

第 部門

緩衝構造を有する弾性梁に衝撃荷重が作用した場合の力学的挙動に関する実験的研究

大阪市立大学工学部 学生員 坂田孝介
 大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 北田俊行
 大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 山口隆司
 大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 松村政秀

1. 研究背景および目的

衝撃荷重を受ける材料や構造物の動的挙動や強度についての関心は古くからあり¹⁾、土木分野においても緩衝型落橋防止システム、ロックシェッドなどの耐衝撃設計を対象とした研究²⁾が行われている。衝撃力などを算定する際に、現在では有限要素法を用いた衝撃応答解析が行われるが、本研究室には、まず簡易な梁モデルでの実験を行い、エネルギー法¹⁾を用いて衝撃の現象を考察し、その挙動の定性的な評価を試みることを目的とする。

2. 鋼球の梁への衝突試験

2.1 実験内容

緩衝構造を持つ梁の衝突挙動を評価するために、衝撃荷重を受ける梁の最大たわみ、衝突速度、および緩衝材のエネルギー吸収効果に着目する。そのために両端固定支持の梁の中央に鋼球を衝突させる簡易な衝突実験を行う。緩衝構造を有する梁についても同様の試験を行う。

2.2 実験装置の開発

本研究を行うに当たって図-1 に示すような実験装置³⁾を製作した。試験梁は質量の十分大きい治具に押さえ板を介して万力により固定している。また、支点Oに長さ $l=500\text{mm}$ の糸を固定し、糸の他端に質量 m の鋼球を取り付け、電磁石により鋼球を保持する。実験時には、磁力を解除することにより、鋼球は静止状態から滑らかに円弧を描いて落下し試験梁の中央に衝突するようにした。

2.3 実験方法と試験梁概要

実験ケースの内訳を表-2 に示す。計測はレーザ変位計を用いてサンプリング周期 $100\ \mu\text{s}$ で測定した。鋼球のエネルギー損失は、ビデオカメラで撮影した映像から算出した。緩衝構造を有する場合も同じ要領で実験を行った。緩衝材の接着位置図は図-2 に、試験梁の材料特性は表-1 に、そして試験梁の寸法は図-3 に示すとおりである。試験梁にはアルミ材、鋼球はSS400 から切り出したもの、緩衝材は市販のスポンジ製板を用いた。

3. 実験結果

本実験の結果を以下の図-4 および 5 に示す。図-4 より、衝突速度が増すほど最大たわみは線形的に増加することが分かった。また図-5 より、衝突緩衝材のエネルギー吸収率は板厚に依存することが分かった。エネルギー吸収率 R とは、最初に鋼球が持っていたエネルギー $E_{位}$ と衝突時に試験梁によって吸収されたエネルギー E との比で、式(1)で定義した。



写真-1 実験装置

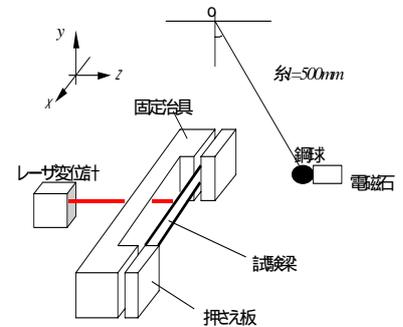
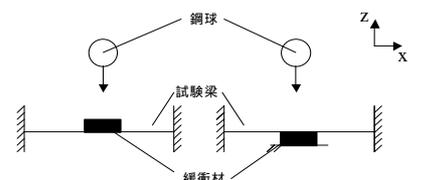
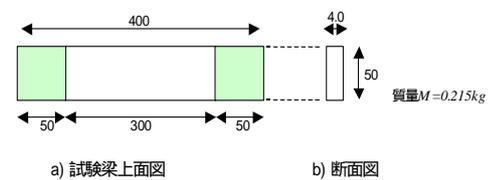


図-1 実験装置の概略



(a) 緩衝材(表) (b) 緩衝材(裏)

図-2 緩衝材の設置方法



a) 試験梁上面図

b) 断面図

(両端50mmは固定部分)

図-3 試験梁寸法(単位:mm)

表-1 梁の材料定数

ヤング係数 (N/mm ²)	6.61 × 10 ⁴
密度 (kg/mm ³)	2.68 × 10 ⁻⁶
曲げ剛性(N・mm ²)	1.76 × 10 ⁷

$$R = \frac{\Delta E}{E_{位}} \quad (1)$$

4. 衝撃を受ける梁の中央の最大たわみの評価式

4.1 緩衝材なしの場合¹⁾

緩衝材なしの場合の最大たわみの評価式をエネルギー法の観点から誘導し(式(2))、その妥当性を調べるため、理論値と実験値の比較を行った。図-6より実験値が10%以内の誤差で評価できることがわかる。

