

桁間衝突用緩衝材ゴムの簡易設計手法 に関する検討

北原 武嗣¹・田中賢太郎²・松本 力³・梶田 幸秀⁴・西本 安志⁵

¹関東学院大学社会環境システム学科 教授
(〒236-8501 横浜市金沢区六浦東1-50-1)

E-mail:kitahara@kanto-gakuin.ac.jp

²関東学院大学社会環境システム学科 助手 (〒236-8501 横浜市金沢区六浦東1-50-1)

E-mail:ketanaka@kanto-gakuin.ac.jp

³関東学院大学大学院土木工学専攻 博士課程前期課程 (〒236-8501 横浜市金沢区六浦東1-50-1)

E-mail:m0845008@kanto-gakuin.ac.jp

⁴九州大学大学院建設デザイン部門 准教授 (〒819-0395 福岡市西区元岡744)

E-mail:ykajita@doc.kyushu-u.ac.jp

⁵シバタ工業株式会社 商品企画第2グループ (〒674-0082 明石市魚住町中尾1058)

E-mail:Yasushi_Nishimoto@sbt.co.jp

近年、橋梁システム全体としての耐震性能の向上のためゴム支承が多用されている。しかしながら、ゴム支承を用いると却って応答変位が大きくなり、桁同士が衝突する危険性が増大している。このため緩衝材の役割は大きくなってきているが、緩衝材の設計に関して明確な基準がないのが現状である。そこで本研究では、桁間衝突用緩衝材ゴムの簡易設計手法を構築することを目的に、衝突実験や衝突解析を実施した。その結果、緩衝材ゴムの形状率、衝突速度等をパラメータとした簡易設計手法を提案し、提案設計手法の妥当性を確認することができた。

Key Words : *shock absorbing rubber, collision between girders, maximum impact force, shape factor, collision spectrum, design procedure*

1. はじめに

兵庫県南部地震以降、橋梁システム全体系の耐震性能を向上させるため、ゴム支承が多く利用されるようになった。しかしながら、ごむ支承を用いると却って地震時の応答変位は大きくなるため、桁と橋台や桁同士の発生が懸念される。このため道路橋示方書¹⁾では、衝突時の衝撃力緩和やエネルギー吸収を期待して緩衝材を設置することが示されている。

しかしながら、現行の道路橋示方書には、緩衝材ゴムの厚さや断面積など、設計に関する詳細な記載がなされていないのが現状となっている。そのため、緩衝材ゴムの設計手法を検討することは重要な課題であるといえる。

これまでに著者らは、桁間衝突用緩衝材ゴムを対象とした一連の実験的・解析的検討から、緩衝材ゴムに生じる最大衝撃力と衝突物体の質量、衝突速度および緩衝材ゴムの圧縮剛性に関することを明らかにした²⁾。また、緩衝材ゴムの圧縮剛性

は形状率の 2 乗に反比例することもわかっている。

本研究では、緩衝材ゴムの形状率と衝突速度をパラメータとした簡易設計手法を提案、提案設計手法の妥当性を検討するものとした。

2. 最大衝撃力推定式

著者らのこれまでの実験的研究により、衝突時に発生する最大衝撃力は、衝突物体の質量、衝突速度、緩衝材の圧縮剛性に比例すること、また、圧縮剛性は緩衝材ゴムの形状率の 2 乗に反比例することを明らかにしてきた。ここに形状率とは、**図-1** の概念図に示すように、緩衝材ゴムの自由表面積を受圧面積で除した値である。

これらの実験結果から、桁間衝突時に発生する最大衝撃力の推定式として式(1)が導かれた。実験結果と式(1)による推定結果の比較の一例を、**図-2** に示す。**図-2** のとおり決定係数は 0.76 となっており、式(1)は実験による最大衝撃力を良く推定できているといえる。

