

防衛大学校土木工学科 正員 ○星川 辰雄
 同上 正員 石川 信隆
 九州大学建設都市工学科 正員 彦坂 照

1. 緒言

近年、中空鋼管を用いた鋼製砂防ダムが数多く建設されている¹⁾。この砂防ダムに土石流中の巨礫が衝突した場合は局部めり込みと構造系全体の変形により巨礫の持つ運動エネルギーを吸収する。このため、著者ら²⁾は、鋼管固定はりの衝撃実験を行い、局部めり込みとはり変形による吸収エネルギーの分担率について調べた。本研究は、さらにこれを解析的に調べるため、球体が鋼管はりに衝突する際の局部めり込みによる吸収エネルギーを算定するとともに、局部めり込みによる吸収エネルギーとはり変形による吸収エネルギーとの分担率を調べようとするものである。なお、本解析においては、はりは剛塑性体と仮定し、また変形は当初局部めり込みのみ発生し、ある時点からはり変形が始まるものと仮定した。

2. 解析方法

(1) 局部めり込み形状 著者ら²⁾の先に行った実験から、局部めり込みが発生した後の断面形状は図-1のようになることを観察した。そこで、図-1のBC間を直線、AB、CD、DE間をそれぞれ円弧とし、図-2のような形状の解析モデルを考えた。ここで、局部変形後も円周方向の伸びはなく、また等断面軸²⁾（上・下の面積が等しい軸）は常に当初の断面の中央を通ると仮定することにより、図-2を参照して変形後の断面形状は次式のうちの未知数 ψ 、 ϕ_0 、 ℓ 、 d 、 r_s を求めることにより決定される。

$$R_0\theta + \ell + r_s\left(\theta + \frac{\pi}{2}\right) + r_0\psi = \frac{1}{2}\pi R \quad (1a)$$

$$d = -r_0\cos\phi_0 + r_0\cos(\phi_0 - \psi) \quad (1b)$$

$$r_0\sin\phi_0 = R_0\sin\theta + \ell\cos\theta + r_s(1 + \sin\theta) \quad (1c)$$

$$r_0(\phi_0 - \psi) = \frac{1}{2}\pi R \quad (1d)$$

$$(R - \Delta_0) + R_0(1 - \cos\theta) + \ell\sin\theta - r_s\cos\theta = d \quad (1e)$$

また、部材軸方向のめり込み形状については、図-3のように仮定する。すなわち、軸方向のめり込み幅 ξ は次式で与えられる。

$$\xi = R_0\sin 2\theta + \{\Delta_0 - R_0(1 - \cos 2\theta)\} / \tan\theta \quad (2)$$

載荷点以外における断面の形状についても図-2のように仮定し、式(2)から局部めり込み量 Δ_0 を求め、式(1a)～式(1e)を用いて断面形状が求められるものとする。

(2) 局部めり込みによる塑性仕事量 U_{P1} の算定 局部めり込みが $\delta\Delta_0$ 増すことにより行われた塑性仕事量 δU_{P1} は、次式により求められる。

$$\delta U_{P1} = 2 \int_0^{\xi} \delta U_M d\xi + 2 \int_0^{R_0} \delta U_N dR \quad (3)$$

ここで、 δU_M ：任意断面の曲げ変形による塑性仕事量、 δU_N ：円周方向任意点の軸方向伸びによる塑性仕事量。

また、荷重は次式により求められる。

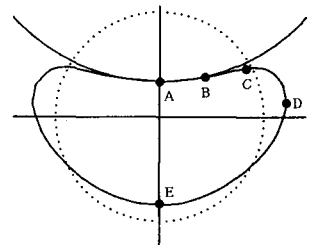


図-1 局部めり込み後の断面形状（実験結果）

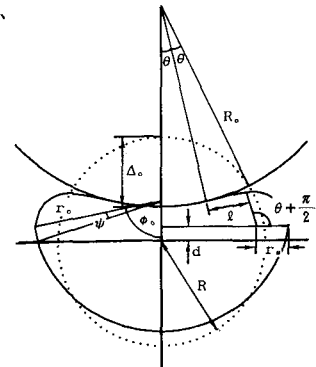


図-2 局部めり込み後の断面形状（解析モデル）

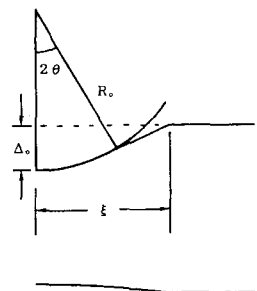


図-3 部材軸方向の局部めり込み形状

$$P_L = \frac{\Delta U_{p1}}{\delta \Delta_o} \quad (4)$$

(3) はり変形による吸収エネルギー U_{p2} の算定 荷重点の曲げモーメントが局部めり込みを考慮した塑性モーメント M_p に達したと仮定すると、両端固定はり全体におけるモーメントのつり合いは、次式ようになる。

