

I-233

衝撃荷重を受ける鋼管円弧アーチの終局限界実験に関する一考察

防衛大学校土木工学科 正員○石川信隆 学生員 星川辰雄 学生員 伊藤一雄
住友金属工業(株) 正員 飯田 毅

1. 緒言

近年、土石流災害防止施設として鋼製透過式砂防ダムがいくつか考案され実用化されており、その1形態として鋼製アーチ式オープンダムも検討されている。土石流中の巨礫が衝突した際のアーチ型構造物の耐衝撃性について検討するため、先に著者ら¹⁾はアーチの衝撃応答実験を行い、アーチの耐衝撃応答特性についての考察を行った。本研究は、鋼管円弧アーチにさらに大きな落下運動エネルギーを与えた場合の落錘式衝突実験および高速載荷実験を行い、アーチの終局限界について調べようとしたものである。また、鋼管にモルタルを充填した場合の影響についても考察したものである。

2. 実験の概要

2.1 落錘式衝突実験 実験は、落錘式衝突実験装置により重量200kgf(または100kgf)の重錘を載荷治具上に自由落下させた。測定項目は、衝撃荷重、衝突点変位およびひずみで、衝撃荷重は載荷治具下部に貼付したひずみゲージによって、載荷点の変位は光学式変位計によって測定した。

2.2 高速載荷実験 実験は、図-1に示す高速変形負荷装置を用いた。載荷速度すなわち試験体の変形速度は、0~4m/sの範囲で任意に設定することができる。測定項目は、載荷点荷重、載荷点変位およびひずみで、荷重はロードセルで、変位は差動トランス型変位計を用いて測定した。

2.3 試験体 試験体は鋼管を曲率半径559mm, 半中心角47.2°のアーチ型に加工したもので、鋼管にモルタルを充填した場合と中空のままの2種類を作製した。鋼管およびモルタルの諸元を表-1に示す。

3. 実験結果および考察

3.1 落錘式衝突実験 (1)荷重~変位関係 図-2は、 $W=200\text{kgf}$, $V=4.5\text{m/s}$ のときの中空およびモルタル充填の場合の荷重~変位曲線で、モルタルを充填することにより耐力は大きくなることが認められる。

(2)破壊形態 先に行った衝撃応答実験¹⁾の範囲では、アーチは図-3の(a)~(d)のように逐次塑性ヒンジが発生していき、破壊に至っていくことが認められた。本研究では、さらに大きな運動エネルギーを与えたので、モルタル充填の有無により最終破壊形態が図-3(e)の(i), (ii)のように異なることが認められた。すなわち、中空の場合は載荷部の局部的変形が可能であるので、図-3(e)の(i)のように固定端が破壊したが、モルタル充填の場合では局部的変形が拘束されるため図-4(e)の(ii)のように載荷部が破壊した。図-4は中空鋼管に $W=200\text{kgf}$, $V=4.65\text{m/s}$ で衝突した場合のアーチのひずみ~時間曲線である。中空鋼管の他の実験ケースおよびモルタル充填鋼管の場合もほぼ同様な結果が得られている。図-4より、衝突後中央点、引き続いて1/4点のひずみが増加していくことが認められる。これに対し、支点のひずみは鋼管が降伏する程度($\varepsilon \approx 2000\mu$)まで鋼管下面に引張が働くように増加していくが、ひずみが0となった点から鋼管下面に圧縮が働くように急激にひずみが増加していくことが認められる。このひずみが0となった点が図-3

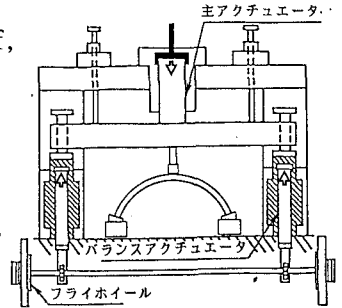


図-1 高速変形負荷装置

表-1 鋼管・モルタルの諸元

材 質	規格	STK 41	
		σ _t (mm)	t (mm)
鋼 管	降伏応力 (kgf/cm ²)	407.0	
	引張強度 (kgf/cm ²)	452.0	
	伸 び (%)	28.0	
	断 面 積 (cm ²)	1.510	
	単位重量 (kgf/m)	1.19	
	水セメント比	0.60	
モ ル タ ル	水 (kgf/m ³)	710	
	細骨材 (kgf/m ³)	426	
	圧縮強度 (kgf/cm ²)	106.5	
備 考		34.7	早強セメント使用

(d)の5点塑性ヒンジ型の破壊形態に対応しており、この状態からさらに衝突点の変位が進むとアーチとしての構造形態の特性を有しなくなるので、この点を終局限界と定義した。よって、この点が図-2の荷重~変位曲線において○印で示す変曲点となるので、この点までの面積を限界吸収エネルギーと定義した。

