

防衛大学校土木工学教室 学生員○斎藤 英明

同 上 正 員 石川 信隆

同 上 正 員 鯉淵 芳伸

建設省土木研究所 正 員 水山 高久

1. 緒言 本研究は、土石流等に対する鋼管製防護施設の耐衝撃設計法^{1), 2)}を開発するための基礎的段階として、鋼球の自然落下による鋼管はりの衝撃応答実験を行うとともに、離散化モデル³⁾による衝撃応答解析を行って、実験結果と解析値とを比較検討したものである。なお、解析における衝撃外力としては、鋼球の衝突によって鋼管に生じる衝突時の初速度を入力として用いた。

2. 衝撃実験 (1) 衝撃載荷装置 : 衝撃実験は、図-1に示すように鋼球(2種類を用いた: (A)直径12.5cm, 重量 $W=7.62\text{kgf}$ (B) 直径7cm, 重量 $W=1.4\text{kgf}$)が鋼管はりの中央に衝突するように“4”を通して自然落下させ横衝撃を与えた。鋼管はりの支点部は鋼管の衝撃による跳ね上がりを防止するために、また単純支持の条件を満足させるように鋼管の上下部を鋼製円柱で挟み込みボルトで固定した。鋼球の落下は電磁石を用いて行った。

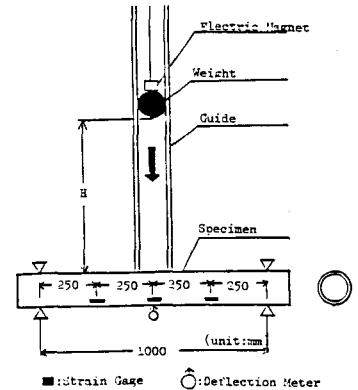


図-1 衝撃載荷装置

(2) 試験体 : 使用した試験体は、STK-41の $\phi 89.1$, $\phi 60.5$, $\phi 48.6$ の3種の鋼管でいずれも全長120cm スパン長100cmである。諸元を表-1

に示す。(3) 測定装置 : 図-1に示すような位置にひずみゲージ及び変位計を取りつけ、図-2のフローチャートに示すような計測システムを設置した。変位計は非接触型のものを使用し、中央のたわみ変形を測定した。

(4) 実験結果及び考察 : a. 管径の大きさが変位に与える影響 : 落下高さ $H=1.8\text{m}$ ($v=6.0\text{ m/s}$)及び鋼球の重量 $W=7.62\text{kgf}$ として3種の管径について変位の時刻歴応答曲線を示せば、図-3の破線のようになる。一般に管径の増大に伴い当然ながら変位応答は小さくなっていることが確認される。

また $\phi 48.6$ の場合は弾性限度を越えた弾塑性応答を、 $\phi 89.1$ の場合は弾性応答を示していることが認められた。

b. 管径の大きさが局部変形に与える影響 : 一般に管径の増大に伴い、局部変形が大きくなることが認められたが本実験の範囲では最大 $\delta=1.9\text{mm}$ 程度であり局部変形が全体の変位応答に与える影響はほとんど認められなかった。

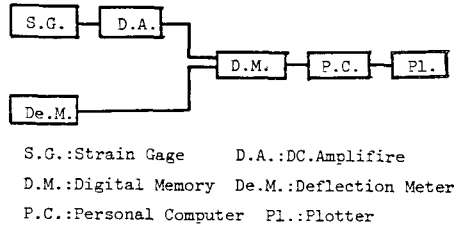


図-2 計測装置フローチャート

表-1 鋼管の諸元

	(a) D=48.6mm	(b) D=60.5mm	(c) D=89.1mm
厚さ (mm)	3.2	3.2	3.2
降伏点 (kgf/cm^2)	4000	3800	3900
引張強さ (kgf/cm^2)	4800	4700	4600
伸び (%)	46	51	28
断面積 A (cm^2)	4.56	5.76	8.64
断面二次モーメント I (cm^4)	11.8	23.7	79.8
塑性断面係数 Z (cm^3)	6.6	10.6	23.7
単位重量 W (kg/m)	3.58	4.52	6.77

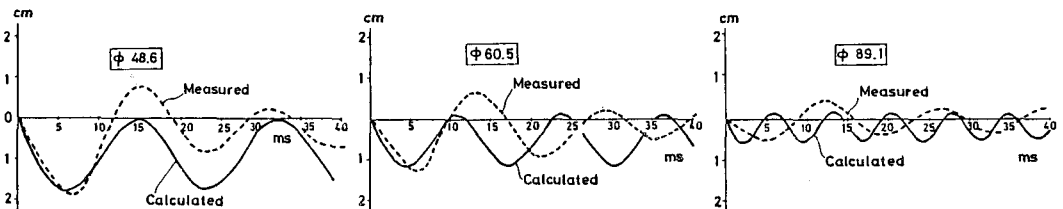


図-3 変位応答曲線

3. 衝撃応答解析 (1) 基本式 : 本解析に用いた離散化モデルは、図-4(a) に示すように連続体としての鋼管はりを図-4(b) に示すような任意長の剛体で質量をもたないバネに分割し、実際のはりが持つ質量と剛性を分割点に集中させたものである。はりの衝突点 I 及び任意の分割点 i における運動方程式は以下のよう

$$m_I \ddot{y}_I = P(t) + (M_{I+1} - M_I) / \ell_{I+1} - (M_I - M_{I-1}) / \ell_I \quad (1a)$$

$$m_i \ddot{y}_i = (M_{i+1} - M_i) / \ell_{i+1} - (M_i - M_{i-1}) / \ell_i \quad (1b)$$

