

八千代エンジニアリング(株) 下田 義文  
 防衛大学校土木工学科 鈴木 真次  
 同上 石川 信隆

1. 緒言

急流河川に建設されたコンクリート製砂防ダムの袖部が土石流によってたびたび破壊されている。この破壊には土石流中の巨礫が原因となっていると考えられており、その衝撃現象は衝突模型実験や2質点系モデルにより、一部解明されている。<sup>1)</sup>しかし、破壊の過程および本堤への影響については検討されていない。そこで本研究は個別要素法(DEM)を用いて、土石流による実砂防ダムの衝撃破壊解析を行って破壊現象および本堤への影響を解明し、さらに緩衝材を取付けた場合の効果についても解析を行ったものである。

2. 個別要素法による解析の概要

本研究ではコンクリート製砂防ダムおよびモルタル片持梁(袖部の模型)を図-1に示すような2次元の円要素に分割した。各要素間に結合パラメータを導入し、作用力を表すために図-2に示すような法線方向にバネ $K_n$ とダッシュポット $C_n$ 、接線方向にバネ $K_s$ とダッシュポット $C_s$ を設けた。また、接線方向にはクーロンの摩擦すべり条件を満足するスライダ $\mu$ を設けた。

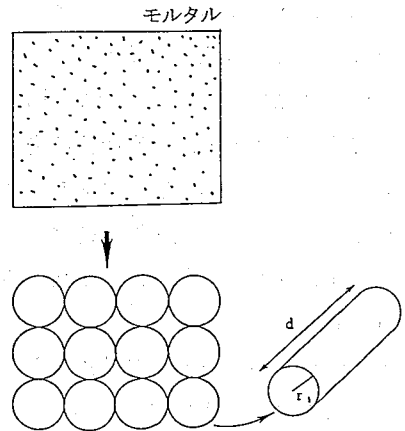


図-1 要素モデル

これらのバネ定数はコンクリートおよびモルタルのヤング率、比重、内部摩擦角およびポアリン比に基づき、要素間に有効接触面積の考え方を取り入れて求めた。

各要素の変位、作用力をXY座標に変換した運動方程式を誘導し、オイラー法により数値的に解き、各要素の挙動を求めた。

図-3に計算の全体フローを示す。

3. 実砂防ダムの衝撃応答解析

3.1 砂防ダムのモデル化と計算条件

昭和53年5月に新潟県妙高高原町の白田切川で発生した土石流による砂防ダム袖部破壊実例<sup>2)</sup>の解析を行った。砂防ダムの袖および本堤を直径60cmの円要素に分割し、当時の災害報告書類<sup>2)</sup>を参考に巨礫径2m、流速20m/s、水深4.6mとして解析した。解析に用いたコンクリートの材料特性値は表-1に示す。

計算はコンクリート自重と巨礫の衝突だけが作用した場合(ケース1)と水圧、堆砂圧、土石流流体圧を考慮した場合(ケース2)の2ケース実施した。巨礫の衝突位置は水通し天

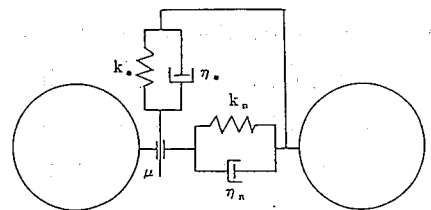


図-2 要素間の結合条件

端から3.3cmの高さと仮定した。

### 3.2 計算結果

#### 3.2.1 破壊挙動と作用力の分布

ケース1および2の破壊挙動と作用力の分布をそれぞれ図-5, 6に示すが、要素間の線は要素同志が連続体として結合していることを示している。破壊挙動を見るとケース1では10msec後に袖部根元にクラックが発生し、その後クラックは発達するが、袖部が倒壊するまでには至っていない。これに対しケース2は5msec後に袖部根元と衝突点の裏側の2ヶ所にクラックが発生し、これらのクラックが発達して袖部は2つのブロックに破断されてしまう。これは巨礫の衝突でクラックが発生し、連続体としての強度がなくなってしまった後、ケース2では土石流流体圧が継続して作用し、袖部を押し倒す形となっている。白田切川の砂防ダムは袖部が破断し流失してしまっており、ケース2の計算はこれをよくシミュレートしている。

