

桁間衝突を想定したゴム製緩衝材の最大衝撃力の推定式の作成

九州大学 学生員 坂口和弘
九州大学 正会員 梶田幸秀
九州大学 フェロー 大塚久哲

1. はじめに

現在の道路橋示方書では、落橋防止構造には衝撃的な力が作用するため緩衝材を設置することが推奨されている¹⁾。また、桁間衝突から桁端部を守る際にも緩衝材の設置が有効な手段と考えられる。衝撃的な力の最大値は衝突速度に大きく依存するため、筆者らは桁間衝突時に作用する衝撃的な力の最大値を推定することを目的とした鋼角柱の衝突実験を行った²⁾。本論文では、その実験結果を基に実験値の回帰式の作成を試みたものである。

2. 鋼角柱の衝突実験

2.1 衝突実験の概略

衝突実験の詳細な概要については、文献2)を参照していただきたい。ここでは簡単な概略だけを示すことにする。実験は2つの鋼材の一方に初速度を与え、もう一つの鋼材に衝突させるという形式で行った。初速度を与えた鋼材を衝突鋼材、もう一方の鋼材を被衝突鋼材と呼ぶ。2つの鋼材の質量は表1に示すとおりである。計測項目は、衝突前後の鋼材の速度と衝突面に設置したロードセルによる衝突荷重である。衝突鋼材に与えた初速度(設定速度)は0.2、0.4、0.5、0.6、0.7、0.8、1.0m/secの7種類、衝突面に取り付けた緩衝材は硬度50の天然ゴムであり、衝突面は20mm×20mmの正方形、厚さを3.5mm、6mm、8mm、10mmの4種類に変化させた。但し、鋼材質量をパラメータとしたCase2~Case6では、設定速度については0.4、0.7、1.0m/secの3種類で行った。

2.2 実験結果

図1に緩衝材厚さ10mm、鋼材質量がCase1の場合の衝突速度と最大衝撃力の関係を示す。なお、図1に示した衝突鋼材の衝突速度は設定速度ではなく、実際に計測された速度であり、今後、「衝突速度」と記載した場合は、計測速度を指すものとする。図1より最大衝撃力は明らかに衝突速度に依存していることがわかる。続いて、表2に緩衝材厚さが10mmで鋼材質量を変えた場合の最大衝撃力の比を示す。この表は、鋼材質量がCase2のときを基準として最大衝撃力が何倍になったかを示したものである。表より、最大衝撃力の比と鋼材の換算質量の比がほぼ近いことがわかる。またCase4とCase6を比較してわかるとおり、鋼材質量を入れかえても最大衝撃力の大きさは同じであることがわかる。

3. 実験結果の回帰式の作成

3.1 Hertzの接触理論

ロックシェッドや砂防ダムの衝突荷重の算定式はHertzの接触理論により求められた式を基に作られている。Hertzの接触理論式は下式のように表される。

表-1 実験ケース

	衝突鋼材質量(kg)	被衝突鋼材質量(kg)	備考
Case1	300	300	鋼材の基本形状
Case2	250	250	
Case3	250	375	被衝突鋼材質量をCase2の1.5倍
Case4	250	500	被衝突鋼材質量をCase2の2倍
Case5	500	500	2つの鋼材ともCase2の2倍
Case6	500	250	Case4の鋼材質量を入れ替えた

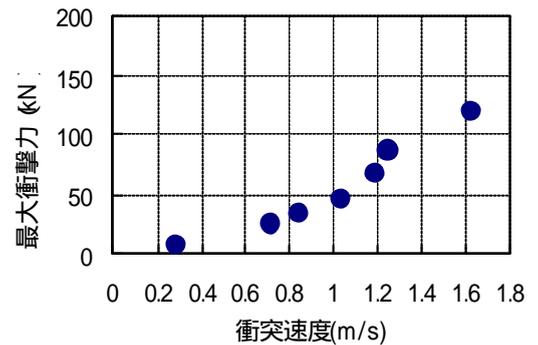


図1 最大衝撃力(Case1、ゴム厚10mm)

表-2 鋼材質量を変えた場合の最大衝撃力の比

	v=0.7m/s	v=1.2m/s	v=1.7m/s	$m_1m_2/(m_1+m_2)$
Case2	1.00	1.00	1.00	1
Case3	1.11	1.13	1.21	1.2
Case4	1.19	1.24	1.31	1.33
Case5	1.58	1.84	1.86	2.0
Case6	1.26	1.30	1.30	1.33

$$P_{max} = \left\{ \frac{4}{3p} \cdot \frac{1}{k_1 + k_2} \cdot \sqrt{\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}} \right\}^{\frac{1}{5}} \cdot \left\{ \frac{5}{4} v_0^2 \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \right\}^{\frac{3}{5}}$$

$$k_1 = \frac{1-n_1}{pE_1}, k_2 = \frac{1-n_2}{pE_2}$$

P_{max} : 最大衝撃力、 R : 球体の半径、 v_0 : 衝突速度、 m : 物体の質量、 n : ポアソン比、 E : ヤング率、添え字の1,2は物体の番号。Hertzの接触理論によると最大衝撃力は(1)物体の接触面積と剛性に関する係数、(2)衝突速度、(3)物体の換算質量により求められるため、本実験の回帰式もこれら3つのパラメータで表すことを考える。

3.2 実験結果からの回帰式(衝突速度に着目)

図 1に示した最大衝撃力と衝突速度の実験結果に対して回帰式の作成を試みる.Hertzの接触理論式から回帰式を $P_{max}=av_0^b$ (v_0 : 衝突速度、 a, b : 定数) に設定して行った. その結果、速度項については、衝突速度の2乗を用いると実験値を回帰できることがわかった. 続いて、形状率(自由表面積/受圧面積)つまり緩衝材の剛性が最大衝撃力に与える影響について検討を行った. 最大衝撃力に対して、形状率の逆数を関数としたグラフを重ねてみると、ほぼ一致したことから、最大衝撃力は形状率の逆数に比例すると考えた. 以上より、次に示す考えに基づき回帰式を作成した.

