

45 鋼管梁を用いた部材耐力実験

川鉄建材工業株式会社 ○荒牧 浩 山野井節雄

川崎製鉄(株) 研究開発センター 川井 豊

1. はじめに

鋼管製オープンダムの部材設計に必要な、鋼管部材の局部荷重載荷時の力学的挙動ならびに崩壊までに部材が吸収できるエネルギー量に関する研究は、これまで建設省土木研究所、神戸製鋼所等において行われたオープンダムを対象とした一連の試験のほか、海洋構造物に一般的に用いられている鋼管ジャケット部材を対象として幅広い実験的、解析的研究が行われており、これらの成果のいくつかは現在の設計法に反映されている(式1, 2))。

しかし、既往研究の多くは、小型供試体を用いたものが多く、考慮されたパラメーターにおいても鋼管部材と落錘の質量比あるいは管径、管厚比等についての検討が必ずしも充分とはいえないことから、実物のオープンダムの部材挙動を推定するには幾つかの問題が残されている。

本実験においては、上記問題点を考慮し

- 1) 部材の崩壊に至る現象を新しい観点から捉える。
- 2) 既往の設計理論および研究の再評価を行う。
- 3) 実際の部材挙動をより正確に反映した設計法を検討する。

等の観点から、実大に合わせた供試体を用い、静的荷重による部材耐力実験を行った。

2. 実験

2.1 実験方法

静的荷重実験の実験条件を表2-1に示す。

又、供試体の諸元を表2-2に示す。静的荷重試験には、1,000トン構造物試験機を用い、供試体の支間中央に集中荷重を加えた。また供試体の両端は単純支持とした。集中荷重は、鋼塊を先端半径 $R = 600\text{mm}$ に機械加工した半球状鋼塊(以下鋼球と呼ぶ)を構造物試験機上部耐圧盤にとりつけ、鋼管中央部上面に押し付けることにより与えた。これらの概略図を図2-1に示す。

載荷荷重の測定は、試験機内蔵の荷重計(測定レンジ 1,000トン, 500トン, 100トン, 20トン)を用いた。支点反力の測定は支承部に取り付けられたロードセル(40t×3ケ)にて、また、供試

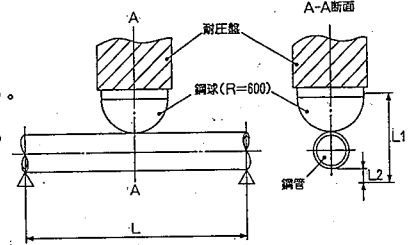


図2-1 載荷方法

表2-1 静的荷重の実験条件

試験 No.	鋼管の外径 ϕ_o (mm)	鋼管の厚板 t_o (mm)	支点間の距離 L (mm)	
S01	508	12	4,000	
S02			5,000	
S03	406.4	9	2,500	
S04			3,000	
S05			4,000	
S06			12	3,000
S07			16	3,000
S08	355.6	8	2,500	
S09			3,000	

表2-2 供試体(鋼管)の諸元

実験 No.	降伏点 σ_y (kgf/mm ²)	引張強さ (kgf/mm ²)	伸び (%)	ヤング率 ($\times 10^4$ kgf/cm ²)
S01	48	65	30	2.05
S02	43	58	30	—
S03	43	59	30	2.18
S04	43	59	30	2.18
S05	43	59	30	2.18
S06	45	60	32	2.15
S07	50	63	32	2.08
S08	48	63	28	2.13
S09	48	63	28	—

偏平化各吸収エネルギーは図2-2に示されるへこみ偏平化、たわみに対応している。

表2-6は、へこみ、たわみ、偏平化に対する各吸収エネルギーを実験NoでS01~S09の平均値として求めたものである。偏平化吸収エネルギーを考慮すれば、入力されたエネルギーと吸収されたエネルギーの収支が非常に良くなっていることがわかる。

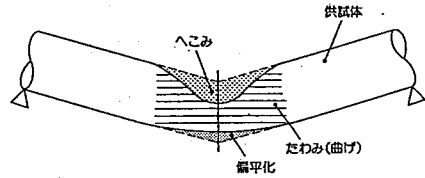


図2-2 供試体の変形モデル

表2-6 入力エネルギーに対する吸収エネルギーの割合(%)

