

桁間衝突用緩衝材ゴムの圧縮剛性に関する実験的検討

北原武嗣¹・梶田幸秀²・西本安志³

¹正会員 博(工) 関東学院大学助教授 工学部社会環境システム学科 (〒236-8501 横浜市金沢区六浦東1-50-1)

²正会員 博(工) 九州大学大学院 工学研究院建設デザイン部門 (〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1)

³正会員 博(工) 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番地)

1. はじめに

近年、耐震性能の向上を図るため、ゴム支承や免震支承が普及している。このため、上部構造の地震時変位は大きくなることが懸念され、大地震時には桁間衝突や橋桁と橋台の衝突の生じる危険性が高まってきているといえる。このような衝突現象が生じた際の桁端部や鏡台の損傷を軽減するため、緩衝材の役割が重要と考えられる。

しかしながら、道路橋示方書・V耐震設計編¹⁾には、緩衝材に衝突時の衝撃力低減効果を期待する旨の記載はあるが、緩衝材の設計手法は明確には規定がないのが現状である。このため著者らは、桁間衝突用緩衝材ゴムを対象として、緩衝材ゴムの設計式を提案することを目標として一連の実験的、解析的検討を進めてきている^{2),3)}。

これらの検討から、衝突時に緩衝材ゴムに作用する最大衝撃力は、衝突速度、衝突物体の質量、緩衝材ゴムの圧縮剛性が大きく影響することを明らかにしてきた³⁾。これらの要因のうち、衝突速度に関しては、川島・佐藤⁴⁾、武村・伊津野⁵⁾、著者ら⁶⁾の検討などが行われているが、緩衝材ゴムの圧縮剛性に関しては、あまり検討が行われていない。ゴム支承や免震支承を対象とした圧縮剛性に関しては、文献^{7),8)}で検討されているが、これらは積層ゴムの検討であり、ゴム製緩衝材のような単層ゴムにそのまま適用することは困難だと考えられる。

そこで本研究では、緩衝材ゴムを対象とした静的圧縮試験を行い、緩衝材ゴムの圧縮剛性に関して検討を行うものとした。ここでは、緩衝材ゴムの断面積や厚さなどの形状、およびゴムの硬度が圧縮剛性に与える影響を明らかにし、圧縮剛性の評価式を導くことを目的とした。

2. 実験概要

実験には図-1に示すような直方体のゴム供試体を用いた。ゴムの硬度が圧縮剛性に与える影響を把握するため、硬度50と硬度60のゴムを用いた。ゴム製緩衝材は、通常、文献⁹⁾を参考にして硬度 55 ± 5 のゴムが用いられることが多いことを勘案し、その上限と下限である硬度で検討することとした。

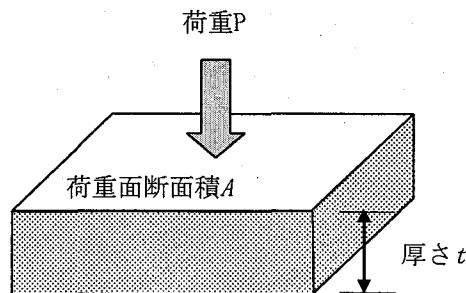


図-1 供試体形状

また、断面積や厚さなどの形状がゴムの圧縮剛性に与える影響を把握するため、表-1および表-2に示す形状の供試体とした。ここに、表-1は硬度50のゴム、表-2は硬度60のゴムを示している。硬度50の供試体による実験を先行して行い、供試体形状が圧縮剛性に与える影響を概略把握した上で、硬度60の実験を行ったため、硬度60に関しては実験ケース数を少なくした。

表中、断面積とは図-1に示した荷重を受ける断面の断面積であり、その形状は正方形である。またケース名は荷重を受ける正方形面の1辺の長さとして表している。各ケースとも3体の供試体を用いて実験を行った。

形状率 α は次式のように、自由表面積を荷重を受ける断面積で除した値として定義した。形状率は免

震ゴム等で用いられる 1 次形状係数⁸⁾と逆数の関係にある。

$$\alpha = \frac{A_f}{A} \quad (1)$$

ここに、 A : 荷重を受ける断面積,
 A_f : 自由表面積(ハッチの部分)。

実際の供試体は、製作上、多少のばらつきがあるため、各供試体とも断面寸法をノギスで実測し、断面積 A 、厚さ t 、形状率 α を求めた。

ゴム試験法¹⁰⁾を参考に、毎分 10mm の載荷速度で静的圧縮実験を行った。圧縮実験には 10kN 小型万能材料試験機を用い、圧縮治具と供試体との接触面には何も挟まずに行った。