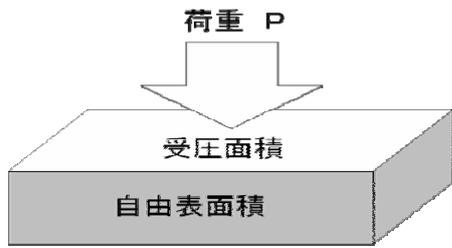


図-1 形状率の定義

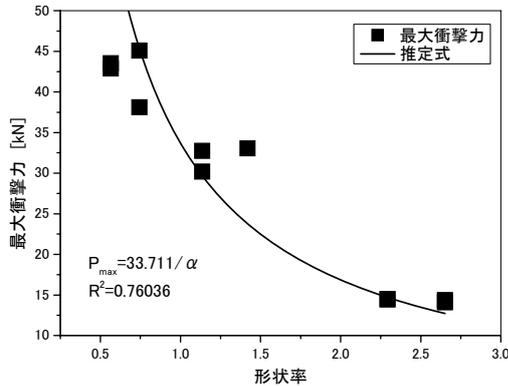


図-2 最大衝撃力の推定式と実験結果の比較

$$P_{\max} = 3.08 \sqrt{\frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \frac{1}{\alpha^2} (v_0 - 0.226)} \quad (1)$$

ここに、 P_{\max} : 最大衝撃力, m : 質量,
 α : 形状率, v_0 : 衝突速度.

また一般的に、緩衝材ゴムの応力-ひずみ関係は図-3 に示すように、ひずみが増大するにつれ硬化する傾向を示す。桁間衝突時に初期剛性の範囲に収まるためには、緩衝材ゴムの断面積が大きくなりすぎ現実的でない。逆に、3次剛性まで使用すると衝撃力緩和効果あまり期待できない。

そこで本研究では、桁間衝突用緩衝材ゴムの使用範囲は、図-3 のに示した 2 次剛性範囲で使用するを前提とした。このため、式(1)の最大衝撃力推定式の適用範囲は、ひずみ 60%未満としている。

3. 設計手法の検討

(1) 設計フロー

ゴム製緩衝材の設計手法として、図-4 のようなフローチャートを提案する。以下、図-4 の設計フローを簡単に説明する。

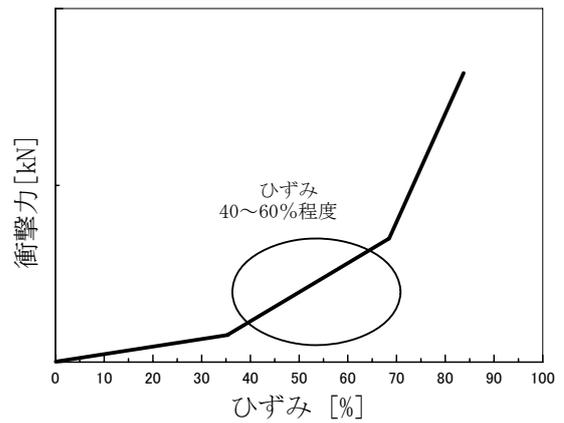


図-3 剛性の概略図

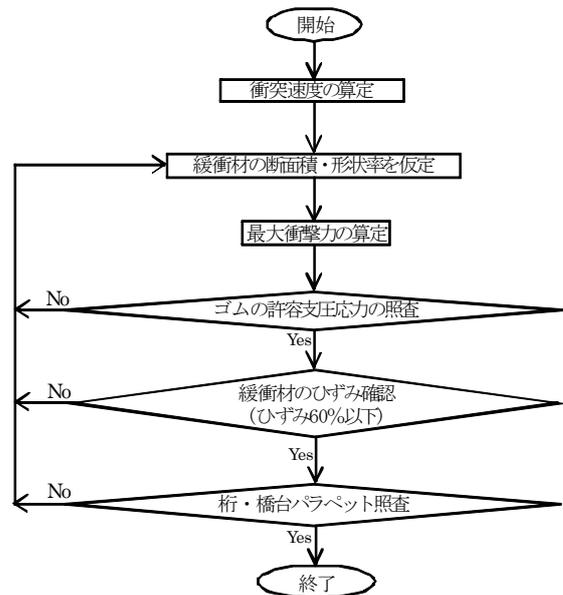


図-4 緩衝材ゴムの設計フロー

1. 文献 3) で検討されている衝突速度スペクトルを用い、隣接する橋梁間の固有周期差比から構造系間衝突速度を算定する。(図-5 に示す赤色の実線)
2. 緩衝材ゴムの厚さと断面積を仮定し、緩衝材の形状率を求める。
3. 設定された衝突速度と緩衝材の形状率、および対象橋梁の質量から、式(1)を用いて最大衝撃力を算定する。
4. 算定した最大衝撃力を元に、緩衝材ゴムの作用応力が許容支圧応力以下であることを照査する。
5. 緩衝材ゴムの発生ひずみが 60%以下であることを確認する。
6. 算定した最大衝撃力を受けた際の桁端部の損傷の有無を確認する。

