

79 鋼管固定はりの衝撃実験について

防衛大学校土木工学科

○星川 辰雄

同 上

石川 信隆

(財)砂防・地すべり技術センター

阿部 宗平

京都大学農学部

水山 高久

1 緒言

近年、鋼製スリットダムにおいて鋼管部材が多く用いられているが、土石流中の巨礫が衝突した際は、その運動エネルギーを局部変形と全体変形による吸収エネルギーで受けとめることが合理的である。そのため著者ら^{1)・2)}は、中空鋼管単純ばりを対象に局部と全体とのエネルギー吸収分担割合や終局限界について検討を行ってきた。しかし、大きな塑性変形のため、単純ばりの支点付近に大きな滑りを生じ、終局限界について明確な判断をすることができなかった。そこで本研究では、実際に用いられる鋼管部材の両端が剛結されていることを考慮して、鋼管固定はりに対する高速載荷実験および落錘式衝突実験を行い、その終局限界について検討するとともに、エネルギーの吸収メカニズム、すなわち、局部めり込み変形と全体のはり変形によるエネルギー吸収分担率について実験的に検討を行ったものである。

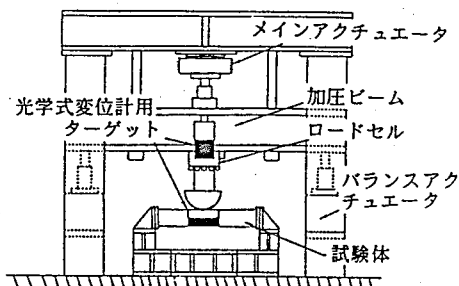


図-1 高速変形負荷装置

2 実験の概要

2.1 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。この装置の目的は、一定の高速変形速度 ($0 \sim 4 \text{ m/s}$) で部材を破壊させることができるため、部材の限界性能すなわち限界吸収エネルギーを求めることである。測定項目は、載荷点荷重、載荷点変位および載荷部鋼管の等断面軸の変位で、荷重は載荷体下部に取り付けられたロードセルにより測定した。また載荷点変位および等断面軸変位(図-2のように、上部と下部の鋼管断面積が等しくなる軸)は光学式変位計を用いて測定した。

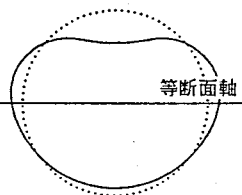


図-2 等断面軸

2.2 落錘式衝突実験

実験は図-3に示すように重錘を試験体にガイドを通じて自由落下させて衝撃を与えるようにした。測定項目は、載荷点荷重、載荷点変位および載荷部鋼管の等断面軸の変位で、載荷点荷重は重錘に取り付けられた加速度計の値に重錘重量を乗じて算定した。また載荷点変位は、加速度計の値を2回積分して算定し、等断面軸変位は光学式変位計により測定した。

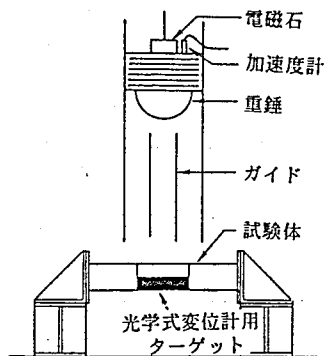


図-3 落錘式衝突実験装置

2. 3 試験体

試験体は、STK41の鋼管（鋼管径114.3mm、肉厚3.5mm、スパン長582mm）の両端に鋼板を溶接したものを用いた。鋼板を固定台にボルト締めすることにより固定はりとした。鋼管の諸元は、表-1の通りである。

2. 4 実験ケース

高速載荷実験においては、載荷速度が4 m/sと1 m/sの2ケースについて実験を行った。載荷体は落錘式衝突実験と条件を等しくするため、R=11cmの球体のものを用いた。