各供試体とも 3 回の圧縮実験を行い、1 回目の載荷はゴムの成分を安定させる「ならし載荷」とし、2 回目と 3 回目の実験結果を用いるものとした。ただし、圧縮剛性は次式で求めるものとし、荷重 P および圧縮変位 Δ は、ゴム試験法¹⁰⁾を参考にひずみ 10% 時の荷重と圧縮変位とした。

$$K = \frac{P}{\Delta} \quad (2)$$

ここに、 K : 圧縮剛性,
 P : 圧縮荷重, Δ : ゴムの圧縮変位。

表-1 供試体 (硬度 50)

ケース	断面積 A (mm)	厚さ t (mm)	形状率 α
60-30	3600	30.0	2.00
60-20	3600	20.0	1.33
60-10	3600	10.0	0.67
60-8	3600	8.0	0.53
60-6	3600	6.0	0.40
40-20	1600	20.0	2.00
40-10	1600	10.0	1.00
40-8	1600	8.0	0.80
40-6	1600	6.0	0.60
40-3.5	1600	3.5	0.35
30-20	900	20.0	2.67
30-10	900	10.0	1.33
30-8	900	8.0	1.07
30-6	900	6.0	0.80
30-3.5	900	3.5	0.47
20-10	400	10.0	2.0
20-8	400	8.0	1.6
20-6	400	6.0	1.2
20-3.5	400	3.5	0.7
20-2	400	2.0	0.4

表-2 供試体 (硬度 50)

ケース	断面積 A (mm)	厚さ t (mm)	形状率 α
60-30	3600	30.0	2.00
60-20	3600	20.0	1.33
60-10	3600	10.0	0.67
40-20	1600	20.0	2.00
40-10	1600	10.0	1.00
40-8	1600	8.0	0.80
30-10	900	10.0	1.33
30-6	900	6.0	0.80

3. 実験結果と考察

(1) 圧縮剛性と形状率の関係

硬度 50 の静的圧縮試験の結果を用いて、緩衝材ゴムの形状と圧縮剛性の関係を検討した。式 (2) で求めた圧縮剛性と断面積の関係を図-2 に、圧縮剛性と厚さの関係を図-3 に、圧縮剛性と断面積/厚さの関係を図-4 に示す。

図-2 より、圧縮剛性と断面積の間には明瞭な関係は認められない。また、図-3 より、厚さが厚くなるにしたがい、圧縮剛性は小さくなる傾向はあるが、その関係性はあまり強いとはいえない。一方、図-4 より、圧縮剛性と断面積/厚さに間には、ほぼ線形の関係があり、断面積/厚さが大きくなるほど圧縮剛性も大きくなることがわかる。このとき、圧縮剛性と断面積/厚さを線形近似した場合の決定係数は 0.829 であった。

つぎに、圧縮剛性と形状率の関係を図-5 に示す。図中、縦軸は式 (2) で求めた圧縮剛性を、横軸は式 (1) で定義した形状率を表している。また、■は断面積 3600mm²、▲は断面積 1600mm²、○は断面積 900mm²、◇は断面積 400mm² のケースを示している。

図-5 より、圧縮剛性と形状率の間には次式のよう、形状率が小さくなれば圧縮剛性が大きくなる関係のあることがわかる。非線形回帰すると、圧縮剛性は形状率のほぼ 2 乗に逆比例する結果となった。

$$K = \frac{1.02}{\alpha^{2.08}} \text{ (硬度 50)} \quad (3)$$

ここに、 K : 圧縮剛性 (kN/mm), α : 形状率。

このときの決定係数 0.920 であり、強い関係性を有することがわかる。断面積/厚さとの相関では決定係数が 0.829 であったので、圧縮係数は形状率により強い影響を受けていると判断できる。

ゴム材料は、ポアソン比が0.5程度と大きく、荷重と直交する方向にも変形が生じる。ところが、形状率が小さい(すなわち、荷重を受ける断面積に対して、厚さが薄い)と、上下面が拘束されていることにより圧縮直交方向に変形しづらくなるため、剛性が大きくなっていると考えられる。

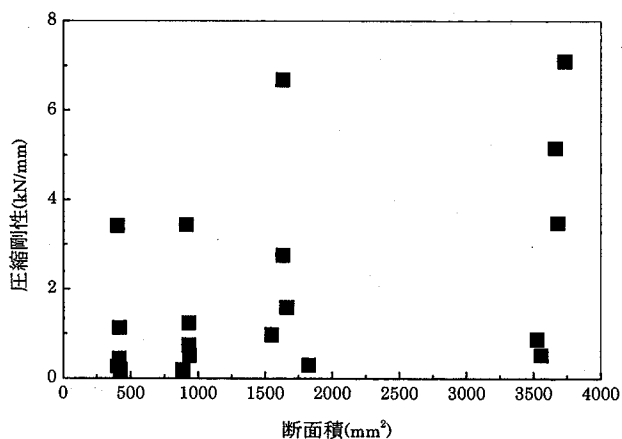


図-2 圧縮剛性 K と断面積 A の関係(硬度50)

