

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 フェロー 石川信隆 学生会員 白石博文 正会員 梶田幸秀 正会員 香月 智 正会員 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 鋼管に対し静的および高速載荷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/mm^2 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_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。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、載荷点荷重をロードセル、載荷

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 (%)	単位量(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	

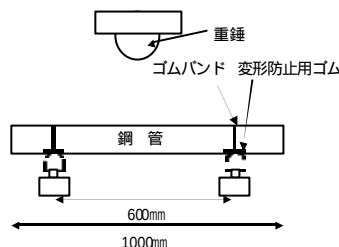


図-1 重錘落下実験概要図

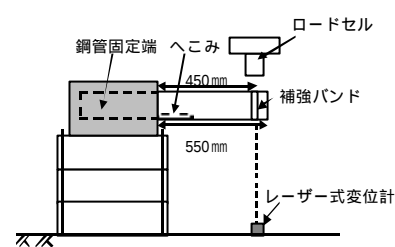


図-2 静的載荷曲げ実験概要図

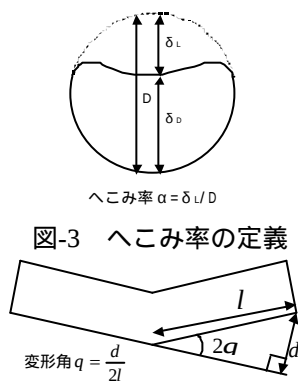


図-3 へこみ率の定義

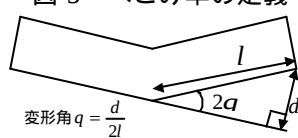


図-4 変形角の定義

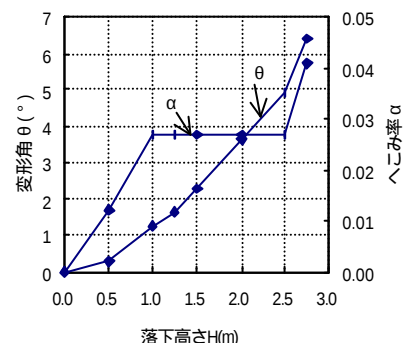


図-5 へこみ率・変形角～重錘落下高さ関係



写真-1 CFT 鋼管の損傷モード

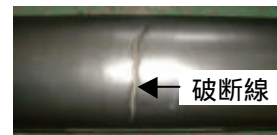


写真-2 破断線の状況
($H=2.75\text{m}$)



写真-3 完全に破断した状況
($H=3.0\text{m}$)

キーワード：損傷鋼管，変形角，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

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。

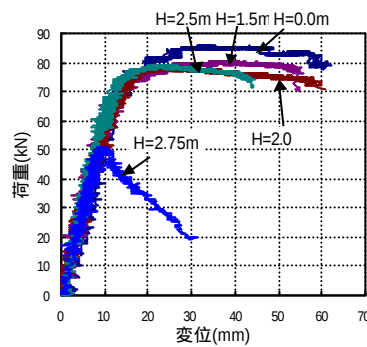


図-6 荷重～変位関係
(第2段階)

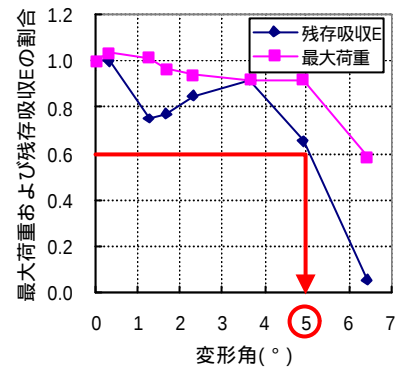


図-7 最大荷重および残存吸収Eの割合～変形角関係(第2段階・静的)

(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ことがわかる。

(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。また、写真-1からも重錘落下実験後、はり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変形角が妥当であると考えた。

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

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1.0付近であるのに対し、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。

(3) 残存吸収エネルギー～変形角関係および終局限界の定義

図-7に残存吸収エネルギー～変形角関係を示す。残存吸収エネルギーとは、破断するまでの荷重～変位曲線を積分して得られる結果であり、各損傷を受けた鋼管の残存吸収エネルギーを無損傷鋼管の残存吸収エネルギーで無次元化した値を残存吸収エネルギーの割合とした。ここで、無損傷鋼管の60%以上を確保した状態を静的終局限界と定義すると変形角 $\theta=5^\circ$ を静的終局限界と提案できる。

(4) 終局限界に及ぼす載荷速度の影響

図-8に高速載荷における最大荷重の割合および残存吸収エネルギーの割合～変形角関係を示す。図より、高速においても変形角が増大しても最大荷重はほぼ低下しないが、残存吸収エネルギーは変形角の増大に応じ低下している。ここで、静的と同様に無損傷鋼管の残存吸収エネルギーの60%以上を確保した状態を動的終局限界と定義すると、変形角 $\theta=4.3^\circ$ を動的終局限界と提案できる。

図-8 最大荷重および残存吸収Eの割合～変形角関係(第2段階・高速)

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(静的)終局限界を無損傷鋼管の残存吸収エネルギーの60%以上を確保した状態と定義すると静的終局限界の変形角を $\theta=5^\circ$ と提案できる。
- (3) 静的と同じ定義で動的終局限界を判断した場合、動的終局限界の変形角は $\theta=4.3^\circ$ と高速の方が小さくなり、載荷速度は終局限界に影響を及ぼすことがわかった。