ここに、 $P(t)$ は衝撃外力を、 m 、 $\ddot{y}$ はそれぞれ分割したはり要素の質量及び加速度で、添字 I 、 i はそれぞれはりの衝突点及び衝突点以外の分割点を表わす。 M 、 ℓ はそれぞれ分割点 i の曲げモーメント及び i 点の左側のバネ長である。

(2) 解析方法 : 本実験において、衝撃外力～時間関係が計測できなかったため解析にあたっては $P(t)=0$ とし、鋼球がはりに付着したまま運動を行うものと仮定し、次のようなはりの衝突点に初速度を与える方法を用いた。

$$\begin{aligned} y_I(0) &= 0, \quad \dot{y}_I(0) = 0 \\ y_I(0) &= 0, \quad \dot{y}_I(0) = V_0 = m v / (m + M) \end{aligned} \quad (2)$$

ただし、 m 、 M は鋼球及びはりの中央バネの質量、 v は鋼球の落下速度である。またはりは完全弾塑性型の曲げモーメント - 回転角関係を用いて Newmark β 法による衝撃応答解析を行った。

4. 解析結果と実験結果の比較 (1) 変位の時刻歴応答曲線 : 図-3 の実線は実験と同じ諸元を用いて変位の時刻歴応答曲線を描いたものである。全般的に、実験とほぼ同様の傾向を示すような解析結果が得られたが、詳細に関しては実験上の誤差あるいは解析上で減衰の影響を無視したこと、外力の入力方法などの問題などさらに検討すべき事項が多い。また、最大応答変位のみは、実験結果とさほど差異のない値が得られた。(2) 最大応答変位に与える影響 : ここでは、鋼球の重量を $W=1.4\text{kgf}$ とし、衝突速度(落下高さ)を $v=2, 4, 6, 8\text{m/sec}$ に変化させたときの実験結果と解析結果との比較を図-5に示す。図-5より管径の大きいほど解析値と実験値とはよく一致しているが、衝突速度が大きくなるほど、また管径の小さくなるほど解析値の方が実験値よりも小さくなっている。

5. 結言 本研究は、衝撃荷重が作用するときの鋼管はりの応答を簡単な離散化モデルによって解析でき、また比較的良好な傾向を把握できることを示した。さらに局部的に大きく変形が生ずる場合や鋼管の衝撃耐力の問題について今後検討していく予定である。

なお、本研究を行うにあたり、大野友則氏、米津浩幸氏、高橋芳彦氏、山田伊智郎氏、北小路雅倫氏の他多くの方々の御協力を得たことを付記し謝意を表する。

- 1) 矢沢昭夫、水山高久、下東久巳 : 鋼管に対する土石流衝撃力実験報告書、土研資料2276号、昭和61. 3.
- 2) 砂防・地滑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) Wen, R. K and Toridis, T. : Discrete Dynamic Models for Elasto-Inelastic Beams, Proc. of ASCE, Vol. 90, EM5, pp. 71-102, 1964

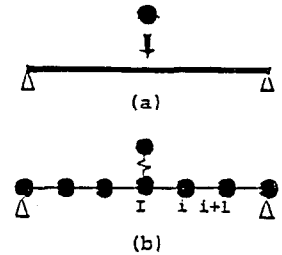


図-4 解析モデル

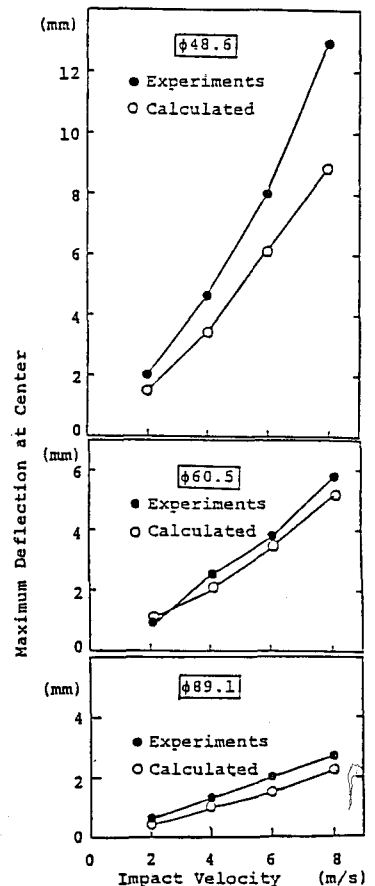


図-5 最大応答変位～衝突速度関係