項目	ピーク荷重時の80%時	弾性限界たわみの20倍時
たわみ+へこみ	79.1	95.0
偏平化	20.8	5.4
合計	99.9	100.4

3. 考察

3.1 崩壊荷重

へこみ反力を求める式1)において、実験定数としての α 値は、既往のもの($\alpha=0.5$)とよく一致している。しかし、K値は $K=70\sim 80$ となり既往の値の約 $1/2$ となっている。又、崩壊荷重に関しても計算値は、実験値に対して約72%と約30%の誤差を生じている。これは、式1), 2)が導かれた解析モデルが図3-1に示されるようなくさびによる線状載荷を対称としているに対し、本実験では載荷面が球状であるという載荷条件の相違によるものと考えられる。即ち、式1), 2)のモデルでは支点間距離はLでありたわみはa-a断面の断面係数により規定されている。一方、本実験は、図3-2に示されるように球体を用いた載荷であり、支点間距離は $l=L-\Delta L$ で、たわみは $b1-b1$ 又は $a1-a1$ 断面の断面係数により規定されている。実験終了後の供試体の形状を観察すると9ケースとに中央部

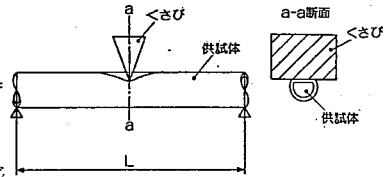


図3-1 くさびによる載荷

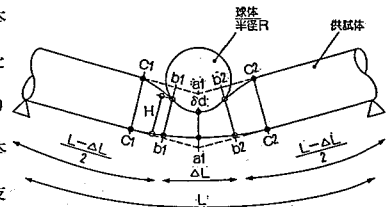


図3-2 球体による載荷

で崩壊しており、 $b1-b1$ 断面ではなく $a1-a1$ 断面の断面性能により規定されているものと判断される。そこで、式2)を下記に示す式3)に書き直す。

$$P_{..} = \frac{4}{l} \cdot \sigma_r \cdot Z \quad (3)$$

ここで、 $P_{..}$; 崩壊荷重

l ; 有効支点間距離

σ_r ; 供試体の降伏応力

Z ; 供試体の有効断面係数

Z_{a1} ; 図3-2において、 $a1-a1$ 断面の断面係数

$Z_{a'1}$; 図3-2において、 $a1-a1$ 断面が楕円に偏平化したと仮定した場合の断面係数

Z_{b1} ; 図3-2において、 $b1-b1$ 断面が厚さH(実測値)の楕円に偏平化したと仮定した場合の断面係数

Z ; 規格値としての断面係数

表3-1

ケース	l	Z
1	$L-\Delta L$	Z_{a1} (式(2)と同じ)
2	$L-\Delta L$	$Z_{a'1}$
3	$L-\Delta L$	Z_{b1}
4	$L-\Delta L$	Z

式3)において、 l および Z を表3-1の4ケースについて求め、式1), 3)により崩壊荷重を求めたものが表3-2である。表中において式2)とあるのは式1), 2)を用いた場合である。表3-2においてケース1が最も精度が良いことが分かる。

表3-2

実験No	崩壊荷重 (tonf)					
	実験値	式(2)	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
S01	91.6	62.5	67.1	88.6	136.8	153.5
S02	63.1	45.2	47.7	62.2	94.2	102.4
S03	57.9	39.8	44.0	60.2	113.9	121.0
S04	50.7	35.2	38.2	51.6	91.2	100.3
S05	41.3	29.4	31.2	40.6	—	66.0
S06	75.8	56.0	61.5	79.0	123.6	142.9
S07	122.9	92.5	102.0	123.1	167.8	189.7
S08	41.5	31.2	34.3	46.7	92.2	98.3
S09	36.4	28.7	31.2	41.5	70.3	79.1
平均	100%	72.4	78.7	102.1	172.3	181.2

