

011 礫衝突による損傷を受けたコンクリート充填鋼管の終局限界に関する実験的研究

防衛大学校 ○白石博文 梶田幸秀 香月 智 石川信隆 松村 和樹

1. 緒言

格子形鋼製砂防ダムを始めとする鋼製砂防ダムの多くは、中空鋼管が使用されているため礫の衝突に対して鋼管のへこみおよびはりの塑性変形で抵抗する構造となっている。しかし、近年、鋼管部材の強度の向上を期待するため、コンクリート充填鋼管(以下CFT鋼管)を採用することが検討されている。これまで健全なCFT鋼管の耐衝撃性に対する検討は行われてきたが、損傷を受けたCFT鋼管の残存耐力については未だ明らかにされていなかった。そこで本研究は、第1段階として重錘落下実験を行ってCFT鋼管に損傷を与え、第2段階としてその損傷を受けたCFT鋼管に対し静的曲げ実験により残存耐力を評価し、その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、一般構造用炭素鋼管(JIS G 3444 材質 STK400)、直径139.8mm、肉厚3.5mm、(径厚比40)、長さ1000mmとした。また、鋼管内に充填したコンクリートは、圧縮強度21N/mm²である。

表-1にコンクリートの配合表を示す。

2.2 重錘落下実験(第1段階)

重錘落下実験は、CFT鋼管に損傷を与えることを目的とし、重錘の落下高さを変えて、スパン中央部に重錘を落下させた。実験の概要を図-1に示す。落下高さおよび与えたエネルギー(衝撃エネルギー)は表-2に示す9通りであり、重錘先端部は直径220mmの半球状とし、重錘質量は420kgを使用した。

2.3 静的載荷曲げ実験(第2段階)

静的載荷曲げ実験は、図-2に示すように損傷部を下側(圧縮側)にし、片持ちばりにより残存耐力を評価した。また、片持ちばりのスパンは550mmとし、載荷位置を固定端より450mmとした。載荷変位は、固定端端部の上面(引張側)の鋼管が破断し、充填コンクリートが目視できるまでとした。

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および変形角の2つの物理量で表した。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_p)をノギスにより測定し、鋼管のへこみ量($\delta_l = D - \delta_p$)を求め、鋼管径Dで無次元化したものである。また、変形角とは図-4に示すとおり、はり変形により発生した変形量dを定規により測定し、変形角 θ を求めた。静的載荷曲げ実験については、載荷点荷重をロー

表-1 コンクリート配合表

粗骨材の最大寸法(mm)	スランブの範囲(mm)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単体量(kg/m ³)				
				水 W	セメント C	細骨材 s	粗骨材	混和剤
20.0	120.0	61.5	46.5	160	261	864	1025	2.61

※普通ポルトランドセメント使用

表-2 第1段階のケースと実験結果

No	質量(kg)	落下高さ(m)	衝撃エネルギー(kN・m)	へこみ率	変形角(°)
1	420	0.00	0.00	0.000	0.000
2		0.50	2.10	0.012	0.287
3		1.00	4.20	0.027	1.261
4		1.25	5.25	0.027	1.662
5		1.50	6.30	0.027	2.293
6		2.00	8.40	0.027	3.669
7		2.50	10.50	0.027	4.930
8		2.75	11.55	0.041	6.420
9		3.00	12.60		破断

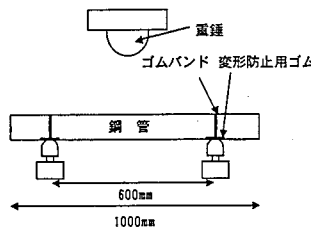


図-1 重錘落下実験概要図

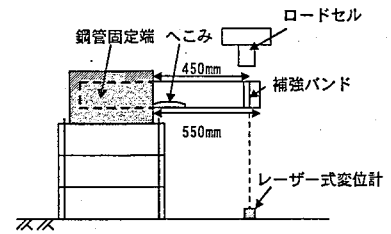


図-2 静的載荷曲げ実験概要図

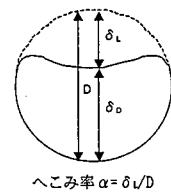


図-3 へこみ率の定義

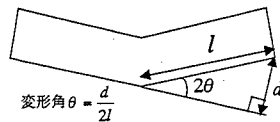


図-4 変形角の定義

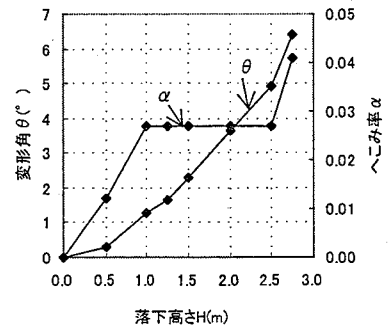


図-5 へこみ率・変形角～重錘落下高さ関係

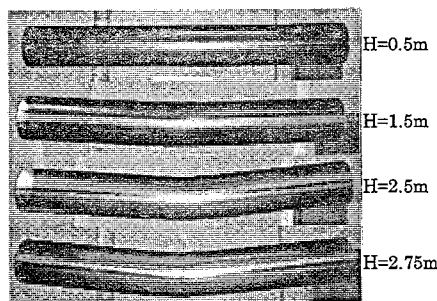


写真-1 CFT鋼管の損傷モード

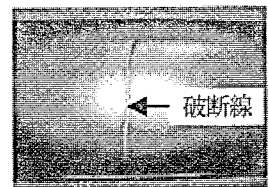


写真-2 破断線の状況 (H=2.75m)

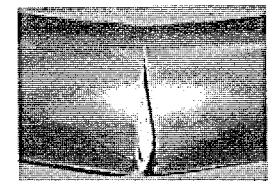


写真-3 完全に破断した状況 (H=3.0m)

