

(I-34) 局所変形を考慮した鋼管固定はりの衝撃応答解析

防衛大学校土木工学科 学生員 ○沢本 昌英

同 上 正 員 星川 辰雄

同 上 正 員 石川 信隆

1. 緒 言 近年、B型スリットダムや格子型ダムのように鋼管を用いた鋼製砂防ダムが数多く建設されており、土石流による災害の抑止に寄与している。この砂防ダムに土石流中の巨礫が衝突した際、構造全体としての変形の他に局所変形が発生する。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確立のための基礎的段階として、まず鋼製砂防ダムの部材である中空鋼管固定はりを対象として局所変形を考慮した衝撃応答解析法を提案し、その妥当性について検討を行ったものである。

2. 解析方法

(1) 解析モデル まず鋼管固定はりを、図-1に示すように集中質量と任意長の剛体で質量を持たないパネルに分割した。剛体パネルは分割点で曲げばねおよび軸力ばねで接続し、質量は分割点に隣接するパネルの1/2ずつを集中させるものとした。また、衝撃荷重は当初衝突点に初速度を与えることにより作用させ、以後局所パネと局所ダッシュポットにより算定するものとした。本モデルにおける基本式は、力の釣合条件、変形適合条件、内力と内変形関係を用いるほか、以下の局所変形とひずみ速度効果を考慮した。

(2) 衝突点における局所変形の影響 中空鋼管はりに巨礫が衝突すると、衝突点において局所変形が発生し、衝突点における曲げ剛性 EI および抵抗曲げモーメント M_p が低下する。局所変形を生じた質点における断面形状は、図-2(a)に示すようなひょうたん型¹⁾と仮定する。局所変形後の断面2次モーメント I_d および塑性断面係数 $Z_{p,d}$ を算定するため、ここでは局所変形後の断面を任意数の直線要素に分割して次式のように算定した。

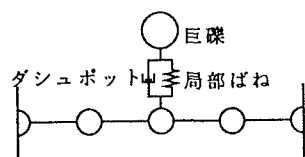
$$I_d = \sum_{i=1}^N d_i^3 L_i t \quad (1)$$

$$Z_{p,d} = \sum_{i=1}^N |d_i| L_i t \quad (2)$$

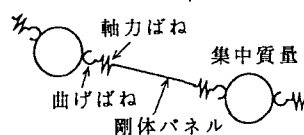
ただし、 $d_i = (y_i + y_{i+1})/2$: 分割点に挟まれた直線部分の中心点の中立軸からの距離、 $L_i = \sqrt{(x_i - x_{i+1})^2 + (y_i - y_{i+1})^2}$: 分割要素長さ、 t : 肉厚。

また、図-2(b)に示すように軸方向の局所変形領域を推定し、載荷点の局所変形量を $\delta_{d,c} (= y_w - y_{Atp})$ とすると、各質点における局所変形量は次式のように表せる。

$$|Z_i - Z_{Atp}| \geq \delta_{d,c} / \tan \alpha \text{ の場合 } \delta_{d,i} = 0.0 \quad (3a)$$

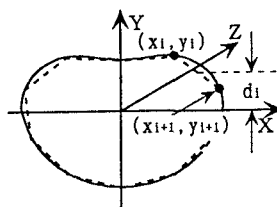


(a) 剛体・ばねモデル

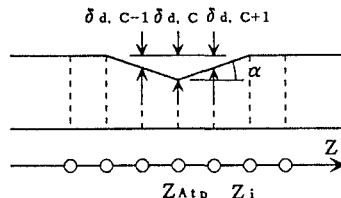


(b) ばねと質量

図-1 固定はりの解析モデル



(a) 局所変形断面形状



(b) 局所変形領域

図-2 局所変形形状

$|Z_i - Z_{AtP}| < \delta_{d,c} / \tan \alpha$ の場合

$$\delta_{d,i} = \delta_{d,c} - |Z_i - Z_{AtP}| \cdot \tan \alpha \quad (3b)$$

ただし、 Z_{AtP} ：衝突点のZ軸の値、 $\delta_{d,i}$ ：任意質点における局部変形量。

(3) 衝撃荷重の算定 重錘と鋼管固定はりの衝突点において発生する荷重Pは、局部ばねと局部ダッシュポットにより算定される。

$$y_w \geq y_{AtP} \text{ の場合 } P = P_L + C_w (\dot{y}_w - \dot{y}_{AtP}) \quad (4a)$$

$$y_w < y_{AtP} \text{ の場合 } P = 0 \quad (4b)$$

ここで、 y_w 、 y_{AtP} ：重錘の変位および速度、 $\dot{y}_w$ 、 $\dot{y}_{AtP}$ ：衝突点の変位および速度、 $C_w (= 2h\sqrt{mk})$ ：局部減衰定数、 P_L ：局部ばねによる発生荷重で次式の修正Ellinasの式を用いて算定される。

$$P_L = \frac{1}{4} K \sigma_y t^2 \left(\frac{\delta_d}{D} \right)^{0.8} \quad (5)$$

