

(I - 53) 巨礫の衝突に対する鋼製砂防ダムの耐衝撃設計法

防衛大学校 正員 ○星川 辰雄 学生員 門田 大輔 フェロー 石川 信隆
(財) 砂防・地すべり技術センター 阿部 宗平

1. 緒言 本研究は、巨礫の衝突を受ける鋼製砂防ダムの耐衝撃設計法を確立するため、写真-1に示すような格子型ダムを対象として、局部変形とひずみ速度効果の影響を考慮した3次元弾塑性衝撃応答解析法を用い、鋼管部材の動的塑性回転容量により終局限界の判定を行う耐衝撃設計法を提案し、現行設計法との比較を行ったものである。

2. 格子型ダムの現行設計法 鋼製砂防構造物設計便覧¹⁾に示されている格子型ダムの現行設計法では、ダムの部材1本に着目して、これを固定はりとしみなして設計を行う。まず、はりの崩壊荷重 P_{0d} を算定し、その荷重に達するまでは局部変形のみが発生し、荷重に達した以降は局部変形は進行することなく、荷重一定のままではり変形のみが発生するものとする。この崩壊荷重 P_{0d} は、図-1に示すように、局部変形による荷重の算定式および局部変形を生じた鋼管はりの崩壊荷重算定式の交点として求められる。

巨礫の運動エネルギーは、鋼管部材の局部変形とはり変形により吸収されるため、はり変形量 δ_M は次式により算定される。

$$\delta_M = (E_R - E_d) / P_{0d} \quad (1)$$

ただし、 E_R ：巨礫の運動エネルギー、 E_d ：局部変形による吸収エネルギー。

このはり変位を許容はり変形量（弾性限界変位の20倍）と比較することにより、安全性の照査を行う。

3. 提案する耐衝撃設計法

3.1 局部変形とひずみ速度効果を考慮した3次元弾塑性衝撃応答解析 解析は、写真-1に示す格子型ダムを図-2(a)に示すように、2軸曲げ、軸力およびねじりモーメントを考慮した任意長の要素に分割し、3次元弾塑性衝撃応答解析法を用いて行う。また、巨礫と衝突点とは図-2(b)に示すように、局部ばねとダッシュポットを用いて連接する。ここで局部ばねによる力 P_L は次式により算定される²⁾。

$$P_L = \frac{1}{4} K \sigma_y t^2 \left(\frac{\delta_d}{D} \right)^{0.8} \quad (2)$$

ただし、 K ：定数（=185）、 σ_y ：降伏応力、 D ：鋼管径、 t ：肉厚、 $\delta_d = y_w - y_A$ ：局部変形量。

また、一般に衝突速度が速くなると、ひずみ速度効果により鋼材の見かけ上の降伏点応力が上昇するが、ここでは、文献2)と同じ鋼材の動的降伏点応力 $\sigma_{y,d}$ を考慮した。

3.2 鋼管はり部材の動的塑性回転容量 衝撃荷重を受ける鋼管はり部材の終局限界を、局部座屈が発生

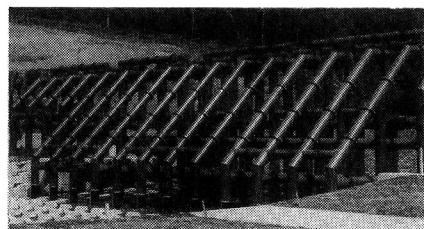


写真-1 格子型ダム

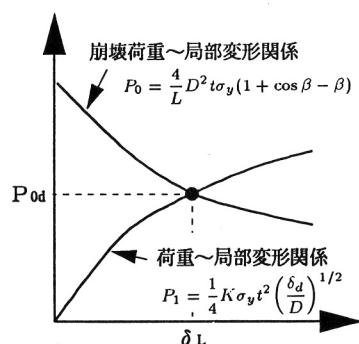
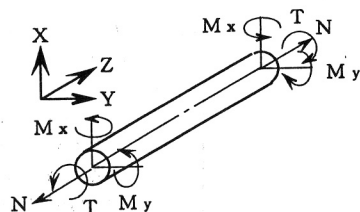
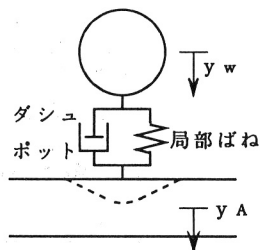


