

建設省土木研究所 ○ 中西 宏
 建設省土木研究所 水山 高久
 (財)防砂地すべり技術センター 松村 和樹

1. 緒論

土石流対策砂防施設として、鋼管製の透過型砂防ダムが土石流発生の際まで貯砂容量を保つことができることから注目されている。構造物全体としての検討は、弾性設計法により解析的に行われている。しかし、部材に土石流中の巨礫が衝突する場合には、へこみや局部的な破壊が発生するが、これに関しては従来の研究は十分ではない。そこで、実際に透過型砂防ダムに使用されていると同程度の鋼管に対して鋼球を衝突させ、鋼管の局部変形について観察し、鋼管製土石流対策砂防ダムの設計法の基準化の参考にしようとした。

2. 試験の概要

(1) 試験装置および供試体

外径508mm、板厚12.7mm、長さ3mの鋼管供試体(STK41)を長さ1mのベースコンクリート上の支持台に設置し、図-1のようにクレーンにより吊り上げた重さ1,730kgの鋼球を鋼管中央部に落下させた。0.2%降伏応力は46kg/mm²、最大応力は53.5kg/mm²、破断ひずみは22.1%である。

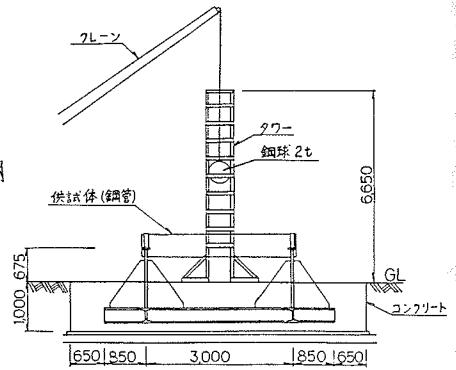


図-1 実験装置 (mm)

表-1 試験条件

(2) 試験条件と計測

落下高さを変えて衝突速度を制御し、落錘および支持台の加速度、鋼管供試体のひずみ、変位を測定した。表-1に試験条件および結果を示す。

3. 実験結果の解析

衝撃荷重による鋼管の変形はつぎの2つに分けて考えられている¹⁾

- a) 載荷によりまず鋼管上面にへこみ変形が生ずる。
- b) 荷重(F)が増し、へこみ変形が増大すると、鋼管の耐力が減少して鋼管は曲げ破壊する。

荷重は、 $F = \frac{1}{4} K \sigma_y t^2 \left(\frac{\delta d}{D} \right)^{\frac{1}{2}}$ —— (1)で評価される。ここで、K:係数(150)、 σ_y :鋼管材料の降伏応力、t:鋼管の板厚、 δd :へこみ量、D:鋼管の外径である。(1)式より、鋼管のへこみ変形による吸収エネルギー-Edは、

$Ed = \int F d(\delta d) = \frac{1}{8} K \sigma_y t^2 \left(\frac{\delta d^2}{D} \right)^{\frac{1}{2}}$ —— (2)となる。一方、へこみ δd を生じた鋼管の曲げ破壊強度は、 $F = \frac{4}{3} D^2 t \sigma_y (\cos \beta - \epsilon)$

ケース NO.	供試体 NO.	落下高	最大加速度(g)	最大衝撃力(t)	残留変形(mm)
1	1	1m (1回目)	32.7	56.6	26
2	1	1m (2回目)	40.1	69.4	46
3	1	1m (3回目)	34.9	60.4	60
4	1	1m (4回目)	39.0	67.5	68
5	2	2m (1回目)	39.0	67.5	55
6	2	2m (2回目)	39.4	68.2	96
7	2	2m (3回目)	52.4	90.7	124
8	3	3m (1回目)	42.0	72.7	79
9	3	3m (2回目)	51.7	89.4	133
10	4	5m (1回のみ)	45.3	78.4	124

$\beta = \left(\frac{E_0}{L} \left(1 - \sqrt{\frac{16}{\pi} \left(\frac{\delta_d}{L}\right)^2} + 1 + \frac{4}{\pi} \frac{\delta_d}{L}\right)\right)^{1/2}$ —— (3) と表わされる。ここで、 L : 支点間距離である。(3)式より曲げ破壊による鋼管の吸収エネルギー E_{01} は、 $E_{01} = \frac{1}{2} D^2 t \sigma_f (\cos \beta - \beta) d_0$ —— (4) となる。ここで、 d_0 : 崩壊変位である。荷重が曲げ崩壊荷重より小さい時には、鋼管の吸収エネルギーは E_d のみであり、曲げ崩壊荷重に達すると $E_d + E_0$ となる。曲げ崩壊荷重は (1) 式と (3) 式を等しいと置いて求められた δ_d を (1) 式または (3) 式に代入して得られる。(2) 式 (4) 式より、落錐の運動エネルギーを鋼管の吸収エネルギーに等しいと置いて次式が得られる。

