

47 モルタル充填鋼管はりの衝撃限界吸収エネルギーに関する破壊実験について

防衛大学校土木工学科 ○川嶋幾夫
 同 上 石川信隆
 砂防・地すべりセンター 鈴木 宏
 建設省土木研究所 水山高久

1. 緒言

透過型鋼製砂防ダムは、土石流先端部にある巨礫を受けとめる機能が重要であるが、このためには鋼製部材あるいは構造物全体の耐衝撃性能の評価が必要である。著者らは、鋼管スリットダムの耐衝撃性を評価するために、衝撃吸収エネルギーで評価することを提案し、その基礎的研究として鋼管はりの衝撃吸収エネルギーについて研究を行ってきた^{1)~3)}。しかしながら、終局状態までの衝撃限界吸収エネルギーについては未だ明瞭に説明されたわけではなく、特にコンクリート充填の効果については未解明のままであった。

そこで本研究は、落下式の衝撃载荷装置および高速変形負荷装置を用い、モルタル充填鋼管はりおよび中空鋼管はりについて衝撃破壊実験を行い、荷重～変位関係を求めるとともに、衝撃限界吸収エネルギーについて考察を行ったものである。

2. 実験の概要

2. 1 実験装置

実験装置は、図-1に示すように自由落下によって衝撃速度 $V_0 = 4.0\text{m/s} \sim 8.0\text{m/s}$ をもつ重錘（重量 $100 \sim 350\text{kgf}$ ）を鋼管単純はりの中央点に衝突させ、衝突時の荷重および変位を計測するものである。なお、鋼管単純はりのスパンは 60cm とし、支点は両端共にローラーを用い、重錘衝突時のはりの跳ね上がり防止治具を支点上に設け、また、鋼管打撃用治具を作成し、打撃点に大きな局部変形が発生しても押し込み部の形状変化がロードセルでの計測に影響しないように、予め打撃点にあてがったうえで、重錘を衝突させるものとした。

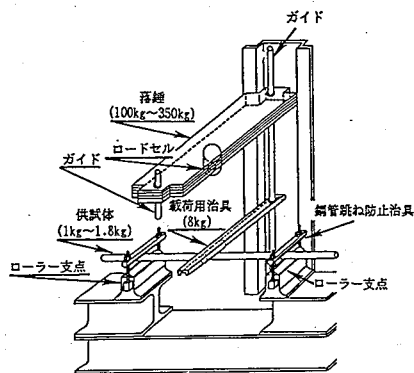


図-1 実験装置

2. 2 計測システム

計測事項としては、①鋼管打撃用治具と重錘との間に発生する荷重をロードセルによって、②鋼管打撃用治具の変位および载荷点での鋼管下線の変位を光学式変位計によって測定した。また、これから得られたデータを図-2に示すようにトランジエントレコーダを経て、コンピュータへデジタルデータとして保存するものとした。また鋼管には終局状態の判定のためにひずみゲージを図-2の位置に貼布した。

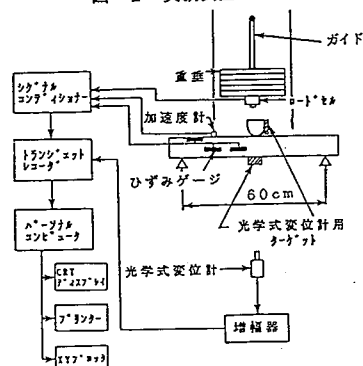


図-2 計測装置

表-1 鋼管の諸元

品名：一般構造用炭素鋼管
規格：JIS G3444 STK41
管径：φ48.6mm, φ60.5mm, φ89.1mm

	φ48.6	φ60.5	φ89.1
鋼管の長さ (mm)	3.2	3.2	3.2
降伏点 (kgf/cm ²)	4000	3800	3900
引張強さ (kgf/cm ²)	4800	4700	4600
伸び (%)	46	51	28
断面積 A (cm ²)	4.56	5.76	8.64
断面二次モーメント I (cm ⁴)	11.8	23.7	79.8
塑性断面係数 Z (cm ³)	6.6	10.6	23.7
単位重量 (kg/cm)	3.58	4.52	6.77

