

防衛大学校 学生員〇八木浩二

同 上 学生員 伊藤一雄

同 上 正 員 石川信隆

1. 緒言

近年、砂防構造物の一つとして土石流の先端部にある巨礫をスクリーニングするために、オープン式の砂防ダムが数多く建設されるようになってきた。このオープン式の砂防ダムのうち、鋼管の中にコンクリートを充填したA型スリットダムが土石流により破壊してしまうという被災例が過去にあり、この原因を追求するため、著者らは、コンクリートを充填した鋼管に対する衝撃載荷実験¹⁾ および衝撃限界曲げ容量²⁾の算定を行ってきた。本研究は、さらに巨礫

を受けるコンクリート充填鋼管スリットダムの耐衝撃設計法を確立するために、鋼管の破壊までシミュレートできるように、ひずみ速度効果を考慮した曲げモーメント(M)～曲率

(ϕ) 関係および局部ばねを導入した離散化モデルを用い、コンクリート充填鋼管はりの衝撃破壊解析法の

開発を試みたものである。なお、本研究では以下の仮定を用いる。(1)曲げによる挙動のみを考慮し、せん断力および軸力の影響は無視する。(2)破壊は、鋼管はりの最大曲げひずみが引張破断ひずみに達したときとする。

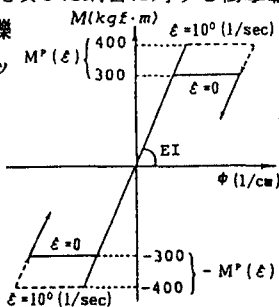


図-1 M~phi 関係

(D=48.6mmの場合)

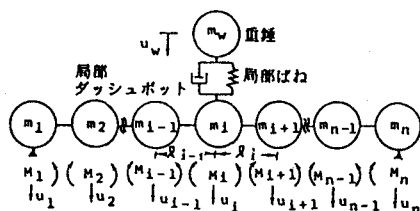


図-2 離散化モデル

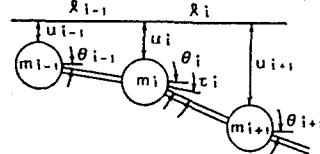


図-3 変形適合条件

2. 衝撃破壊解析法

(1) ひずみ速度効果と履歴特性を考慮したM~phi関係

コンクリート充填鋼管断面の曲げモーメント(M)～曲率(ϕ)関係は断面分割法を用いてひずみ速度効果と履歴特性を考慮して図-1のように表され²⁾、次式のように表される。

a. 弾性: $M_1 = EI \phi_1$ ($-\phi_1^p \leq \phi_1 \leq \phi_1^p$)

b. 塑性: $M_1 = M^p(\epsilon_1)$ ($\phi_1^p \leq |\phi_1|$) (1)

c. 除荷: $M_1 = \bar{M}_1 + EI \Delta \phi_1$ ($\Delta \phi_1 \cdot \bar{M}_1 < 0$)

ただし、 ϕ_1, ϵ_1 : i 点の曲率、ひずみ速度、 $\phi_1^p = M^p(\epsilon_1)/EI$ 、 $M_1, \bar{M}_1$: i 点の曲げモーメント、前時間の曲げモーメント、 $M^p(\epsilon_1)$: ひずみ速度効果を考慮した塑性曲げモーメント。

(2) 離散化モデルによる基本式 いま重錘の衝突を中央点に受ける単純支持されたコンクリート充填鋼管はりを、図-2に示すような分割された離散化モデルによって表すものとする。このようなモデルに対する基本式は以下になる。

a. 動的つり合い条件

$$m_i \ddot{u}_i - \frac{1}{\lambda_{i-1}} M_{i-1} + \left(\frac{1}{\lambda_{i-1}} + \frac{1}{\lambda_i} \right) M_i - \frac{1}{\lambda_i} M_{i+1} = P_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

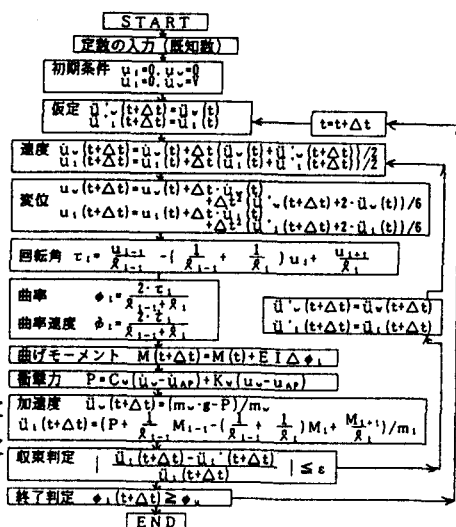


図-4 衝撃破壊解析のフローチャート

ただし、 $m_i, \ddot{u}_i, M_i, P_i$: i 点の集中質量、垂直加速度、
 曲げモーメント、垂直荷重、 n : 質量の総数

b. 変形適合条件 外変位 u_{i-1}, u_i, u_{i+1} と内変形 τ_i (ばね回転角) との幾何学的関係は、図-3を参照して次式のように表される。

$$\tau_i = \theta_i - \theta_{i-1} = \frac{u_{i-1}}{\lambda_{i-1}} - \left(\frac{1}{\lambda_{i-1}} + \frac{1}{\lambda_i} \right) u_i + \frac{u_{i+1}}{\lambda_i} \quad (3)$$