ドセル、載荷点変位をレーザー式変位計により計測した。

3. 実験結果と考察

3.1 重錘落下実験(第1段階)

(1) CFT 鋼管の損傷モード

CFT 鋼管の損傷モードとしては写真-1のようにへこみとはり変形の2つが同時に生じる。落下高さ 2.75m では写真-2 のように引張力が生じる鋼管中央下部において破断線が発生し、さらに落下高さ 3.00m では写真-3 に示すように、中のコンクリートが露出し鋼管は完全に破断した。

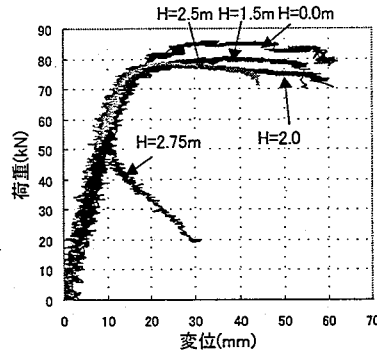


図-6 荷重～変位関係 (第2段階・静的)

(2)へこみ率～落下高さ関係

表-2 および図-5 に各実験ケースでの損傷度を示す。図-5 より、落下高さ 1.0～2.5m の場合、へこみ率は一定であることがわかる。これは落下高さを高くしてもへこみ率が変化しないことを意味し、衝撃エネルギーに比例して増大する損傷のパラメータとしてへこみ率を用いることは適当ではない。

(3)変形角～落下高さ関係

図-5 に変形角(θ)～落下高さ(H) 関係を示す。図より変形角は重錘の落下高さに比例して増大し、変形角～落下高さ関係はほぼ比例関係にあることがわかる。また、写真-1 から重錘落下実験後には変形が発生し、衝撃エネルギーの増加に伴って、変形角が増加することもわかる。よって、鋼管が損傷を受けたことを示すパラメータとしては変形角が妥当である。

3.2 静的および高速載荷曲げ実験(第2段階)

(1)荷重～変位関係

静的載荷曲げ実験から得られた荷重～変位関係を図-6 に示す。図-6 より落下高さ 2.5m までは荷重～変位曲線にほとんど違いは見られないが、落下高さ 2.75m では発生した破断線の影響により最大荷重が急激に低下している。

(2)最大荷重の割合～変形角関係および CFT 鋼管の終局限界の定義

図-7 に最大荷重の割合～変形角関係を示す。最大荷重の割合とは、各損傷の度合いにおける最大荷重を無損傷鋼管の最大荷重で無次元化した値である。図-7 より変形角が 5° 以下の場合、最大荷重の割合はほとんど低下せず 0.9 以上であるのに対し、 6.4° (破断線が発生した鋼管)において割合が 0.6 と急激に低下した。これより、最大荷重が急激に低下する直前の境界点つまり変形角 5° を終局限界と定義できる。

(3)中空の終局限界との比較

著者らが先に行った研究により中空鋼管の終局限界へこみ率を 0.4 と提案した。ここでは中空および CFT 鋼管の各終局限界において吸収できた衝撃エネルギー $E=WH$ (W :重錘重量, H :落下高さ)を比較し、終局限界におよぼすコンクリート充填効果を検討した。図-8 に衝撃エネルギーの比較を示す。図よりコンクリートを充填させることにより終局限界における衝撃エネルギーは中空鋼管の約 3.5 倍となることが確認できた。

4. まとめ

以下に本研究により得られた成果を示すと次のとおりである。

- (1) CFT 鋼管は、変形角が発生しても鋼管に破断線が発生しない場合、最大耐力はほとんど低下しないが、鋼管に破断線が入ると急激に耐力が低下する。
- (2) 損傷を受けた CFT 鋼管の終局限界を無損傷鋼管の最大耐力の 90%以上を確保した状態と定義すると、終局限界の変形角を $\theta=5^\circ$ と提案できる。
- (3) CFT 鋼管の終局限界を $\theta=5^\circ$ とした場合、礫衝突により終局限界に至るまで吸収できるエネルギーは中空と比べ約 3.5 倍になることがわかった。

参考文献

- 1) 香月 智, 黒木 勇人, 石川 信隆, 太田 貞次: 高速載荷を受けるコンクリート充填はりの弾塑性挙動に関する一考察, 土木学会論文集, No.696/I-58, 61-76, 2002.1.

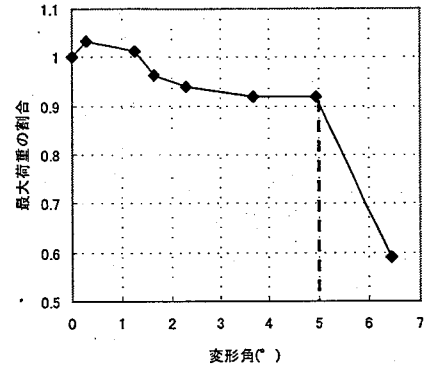


図-7 最大荷重の割合～変形角関係 (第2段階・静的)

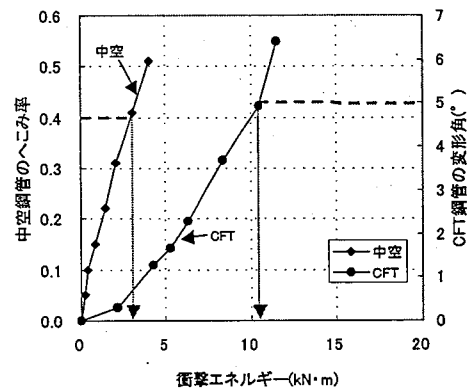


図-8 衝撃エネルギーの比較