2. 3 供試体

実験に用いた供試体の鋼管は、一般構造用炭素鋼管で JIS-G3444STK41のφ48.6, 60.5, 89.1mmの3種類の鋼管径で長さ85cm(実スパン長60cm)を用いた。また鋼管にはモルタルを充填したものおよび充填していないものについて実験を行った。鋼管およびモルタルの諸元をそれぞれ表-1および表-2に示す。

2. 4 実験ケース

実験のケース区分は、3種類の鋼管径のモルタルを充填したものおよび充填しないものについて、重錘の運動エネルギーが静的限界吸収エネルギーをわずかに越えるように予め計算し、重錘重量と衝突速度の組合せにより、表-3に示すように行った。

3. 実験結果と考察

3. 1 破壊形態と終局変位の定義

モルタル充填鋼管の破壊形態を模式的に示すと図-3のようになる。状態Aは鋼管下縁(引張側)に亀裂が生じた状態で荷重~変位曲線の変曲点として、また状態Bは鋼管の上縁まで割れる状態で荷重~変位曲線に荷重が0となる点で表わされる。よって、終局状態を状態Aとし、その変位を終局変位とした。

一方、中空鋼管の変形過程を模式的に示すと図-4のようになる。ここでは、Aの全体破壊形態のようにはり全体のたわみが増大する場合とBの局部破壊形態のように打撃点局部に鋼管断面が押しつぶされる場合に分類される。終局状態の判定はいずれも支点近くに設けた鋼管上縁のひずみが急激に増大する変曲点(図-5のひずみ~時間曲線の×印)で鋼管が全断面引張に変化したと推定でき

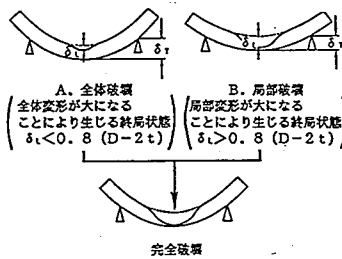


図-4 破壊形態と終局限界の定義 (中空鋼管)

表-2 モルタル諸元

配合 1m ³ 当り	セメント (kg)	水 (kg)	砂 (kg)
	588.2	278.8	1529.4
圧縮強度 (Kg/cm ²)	フロー値	養生	
240	147	室内	28日

表-3 実験ケースと終局破壊形態

区分	径 (mm)	番号	重錘重量 (kg)	衝突速度 (m/s)	運動エネルギー (ton·cm)	破壊形態
充填	48.6	1	250	6	46.0	破断
		2	350	4	28.7	
		3	150	7	37.5	
		4	250	6	46.0	
		5	350	7	62.5	
		6	150	5	44.8	
	60.5	7	250	8	49.1	
		8	350	7	87.5	
		9	150	7	37.5	
		10	250	6	27.6	
		11	350	7	25.0	
		12	150	5	25.6	
中空	48.6	1	150	4	24.6	B(局部)
		2	200	5	32.7	
		3	300	4	24.6	
		4	150	7	37.5	
		5	200	6	36.8	
		6	300	5	38.4	
	60.5	7	150	8	49.1	B(局部)
		8	200	5	36.8	
		9	300	4	24.6	
		10	150	7	37.5	
		11	200	6	36.8	
		12	300	5	38.4	
89.1	1	150	8	49.1	B(局部)	
	2	200	7	50.0		
	3	300	6	55.2		
	4	150	7	37.5		
	5	200	6	36.8		
	6	300	5	38.4		

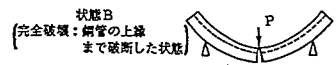


図-3 破壊形態と終局限界の定義 (モルタル充填鋼管)

