

I-545

鋼管製砂防構造物の局所変形を考慮した
3次元弾塑性衝撃応答解析

防衛大学校 正員 星川 辰雄

同 上 正員 石川 信隆

九州大学 正員 彦坂 照

(財)砂防・地すべり技術センター 阿部 宗平

1. 緒言 本研究は、透過型鋼製砂防ダムの耐衝撃設計法を確立するため、鋼管製砂防構造物を対象として、局所変形の影響を考慮した3次元弾塑性衝撃応答解析法を開発し、土石流中の巨礫の衝突を受けるB型スリットダムの衝撃応答特性について検討を行ったものである。

2. 3次元弾塑性衝撃応答解析

2.1 解析モデル 図-1に示すように、各部材要素には2軸曲げ、軸力およびねじりモーメントが作用するものとする。また衝突点には、図-2のように局部ばねおよびダッシュポットを「」いて、局所変形を考慮した衝撃力を次式により算定することとする。

$$y_w \geq y_A \text{ の場合 } P = P_L + C_w(\dot{y}_w - \dot{y}_A) \quad (1a)$$

$$y_w < y_A \text{ の場合 } P = 0 \quad (1b)$$

ここに、 C_w ：局部減衰係数、 y_w ：重錘変位、 y_A ：はり変位。また、 P_L は局所変形により生ずる局部ばね力で、次式で表される¹⁾。

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

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

2.2 降伏条件式 本法における降伏条件式は、次のように2軸曲げ、軸力およびねじりモーメントを考慮する。

$$\left(\frac{N}{N_p} \right)^2 + \left(\frac{T}{T_p} \right)^2 + \left(\frac{M_x}{M_{px}} \right)^2 + \left(\frac{M_y}{M_{py}} \right)^2 = 1 \quad (3)$$

なお、局所変形の影響は、その点の強軸方向の終局曲げモーメントのみを下下させることにより考慮することとした。

2.3 ひずみ速度効果の導入 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が、ここでは、鋼材の動的降伏点応力 $\sigma_{y,d}$ を次式で算出するものとした。

$$\sigma_{y,d}/\sigma_{y,s} = 1.202 + 0.04 \log \dot{\epsilon} \quad (4a)$$

$$\dot{\epsilon} = \frac{d\epsilon}{dt} = \frac{D}{2} \cdot \frac{d\phi}{dt} \quad (4b)$$

ただし、 $\dot{\epsilon}$ ：応答ひずみ速度、 $\sigma_{y,s}$ ：静的降伏点応力、 ϕ ：曲率。

3. 計算結果および考察 いま、図-3(a)のようなB型スリットダムを図-3(b)のようにモデル化して衝撃応答解析を行った。なお、モデルの節点座標は表-1に、部材諸元は表-2のとおりである。

一例として、A点に直径2m、重量約10tonfの巨礫が、速度10m/secで衝突した場合の荷重～時間関係および変位～時間関係を図-4に、また降伏過程を図-5に示す。図-5の●印および数字は、塑性ヒンジ発生位置および順番を示す。 t は衝突後からの時間を示し、また δ_T は全変位、 δ_B はフレーム変位、 δ_L は局所変位を意味し、 $\theta_{p,max}$ は部材に発生する最大塑性回転角である。最大塑性回転角は図-5(c)の2番目の塑性

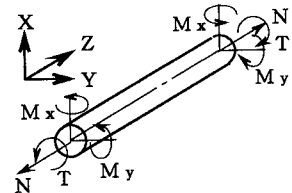


図-1 解析モデル

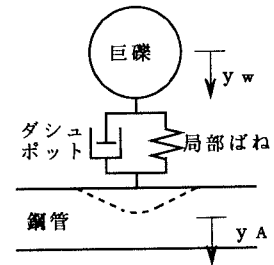
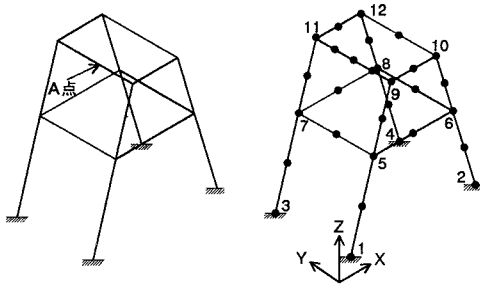