- ・速度については、衝突速度の2乗 (v_0^2) を用いる.
- ・質量の影響については、2 物体の換算質量 ($m_1m_2/(m_1+m_2)$) を用いる.
- ・緩衝材の剛性の影響は形状率で表し、形状率の逆数を用いる.

これにより、回帰する式を下記のように設定する.

$$P_{max} = c \cdot \frac{m_1m_2}{m_1+m_2} \cdot \frac{1}{a} v_0^2$$

ここで、 a は形状率であり、定数 c は、長さの -1 乗の単位を持つ値となる. 定数 c の値を図-1の実験値から回帰すると、表 3 のようになる. 4 つの値の平均値である 29.41 を定数 c の値として採用すると、実験結果と回帰式は図 2 ~ 4 のように表される. 図-2, 3より回帰式は、ゴム厚が異なっても2つの鋼材の質量が同じ場合の実験結果をよく推定しているといえる. また図-4のように2つの鋼材の質量が異なる場合でも、回帰式は実験結果を推定できており、本実験の範囲内なら回帰式により最大衝撃力を十分推定可能であるといえる.

4. 結論

本論文は、今まで行った桁間衝突実験のデータから最大衝撃力の推定式の作成を試みたものである. 以下に、本研究から得られた知見を述べる.

1) Hertzの接触理論を基に、最大衝撃力は緩衝材の剛性、質量、衝突速度のパラメータであると考え、実験結果を基に、衝突速度は2乗で、質量については換算質量で表すと最大衝撃力の推定が精度よく行えることを示した.

本実験データだけでは、緩衝材の剛性に対する検討が不十分であると考えられるため、さらなる実験や解析による実験データの補間などを行い、推定式の精度を高めていきたい. また、本提案式は実験結果に対する推定式であり、そのまま実橋梁の設計に用いられるものではない.

参考文献

1) (社)日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 耐震設計編、丸善、2002.
 2) 梶田幸秀、北原武嗣、西本安志、香月智: エアフローティング装置を用いたゴム製緩衝材の桁間衝突実験、土木学会地震工学論文集、論文 No. 316(CD-ROM)、2003.

表-3 回帰式の係数

厚さ	3.5mm	6mm	8mm	10mm
形状率	0.35	0.6	0.8	1.0
c	26.02	27.58	29.14	34.91

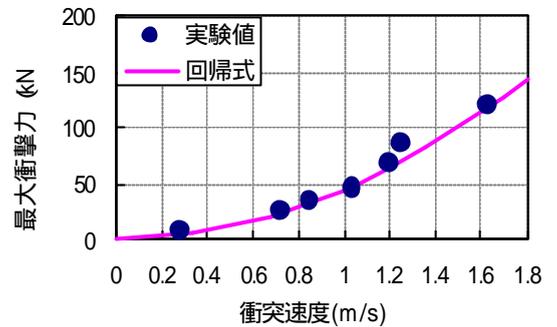


図 2 最大衝撃力(Case1、ゴム厚10mm)

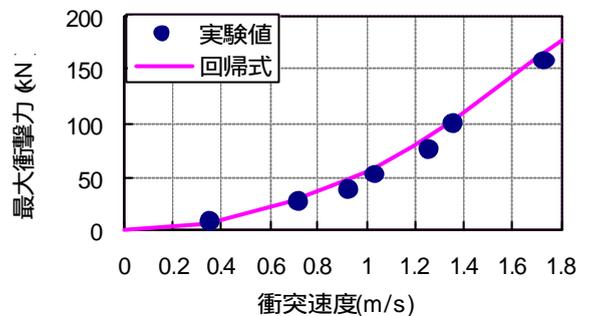


図 3 最大衝撃力(Case1、ゴム厚8mm)

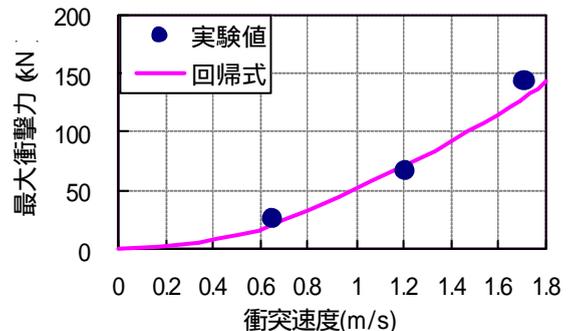


図 4 最大衝撃力(Case4、ゴム厚10mm)

い 現在、実験のシミュレーション解析を行っており、今後は実橋梁をモデル化した解析も行うことにより、実橋梁における桁間衝突時のゴム製緩衝材の最大衝撃力の推定式の作成を行う予定である.