

防衛大学校 学生員 〇米津 浩幸・正員 石川 信隆
 同上 学生員 高橋 芳彦・正員 大野 友則
 建設省土木研究所 正員 水山 高久

1 はじめに

近年、土石流に対する防護施設の耐衝撃設計の観点から、鋼管構造物の衝撃応答挙動の解明が重要な課題となってきた^{1), 2)}。本研究は、鋼管構造物の動的挙動を解明するための基礎的段階として、離散化モデル (Wenモデル) を用いた鋼管はりの弾塑性衝撃応答解析を行い、解析によって得られた結果を衝撃実験結果と比較することによって、本解析法の適用性について検討したものである。

2 解析モデルと衝撃応答の基本式

鋼管はり、図-1(b)に示すように任意長の剛体で質量を持たないパネルに分割し、実際のはりが持つ質量と剛性を隣接するパネル長の $1/2$ ずつ分割点に集中させたモデル³⁾とした。また、はりの局部変形 (凹み) は衝突点につけたばねによって表現するものとした。衝突点 I および任意の分割点 i における運動方程式は以下のように表される。

$$m_I \ddot{y}_I = P(\delta) + (M_{I+1} - M_I)/l_{I+1} - (M_I - M_{I-1})/l_I \quad (1a)$$

$$m_W \ddot{y}_W = -P(\delta) \quad (1b)$$

$$m_i \ddot{y}_i = (M_{i+1} - M_i)/l_{i+1} - (M_i - M_{i-1})/l_i \quad (1c)$$

ここに、 m , $\ddot{y}$ はそれぞれ質量および加速度で、添字 I, W, i はそれぞれ衝突点、衝突物および衝突点以外の分割点を表す。

M_i , l_i はそれぞれ分割点 i における曲げモーメントおよび分割点 i の左側のパネル長である。式(1a)、(1b)中の $P(\delta)$ は鋼管はりの局部変形によるばね力で、衝突物が球形であれば凹み量 δ は図-1(c)より次式のように与えられる。

$$\delta = y_W - y_I + (D + h)/2 \quad (2)$$

また、ばね力 $P(\delta)$ は衝突物と部材の剛性、形状および寸法などによって異なる値を持つが、図-2に示すような静的局部変形試験によって近似的に求めることができる。本研究では、試験結果に基づいて局部変形によるばね力 $P(\delta)$ を次のように定めた。

$$P(\delta) = k^* \sqrt{\delta} \quad (\delta > 0 \text{ かつ } \Delta \delta > 0) \quad (3)$$

$$P(\delta) = 0 \quad (\delta \leq 0 \text{ または } \Delta \delta \leq 0)$$

なお、 k^* は鋼管はりの断面諸定数 (外径 D 、管厚 t 、材料の降伏応力 σ_y) などによって決まる定数である。なお、本研究では衝撃を与える物体がはりに付着したまま運動を行うものと仮定し、はりの衝突点に初速度を与える方法を用いた。以上の式と、図-3に示すはり断面の曲げモーメント～曲率関係を用いて、Newmarkの β 法による数値計算を行った。

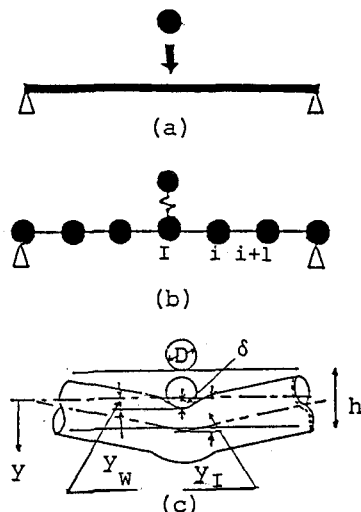


図-1 解析モデル

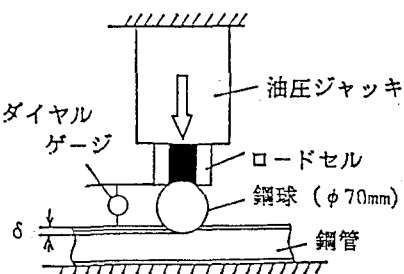
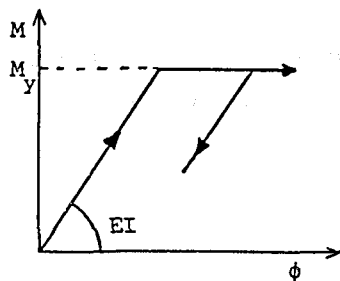