ここで、K：定数(175)、 σ_y ：降伏点応力、t：肉厚、 $\delta_d (= y_w - y_{AtP})$ ：重錘と固定はりの衝突点の相対変位。

(4) ひずみ速度効果 鋼材に衝撃荷重が作用する場合は、衝撃速度の増大にともない被衝突物の強度が見かけ上上昇する、いわゆるひずみ速度効果が発生する。ここでは、降伏応力の上昇量を高橋²⁾らの提案する式で算定した。

3. 計算結果と考察

(1) 荷重～変位関係 図-3に、 $W=400\text{kgf}$ の重錘を鋼管径D114.3mm、肉厚t3.5mm、スパン長L80cmの鋼管固定はりに衝突速度 $V=8\text{m/sec}$ で衝突させた際のひずみ速度効果を考慮した荷重～変位関係を実験結果と計算結果を比較して図示する。ひずみ速度効果を考慮した場合は実験値を良くシュミレートしていることがわかる。すなわち、衝突速度8m/secにおいてはひずみ速度効果の影響が大きいことが認められる。

(2) 変形過程 図-4は、局部変形とはり変形の発生モードを表した図である。これを見ると、変形開始当初($t=10\text{ms}$ まで)は局部変形が卓越し、その後全体変形に移行し最大変形を迎えることが認められる。これは、図-5の変位～時間関係からも認められる。すなわち、衝撃実験¹⁾で鋼管固定はりに衝撃を与えた場合は、当初局部変形が卓越し、その後ははり変形が卓越するモードに移行することを実験的に確認したが、解析的にも局部変形からはり変形へという変形モードの移行を確認できた。

参考文献 1) 星川辰雄、石川信隆、彦坂照、阿部宗平：半球状の重錘落下による鋼管固定はりの衝撃応答変位、構造工学論文集、Vol.40A、pp.1543～1554、1994年3月 2) 高橋芳彦、大野友則、太田俊昭、日野伸一：衝撃荷重を受ける鉄筋コンクリートはりの弾塑性挙動に及ぼすひずみ速度効果、構造工学論文集、Vol.37A、pp.1567～1580、1991年3月

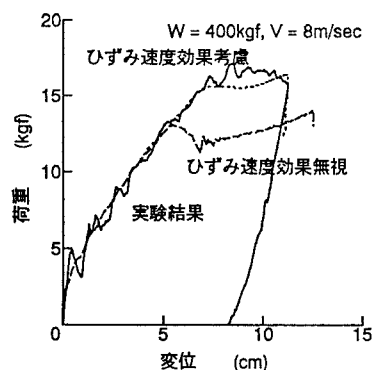


図-3 荷重～変位関係

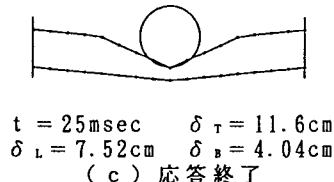
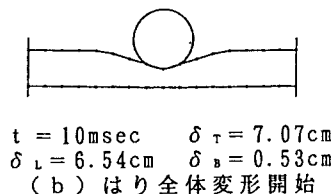
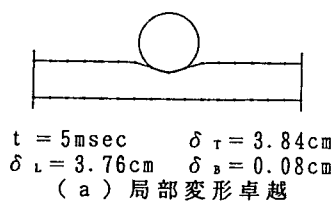


図-4 変形過程

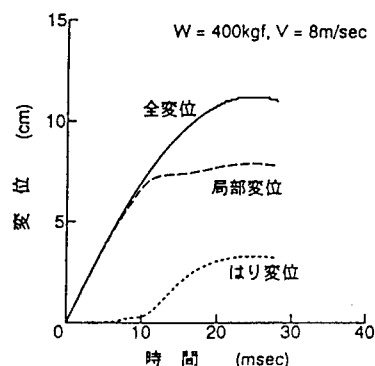


図-5 変位～時間関係