

1. 緒言

鋼製セルダムやダブルウォール砂防ダムなどの礫中詰め型砂防ダムの巨礫衝突時における最大局部変形や堤体の最大せん断変形は、2質点系ばねモデルを用いた動的解析によって推定でき安全性照査が可能である<sup>1)</sup>。しかし、2質点系ばねモデルによる非線形動的解析は動的解析の中では簡便であるが、設計の観点からは煩雑である。そこで本研究は、礫の衝突エネルギーが衝突点の局部変形と堤体全体のせん断変形の吸収エネルギーに配分されるものとし、そのエネルギー配分則に基づくエネルギー等置法を用いて最大局部変形と最大せん断変形を求める簡易な手法を提案したものである。

2. エネルギー配分則に基づく安全性照査法

図-1 に示すような、土石流巨礫衝突と流体力を同時に受ける砂防ダムの応答を、図-2 に示す2質点ばねモデルによる動的応答にモデル化すると、その応答は、まず図-3(a)に示すように衝突礫の運動エネルギーを吸収する局部変形とせん断変形(図-3(b))および後続の流体力によるせん断変形(図-3(c))に分けられる。そこで、局部変形とせん断変形に対する安全性照査式は次式ようになる。

(a) 局部変形に対する安全性照査式

$$\delta_{Lmax} \leq \delta_{La} \tag{1}$$

(b) せん断変形に対する安全性照査式

$$\gamma_{max} = \max(\gamma_{Rmax}, \gamma_{Fmax}) \leq \gamma_a \tag{2}$$

ただし、 $\delta_{Lmax}$ : 礫の衝突による最大局部変形、 $\delta_{La}$ : 許容局部変形、 $\gamma_{max}$ : 最大せん断変形量、 $\gamma_{Rmax}$ : 礫の衝突による最大せん断変形量、 $\gamma_{Fmax}$ : 流体力による最大せん断変形量、 $\gamma_a$ : 許容せん断変形量。

ここで、式(1)、(2)の左辺の応答変形量は、まず巨礫による衝突エネルギーが図-3(a)に示す局部変形に消費される運動エネルギーとせん断変形に消費される運動エネルギー(図-3(b))に配分され、それぞれの配分されたエネルギーが図-4の局部変形による吸収エネルギーと、図-5に示すせん断変形による吸収エネルギーに等置変換されるものとして、最大局部変形 $\delta_{Lmax}$  および最大せん断変形量 $\gamma_{Rmax}$  が算定される。また、流体力による最大せん断変形量 $\gamma_{Fmax}$  は、図-6に示すように土石流の流体力と堤体のせん断抵抗力が釣り合うときの変形量より求めることができる。

2.1 礫の衝突による最大局部変形の算定法

まず、最大局部変形 $\delta_{Lmax}$  は、局部変形に配分されたエネルギー $E_L (= (1-\beta_0) \frac{1}{2} m_R v_0^2)$ が、図-4に示す局部変形吸収エネルギー $U_L$ に一致することを表わす次式によって求められる。

$$\delta_{Lmax} = \sqrt{(1-\beta_0) \frac{m_R v_0^2}{k_L}} \tag{3}$$

ただし、 $\beta_0$ : エネルギー分担率、 $m_R$ : 礫の質量、 $k_L$ : 局部ばね係数、 $v_0$ : 礫の衝突速度。

なお、局部ばね係数は、鋼板と中詰材の相互作用を地盤上のはりモデルに置換して次式により求める<sup>1)</sup>。

$$k_L = C_{LC} (k_h)^{0.75} (EI)^{0.25} \tag{4}$$

ここで、 $C_{LC}$ : 解析定数(厳密解では $2\sqrt{2}$ )、 $E$ : 鋼板のヤング係数、 $I$ : 鋼板の断面2次モーメント、 $k_h$ : 中詰材

