

41 透過型鋼製砂防構造物の安全性照査法に関する一考察

防衛大学校 ○石川 信隆
 同上 星川 辰雄
 (財)砂防・地すべり技術センター 阿部 宗平
 京都大学 水山 高久

1. 緒言 著者ら¹⁾は、鋼製透過型砂防ダムを対象として、耐衝撃設計法を確立するために検討を行っており、昨年度はB型スリットダムを対象として検討を行った結果について報告した。本年度は、格子型ダムの安全性照査を行った結果について報告する。

2. 提案する安全性照査法

2.1 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、格子型ダムを立体骨組構造物として考え、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-1に示すように、局部ばねとダッシュポットを用いて接続する。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⁾。

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

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1)と同じ鋼材の動的降伏点応力 $\sigma_{y,d}$ を考慮した。

2.2 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⁾。

$$\theta_{pa} = 1.355 / (D/t) \quad (2)$$

2.3 安全性照査手順 安全性を照査するために、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2.1の3次元解析により算定する。次に、これを式(2)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。

3. 安全性照査例

ここでは、図-2に示すダム高12mの格子型ダムを対象として安全性照査を行う。

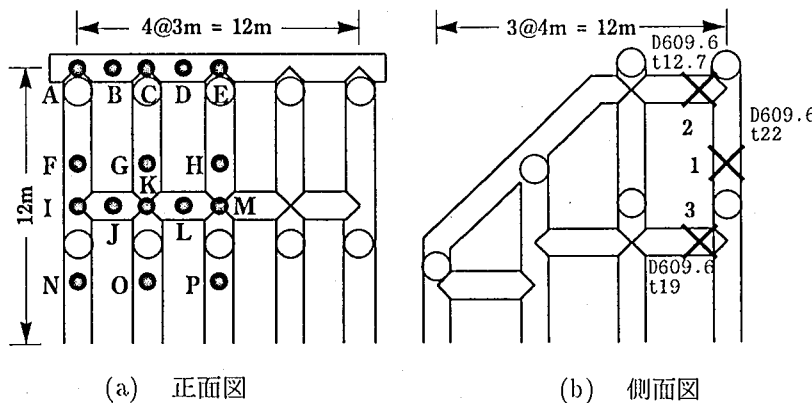


図-2 格子型ダムのモデル化

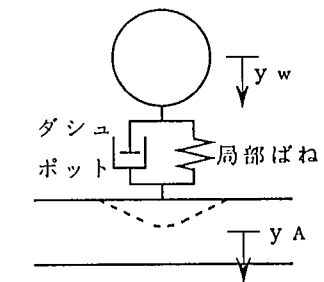


図-1 衝突点のモデル化

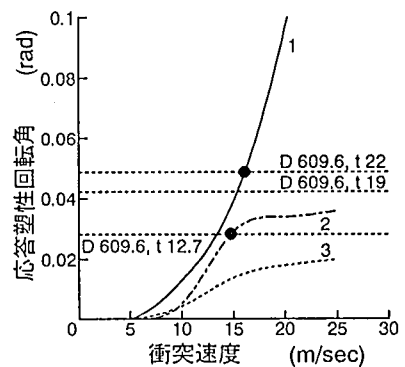


図-3 応答塑性回転角～衝突速度関係

表-1 限界速度

衝突位置	限界速度(m/sec)	衝突位置	限界速度(m/sec)
A 点	18.3	I 点	19.8
B 点	16.3	J 点	21.3
C 点	20.0	K 点	22.5
D 点	22.6	L 点	21.5
E 点	21.0	M 点	22.5
F 点	14.6	N 点	19.7
G 点	15.7	O 点	19.5
H 点	15.6	P 点	19.6

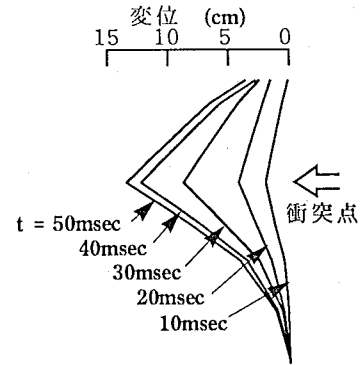


図-4 変形過程

3.1 安全性照査例1: 10 tonf の巨礫が 10 m/sec で衝突した場合 図-2 (a) のF点に、重量 10 tonf の巨礫が 10 m/sec で衝突した場合について安全性照査を試みる。

まず、3次元衝撃応答解析により部材に発生する応答塑性回転角を算定する。本ケースにおいては、図-2 (b) の×印の位置において塑性回転角が発生し、その値は次値となる。

- ① 番号1の点: $\theta_p = 0.0129\text{rad}$
- ② 番号2の点: $\theta_p = 0.0046\text{rad}$
- ③ 番号3の点: $\theta_p = 0.0054\text{rad}$

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): $\theta_{pa} = 1.355/(609.6/22.0) = 0.0489\text{rad}$
- ② 塑性回転角2の発生部材 (D 609.6、t 12.7): $\theta_{pa} = 1.355/(609.6/12.7) = 0.0282\text{rad}$
- ③ 塑性回転角3の発生部材 (D 609.6、t 19.0): $\theta_{pa} = 1.355/(609.6/19.0) = 0.0422\text{rad}$

すなわち、いずれの点においても応答塑性回転角は動的塑性回転容量より小さくなり、本格子型ダムは巨礫を安全に捕捉できることがわかる。

3.2 安全性照査例2: 限界速度の算定 照査例1と同じく図-2 (a) のF点に任意の速度で巨礫が衝突した場合に、部材に発生する塑性回転角のうち値の大きなもの3つを図-3に示す。図中の番号は塑性回転角発生位置を示し、これは図-2 (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図中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するが、特に点2の方が低い速度で発生することがわかる。すなわち、F点に 10 tonf の巨礫が衝突する場合、この格子型ダムの破壊時の速度は $V_{limit} = 14.6 \text{ m/sec}$ となる。

同様な方法でA点~P点に 10 tonf の巨礫が衝突した場合の限界速度を算定すると、表-1のようになる。表より、限界速度はF点衝突の場合が最も小さくなり、本格子型ダムが耐えうる衝突速度は、14.6 m/sec となることがわかる。

3.3 現行設計法との比較 現行設計法においては、格子型ダムの部材1本に着目し、これを固定はりともみなして設計を行う。ここで、現行設計法により構造上の最も弱点となる図-2 (a) のF点に、10 tonf の巨礫が衝突する場合の破壊時の速度を算定すると、 $V_{limit} = 11.0 \text{ m/sec}$ となる。すなわち、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 倍まで耐えられることを示している。

なお、F点に 10 tonf の巨礫が 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と図-4のようになり、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。すなわち、衝突速度が極めて速い場合は現行設計法の通り、本格子型ダムの部材1本を固定はりともみなして設計を行っても良いと考えられる。しかしながら、F点衝突の場合、構造物に最も速く局部座屈が発生するのは、衝突部材ではなく、図-2 (b) の2番の点であることから、提案する安全性照査法のように構造系全体の解析を行い、照査を行うことが必要であると考えられる。

参考文献 1) 星川他: 透過型鋼製砂防ダムの耐衝撃設計法に関する一考察、平成7年度砂防学会研究発表会概要集、pp.43~46、平成7年 2) 星川他: 局部変形を考慮した鋼管固定はりの終局限界に関する一考察、平成6年度砂防学会研究発表会概要集、pp.215~218、平成6年 3) 石川他: 鋼管片持はりの塑性回転容量について、平成6年度砂防学会研究発表会概要集、pp.207~210、平成6年