図-2 衝突点モデル



(a) B型スリットダム (b) モデル化

図-3 B型スリットダムのモデル化

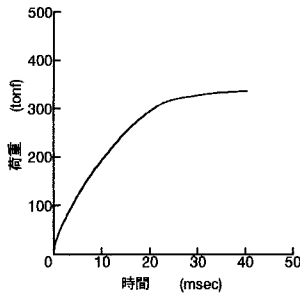
表-1 節点座標

	X	Y	Z
1	0.0	0.0	0.0
2	657.4	0.0	0.0
3	0.0	400.0	0.0
4	657.4	400.0	0.0
5	120.0	0.0	400.0
6	537.4	0.0	400.0
7	120.0	400.0	400.0
8	537.4	400.0	400.0
9	210.0	0.0	700.0
10	447.4	0.0	700.0
11	210.0	400.0	700.0
12	447.4	400.0	700.0

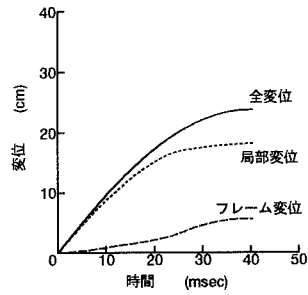
表-2 部材諸元

	鋼管径 (mm)	肉厚 (mm)	部材長 (cm)
1-5	609.6	22	417.6
3-7	"	"	"
5-9	"	"	313.2
7-11	"	"	"
5-7	"	"	400.0
9-11	"	"	"
2-6	"	16	417.6
4-8	"	"	"
6-10	"	"	313.2
8-12	"	"	"
6-8	"	"	400.0
10-12	"	"	"
5-6	"	"	417.4
7-8	"	"	"
9-10	"	12	237.4
11-12	"	"	"

ヒンジの位置で発生する。図より、衝突直後は局部変形が卓越して発生するが、応答が進むにしたがい構造系の変形が進み、逐次部材が降伏していく過程が認められる。この例では、最大塑性回転角 $\theta_{p,max} = 0.0115\text{rad}$ が限界塑性回転角²⁾ $\theta_{p,d} = 1.355/(D/t) = 0.0267\text{rad}$ よりも小さく、構造物が破壊することなく巨礫を捕捉することが認められた。



(a) 荷重～時間関係



(b) 変位～時間関係

図-4 荷重、変位～時間関係

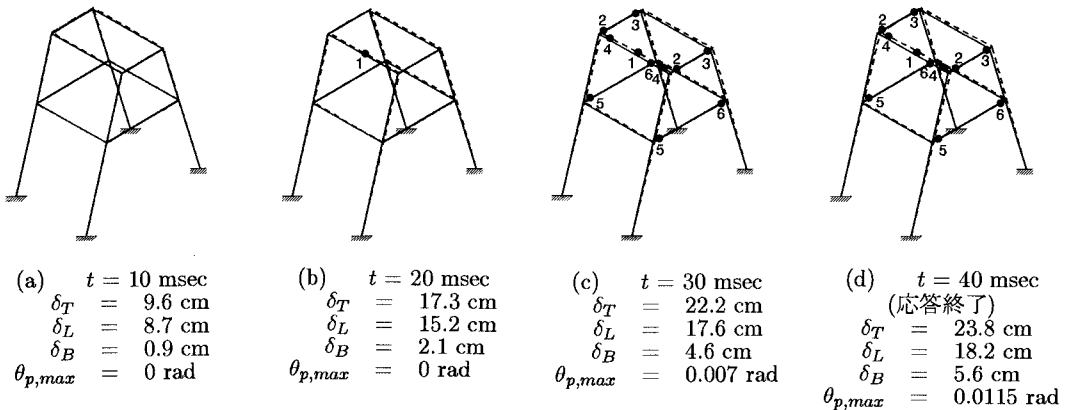


図-5 降伏過程 ($W = 10 \text{ tonf}$, $V = 10 \text{ m/sec}$)

参考文献 1) 星川ら：高速載荷を受ける鋼管はりの局部変形算定式、第49回年次学術講演会講演概要集、第1部(B)、pp.1600～1601、平成6年 2) 石川ら：鋼管はり部材の動的終局限界について、第49回年次学術講演会講演概要集、第1部(B)、pp.1602～1603、平成6年