$$\delta = (ml^3 / 192EI)^{1/2} v \quad (2)$$

この時、 δ は梁の中央の最大たわみ、 m は鋼球質量、 v は速度、 EI は曲げ剛性、 l は梁の長さである。

4.2 緩衝材を考慮にいれる場合

パラメータを速度 v 、板厚 t 、鋼球の質量 m 、緩衝材の接触面の面積 A として、緩衝材の位置(表と裏)別に、吸収エネルギーの評価式を導き、比較検討を行った。それらの結果を図-7 および 8 に示す。なお式(3)、(5)中の α_1 、 α_2 は実験結果から最小二乗法により求めた係数である。

a) 緩衝材(表)の場合

$$\Delta E = \alpha_1 m v^2 A_1 t (1 + \beta_1 (\frac{t}{20}) + \gamma_1 (\frac{t}{20})^2) \quad (3)$$

$$\alpha_1 = 1.3086E-06, \beta_1 = 1.3101, \gamma_1 = 1.2621 \quad (4)$$

b) 緩衝材(裏)の場合

$$\Delta E = \alpha_2 m v^2 t A_2 \quad (5)$$

$$\alpha_2 = 4.3314E-06 \quad (6)$$

a)および b)は、いずれの場合も吸収エネルギーの評価が誤差30%以下にあり、本評価法により最大たわみを推定するには動的たわみの測定精度など、さらなる検討が必要であると考えられる。

5. まとめと今後の課題

- 1) 衝撃を受ける梁の最大たわみは緩衝材なしの場合は誤差10%程度で評価できることがわかった。
- 2) 緩衝材の設置位置は表と裏では裏に設置した方が効果的であることがわかった。
- 3) 今後は、緩衝材の弾性係数や衝突断面の状況を考慮できるよう

解析などを行って衝撃を受けた時の緩衝材および緩衝材を有する梁の挙動を明らかにすることが必要であることがわかった。

参考文献 1)土木学会：構造物の衝撃挙動と設計法、1993.1. 2)土木学会関西支部：緩衝型落橋防止システムに関する調査研究、2001.7. 3)松井賢治、吉田隆明、坂田敏行：鋼球の衝撃による両端固定梁の動的応答、日本機械学会論文集(C編)、59巻、565号 pp.2657-2662、1993.9.

表-2 実験ケースの内訳

ケース	緩衝材	衝突速度	ケース	緩衝材	衝突速度
ケース1	なし	0.7、	ケース6	(裏)2mm	0.7、1.21、 1.4、1.57、 1.85m/s
ケース2	(表)2mm	1.21、	ケース7	(裏)6mm	
ケース3	(表)6mm	1.4、	ケース8	(裏)10mm	
ケース4	(表)10mm	1.57、	ケース9	(裏)12mm	
ケース5	(表)12mm	1.85 m/s			

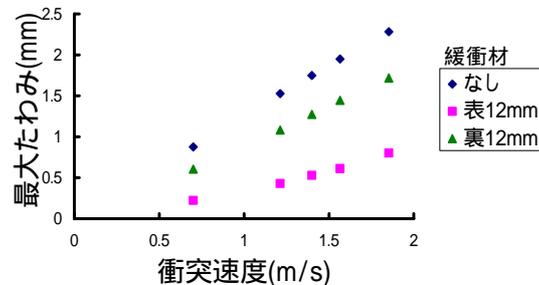


図-4 衝突速度と最大たわみ

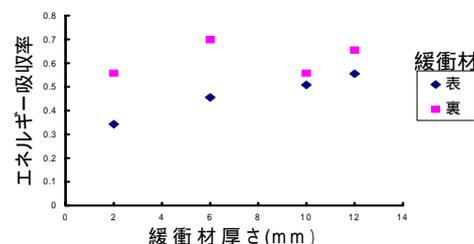


図-5 緩衝材厚さとエネルギー吸収率

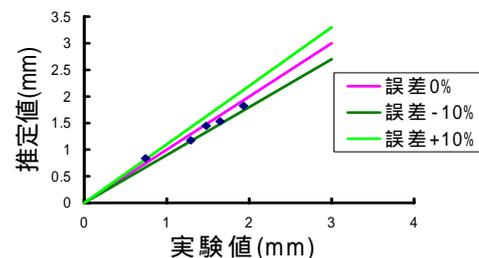


図-6 実験値と推定値の比較(緩衝材なし)

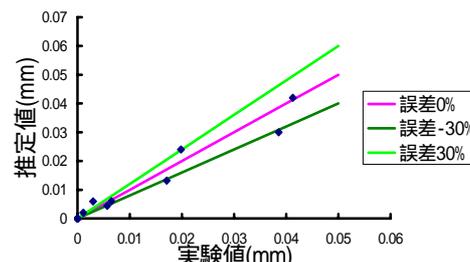


図-7 実験値と推定値の比較(緩衝材表)

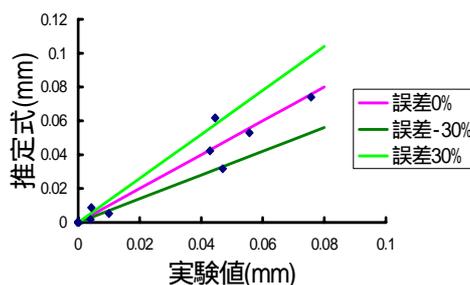


図-8 実験値と推定値の比較(緩衝材裏)