図-1 崩壊荷重の決定



(a) 部材要素のモデル化



(b) 衝突点のモデル化

図-2 解析モデル

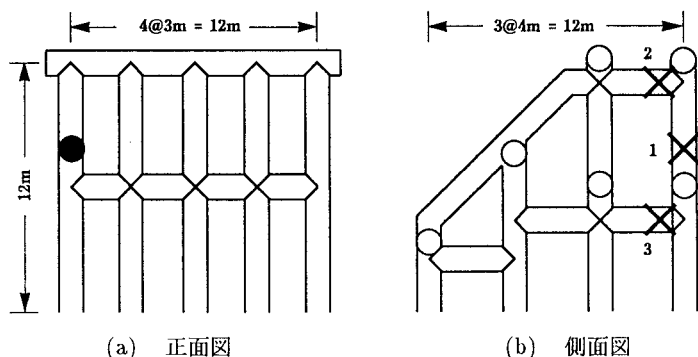


図-3 格子型ダムモデル化

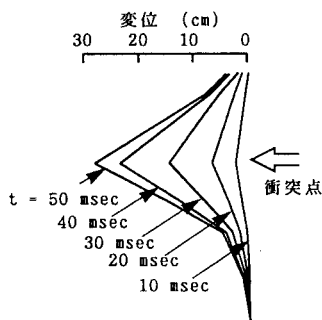


図-4 変形過程

した時点と定義する。この終局限界状態における動的塑性回転容量 θ_{pa} は、次式で算定できるものとする³⁾。

$$\theta_{pa} = 1.355 / (D/t) \quad (3)$$

3.3 設計手順 設計は、まず構造物の形状および巨礫の衝突条件を定め、部材に発生する応答塑性回転角 θ_{pi} を3.1の3次元解析により算定する。次に、これを式(4)により算定される動的塑性回転容量と比較することにより、安全性の照査を行うという手順で行われる。

4. 格子型ダムの設計例 ここでは、図-3に示すダム高12mの格子型ダムを対象として設計を行う。設計は、図-3(a)の●印の位置に、重量10tonfの巨礫が衝突する場合について行う。

まず、図-4に巨礫が $V = 20$ m/secで衝突した場合の衝突位置を含む垂直部材の変形形態を示す。図より、衝突部材のみが大きく変形し、隣接する部材はほとんど変形していないことが認められる。

次に、図-5に任意の速度で巨礫が衝突した場合に、部材に発生する応答塑性回転角のうち値の大きなものを3つ示す。図中の番号は塑性回転角発生位置を示し、図-3(b)の番号に対応している。これに対し、各点の塑性回転容量は次値となる。

① 塑性回転角1の発生部材 ($D 609.6, t 22.0$) : $\theta_{pa} = 1.355 / (609.6/22.0) = 0.0489$ rad

② 塑性回転角2の発生部材 ($D 609.6, t 12.7$) : $\theta_{pa} = 1.355 / (609.6/12.7) = 0.0282$ rad

③ 塑性回転角3の発生部材 ($D 609.6, t 19.0$) : $\theta_{pa} = 1.355 / (609.6/19.0) = 0.0422$ rad

この塑性回転容量は図-5の点線のようになり、点1と点2の応答塑性回転角がこの点線を越えて、部材に局部座屈が発生している。しかし、点2の方が早く点線を越えるので、この破壊時の速度は $V_{limit} = 14.6$ m/secとなる。これに対し、現行設計法により破壊時の速度を求めると、 $V_{limit} = 11.0$ m/secであり、提案する設計法の方が速度的に現行設計法の約1.3倍、エネルギー的に約1.7倍(運動エネルギーは速度の2乗に比例するので)まで耐えられることを示している。

なお、図-4の変形形態から、部材を固定はりともみなして設計を行っても良いように思われた。しかし、構造物で局部座屈が最も早く発生するのは、衝突部材ではなく、図-3(b)の2番の部材である(薄肉なので動的塑性回転容量が小さい)ことから、設計計算は固定はりともみなしてではなく、構造系全体の解析を行うことが必要であると考えられる。

参考文献 1) 砂防・地すべり技術センター：鋼製砂防構造物設計便覧、平成5年版
み速度効果を考慮した鋼管固定杯の衝撃応答変位、土木学会論文集、No. 513 / I - 31
動的終局限界に関する一考察、土木学会論文集、No. 525 / I - 33

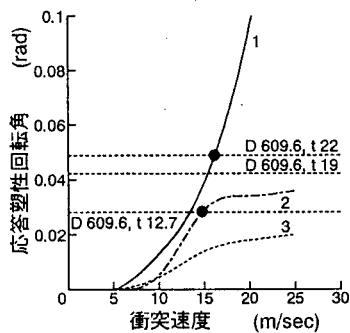


図-5 応答塑性回転角～衝突速度関係

2) 星川ら：局部変形とひずみ
3) 星川ら：鋼管はり部材の