

衝撃実験に用いる試験体寸法と相似則の適用

防衛大学校土木工学科 学生員 ○酒巻 勝
同 上 同 上 伊藤 康人
同 上 正 員 大野 友則

1. 緒言 構造物あるいは構造物材の耐衝撃性及び衝撃応答特性を調べるためには、実物実験¹⁾、数値実験、模型実験などの方法があるが、このうち模型実験は実規模の構造物を縮尺した模型を用いて実験を行い、得られたデータに基づいて実物の挙動を推定する方法である。従って縮尺にあたっては、実物の挙動を支配する物理法則に従って相似性を満足させなければならない。本研究は、模型試験体を用いて衝撃実験を行う上で要求される相似性とその適用性について、検討することを目的とする。まず原型（実物）と相似模型（試験体）の間に成り立つと考えられる2種類の相似則を導き、その法則に基づいて製作した試験体を用いた実験を行い、その適用性を検討したものである。

2. 模型実験の相似則に関する検討

相似則を導くにあたり、以下2通りの導き方により相似則を導いた。それぞれの場合の相似則を、表-1にまとめて示す。

(1) 速度に関して原型と模型で相似比1をとる場合：この相似則は衝撃現象において最も支配的なパラメータである載荷速度に関しては、原型と模型で同一の値としている。これは、衝撃実験において一般的に用いられているものであり、本相似則の妥当性・適用性の検証を目的とした衝撃実験が海外において既にいくつか実施され、その妥当性・適用性がある程度検証されている。

(2) 速度に関して原型と模型で相似比 $S^{1/2}$ をとる場合：この相似則は地球上における重力加速度 g が一定であるという物理法則を重視するものである²⁾。その結果、載荷速度に関しては原型と模型で相似比 $S^{1/2}$ となる。

3. 実験の概要 実験は、落錘式衝撃実験装置を用いた。この装置は、重量約10kgfの鋼板を重ねて任意の重量にした重錘を電磁石で所定の高さまでつり上げ、電源を切ることによって自由落下させ、試験体に対して

表-1 2つの相似関係

パラメーター	次元	相似比	
		速度の相似比=1	速度の相似比= $S^{1/2}$
長さ	L	S	
重量	W	S^2	
時間	T	S	$S^{1/2}$
密度	WL^{-3}	$(S^{-1}) \rightarrow 1$	
ひずみ	—	1	
応力	WL^{-2}	1	
速度	LT^{-1}	1	$S^{1/2}$
加速度	LT^{-2}	S^{-1}	1
力	W	S^2	
エネルギー	WL	S^3	

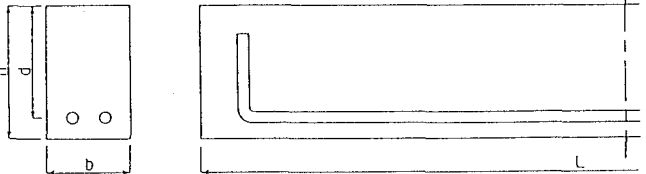


図-1 試験体の概要

表-2 試験体の寸法・諸元

試験体の タイプ	相似比	試験体寸法 (mm)			主鉄筋			有効高さ d (mm)	鉄筋比
		b	h	L	使用鉄筋	公称直径 (mm)	断面積 (cm^2)		
S	1	50	80	500	D6	6.35	0.633	66.7	0.0190
M	2	100	160	1000	D13	12.7	2.53	133.3	0.0190
L	3	150	240	1500	D19	19.1	5.73	200.0	0.0191

衝突させる装置である。重錘は、実験装置に設けられたガイドレールにより試験体の中央に落下する仕組みである。

（１）試験体の形状・寸法：本実験で使用した試験体は、寸法（幅、高さ、長さ）が相似関係にある３種類の鉄筋モルタルはりで、その幾何学的相似関係は $1:2/3:1/3$ である。一番大きな試験体からそれぞれ $L \cdot M \cdot S$ 試験体と名付ける。試験体の概要及び寸法・諸元を図－１及び表－２に示す。

（２）計測：本実験においては、はりの支間中央部にレーザー式変位計（応答周波数：1kHz）を設置し、変位を測定した。また、重錘及びはりの加速度、はり下端のひずみも測定している。計測のサンプリング間隔は $10\mu\text{s}$ とした。