今回は許容支圧応力は弾性範囲として試設計を行った。今後、衝突現象における許容支圧応力の検討も必要であると考えられる。

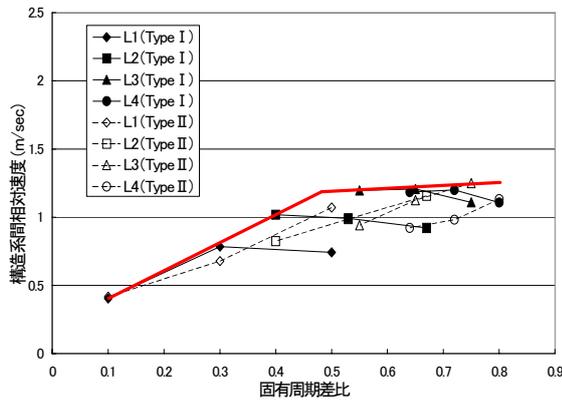


図-5 衝突速度スペクトル (I種地盤)³⁾

表-1 試設計モデルの諸元

モデル	質量 [kg]	固有周期 [sec]	固有周期差比	速度		
				I種 [m/s]	II種 [m/s]	III種 [m/s]
1	2.10×10^6	1.0	0.5	1.14	1.52	2.18
2	5.00×10^5	0.5				

表-2 試設計結果 (形状率 0.4)

地盤	最大衝撃力 [kN]	断面積 [m ²]	厚さ [m]	支圧応力 [kN/m ²]	ひずみ [%]
I種	4.46×10^3	1.88	0.137	2.38×10^3	59.9
II種	6.33×10^3	3.76	0.194	1.68×10^3	59.9
III種	9.57×10^3	8.58	0.293	1.11×10^3	59.9

(2) 試設計

表-1 に示す隣接橋梁を対象とし、提案した設計手法を用いて緩衝材ゴムの試設計を行った。表中、モデル1は長大橋、モデル2は隣接する中小橋を想定している。

モデル1とモデル2の固有周期差比は0.5となり、文献3)に示される衝突速度スペクトルから衝突速度を読み取った。衝突速度は、表-1に示すとおり、I種地盤で1.14m/s、II種地盤で1.52m/s、III種地盤では2.18m/sとなった。

緩衝材ゴムの形状率を0.4、0.6および1.0として試設計をおこなった。例として、形状率0.4の場合の試設計の結果を表-2に示す。断面積は1.88～8.58m²、厚さは0.137～0.293mの範囲とすることで、支圧応力、鉛直ひずみともに許容値以内に収まり、現実的なサイズで設計できることが確認できた。他の形状率でも設計が可能であることを確認した。

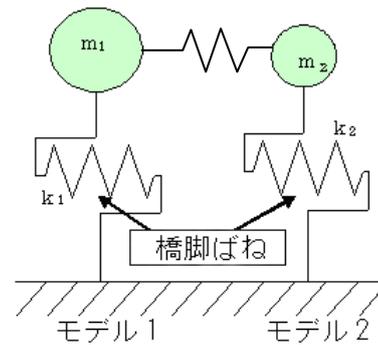


図-6 解析モデル

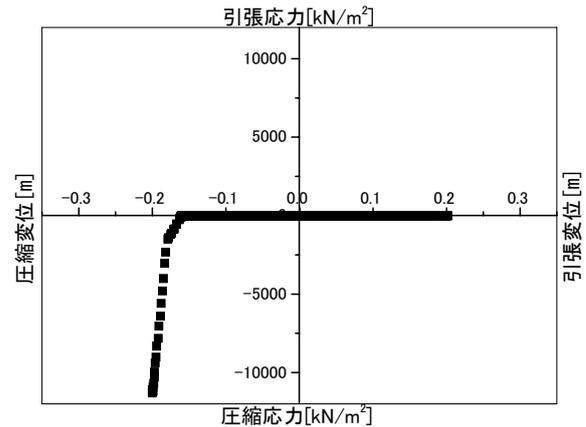


図-7 緩衝材ゴムの材料特性

表-3 時刻歴応答解析の結果 (6波平均)

