

礫中詰材を有する鋼製枠砂防堰堤の耐衝撃性能評価に関する基礎的研究

九州大学大学院
九州大学大学院
砂防鋼構造物研究会

学生会員 ○末崎 将司
正会員 園田 佳巨
大隅 久

1. 序論

土砂災害による被害抑制を目的とした防護構造物として、砂防堰堤が各地に設置されている。この砂防堰堤の一つに写真-1に示すような鋼製枠の中に礫を中詰材として充填した鋼製枠砂防堰堤がある。鋼製枠砂防堰堤は、施工期間が短い、透水性に優れているなど、コンクリート製砂防堰堤にはない利点を持つ構造と考えられるが、平成14年に三重県で発生した被災事故により、その安全性に懸念が持たれることになった。そこで本研究では、礫中詰材の衝撃緩衝実験および、そのシミュレーションを行い、礫中詰材の緩衝効果を表現可能なモデル化を試みた。次に、個別要素法を用いて、礫中詰材と鋼製枠組の相互作用を考慮した構造全体系の衝撃応答解析手法を作成し、鋼製枠砂防堰堤袖部の耐衝撃性能についての評価を試みた。



写真-1 鋼製枠砂防堰堤

2. 礫中詰材の衝撃緩衝実験

本実験は、落錘式衝撃実験装置を用いて鉄球を自由落下させるもので、落下位置にはロードセルを設けた。また、緩衝効果を把握するために、図-1に示すようにロードセル上には直径1cm~2cm程度の礫中詰材を充填した。なお、実験パラメータとしては、鉄球の落下高さ、中詰材の埋設深さを取り入れた。図-2に得られた衝撃力-時間関係の1例を示す。この結果から中詰材により衝撃力が約90%低減することが確認できた。このような緩衝効果について個別要素法を用いたシミュレーションにより表現する。

3. 個別要素法を用いた衝撃応答解析手法

本研究では礫中詰材のような粒状体の解析に適した個別要素法をベースとした衝撃応答解析手法を用いた。すなわち、解析対象を剛体要素によって離散化し、各要素が接触状態にある場合には接触点に設けた法線方向と接線方向のバネおよびダッシュポットを用いて力の伝達を表現し、それにより得られた力をもとに、運動方程式(1)を立て、時間積分を行うことで各要素の変位を求める。また、バネ剛性は式(2)によって求める。

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = f(t) \quad (1)$$

$$K = EA/l \quad (2)$$

ここで、 u ：並進変位、 M ：要素質量、 C ：減衰係数、 K ：バネ剛性、 $f(t)$ ：外力ベクトル、 E ：要素剛性の要素半径による重み付き平均、 A ：接触面積(投影面積)、 l ：要素半径の和

4. 衝撃緩衝実験の数値シミュレーション

礫中詰材の緩衝効果を表現可能なモデル化を目的として、衝撃緩衝実験の数値シミュレーションを行った。本解析では、図-3に示すように全ての要素を球体でモデル化し、鋼製枠要素および底面の要素は全方向固定とし

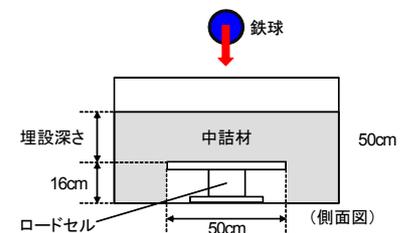


図-1 計測状況

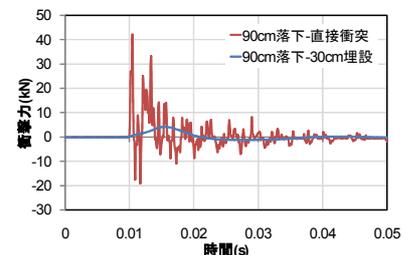


図-2 衝撃力-時間関係

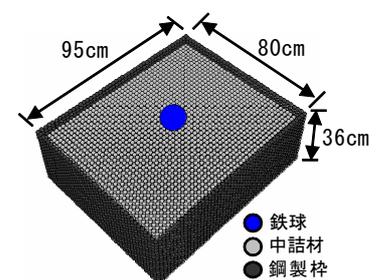


図-3 解析モデル



図-4 投影面積

キーワード 鋼製枠砂防堰堤、個別要素法、緩衝効果、衝撃応答解析

連絡先 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 番地 九州大学 TEL 092-802-3370