（３）実験の条件：実験は、相似則に基づいて、重錘の重量及び衝突速度を変えて行った。実験の条件を表－３に示す。

４．実験結果及び考察 （１）破損状況：はじめに「速度の相似比 $=S^{1/2}$ 」とする場合においては、 $S \cdot M \cdot L$ いずれの試験体

もすべて載荷点を中心に曲げせん断ひびわれが生じた後折損した。折れた側の引張鉄筋はどの試験体も同じ程度に露出しており、これらの破損状況は類似している。一方、「速度の相似比 $=1$ 」とする場合は、 $S \cdot M \cdot L$ と試験体の相似比が大きくなるに従って、破損の程度は小さくなる傾向にある。従って「速度の相似比 $=1$ 」の場合より「速度の相似比 $=S^{1/2}$ 」の場合の方が破損状況において相似性があると言える。

（２）変位：まず、最大変位について検討する。 $S \cdot M \cdot L$ 各試験体に生じた最大変位を相似比との関係で図－２に示す。また、図中の実線は L 試験体を基準とした場合に、相似則に基づいて各相似模型に生ずべき変位の値を示す。図－２において「速度の相似比 $=S^{1/2}$ 」とする相似則の場合の方が「速度の相似比 $=1$ 」の場合より全般的にほぼ相似則に基づく理論値に近い。

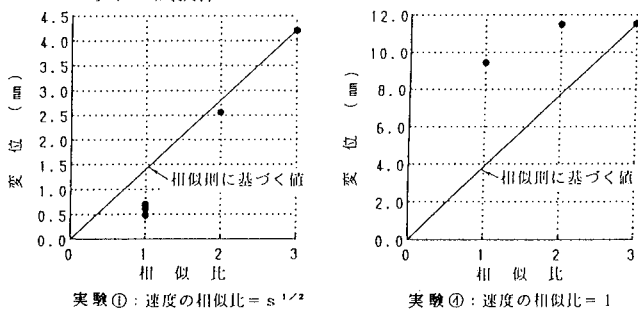
次に、ひずみ最大時の変位について検討する。図－３に示すように、この場合も「速度の相似比 $=S^{1/2}$ 」とする相似則の場合の方が「速度の相似比 $=1$ 」の場合より全般的にほぼ理論値に近い。よって、変位については検討を行った２項目すべての場合において、「速度の相似比 $=S^{1/2}$ 」という相似則に従うと言える。

５．結言 本研究の結果、本実験の条件では模型実験の適用性については、「速度の相似比 $=S^{1/2}$ 」とする相似則を用いた方が適用性が高いことがわかった。

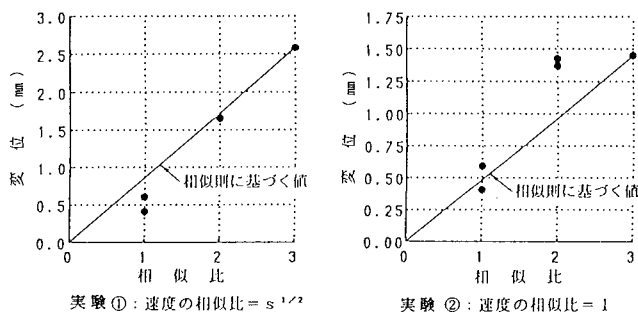
参考文献 1)Muto, K. et al: Experimental Studies on Local Damage of Reinforced Concrete Structures by the Impact of Deformable Missiles (Part 3 Full-Scale Tests), Transaction of 10th Conference on SMiRT, Vol. J, 1989 2)江守一郎：模型実験の理論と応用 第２版 技報堂出版

表－３ 実験の条件

実験 番号	試験体区分			相似関係	
	S	M	L		
①	30	120	270	S^2	重量 $W(\text{kgf})$
	0.99	1.40	1.71	$S^{1/2}$	速度 $v(\text{m/s})$
②	30	120	270	S^2	重量 $W(\text{kgf})$
	0.99	0.99	0.99	1	速度 $v(\text{m/s})$
③	30	120	270	S^2	重量 $W(\text{kgf})$
	2.42	3.43	4.20	$S^{1/2}$	速度 $v(\text{m/s})$
④	30	120	270	S^2	重量 $W(\text{kgf})$
	2.42	2.42	2.42	1	速度 $v(\text{m/s})$
⑤	55	124		S^2	重量 $W(\text{kgf})$
	1.40	1.71		$S^{1/2}$	速度 $v(\text{m/s})$



図－２ 最大変位の関係



図－３ ひずみ最大時における変位の関係