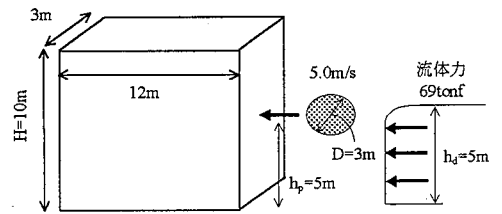


図-1 基準砂防ダムモデル

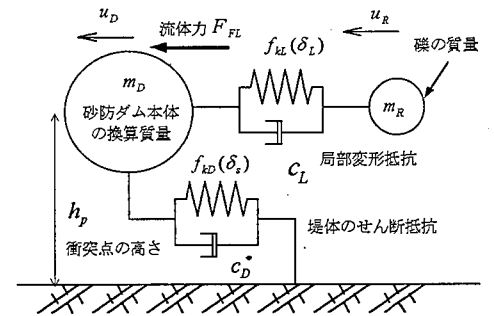


図-2 2質点ばねモデル

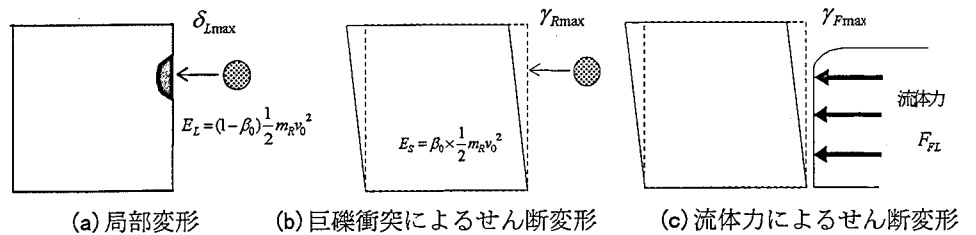


図-3 エネルギー配分則による砂防ダムの応答モデル

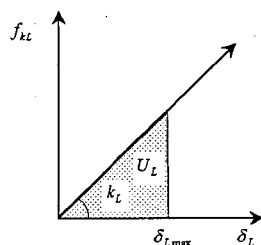


図-4 局部変形吸収エネルギー

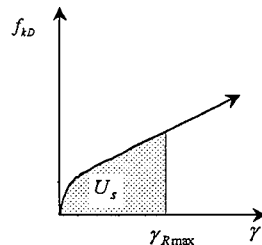


図-5 礫衝突によるせん断変形吸収エネルギー

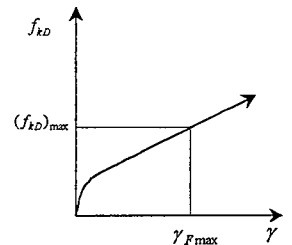


図-6 流体力によるせん断変形吸収エネルギー

の水平方向の地盤反力係数。

## 2.2 最大せん断変形量の算定法

巨礫の衝突エネルギーによる最大せん断変形量 $\gamma_{Rmax}$ は、図-3(b)に示すせん断変形に配分されたエネルギー $E_s (= \beta_0 \frac{1}{2} m_R v_0^2)$ が、図-5に示す堤体のせん断変形吸収エネルギー $U_s$ に等しいとする次式のエネルギーのつりあい式を解くことによって求められる<sup>1)</sup>。

$$\frac{1}{2} \beta_0 m_R v_0^2 = E_s = U_s = C_{SH} \left( \frac{1.6 \times e^{-6.7}}{2} \times (\gamma_{Rmax})^2 + \frac{0.064 \times e^{-6.3}}{1.2} \times (\gamma_{Rmax})^{1.2} \right) \quad (5)$$

ここに、 $C_{SH}$ :無次元化せん断抵抗力からの変換係数、 $e$ :中詰材の間隙比。

次に、流体力による最大せん断変形量 $\gamma_{Fmax}$ は、図-3(c)の流体力 $F_{FL}$ が図-6に示すせん断変形抵抗力 $(f_{kD})_{max}$ と等しいと置いて次式により求める。

$$F_{FL} = (f_{kD})_{max} = C_{SH} (1.6 \times e^{-6.7} \times \gamma_{Fmax} + 0.064 \times e^{-6.3} \times \gamma_{Fmax}^{0.2}) \quad (6)$$

## 2.3 エネルギー分担率 $\beta_0$ の決定

図-2のモデルによる動的解析により、図-1のダムを基準として礫径、衝突速度、衝突高さ、局部抵抗力、せん断抵抗力および砂防ダムの大きさをパラメトリックに変化させて検討を行った。その結果、エネルギー分担率 $\beta_0$ は図-7に示すように礫とダム堤体との相対質量比 $D_m$ とほぼ線形の関係にあり、次式によって与えられるものとした。

$$\beta_0 = 0.05 D_m + 0.006 \quad (7)$$

ただし、 $D_m$ :礫と堤体の相対質量比( $=m_R / m_{DT}$ )、 $m_R$ :礫の質量、 $m_{DT}$ :砂防ダムの抵抗有効幅の質量。

以上の礫中詰め型砂防ダムの設計手順を図-8に示す。

## 3. 礫衝突に対するせん断変形の安全性照査例

提案手法によって、礫の衝突によって生じる堤体のせん断変形に対する安全性照査の検討を、図-9に示す堤体高さ5mのダムに高さ3mの位置に礫が衝突する場合を例として行う。ここで、エネルギー分担率 $\beta_0$ は、式(7)より礫径1m( $D_m=0.5\%$ )で1%、礫径3m( $D_m=13\%$ )で1.3%、礫径5m( $D_m=62\%$ )で3.8%となった。図-10は、堤体に礫径1, 3, 5mの礫が衝突する場合の最大せん断変形量～衝突速度関係を示したものである。図-10(a)の中詰材が緩く詰められた場合では、礫径が3m以下であれば衝突速度10m/s以下では、4%の許容せん断変形量を超えることはないが、礫径が5mでは衝突速度5m/sでも最大せん断変形量が6.3%となり、4%の許容値を超過する。しかし、図-10(b)の良好な締め固めの場合には、5m礫径のものが6m/sで衝突する場合にせん断変形量が4%となり、締め固めを良好に管理できる場合には、この堤体寸法で設計が可能となることわかる。

