

礫衝突による損傷を受けた中空鋼管に対する静的曲げ実験

防衛大学校 学生会員○白石博文 正会員 梶田幸秀 正会員 香月 智 フェロー 石川信隆

1. 緒言

格子形鋼製砂防ダムをはじめとする鋼製砂防ダムの多くは中空鋼管が用いられており、これまで健全な鋼管部材の礫衝突に関する研究が数多くなされてきた^{1),2)}。しかしながら、礫衝突を受けた鋼管部材に対し、補修または交換が必要であるかどうかの判定を行うためには損傷後の鋼管の耐力評価を行う必要がある。そこで本研究は、礫衝突により損傷を受けた中空鋼管に対し、静的曲げ実験を行って残存耐力を求め、中空鋼管の残存耐力評価判定の基準となる使用限界および終局限界を定量的に定義しようとしたものである。

2. 実験の概要

2.1 供試体

実験に用いた鋼管は、一般用炭素鋼管(JIS G3444 材質 STK400)であり、直径 139.8mm、長さ 1000mm、肉厚 3.5, 4.5, 6.6mm(径厚比 40, 31, 21)である。実鋼製砂防構造物では径厚比 20~50 程度の鋼管が使用されており、本実験においてもこの値をもとに鋼管を選定した。

2.2 重錘落下実験(第1段階)

重錘落下実験は、鋼管に損傷を与えることを目的とし、重錘の高さを変えて鋼管中央部にへこみを生じさせた。図-1 に実験概要図を示す。重錘質量、落下高さおよび与えたエネルギー(以下、衝撃エネルギー)は表-1 に示す各肉厚 8 種類の計 24 ケースである。重錘先端部は直径 220mm の半球状である。

2.3 静的曲げ実験(第2段階)

静的曲げ実験は、図-2 に示すように、へこみ部を下側(圧縮側)にし、片持ちばりにより残存耐力を評価した。また、鋼管中心位置(500mm)はへこみ変形により楕円状になっており、固定治具による固定が不可能なためスパン長は 550mm とし、载荷位置は固定端より 450mm とした。

2.4 測定項目

重錘落下実験では損傷の度合いをへこみ率という物理量で表した。へこみ率とは、図-3 に示すように重錘落下実験後の損傷部の断面径(δ_D)をノギスにより測定し、鋼管のへこみ量($\delta_L = D - \delta_D$)を求め、鋼管径 D で無次元化したものである。静的曲げ実験については、ロードセルによる载荷点荷重とレーザ式変位計による载荷点変位の 2 種類を測定した。

3. 実験結果と考察

3.1 重錘落下実験

(1)へこみ率～衝撃エネルギー関係

衝撃エネルギーとへこみ率の関係を表-1 および図-4 に示す。図より、全ての肉厚において衝撃エネルギーの増加に応じてへこみ率は増大しほぼ比例関係となる。

(2)鋼管の損傷(へこみ)部およびはりの形状

写真-1 に肉厚 $t=3.5\text{mm}$ の鋼管における重錘落下点およびはり全体を側面から見た写真を示す。写真より損傷面はへこみ率の増大に応じて横方向へ広がりを見せることがわかる。また、落下高さを大きくしてもはり変形はほとんど生じていないことがわかる。他の肉厚の鋼管においても同様に、重錘落下後はへこみ変形のみ発生し、はり変形はほとんど発生しなかった。

表-1 落下高さと衝撃エネルギーおよびへこみ率

No	肉厚(mm)	質量(kg)	落下高さ(m)	衝撃E(J)	へこみ率
1	3.5	200	0.0	0	0.00
2			0.1	220	0.05
3			0.2	400	0.10
4			0.4	800	0.15
5			0.7	1400	0.22
6			1.0	2000	0.31
7			1.5	3000	0.41
8			2.0	4000	0.51
1	4.5	200	0.0	0	0.00
2			0.2	300	0.02
3			0.3	600	0.07
4			0.7	1400	0.16
5			0.9	1800	0.20
6			1.7	3400	0.31
7			2.6	5200	0.41
8			3.8	7600	0.56
1	6.6	400	0.0	0	0.00
2			0.2	800	0.04
3			0.5	2000	0.10
4			0.8	3200	0.14
5			1.2	4800	0.20
6			2.1	8400	0.30
7			3.3	13200	0.40
8		500	3.4	17102	0.50