$$4M_o + 4M_p - PL = 0 \quad (5)$$

ここで、 M_o ($=4R^2 t \sigma_y$) : 固定端側の変形前断面の塑性モーメント、 R 、 t : 鋼管径および肉厚、 L : はり長さ。

すなわち、はり変形が始まるときの荷重 P_s は、次式で与えられる。

$$P_s = \frac{4(M_o + M_p)}{L} \quad (6)$$

はり変形が始まった後は、局部めり込みがさらに進まないと仮定して、はり変形が $\delta \Delta_o$ 進むことにより吸収するエネルギー δU_{p2} は、次式で与えられる。

$$\delta U_{p2} = P_s \delta \Delta_o \quad (7)$$

(4) 数値解析手順 解析は、荷重点変位 Δ_o を $\delta \Delta_o$ 増分させることにより行い、計算の終了は U_p が E ($=\frac{1}{2}mv^2$: 巨礫の運動エネルギー) に等しくなるまで行う。解析のフローチャートを図-4に示す。

3. 解析結果および考察

(1) 荷重～局部めり込み関係 鋼管径114.3mm、肉厚3.5mm、長さ582mmの鋼管固定はりに対し、 $R=11$ cmの荷重体で荷重した場合について計算を行った。得られた荷重～局部めり込み関係を図-5に示す。あわせて静的および高速荷重実験 ($V=1, 4$ m/s) から得られた結果も図示する。図より、計算結果は静的実験結果より若干大きな値を示すものの、比較的よくシミュレートしていることが認められる。

(2) 吸収エネルギーの分担率 全吸収エネルギーに対する局部吸収エネルギーの分担率～巨礫の運動エネルギー関係を図-6に示す。図-6より、 $E \leq 48$ tonf・cmまでは局部めり込みにより100%エネルギーを吸収するが、それ以上になるとはり変形によっても吸収エネルギーが分担されることが認められる。また、衝突する巨礫の運動エネルギーが分かれば、図-6を用いて局部とはり変形による吸収エネルギーの分担率が分かる。

4. 結論

本研究では、局部めり込みを考慮した鋼管はりの吸収エネルギーを算定する手法を提案した。実験においては、はり変形が始まった後も局部めり込みが発生しており、またはり変形は曲げのみではなく軸力をも考慮する必要があることが予想され、今後これらの点についてさらに検討していく予定である。

参考文献 1) (財)砂防・地すべり技術センター 鋼製砂防構造物委員会：鋼製砂防構造物設計便覧、昭和62年版 2) 星川辰雄、石川信隆：局部めり込みを考慮した鋼管はりの衝撃吸収エネルギーに関する一考察、第2回落石等による衝撃問題に関するシンポジウム、1993年6月

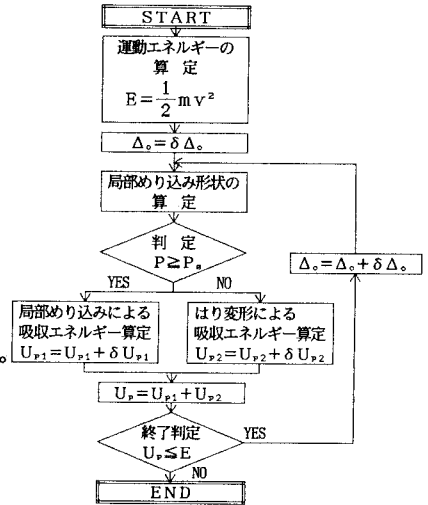


図-4 解析フローチャート

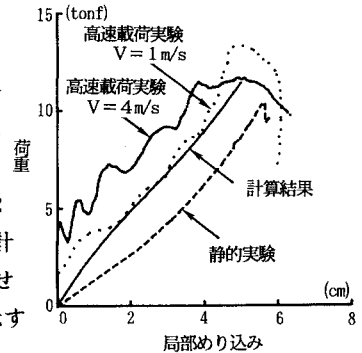


図-5 荷重～局部めり込み関係

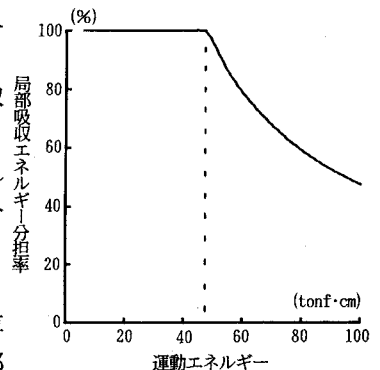


図-6 局部吸収分担率～運動エネルギー関係