地盤	衝撃力 [kN]	変位 [m]	ゴム変形量 [m]	ひずみ [%]
I種	1.13×10^3	0.194	0.031	22.6
II種	2.13×10^3	0.165	0.059	30.6
III種	6.21×10^3	0.156	0.149	50.8

4. 動的解析による試設計の検討

試設計を行った形状率0.4の場合について、道路橋示方書に示されるレベル2地震の標準地震波6波による時刻歴応答解析を行い、試設計と解析結果との比較を行った。

この際、対象橋梁は図-6に示すようなモデルとし、緩衝材の材料特性は図-7に示すように設定した。このとき桁遊間は30cmとした。減衰定数は2%とし線形加速度法によって応答解析を行った。

表-3に解析結果を示す。表-3と表-2を比較すると、解析により得られた最大衝撃力は、すべての地盤種において、試設計において式(1)によって求めた最大衝撃力よりも小さくなっていることがわかる。したがって、試設計は安全側の評価を与えていると考えられる。また、解析による緩衝材のひずみも最大衝撃力推定式適用の範囲である60%以内に収まっていること、試設計による発生ひず

みの方が大きいことも確認できる。オーダー的には、解析結果と試設計結果に大きな隔たりはなく、提案手法による試設計結果は、妥当な結果を示していると判断できる。

5. まとめ

桁間衝突用緩衝材ゴムの設計手法を提案し、その妥当性を検討した。得られた結果を以下にまとめる。

- (1) 桁間衝突実験の結果から、最大衝撃力の推定式を導いた。
- (2) 緩衝材ゴムの簡易設計手法を提案し、提案手法を用いて、現実的な寸法で緩衝材ゴムの設計が行えることを確認した。
- (3) 試設計と時刻歴応答解析による結果を比較検討し、検討した橋梁に関しては提案設計手法の妥当性を確認した。

今後、多くの橋梁を対象とした検討を行うことで、提案設計手法の適用範囲の拡大、妥当性の確

認を深めていくことが課題である。

謝辞：本研究の実施に際し、科学研究費補助金・基盤研究(B)「緩衝機能を有する落橋防止装置の耐力と変形性能の評価および動的設計法の開発」の補助を受けた。また、衝突実験の実施においては防衛大学校 香月智教授のご協力を得た。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：道路橋示方書同解説・V耐震設計編，丸善，2002.
- 2) 梶田幸秀，北原武嗣，西本安志，大塚久哲：鋼材衝突実験におけるゴム製緩衝材に作用する最大衝撃力の推定式，構造工学論文集，Vol.52A，pp.557-664，2006.
- 3) 北原武嗣，伊津野和行，梶田幸秀，四元義直：弾塑性応答を考慮した桁間衝突速度の研究，第12回日本地震工学シンポジウム論文集(CD-ROM)，No.205(pp.926-929)，2006.

SIMPLE DESIGN PROCEDURE OF SHOCK ABSORBING RUBBER DURING COLLISION BETWEEN GIRDERS

Takeshi KITAHARA, Kentarou TANAKA, Riki MATSUMOTO,
Yukihide KAJITA and Yoshinao YOTSUMOTO

Shock absorbing rubbers should be required to reduce the impact load with the collision between a superstructure and a device which prevents a superstructure from falling off. However, the design load of the device which prevents a superstructure from falling off is set to be 1.5 times as the weight of the superstructure. So, the purpose of this study is to propose a new simple design procedure of shock absorbing rubbers during the collision between girders. The collision test between two steel solid bars and numerical analyses using spring-mass model are carried out. From the results, it is confirmed that reasonable design can be performed using the proposed design procedure.