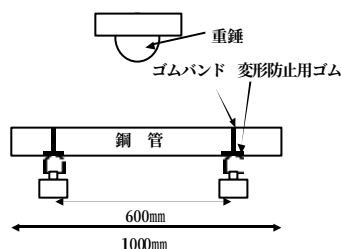


図-1 重錘落下実験概要図

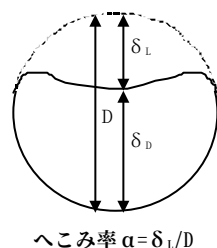


図-3 へこみ率の定義

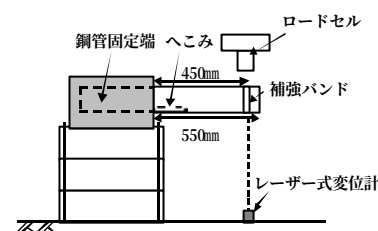


図-2 静的载荷曲げ実験概要図

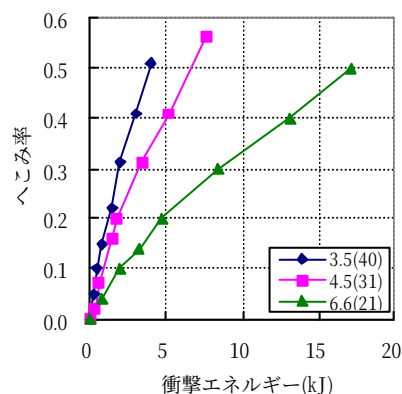


図-4 へこみ率～衝撃エネルギー関係

キーワード：損傷鋼管、へこみ率、残存耐力

連絡先：〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 TEL 0468-41-3810, FAX 0468-44-5913

重錘落下高さ H(cm)	へこみ率 α	実験後の写真(t=3.5mm)	
		上から	側面から
20	0.10		
40	0.15		
70	0.22		
100	0.31		

写真-1 重錘落下後の鋼管(t=3.5mm)

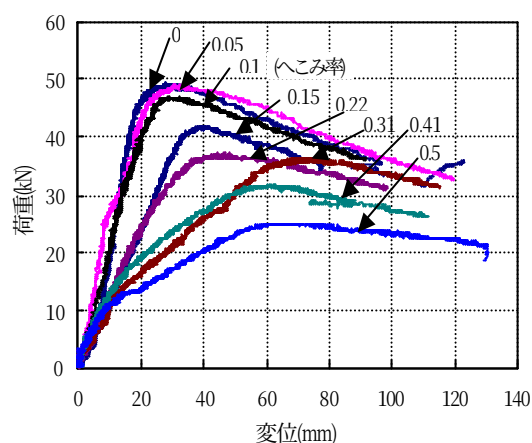


図-5 荷重～変位関係(t=3.5mm)

3.2 静的曲げ実験

(1) 荷重～変位関係

図-5 に静的曲げ実験から得られた荷重～変位関係の一例(t=3.5mm)を示す。図より、へこみ率の増大にしたがい最大荷重は低下していくことがわかる。

(2) 最大荷重の割合～へこみ率関係および終局限界の定義

各へこみ率における最大荷重を図-6 に、さらに無損傷鋼管の最大荷重で無次元化した値を最大荷重の割合とし、へこみ率との関係を図-7 に示す。図より、どの径厚比においてもへこみ率が0.1を超えるとほぼ直線的に割合は低下し、へこみ率0.5では無損傷鋼管の約半分まで耐力が低下していることがわかる。これより、へこみ率0.1付近に耐力における変曲点(損傷を受けた部位が残存曲げ耐力に影響をおよぼしはじめる点)が存在すると考えられる。ここで損傷を受けた鋼管の使用限界を無損傷鋼管の耐力の90%以上を確保している状態と定義すると使用限界へこみ率 $\alpha_s=0.1$ と提案できる。さらに許容応力度設計法における安全率 $1/1.7=0.58$ と同じ考え方から、損傷を受けた鋼管の終局限界を無損傷鋼管の耐力の60%以上を確保している状態とすると終局限界へこみ率 $\alpha_u=0.4$ と提案できる。

