礫衝突を受ける鋼製枠砂防えん堤袖部の衝撃応答解析

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
九州大学大学院　学生会員　加藤　尚,　　砂防鋼構造物研究会　大隅　久

１．序論

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随できる可撓性など，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．

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

k_N ：法線方向バネ，Δu_N ：法線方向相対変位

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

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

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

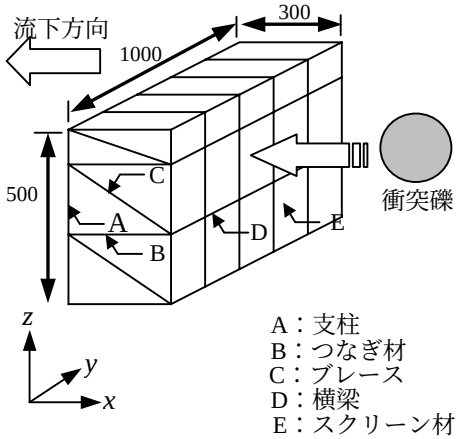

図-１　解析対象　(cm)

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．従来の個別要素法は，力の伝達経路が要素配置に依存することから,本研究では礫中詰材要素に影響範囲を設け,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た．なお，中詰材は圧縮力のみに抵抗するものとする．

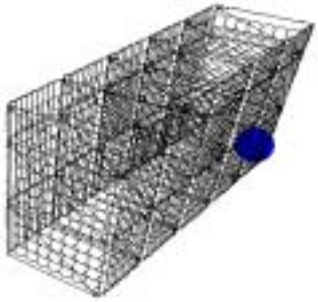
図-２　解析モデル

キーワード　鋼製枠砂防えん堤，３次元個別要素法
連絡先　　〒812-8581　福岡県福岡市東区箱崎 6-10-1　　TEL　092-642-3262

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

表-２　鋼材の使用限界および終局限界

	応力(N/mm^2)	回転角(rad)
使用限界	235	0.015
終局限界	400	0.05

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**図-２**のようにモデル化を行った．

2.3　鋼製枠単体の弾塑性曲げ剛性

鋼製骨組には断面力として曲げモーメントと軸力を考え，曲げ剛性には，**図-３**に示すような曲げモーメントと相対回転角のバイリニア型のモデルを適用した．使用限界および終局限界時の回転角は，**表-２**に示すような値を設定した．

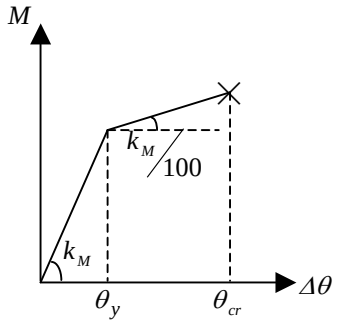

図-３　鋼材の曲げ剛性モデル

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終局限界を段階的に考察するために，1）鋼製枠単体の破壊（衝突礫の貫通），2）中詰材の効果，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えん堤の終局限界について検討を行った．

3.1　鋼製枠単体の破壊（衝突礫の貫通）

鋼製枠単体の終局限界を把握するために，**図-１**に示すようにえん堤中央のスクリーン材に巨礫が衝突した場合，衝突礫が下流側スクリーン材まで貫通する速度について検討を行った．解析条件として，衝突礫の直径は 1.0m のみとし，衝突速度を 3.0～6.0m/sec（1.0m/sec 刻み）とした．その結果，衝突礫が鋼製枠単体を貫通する速度は約 4.0～5.0m/sec であることが確認された．また，その際の貫通状況を**図-４**に示す．この結果から，本解析で構造部材の破壊を容易にシミュレートできることがわかる．

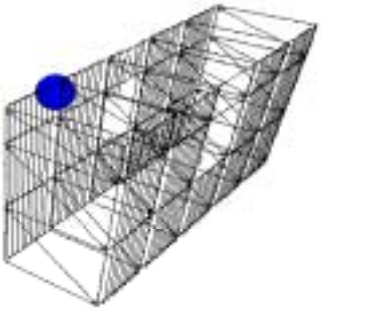

図-４　衝突礫の貫通状況

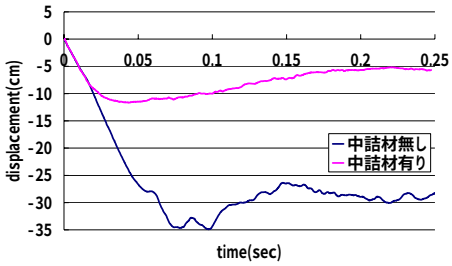

図-５　流下方向変位

表-３　衝突礫径・衝突速度による破壊判定

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

3.2　中詰材の効果

次に，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 1.0m 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 30%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．

3.3　鋼製枠砂防えん堤の破壊判定

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ことから，本研究では下流側スクリーン材が終局回転角(θ_{cr})に達したときに破壊すると仮定した．**表-３**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，より信頼性が高い数値シミュレーションを行う予定である．