$\frac{1}{2} m V^2 = W H = E_d + E_0$ —— (5)
 ここで、 m : 落錐の質量、 V : 衝突時の速度、 W : 落錐の重量、 H : 落下高である。(1) 式 (2) 式と実験値を比較すると、図-2, 3 のようになり一致しない。そこでへこみ変形と衝撃力の関係を、実験結果から、

$F = 57.5 m_p \left(\frac{\delta_d}{D}\right)^{2.211}$ —— (7)
 $E_d = 47.5 m_p D^{-2.211} \delta_d^{1.211}$ —— (8)
 と表す。ここで、 $m_p = \frac{1}{4} \rho V^2$ である。(8) 式は、 $\delta_d = \left(\frac{W H D^{0.211}}{47.5 m_p}\right)^{1.211}$ —— (9) と変形される。

図-4 に供試体鋼管の荷重-変位関係を示す。へこみ変形が 171mm に達するまで鋼管の崩壊は生じない。くり返し載荷による変形は、落錐の運動エネルギーを $n W H$ と置き換えて評価することができ、(図-5) ここで n はくり返し数

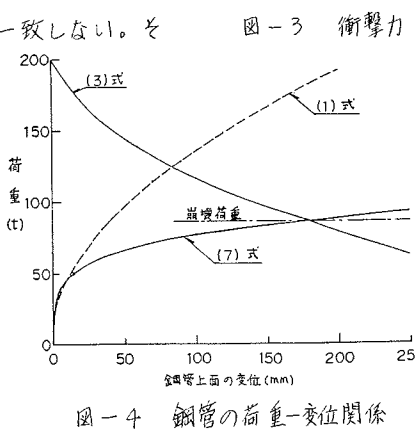


図-3 衝撃力

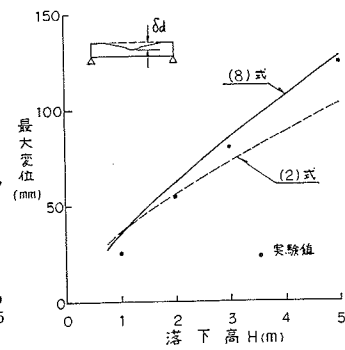


図-2 鋼管上面の最大変位

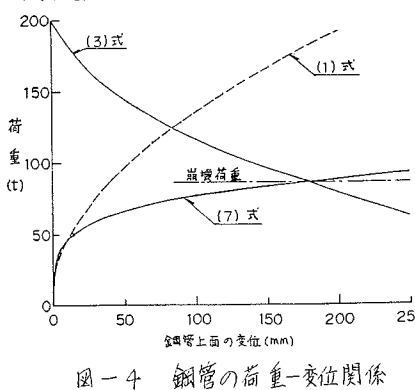


図-4 鋼管の荷重-変位関係

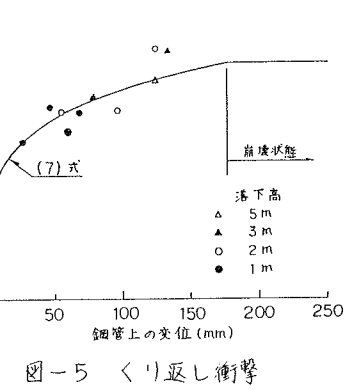


図-5 くり返し衝撃

図-4 に供試体鋼管の荷重-変位関係を示す。へこみ変形が 171mm に達するまで鋼管の崩壊は生じない。くり返し載荷による変形は、落錐の運動エネルギーを $n W H$ と置き換えて評価することができ、(図-5) ここで n はくり返し数

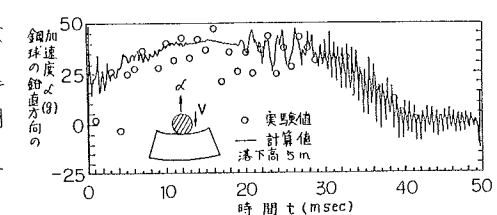


図-6 鋼球加速度の時間変動 ($V=9.9m/sec$)

4. 有限要素法による衝撃解析
 有限要素法による3次元衝撃解析プログラム(DYNA 3D)により、落錐と鋼管の衝突の衝撃解析を行った。鋼管上面のへこみ残留変形と鋼球加速度の計算例を図-6, 7 に示す。計算値と実験値は、他の速度(4.427, 6.26, 7.668 m/s)の場合にも良く一致した。

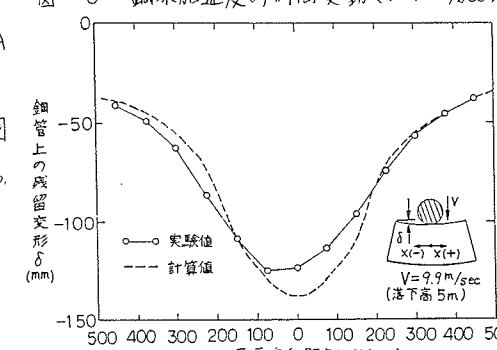


図-7 鋼管上面の残留変形 ($V=9.9m/sec$)

参考文献
 1) T. Soreide and J. Amdahl: Energy Absorption in Ship-Platform Impacts, IABSE Colloquium, June 1983, pp. 195-203