一方、作用力は、衝突直後に衝突点付近に大きい力が発生し逐次本堤の下方へ伝達され20msec後には本堤基礎反力に影響を与えている。特にケース2では引張力が広い範囲に発生している。

#### 3.2.2 変形過程

巨礫の衝突直後からクラックが発生するまでの袖中心線の変位過程を図-4に示す。ケース1を見ると本堤の変形はほとんどなく、袖部根元が固定されたような状態になっている。変形は最終的には1次変形モードが卓越しているが、初期の段階では2次モードも含まれた変形を示している。ケース2では1次モードが卓越する変形になる前にクラックが発生している。

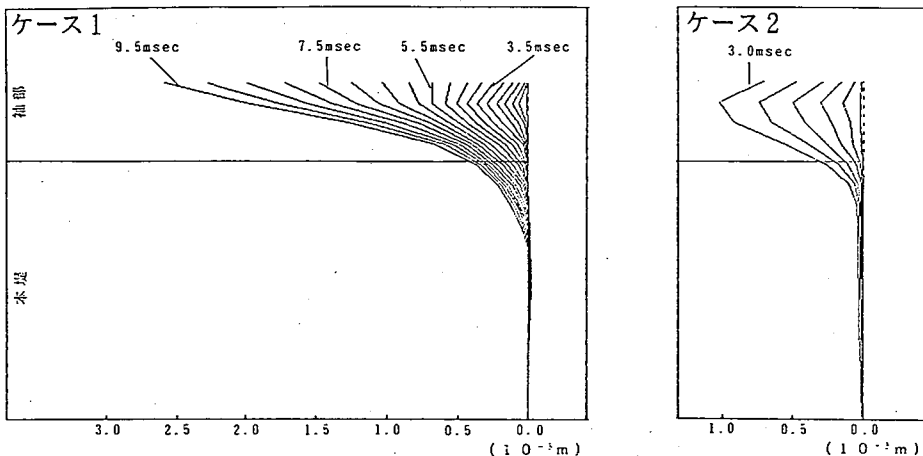


図-4 袖部中心線の変位

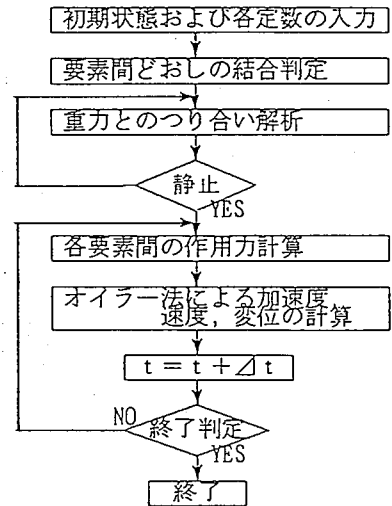


図-3 計算フローチャート

表-1 計算に用いた材料定数 (実砂防ダム)

項目	定数
コンクリート	ヤング率 $2.6 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$
	ポアソン比 $\nu$ 0.2
	引張限界歪 $\epsilon_L$ $200 \mu$
	減衰係数 $h$ 0.05
	単重 $\rho$ $2.35 \text{ gf/cm}^3$
土	巨礫重量 $1.09 \times 10^4 \text{ kgf}$
石	局部バネ定数 $6.58 \times 10^5 \text{ kgf/cm}$
流	土石流の単重 $1.09 \text{ gf/cm}^3$