さらに、曲率 ϕ_i と内変形 τ_i との関係は $\phi_i = \frac{2 \cdot \tau_i}{\lambda_{i-1} + \lambda_i} \quad (4)$

c. 衝撃力

図-2のように局部ばねと局部ダッシュポットを導入することにより、衝撃力 P が次式によって算定される。

$$\left. \begin{aligned} (u_w - u_i) \geq 0 \text{ の場合 } P &= K_w(u_w - u_{AP}) + C_w(\dot{u}_w - \dot{u}_{AP}) \\ (u_w - u_i) < 0 \text{ の場合 } P &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

ただし、 $u_w, \dot{u}_w$: 重錘の変位および速度、

$u_{AP}, \dot{u}_{AP}$: 衝突点におけるはりの変位および速度

K_w, C_w : 局部ばね係数および局部減衰係数

(2) 解析手順 以上の諸式を用いた衝撃破壊解析の手順は、図-4のような計算フローチャートにしたがって行われ、応答曲率 ϕ_i が鋼管の引張破断ひずみ ε_u に対応する曲率 ϕ_u ($=\varepsilon_u/(D/2)$) に達したときをもって破壊とする。

3. 数値計算例

著者ら¹⁾の行った衝撃実験を解析対象とし、ここでは鋼管 図-6 衝撃吸収エネルギー～変位関係
 径 $D=48.6\text{mm}$ のコンクリート充填鋼管はり (スパン 60.0cm) に、 $W=150\text{Kgf}$ の重錘が $V=8\text{m/s}$ で衝突する場合の解析を行った。

(1) 荷重～変位関係 図-5は衝突点における荷重～変位関係を示したもので、ひずみ速度効果を考慮した方が実験結果と概ねよく一致していることが認められる。

(2) 衝撃吸収エネルギー～変位関係 図-6は荷重～変位関係より面積を積分して得られる衝撃吸収エネルギー～変位関係を示したもので、ある一定の衝撃吸収エネルギーに対する応答変位が得られ、この応答変位がある許容変位以下であれば、変位制約条件が満足されることになる。

4. 結言

本研究は、離散化モデルによるコンクリート充填鋼管はりの衝撃破壊解析法を提示したもので、以下のことが結論として挙げられる。

- (1) ひずみ速度効果を考慮した $M \sim \phi$ 関係を用いることにより、実験の応答挙動をかなり良くシミュレートすることが認められた。
- (2) 局部ばねと局部ダッシュポットの値をパラメトリックに入力して衝撃力を算定したが、これらの値を動的同定法³⁾を用いて入力すれば、さらに実験値を良くシミュレートできるものと思われる。
- (3) 本研究では、曲げ挙動のみ取り扱ったが、さらに速度の早い場合やスパンが短い場合にはせん断力の影響を考慮する必要があると思われる。

参考文献:

- 1) 伊藤・石川・川嶋・鈴木: モルタル充填鋼管はりの衝撃限界吸収エネルギーに関する実験的考察, 構造工学論文集, Vol. 37A, 1991年3月
- 2) 伊藤・高橋・大野・石川: コンクリート充填鋼管はりの衝撃限界容量に関する一考察, 落石等による衝撃問題に関するシンポジウム論文集, 1991年3月
- 3) 瀬田・佐藤・石川: 落石覆工のエネルギー分担率に及ぼす衝撃緩衝材の効果について, 土木学会第18回関東支部技術研究発表会論文集, 1991年3月

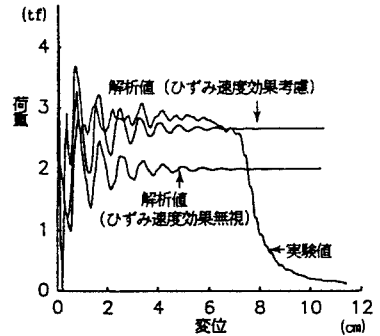


図-5 荷重～変位関係

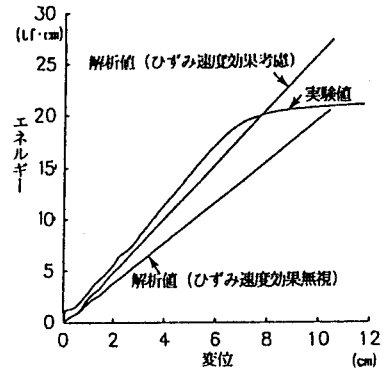


図-6 衝撃吸収エネルギー～変位関係