落錘式衝突実験においては、実際の構造物に巨礫が衝突する現象に対して相似則を考慮して実験を行った。すなわち、江守ら³⁾の提案する現象を支配する物理法則に着目して相似則を用い、ここでは支配的物理法則を応力による力、重力、慣性力と仮定して実験の条件を定めた。すなわち長さに関する相似比を s とすると、重さ、速度、時間に関する相似比はそれぞれ s^2 、 $\sqrt{s}$ 、 $\sqrt{s}$ となる。本実験においては $s=5.25$ として、実際の構造物への巨礫の衝突との関係をまとめると表-2のようになる。また、実験は重錘の条件を一定にし、試験体が破壊するまで繰り返し載荷した。

3 実験結果および考察

3. 1 荷重～変位関係

中空鋼管はりに載荷をした場合、はり全体として変位するとともに局部めり込みが発生する。このはり変位と局部めり込みの和を全変位と定義する。すなわち、全変位は載荷点変位により表され、また、はり変位はN. Jonesらの研究⁴⁾と同様に等断面軸の変位により表されるものとする。よって、局部めり込みは載荷点変位と等断面軸の変位の差によって求められる。

高速載荷実験から得られた荷重～全変位関係および荷重～局部めり込み関係をそれぞれ図-4および図-5に示す。あわせて静的実験結果についても付記する。図-4、5より、一般に載荷速度が増すに従い、ひずみ速度効果により荷重が大きくなることが認められる。しかし、4 m/sと1 m/sのケースについては最大荷重付近で荷重が逆転しているが、これは4 m/sの場合は固定端土台に若干の滑りが生じたためと考えられる。

表-1 試験体の諸元

材 質	STK 4 1
鋼管径 (mm)	ϕ 1 1 4 . 3
肉厚 (mm)	t 3 . 5
降伏応力 (kgf/cm ²)	3 8 0 0
引張強さ (kgf/cm ²)	4 2 4 0
伸び (%)	3 0 . 0
断面積 (cm ²)	1 2 . 1 8

表-2 実現象とモデルの比較

	モ デ ル	実 際
鋼管径 (cm)	1 1 . 4 3	6 0 . 0
肉 厚 (cm)	0 . 3 5	1 . 8 4
スパン長 (cm)	5 8 . 2	3 0 6
巨礫直径 (cm)	2 2	1 1 6
巨礫重量 (kgf)	3 8 6	1 0 6 4 0
衝突速度 (m/s)	4 . 4	1 0 . 0

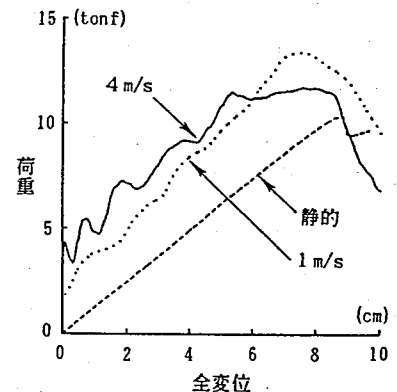


図-4 荷重～全変位関係
(高速載荷実験)

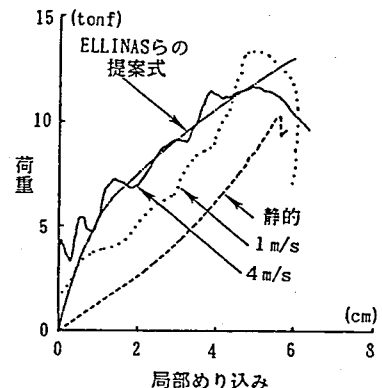


図-5 荷重～局部めり込み関係
(高速載荷実験)

さて、Ellinasら⁵⁾は、荷重と局部めり込みの関係を次式で提案している。

$$P = \frac{1}{4} K \sigma_y t^2 \left(\frac{\delta_d}{D} \right)^{0.5} \quad (1)$$