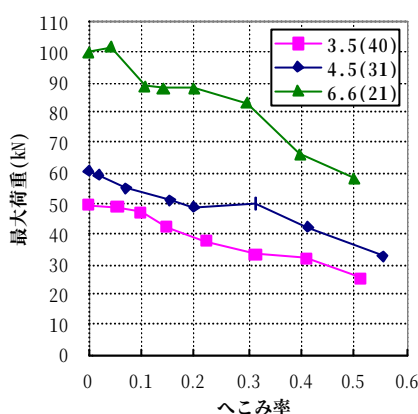


図-6 最大荷重～へこみ率関係

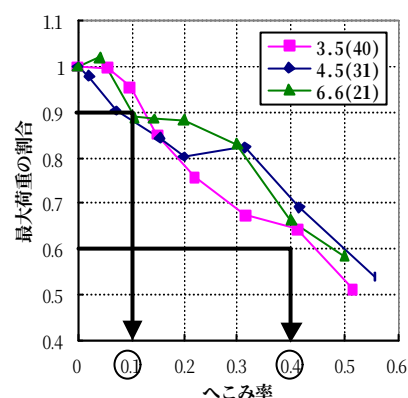


図-7 最大荷重の割合～へこみ率関係

(3) 終局限界での衝撃エネルギー

使用限界へこみ率 $\alpha_s=0.1$ 、終局限界へこみ率 $\alpha_u=0.4$ とし、それぞれのへこみ率が発生した重錘落下実験における衝撃エネルギーを各径厚比ごとに比較した衝撃エネルギー～径厚比関係を図-8 に示す。図より、使用限界・終局限界ともに径厚比が大きくなる(肉厚が小さくなる)とその衝撃エネルギーは小さくなり、終局限界にいたる衝撃エネルギーは、使用限界までに受けたエネルギーの約6～9倍になることがわかった。

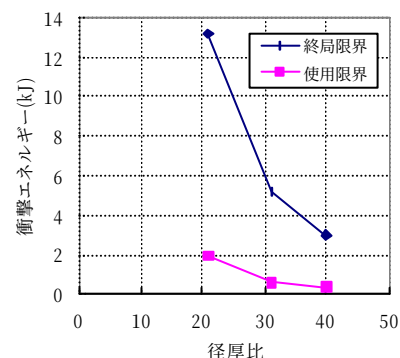


図-8 衝撃エネルギー～径厚比関係

4 まとめ

本研究の成果

- (1) 損傷を受けた鋼管の残存耐力は、全ての鋼管径においてへこみ率の増大に伴い低下する。
- (2) 使用限界を無損傷鋼管の耐力の90%以上確保している状態と定義すると使用限界へこみ率 $\alpha_s=0.1$ 、終局限界を無損傷鋼管の耐力の60%以上を確保している状態とすると終局限界へこみ率 $\alpha_u=0.4$ と提案できる。
- (3) 終局限界にいたる衝撃エネルギーは、使用限界までに受けた衝撃エネルギーの約6～9倍となることがわかった。

参考文献

- 1) 水山高久, 中西 宏, 松村和樹: 大口径鋼管に対する衝撃载荷試験, 新砂防, Vol138, No4(141), 1985.11.
- 2) 川井 豊, 石渡正夫, 山野井節夫: 鋼管部材の耐力実験, 落石等による衝撃問題に関するシンポジウム講演論文集, pp.9-14, 1991.3.