た．解析対象は，礫中詰材の埋設深さを 30cm，鋼球の落下高さを 210cm とし，底面に設置したロードセル要素に作用する鉛直方向力を衝撃力とした．また，法線方向バネ剛性を求める際，式(2)に用いる接触面積は，厳密には中詰材相互の相対変位の非線形関数として評価する必要があるが，中詰材の衝撃緩衝効果を簡易に評価するには，接触面積として図-4 に示すような要素の投影面積を用い，低減係数 α を想定し，低減係数 α を式(3) に示すように法線方向バネ剛性に乗じて緩衝効果を表現することが望ましい．

$$K = \alpha \times EA / l \tag{3}$$

図-5 に，低減係数 α をパラメータとした解析結果と実験結果との比較を示しているが，この結果より低減係数 α を小さく設定すれば得られる最大衝撃力も減少し， $\alpha=1/1000$ と設定すれば，最大衝撃力は実験結果と概ね近い値を示すことが分かった．

5. 鋼製枠砂防堰堤袖部の耐衝撃性能評価

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，図-6 に示すような曲げ剛性バネを設け，式(4)により曲げモーメントを算出した．

$$M = k_M \Delta\theta \tag{4}$$

ここで， M ：曲げモーメント， $k_M = EI / \bar{R}$ ($\bar{R} = (R_{ij} + R_{ik}) / 2$ ， R_{ij} ， R_{ik} ：部材の長さ)：曲げバネ係数， $\Delta\theta = \theta_{ij} - \theta_{ik}$ ：相対回転角．

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影響を考慮した図-7 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．本研究では，図-8 に示すような下流側の主要部材(支柱，横梁)およびスクリーン材に破断が生じたときに本構造物が終局限界に達すると仮定した．これは，下流側の主要部材の破壊が全体崩壊につながる危険性があるとともに，下流側のスクリーン材の破壊により礫中詰材が流出した場合にも，耐衝撃性能が損なわれると考えられるためである．以上の判定基準をもとに，図-9 に示す解析モデルを用いて，本構造物の耐衝撃性能評価を試みた．衝突条件として，礫径，衝突速度をパラメータとして解析を行い，衝突箇所は，接合部，スクリーン中央の 2 箇所とした．表-1 (a)，(b) には，各衝突箇所における破壊判定結果を示している．衝突箇所が接合部，スクリーン中央ともに同様の条件で破壊が発生したが，破壊形態は異なる結果となった．接合部衝突では，つなぎ材に破壊が生じた後，背面の主要部材または横梁の破壊が発生した．一方，スクリーン衝突では背面のスクリーン材が破壊する結果となった．実際には，衝撃力が砂防堰堤の前面から背面まで伝達する過程で，大半の衝撃エネルギーが消費されることも予想され，今回の結果は鋼製枠砂防堰堤の耐衝撃性能を過小評価している可能性があると考えられる．

6. 結論

鋼製枠砂防堰堤の衝撃応答解析手法を提案し，破壊基準を設けることで破壊の可能性を予測することができた．今後，1)中詰材間を衝撃力が伝達される際のエネルギー損失を評価すること，2)土石流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の評価精度の向上を試みる予定である．

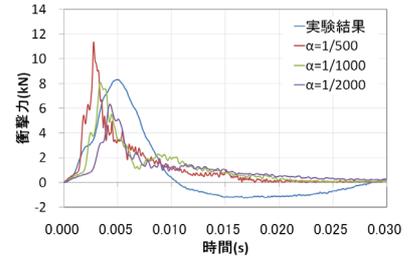


図-5 解析結果

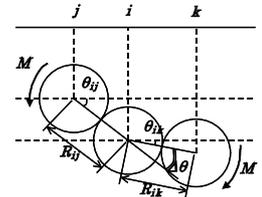


図-6 曲げ剛性ばね

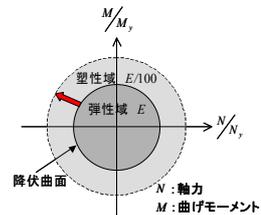


図-7 曲げ剛性モデル

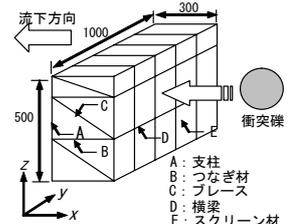


図-8 解析対象 (cm)

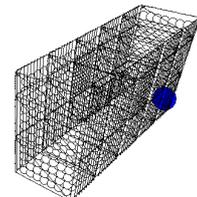


図-9 解析モデル(袖部)

表-1 破壊判定結果

(a) 接合部衝突時

速度 \ 礫径	100cm/sec	300cm/sec	600cm/sec
50cm	○	○	○
100cm	○	○	×
200cm	○	×	×

(b) スクリーン衝突時

速度 \ 礫径	100cm/sec	300cm/sec	600cm/sec
50cm	○	○	○
100cm	○	○	×
200cm	○	×	×

○：破壊なし ×：破壊あり