ただし、 P ：荷重、 K ：実験定数（150）、 σ_y ：鋼管の降伏応力、 D 、 t ：鋼管径および肉厚、 δ_d ：めり込み量。図-4に式(1)を用いて計算した結果を示すが、定性的にはよく局部めり込みの状況を示しているものの、若干大きめの値を示している。これは載荷体の形状が実験では球状であるのに対し、式(1)ではくさび型を対象としているためと考えられる。また著者ら²⁾の別に行った実験からも載荷体の形状により荷重～局部めり込み量関係に差異が生じており、球状載荷体で載荷した場合の局部めり込みの形状について今後検討する必要があると考えられる。

図-6は、落錘式衝突実験によって得られた荷重～時間曲線、変位～時間曲線から時間軸を消去して得られた変位～時間曲線を落下回数別に示したものである。図より落下回数が増すに従い全変位は減少し、また荷重が増大することが認められる。また図-7は落錘式衝突実験から得られた荷重～局部めり込み関係を示したもので、図より、落下回数が増すに従い局部めり込みの発生量は減少していくことが認められる。すなわち、変形が進むに従い、応答は局部的なめり込みからはり全体への変形へと移っていることが確認される。しかし、はり全体変形が進みつつも引き続き局部めり込みは発生し続けていることも認められる。

また図-8は、落錘式衝突実験から得られた荷重～変位関係において、変位を当初の状態から加算して示したもので、図より荷重～包絡変位量関係は高速載荷実験から得られた荷重～変位関係と同様な傾向を示すことが認められる。しかし、2回目および3回目の衝突で若干荷重が大きな値を示しているが、これは衝突点が1回目の衝突位置とずれが生じ、衝突点付近の剛性に差異が生じたためと考えられる。

3.2 破壊形態

N. Jonesらの研究⁴⁾において、先端が鋭利な物体を鋼管固定はりに衝突させた場合には、固定端付近の鋼管内側のせん断滑り、支点部鋼管の延性破壊、衝突点のせん断滑り、そして支点部付近の鋼管下面の座屈等の破壊形態を示すことが報告されている。しかし本実験においては、高速載荷実験および落錘式衝突実験ともに、写真-1に示すように衝突点における大きな局部めり込みの発生と、固定端の溶接止端部における引張による亀裂の発生が認められた。すな

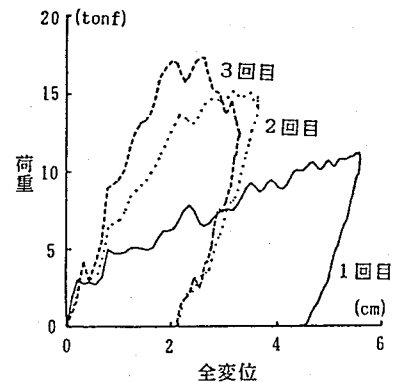


図-6 荷重～全変位関係
(落錘式衝突実験)

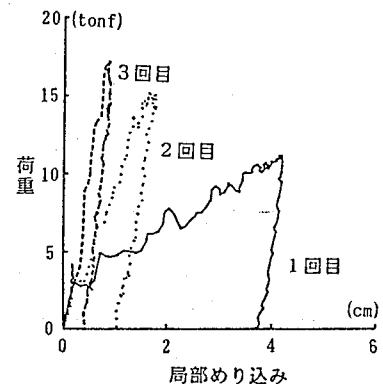


図-7 荷重～局部めり込み関係
(落錘式衝突実験)

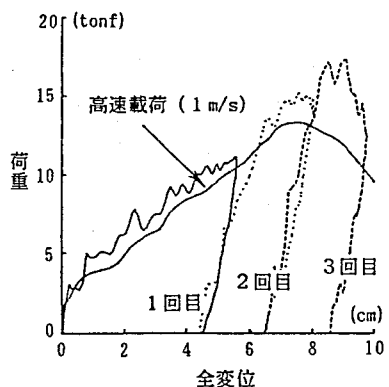


図-8 荷重～全変位関係
(落錘式衝突実験)