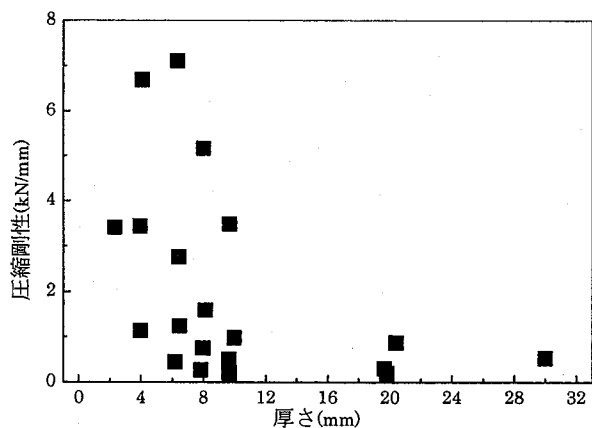


図-3 圧縮剛性 K と厚さ t の関係(硬度50)

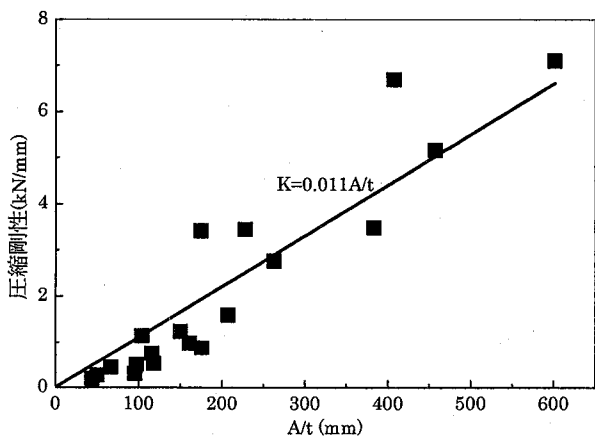


図-4 圧縮剛性 K と断面積 A /厚さ t の関係(硬度50)

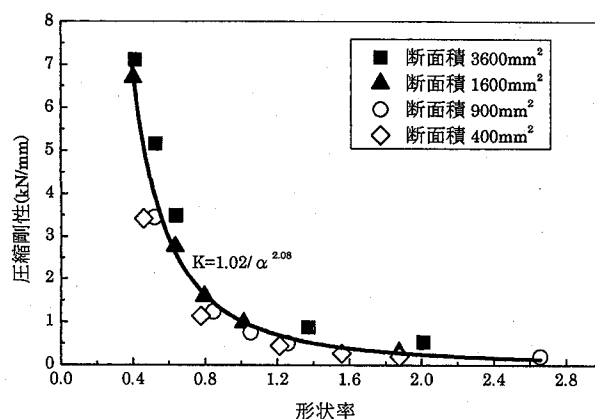


図-5 圧縮剛性 K と形状率 α の関係(硬度50)

(2) 硬度の影響の検討

つぎに、硬度が圧縮剛性に与える影響を検討する。図-6 に硬度 60 の場合の圧縮剛性と形状率の関係を示す。軸、凡例等は図-5 と同様である。硬度 60 の場合も硬度 50 の場合と同様、形状率と圧縮剛性には強い相関性がみとめられる。このとき、非線形回帰した結果は次式となる。

$$K = \frac{1.54}{\alpha^{2.00}} \quad (\text{硬度 } 60) \quad (4)$$

ここに、 K : 圧縮剛性(kN/mm)、 α : 形状率

図-5 と図-6、式(3)と式(4)を比較すると、同一の形状率の場合、硬度 60 の方が硬度 50 よりも大きな圧縮剛性を示すことがわかる。したがって、圧縮剛性をより厳密に評価するためには、式(3)および式(4)のように、硬度毎に異なった評価式を用いることが必要といえる。

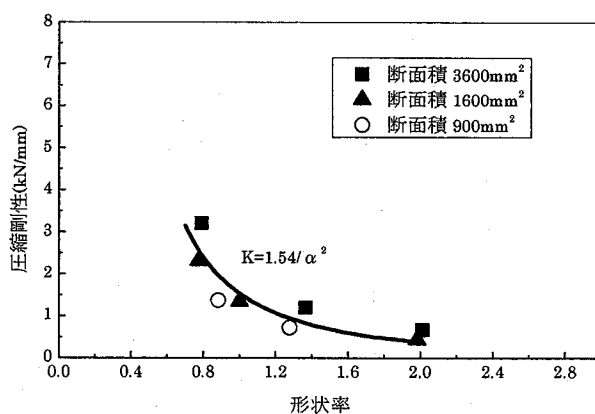


図-6 圧縮剛性 K と形状率 α の関係(硬度60)