(3) 限界吸収エネルギー～衝突速度関係

図-5は、重錘重量 $W=200\text{kgf}$ における限界吸収エネルギー～衝突速度関係を、それぞれ中空およびモルタル充填の場合について示したものである。図-5より、衝突速度の大小によらず限界吸収エネルギーはほぼ一致した値を示すことが認められ、中空の場合の限界吸収エネルギーは、 $U_u=12.0\sim 16.0\text{tonf}\cdot\text{cm}$ 、モルタル充填の場合は、 $U_u=14.0\sim 18.0\text{tonf}\cdot\text{cm}$ である。

すなわち、モルタルを充填することで、約15%（ $V=4.5\text{m/s}$ におけるモルタル充填の影響）程度の限界吸収エネルギー量の上昇が認められる。

3.2 高速載荷実験 (1) 荷重～変位関係 図-6は充填鋼管に $V=4.0\text{m/s}$ で高速載荷した場合と、落錘式衝突実験において $W=200\text{kgf}$ を $V=5.5\text{m/s}$ および 4.5m/s で衝突させた場合の荷重～変位曲線を比較して図示したものである。図-6において衝突直後の変位速度は、 $V=5.5\text{m/s}$ の場合は 4.6m/s 、 $V=4.5\text{m/s}$ の場合は 3.5m/s であった。よって、図-6より、載荷（衝突）直後の荷重は変位速度の大きな順に大きな値を示すことが認められる。しかし、約4cm以上変位すると、荷重値が逆転している。これは、高速載荷実験では応答が終了するまで変位速度が一定であるのに対し、衝突実験では変位速度が小さくなっていくため、ひずみ速度効果による降伏点の上昇率が逐次低下する。よって、応答が進むにつれ、高速載荷実験による荷重の方が衝突実験より大きくなったものと考えられる。

(2) 限界吸収エネルギー 高速載荷実験から得られた荷重～変位曲線において、終局限界変位までの面積を限界吸収エネルギーと定義して算定した。その結果、中空鋼管では $U_u=13.5\sim 14.5\text{tonf}\cdot\text{cm}$ 、充填鋼管では $U_u=17.0\sim 19.5\text{tonf}\cdot\text{cm}$ であり、落錘式衝突実験による結果よりもやや大きな値であるが、ほぼ等しい値を示すことが認められた。

4. 結言

本研究から得られた成果を要約すると、以下のようになる。

- ① アーチが完全破壊した際の破壊形態は、モルタル充填の有無により異なり、モルタル充填の場合は載荷点が、また中空の場合は固定端が破壊した。
- ② アーチの終局限界は、5点塑性ヒンジ型の塑性崩壊と完全破壊型の破壊限界とに分けられるが、統一的な終局限界を定義するためには、前者の5点塑性ヒンジ型を終局限界とすることが望ましい。これは、固定端のひずみが引張から圧縮に変化した点に対応している。
- ③ モルタル充填鋼管は、中空鋼管より、約15%限界吸収エネルギーが大きい。
- ④ 高速載荷実験による限界吸収エネルギーは、衝突実験による値よりもやや大きくなるが、ほぼ一致することが認められた。

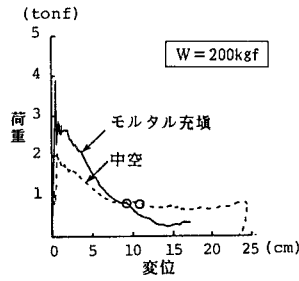


図-2 荷重～変位曲線

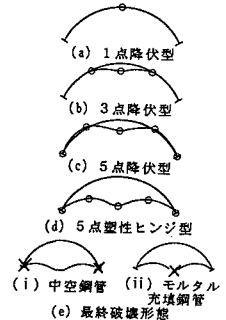


図-3 破壊形態

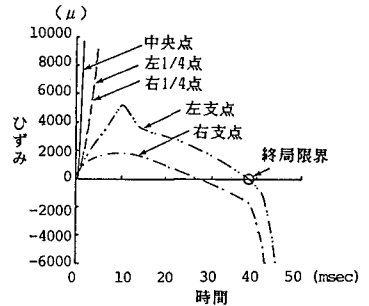


図-4 ひずみ～時間曲線

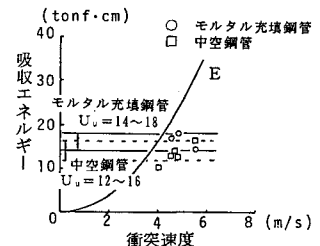


図-5 限界吸収エネルギー～衝突速度関係（ $W=200\text{kgf}$ の場合）

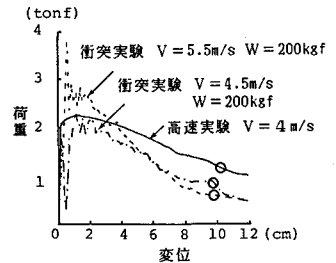


図-6 荷重～変位曲線（高速実験と衝突実験との比較：モルタル充填鋼管）