わち、鋼管固定はりの破壊は固定端（溶接止端部）の亀裂の発生により生じると考えられ、鋼管固定はりの終局限界は、固定端における亀裂の発生時として定義してよいと考えられる。

3. 3 限界吸収エネルギー

前項で述べたように、鋼管固定はりの終局限界を溶接止端部に亀裂が発生した時点と定義し、図-4あるいは図-8の荷重～変位関係において、終局限界に達するまでの面積を限界吸収エネルギーと定義して算定した。算定した結果を表-3に示す。表より、落錐式衝突実験においては荷重を若干大きめに評価しているため、限界吸収エネルギーも大きめの値を示しているが、概ね本試験体の限界吸収エネルギーは静的では48tonf・cm、衝突では68tonf・cm程度を示すことが認められる。また局部めり込みとはり変形によるエ

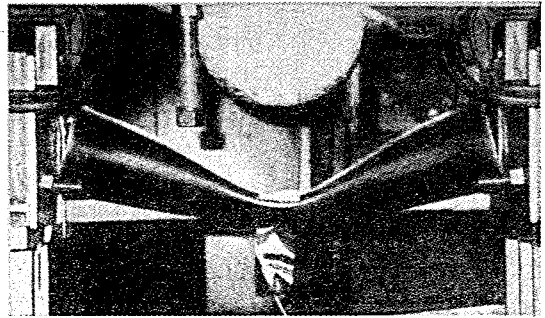


写真-1 鋼管固定はりの破壊形態
(高速载荷実験)

表-3 限界吸収エネルギー

	静 的	高 速		衝 突	
		4.0m/s	1.0m/s	1 本目	2 本目
全変位 (cm)	8.9	8.3	8.0	8.5	9.0
はり変位 (cm)	5.7	3.1	2.7	3.0	3.7
局部めり込み (cm)	3.2	5.2	5.3	5.5	5.3
全吸収エネルギー (tonf・cm)	47.5	73.1	64.5	81.5	93.9
局部吸収エネルギー (tonf・cm)	24.8 (52%)	43.3 (59%)	37.5 (58%)	42.6 (52%)	50.6 (54%)
はり変形吸収エネルギー (tonf・cm)	22.8 (48%)	29.9 (41%)	27.0 (42%)	38.9 (48%)	43.3 (46%)

ネルギー吸収分担率は载荷の方法によらずそれぞれ約55%、約45%となることが認められた。しかし、この分担率は鋼管径、肉厚および载荷体の形状により異なることが予測される。

4 結 論

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) 静的载荷に比べ、衝突の場合は荷重は大きな値を示すものの、変形能が小さくなることが認められた。
- (2) 本実験においては、鋼管固定はりは溶接止端部に亀裂が発生して破壊した。よって巨礫を球体と仮定した場合は、鋼管固定はりの終局限界は固定端の亀裂破壊により定義できると考えられる。
- (3) 本実験においては静的载荷と衝突载荷において破壊形態の相違は認められなかった。よって本実験はひずみ速度効果による耐力向上と変形能の低下を考慮した準静的手法により解析できると考えられる。この手法については今後検討する予定である。

参考文献

- 1) 伊藤一雄、石川信隆、川嶋幾夫、鈴木宏；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実験的考察、構造工学論文集、Vol.37A、pp.1581～1589、1991年3月
- 2) 松木昭彦、星川辰雄、石川信隆；局部めり込みを考慮した鋼管はりの限界変形性能について、第20回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集、pp.56～57、平成5年3月
- 3) 江守一郎；模型実験の理論と応用、技報堂出版
- 4) N. Jones, S E Birch, R S Birch, L Zhu and M Brown；An experimental study on the lateral impact of fully clamped mild steel pipes, Journal of Process Mechanical Engineering, Vol 206, PP.111～127, 1992
- 5) Charles P. Elinas and Alastair C. Walker；Damage on Tubular Bracing Member, IABSE, Colloquium Copenhagen, Vol.42, 1983