図-2 静的局部変形試験

3 解析結果の検討

衝撃実験は、単純支持された鋼管はり（スパン長100 cm、管厚3.2 mm）に、重量1.4 kgf、直径7 cmの鋼球を塩ビ管を通して自由落下させて横衝撃を与えたものである。実験 図-3 曲げモーメント～曲率関係に用いたパラメータは、



鋼管の外径（ $\phi 48.6$, 60.5 , 89.1 mm）および鋼球の落下高さ（衝突速度 2, 4, 6, 8 m/sec）である。なお、衝撃外力（荷重の時刻歴）は計測しなかったため、解析では初期条件として衝突時の初速度（ $\dot{y}_w(0) = V$ ）を与えた。

図-4 は、衝突点（スパン中央）における最大応答変位について、管径の異なる試験体毎に解析結果と実験値の比較を示したものである。図中に○印で示した解析結果のほう、実験値より小さい値を示している。この傾向は衝突速度が大きくなるほど、管径が小さいほど顕著になる。これは、衝撃外力として実測の衝撃力を用いず、運動量保存則から求めた衝突時の初速度を入力として用いたためと考えられる。しかし、管径が大きくなれば両者の差は小さくなり、比較的良く合っていると認められる。

4 あとがき

本研究は、衝撃荷重が作用するときの鋼管はりの応答を、離散化した単純な力学モデルで表現した解析法によって比較的良くシミュレートできることを示した。また、本実験では衝撃力が比較的小さかったため鋼管にあまり大きな局部変形は生じなかった。本解析法では、局部変形の影響を衝突点に付けたばねで表現しており、局部変形が大きく生じるような場合についても解析することができる。しかしながら、解析と実験の差異は局部変形に伴うばね定数の設定や入力として用いた外力の取り扱いなどに起因していると考えられ、今後はこれらの問題について検討する必要がある。

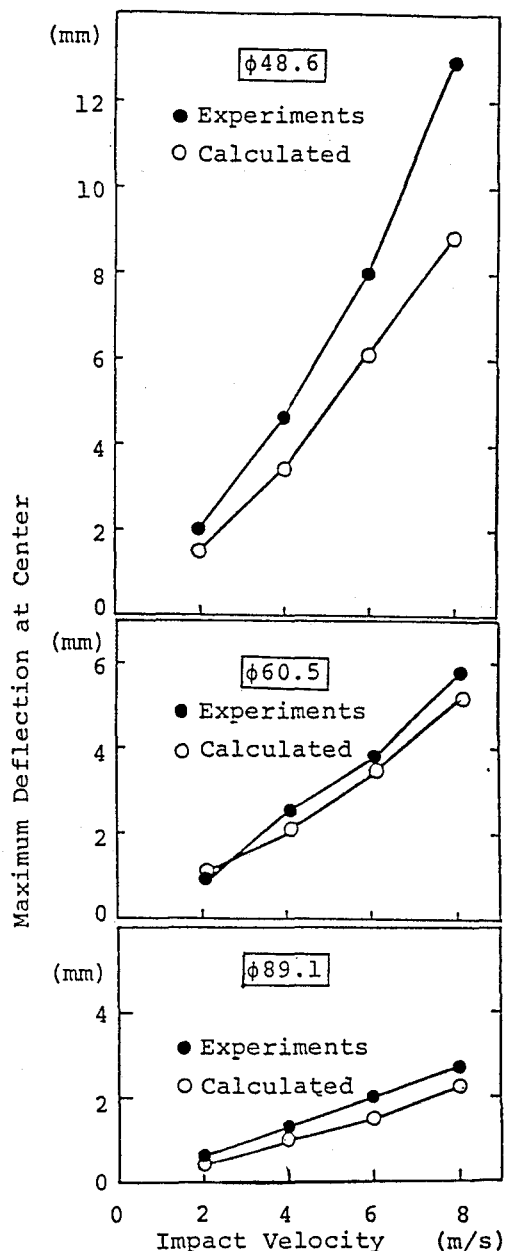


図-4 最大応答変位～衝突速度関係

- 1) 新日本製鉄株式会社建材部：鋼製スリットダムの崩壊事故までの経緯と極限耐力について、昭和57.3.
- 2) 砂防・地すべり技術センター鋼製砂防構造物研究会：鋼製砂防構造物に関する研究、昭和58.12.
- 3) Robert, K.W. and Tsokistos, T. : Discrete Dynamic Models for Elastic-Inelastic Beams, Proc. of ASCE, Vol 90, EM5, pp.71-102, 1964.