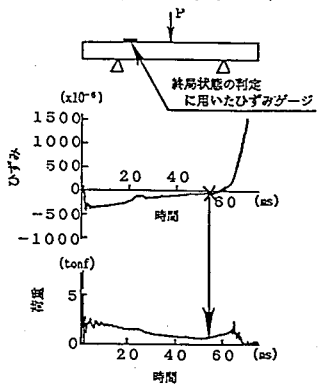


図-5 終局状態の判定の一例 (中空鋼管, φ60.5mm/s, 300kg)

るので、この点を終局状態とし、その時点の変位量を終局変位量とした。

3. 2 荷重～変位関係

測定から得られた荷重～時間関係と変位～時間関係から時間軸を消去して荷重～変位関係を求めた。図-6に一例として鋼管径60.5mm、衝突速度8m/s、重錘重量150kgのモルタル充填および中空（破壊形態B）の荷重～変位関係を示す。収束荷重はモルタル充填4.0ton、中空1.9tonでモルタル充填の効果により約2倍になっている。終局変位量は、モルタル充填9.0cm、中空9.1cmであり、ほぼ同じ値である。

3. 3 終局変位と終局回転角

図-7にモルタル充填鋼管の終局変位と終局限界回転角を示す。終局変位は鋼管下線の変位量を用いた。鋼管径が大きくなると終局変位量が減少することがわかる。φ48.6、φ89.1に比べφ60.5の終局変位量の値が大きい理由は、表-1に示すように鋼材の破断時の伸びがφ48.6は48%、φ60.5は52%、φ89.1は28%であることに起因しているものと思われる。また載荷速度が速くなると終局変位がやや減少する傾向がある。

図-8に中空鋼管の終局変位と終局限界回転角を示す。図中白ヌギは破壊形態（B）であることを示している。破壊形態（A）、破壊形態（B）のそれぞれについて鋼管径が大きくなると終局変位量が減少することがわかる。ここでもφ48.6、φ89.1に比べてφ60.5の終局変位量の値が大きいのは、モルタル充填鋼管と同様、破断時の伸びの違いと考えられる。また、破壊形態（B）の場合は破壊形態（A）の場合に比べて終局変位量がかなり小さくなっていることがわかる。

3. 4 衝撃限界吸収エネルギー

図-9に荷重～変位曲線を終局状態まで積分した衝撃限界吸収エネルギーを示す。モルタル充填鋼管の衝撃限界吸収エネルギーは、載荷速度が大になるとやや減少する傾向があるが、載荷速度の影響は小さく、鋼管径によりφ89.1では約52 ton・cm、φ60.5では約37 ton・cm、φ48.6では約19 ton・cmとなっている。

一方、中空鋼管の衝撃限界吸収エネルギーは、鋼管径によりある載荷速度の場合に大きい値となっているが、その他のケースでは載荷速度によらず、ほぼ一定の値φ89.1では約18 ton・cm、φ60.5では約15 ton・cm、φ48.6では約9

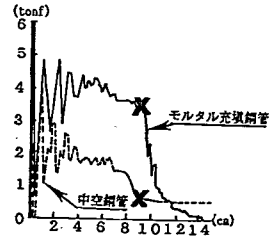


図-6 荷重～変位曲線（モルタル充填の効果）
(φ60.5, 8m/s, 150kg)

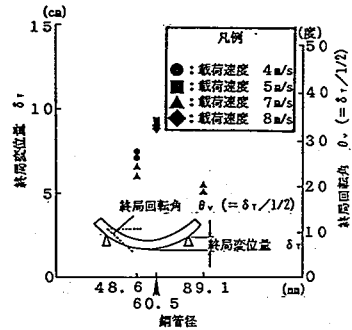


図-7 終局変位と終局限界回転角
(モルタル充填鋼管)

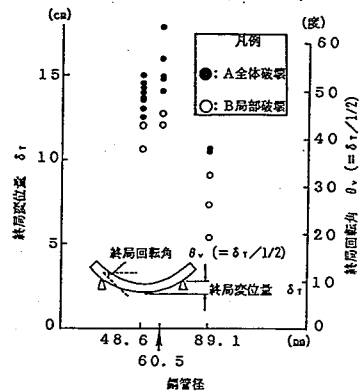


図-8 終局変位と終局限界回転角
(中空鋼管)