## 4. 結言

- (1)土石流の衝突を受ける礫中詰め型砂防ダムのエネルギー配分則による簡易な安全性照査法を提案した。
- (2)提案手法では、局部変形、せん断変形に対して礫の衝突および流体力の影響を合理的に判定できる。よって、礫の衝突によって生ずる堤体のせん断変形についてもその安全性照査を行うことが可能である。

参考文献 1) Kazuo ITOH, Gakuto FUKAWA, Satoshi KATSUKI, Nobutaka ISHIKAWA : RELIABILITY ASSESSMENT OF CHECK DAM SUBJECTED TO IMPACT LOAD, ICOSAR'97, Nov. 1997.

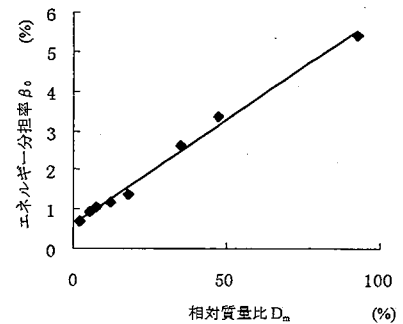


図-7 礫と堤体の相対質量比 $D_m$ と $\beta_0$ の関係

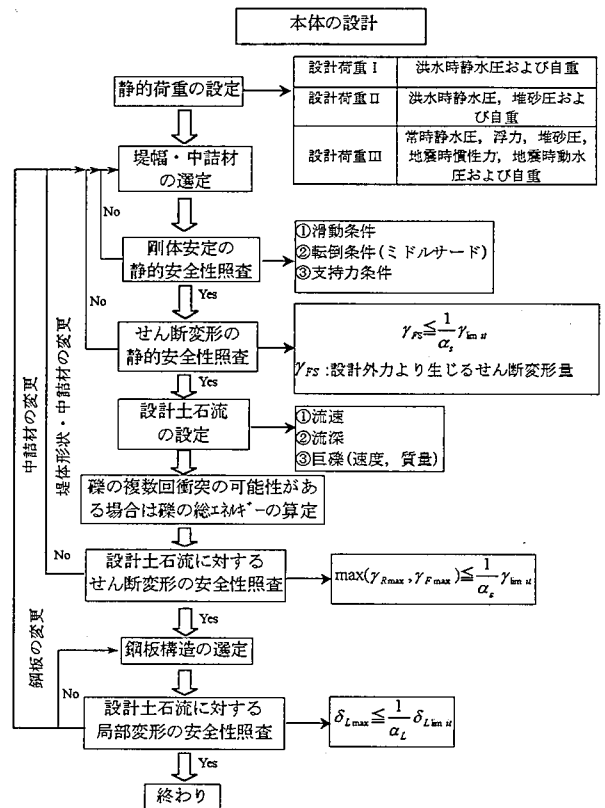


図-8 礫中詰め型砂防ダム設計の手順

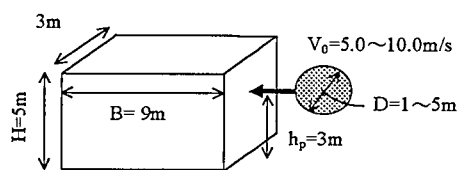
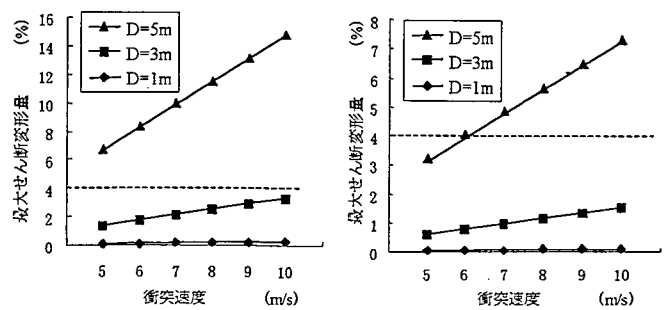


図-9 せん断変形に対する安全性照査モデル



(a) 弱い締め固め (b) 良好な締め固め

図-10 礫衝突による堤体せん断変形量