(3) 圧縮剛性の評価式の検討

一方、緩衝材に用いられるゴムは硬度 55 ± 5 の範囲に通常限られること、および、設計時の簡便性を考え合わせると、硬度毎に評価式を分けず、一つの

評価式で圧縮剛性を求められることが望ましいと考えられる。

そこで、硬度 50 および硬度 60 の実験結果を区分せず、圧縮剛性と形状率の関係を検討した。検討結果を図-7 に示す。図中、縦軸は圧縮剛性を横軸は形状率を示している。また、■は硬度 50 を○は硬度 60 の結果をプロットしたものである。

図-7 より、硬度 50 と硬度 60 の結果の間には有意な差はないように見受けられる。全データを対象とした非線形回帰式は式(5)となり、決定係数も 0.891 と大きな値を示しているため、硬度 50 と硬度 60 を区分せず回帰しても問題ないと考えられる。

以上より、緩衝材ゴムの圧縮剛性は硬度 55±5 を適用範囲として、式(5)を用いて評価すれば良いと判断した。

$$K = \frac{1.2}{\alpha^2} \quad (5)$$

ここに、 K : 圧縮剛性(kN/mm), α : 形状率。

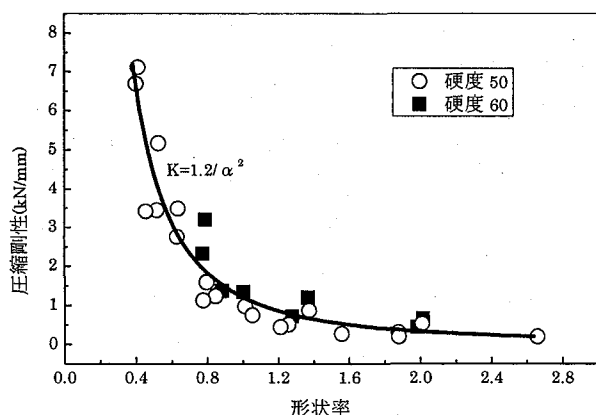


図-7 圧縮剛性 K と形状率 α の関係(全データ)

4. 結論

本研究では、緩衝材ゴムに作用する衝撃力の推定式を求めることを最終的な目標として、まず、緩衝材ゴムの圧縮剛性に関して検討を行った。得られた結論を以下に示す。

- (1) 同じ断面積の場合、厚さが厚いほど圧縮剛性は小さくなり、厚さが薄いほど圧縮剛性が大きくなることを示した。これは、厚さが薄い場合、上下面の拘束が大きく、圧縮直交方向への変形がしづらくなるからと考えられる。
- (2) 圧縮剛性は形状率に大きく影響され、形状率が小さいほど圧縮剛性は大きくなることを示した。

この際、ほぼ形状率の 2 乗に逆比例していることを示した。

- (3) 同一の形状率の場合、硬度が大きいほど大きな圧縮剛性になる。ただし、その影響はあまり大きくなく、緩衝材を対象とした場合、硬度 55±5 の範囲で考えれば、硬度が圧縮剛性に与える影響は無視しても構わないといえる。
- (4) 圧縮剛性と形状率の関係から、圧縮剛性の評価式として、 $K = 1.2/\alpha^2$ を提案した。

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。ここに記して謝意を表する。

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) 北原武嗣，梶田幸秀，西本安志，香月智：鋼材質量を考慮したゴム製緩衝材の衝撃力低減効果に関する桁間衝突実験，第28回土木学会地震工学研究発表会報告集(CD-ROM)，Vol.28，2005。
- 3) 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. 557-564，2006。
- 4) 川島一彦，佐藤貴志：相対変位応答スペクトルの提案とその適用，構造工学論文集，Vol. 42A，pp. 645-652，1996。
- 5) 武野志之歩，伊津野和行：隣接橋梁間の地震時相対速度応答と衝突速度スペクトルに関する研究，土木学会論文集，No. 668/I-54，pp. 163-175，2001。
- 6) 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。
- 7) (社)日本道路協会：道路橋支承便覧，丸善，2004。
- 8) (社)日本ゴム協会：設計者のための免震用積層ゴムハンドブック，理工図書，2000。
- 9) (社)日本道路協会：「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」の準用に関する参考資料(案)，1995。
- 10) (社)日本ゴム協会：ゴム試験法[第3版]，丸善，2006。