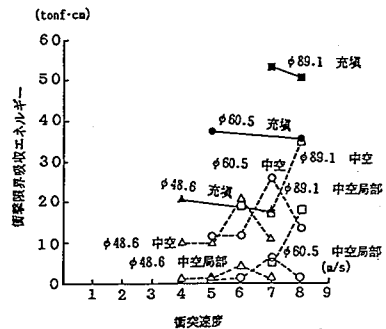


図-9 衝撃限界吸収エネルギー

ton·cmとなっている。中空の場合に衝撃限界吸収エネルギーが大きい値となっているのは、局部破壊形態（B）の場合であり、その他は全体破壊形態（A）である。モルタル充填鋼管と中空鋼管を比較すると、モルタル充填の効果により衝撃限界吸収エネルギーがφ89.1では2.8倍、φ60.5では2.5倍、φ48.6では2.1倍となっており、モルタル充填の効果が非常に大きいことがわかる。

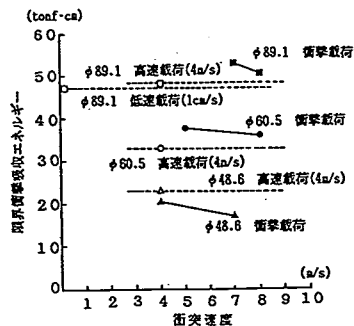


図-10 限界吸収エネルギー（モルタル充填鋼管）
（荷重方法の影響、高速荷、衝撃荷）

図-10にモルタル充填鋼管の場合に対し、落錘

式の衝撃荷装置と高速変形荷装置を用いた場合の荷重方法の相違が限界吸収エネルギーに与える影響を示す。各径について衝突荷（衝突速度4～8m/s）に比べて高速荷（荷重速度約4m/s）での限界吸収エネルギーはほとんど変わらない（やや小さい傾向がある）。これより限界吸収エネルギーの荷重方法による影響はほとんどないと考えられる。ただ、これは破壊形態が同じ場合に限定される。

4. 結論

本研究は、モルタル充填鋼管はり中空鋼管はりを単純支持し、その中央部に衝突荷重を受ける場合の衝撃限界吸収エネルギーについて実験的に考察したものである。本研究の成果を要約すると以下のようになる。

（1）破壊形態は、モルタル充填鋼管の場合荷点の下縁から割れが発生したのに対し、中空鋼管の場合ははり全体のたわみが増大する全体破壊型と、荷点の鋼管断面が押しつぶされる局部変形が顕著になる局部破壊型の2種類に分類されることがわかった。

（2）荷重～変位関係において、一般に収束荷重はモルタル充填の効果により中空鋼管に比し約2倍の大きくなることが認められた。

（3）終局変位または終局限界回転角はモルタル充填および中空鋼管とも鋼管径が大きくなることにより小さくなることが認められた。

（4）衝撃限界吸収エネルギーは、モルタルを充填することにより約2～2.8倍大きくなることがわかった。

（5）限界衝撃吸収エネルギーに与える荷重方法（高速、低速、衝突）による影響はほとんどないことが認められた。

参考文献

- 1) 斎藤英明、石川信隆、大野友則、水山高久： 鋼管片持ばりの衝撃吸収エネルギーに関する基礎的研究，土木学会論文集，第386号I-8，1987年10月，pp321～328
- 2) 斎藤英明、大野友則、石川信隆、水山高久： 局部変形を考慮した鋼管片持ばりの衝撃吸収エネルギーに関する実験的研究，構造工学論文集，Vol.35A（1989年3月），pp1057～1068
- 3) 香月智、星川辰雄、石川信隆、水山高久： 鋼管はりのせん断衝撃実験について，平成元年度砂防学会研究発表会概要集，1989年5月，pp323～326