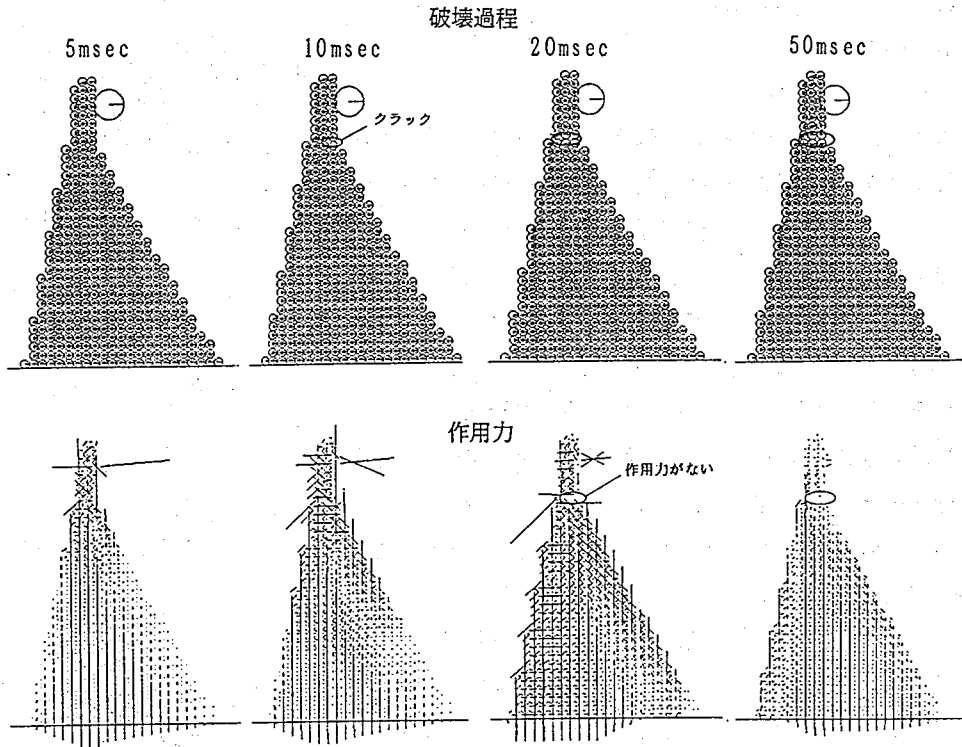


図-5 実ダム計算結果(ケース1)

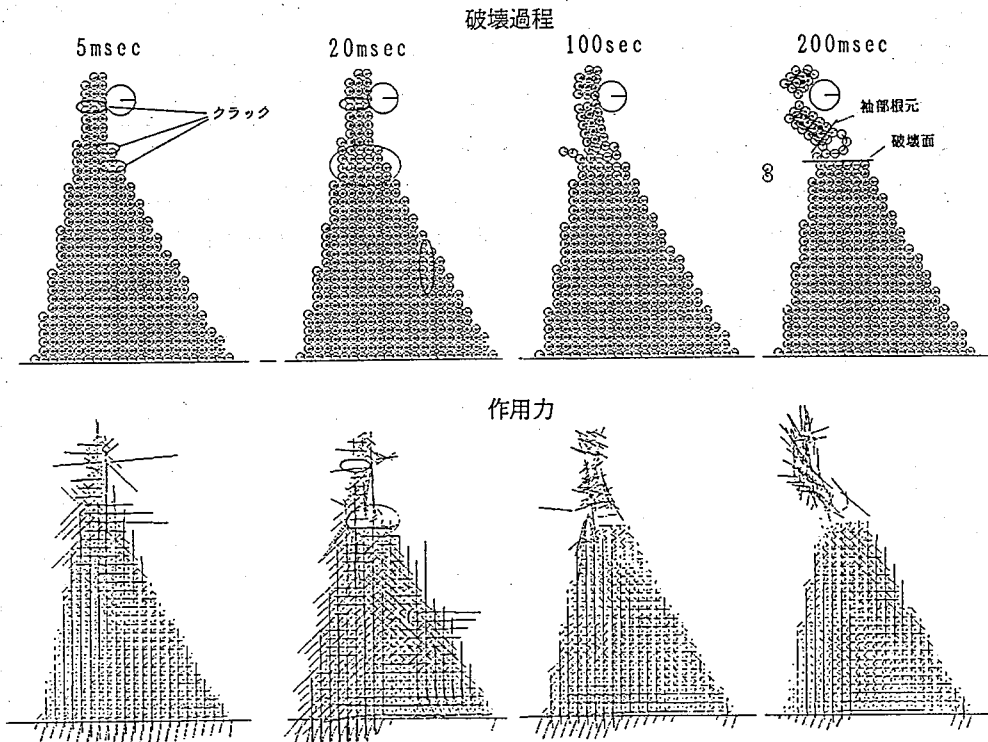


図-6 実ダム計算結果(ケース2)

