4	4.71×10^4

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堰堤袖部のみを対象とし、表-1に示す材料定数を用いて図-2のようにモデル化を行った。また、鋼製骨組の剛性は、断面力として作用する曲げモーメントと軸力の相互の影響を考慮した図-3に示すようなモデルを適用し、降伏後は初期剛性の1/100となるバイリニア型の構成則とした。ここで、降伏および破壊曲げモーメントは、図-4に示すような片持ち梁の先端に静的載荷を行い、降伏応力235(N/mm²)および破壊応力400(N/mm²)のそれぞれの応力に達したときの曲げモーメントを算出した。

3. 数値計算結果および考察

3次元衝撃応答解析により、鋼製枠砂防堰堤袖部における終局限界を段階的に考察するために、1) 中詰材の効果、2) 鋼製枠単体の破壊（衝突礫の貫通）、3) 衝突礫の直径・衝突速度をパラメータとした中詰材を有する鋼製枠砂防堰堤の終局限界について検討を行った。

3.1 中詰材の効果

中詰材の効果を確認するため、中詰材の有無による衝撃応答の相違を直径100cmの礫が衝突速度6.0m/secでスクリーン材に衝突したケースで検討した。その結果、図-5に示すように中詰材を充填することによって流下方向最大変位が約40%に低減されており、中詰材による効果が顕著に表れていることが認められた。

3.2 鋼製枠単体の破壊（衝突礫の貫通）

本解析手法を用いて衝突礫が、最も脆弱な部材であるスクリーン材を貫通する現象をシミュレートできることを確認するために、鋼製枠単体の衝撃応答解析を行った。貫通現象を表現するための手法として、隣接要素間で破断が生じた箇所は結合を切断し、他との結合が全て失われた要素を消去することで、礫の貫通を再現した。解析条件は、衝突礫の直径を100cm、衝突速度を6.0m/secとした。図-6に衝突礫の貫通状況を示すが、この結果から破壊条件を設定することで、本手法を用いて礫の貫通を表現可能であることが確認された。

3.3 鋼製枠砂防堰堤の破壊判定

鋼製枠砂防堰堤は、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ことから、本研究では下流側スクリーン材が終局限界に達したときに本構造物の破壊が発生するとした。表-2は、この条件を用いて、衝突礫の礫径や衝突速度をパラメータとした衝撃解析による破壊判定の結果を示したもので、適切な破壊判定基準を設けることで鋼製枠砂防堰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堰堤の3次元衝撃応答解析手法を開発し、適切な破壊基準を設けることで鋼製枠砂防堰堤の破壊の可能性を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、鋼製枠砂防堰堤の耐衝撃性能を適切に評価可能な手法の開発を行う予定である。

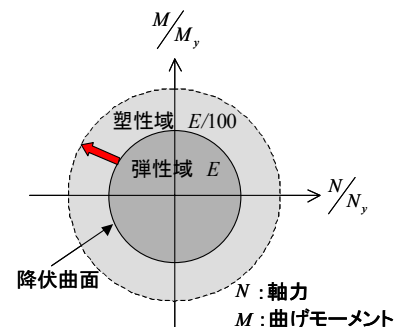


図-3 鋼材の曲げ剛性モデル

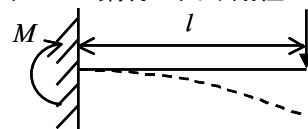


図-4 曲げモーメント算出図

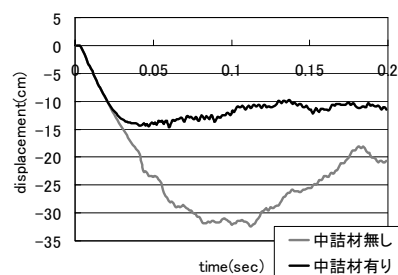


図-5 流下方向変位

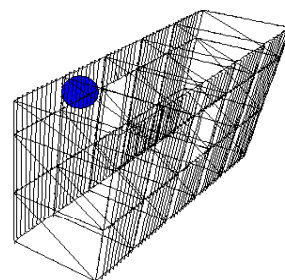


図-6 衝突礫の貫通状況

表-2 衝突礫径・衝突速度による破壊判定

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