しかしながら、測定データに比して計算結果は約20%小さく設計に用いる場合安全性に問題が残る。安全側の設計で、しかも最も精度が良いのはケース2ということになる。

3. 2 吸収エネルギー

本実験では、極限吸収エネルギーを求めておらず、破壊の定義を論ずることはできない。しかしながら、既往定義における吸収エネルギーは、偏平化吸収エネルギーを考慮することにより、精度が著しく向上することがわかった。従って、実験終了後、供試体の形状を測定することにより、へこみたわみ、偏平化による各吸収エネルギーは精度よく算定することができる。一方、透過型ダムの設計毎に部材の耐力試験を行うことは困難であり設計手法の実用性を考慮に入れて吸収可能エネルギーは、次式より求めるものとする。

$$E_a = P_p - \sigma_c \dots\dots\dots(4)$$

$$P_{od} = \frac{4}{\pi} \cdot \sigma_y \cdot Z \dots\dots\dots(5)$$

$$\ell = L - \Delta L \dots\dots\dots(6)$$

$$\Delta L = 2 \cdot \sqrt{R^2 - (R - \sigma d)^2} \dots\dots\dots(7)$$

$$Z = \frac{\pi}{64} \cdot \{H^3 \cdot B - (H - 2t)^3 \cdot (B - 2t)\} \cdot \frac{2}{H} \dots\dots\dots(8)$$

$$H = D - \sigma d \dots\dots\dots(9)$$

$$B = \frac{1}{2t} \{D^2 - (D - 2t)^2 - 2tH + 4t^2\} \dots\dots(10)$$

ここで、破壊の定義として、「弾性限界時たわみの20倍」を例にとりて考えてみる。式1), 2)より求まる崩壊荷重PPを用いて式4)により吸収可能エネルギーを求めたものが表3-3の1)+2)列である。これによると、入力エネルギーに対して吸収可能エネルギーは平均で約50.8%となっている。これは、エネルギーに関しては安全側の値になるが、崩壊荷重に関しては、計算値に比して、測定データは約1.4倍となり、ダム構造体の安定性に問題を残すことになる。表3-3の1)+3)列は、式1)および式3)(ケース2)を用いて崩壊荷重および吸収可能エネルギーを求めた

- E_a ; 吸収可能エネルギー
- P_p ; 崩壊荷重またはピーク荷重
- σ_c ; 破壊に異なる変位(定義による)
- H ; へこみを生じた供試体中央部の高さ
- B ; へこみを生じた供試体中央部の幅
- t ; 供試体(鋼管)の板厚
- Z ; 供試体の有効断面係数
- D ; 供試体(鋼管)の径
- σ_y ; 供試体の降伏応力
- ΔL ; 球体のめり込み幅
- ℓ ; 有効支点間距離
- R ; 球体の半径
- L ; 支点間距離
- P_{od} ; 崩壊荷重
- σ_d ; へこみ

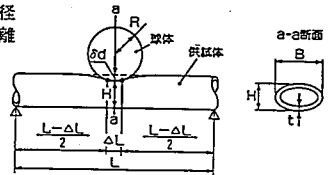


表3-3

実験 No	実験値		計算値				
	P ₁ (tonf)	E ₁ (tonf·cm)	(1) + (2)		(1) + (3)		
			P ₂ (tonf)	E ₂ (tonf·cm)	δ _e (cm)	P ₃ (tonf)	E ₃ (tonf·cm)
S 0 1	91.6	2534.7	62.5	1255.7	24.4	88.6	2504.6
S 0 2	63.1	2178.1	45.2	1120.8	22.8	62.2	1990.4
S 0 3	57.9	1141.4	39.8	487.5	24.0	60.2	1279.5
S 0 4	50.7	1107.5	35.2	497.3	21.2	51.6	1118.8
S 0 5	41.3	1122.7	29.4	564.0	16.6	40.6	995.1
S 0 6	75.8	1460.0	56.0	762.9	17.2	79.0	1531.2
S 0 7	122.9	2249.4	92.5	1278.1	13.4	123.1	2181.6
S 0 8	41.5	765.7	31.2	393.9	20.0	46.7	934.7
S 0 9	36.4	746.0	28.7	428.7	16.6	41.5	858.9

4. おわりに

実物大のスケールにより鋼管の耐力実験を行ない、得られたデータを用いて鋼管製オープンダム(砂防ダム)に巨れきが衝突する状況により適した耐力計算式を導くことができた。

参 考 文 献

- 1) 水山高久, 中西 宏, 松村和樹: 大口徑鋼管に対する衝撃実験, 新砂防, VOL.38, No 4(141)
- 2) (財)砂防・地すべり技術センター: 鋼製砂防構造物設計便覧 昭和62年版
- 3) ELLINAS C.P., Ultimate Strength of Damaged Tubular Bracing Members.

Submitted to J.Structural Division, ASCE, 1983.