#### 4. 緩衝材を用いた袖部の衝撃応答解析

##### 4.1 解析モデルと計算条件

緩衝材については、実ダムに取り付けた例がないので建設省土木研究所で実施された室内模型実験<sup>4)</sup>について計算を実施した。解析を行ったのは30cm×7.5cm×40cmのモルタル片持梁の表側に3cmのゴムを張り付けた供試体に直径7cmの鉄球を速度4m/secで衝突させたケースである。モルタル片持梁を直径1.5cm、ゴムを直径1cmの円要素分割して、ゴム緩衝材の有るケースと無いケースについて計算を行った。ゴムのバネ定数は非弾性特性を考慮し伸長比の関数として求めた。

##### 4.2 計算結果

ゴムを打撃面に取り付けたケースの最大歪時の変形および応力の分布を図-7に、片持梁根元の時間-歪曲線を図-8に示す。図-8にはゴムが無い場合のケースも比較のため示した。これらからゴムの緩衝材としての効果は最大値を25%小さくしていることが確かめられる。しかし、先の模型の実験では約60%の低減効果が報告されており、今後減衰係数等のパラメーターの検討が必要と考えられる。

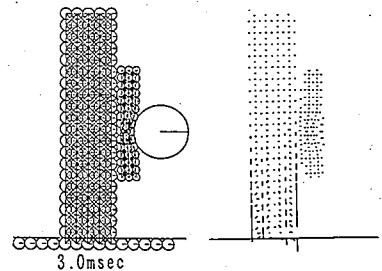


図-7 緩衝材の変形および作用力

#### 5. 結論

本研究は個別要素法による実砂防ダムの衝撃応答および緩衝材の効果の解析を行ない、その破壊過程、本堤への衝撃の影響およびゴム緩衝材の効果について検討したものであるが、次の結論が得られた。

(1) 土石流による実砂防ダムの破壊実例を個別要素法により良くシミュレートできることが確認された。

(2) 袖部に対する土石流荷重が本堤基礎にも引張応力を生ずるような影響を与えることが確認された。

(3) 土石流の巨礫の衝突に対するゴムの緩衝効果（ピーク荷重を低減させる）があることを個別要素法により定性的にはシミュレートできたが、定量的には今後さらにパラメーターの検討が必要である。

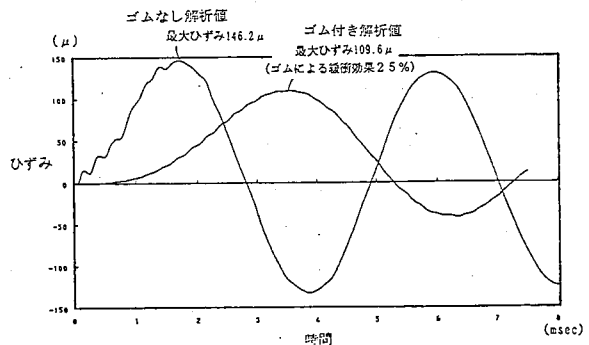


図-8 片持梁根元の時間-歪曲線

#### 参考文献

- 1) 建設省土木研究所 砂防研究室；砂防ダムの災害実態調査，土研資料第1514号，昭和54年6月
- 2) 鈴木，下田，石川，古川，水山；コンクリート製砂防ダム袖部の破壊に関する考察，平成3年度砂防学会研究発表会概要集，砂防学会
- 3) 恒松道信；新潟県妙高高原町における土砂災害，砂防と治水，復刊第22号，(株)全国治水砂防協会1978.8
- 4) 建設省土木研究所砂防部砂防研究室；土石流衝撃力に対する緩衝材に関する実験および解析報告書，土研資料第2169号，昭和60年3月