

落橋防止用矩形状ゴム緩衝材の設計法に関する一考察

西本安志¹・園田佳巨²・石川信隆³・彦坂熙⁴・西川信二郎⁵

¹正会員 シバタ工業株式会社 技術開発本部 (〒674-0082 兵庫県明石市魚住町中尾 1058 番地)

²正会員 工博 九州大学大学院助教授 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フェロー会員 工博 防衛大学校教授 システム工学群建設環境工学科 (〒239-8686 神奈川県横浜須賀町走水 1-10-20)

⁴正会員 工博 九州大学大学院教授 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)

⁵シバタ工業株式会社 技術開発本部 (〒674-0082 兵庫県明石市魚住町中尾 1058 番地)

本研究は、落橋防止用矩形状ゴム緩衝材の合理的な設計を簡易に行う手法について検討したものである。すなわち、設計者が緩衝材に期待する衝撃荷重の低減効果とエネルギー吸収量を設定すれば、3次元有限要素法によるゴムの大変形解析結果を用いて、緩衝材として要求を満足する材質や寸法を決定する手法を提示した。また、提示した設計手法により、通常の硬度のゴム2種類を用いた場合の緩衝材の試設計を行った。さらに、通常のゴム製緩衝材よりもエネルギー吸収能力が大きい積層繊維補強ゴムの適用についても検討を行った。

Key Words: rubber, shock absorber, design, large deformation analysis, laminated fiber reinforced rubber

1. 緒言

ゴムは、剛性が小さく可逆的な大変形が可能であるため、繰り返し衝突への対処が必要な場合にも適用できることから、兵庫県南部地震以降には落橋防止用緩衝材として利用される機会が多くなっている^{1), 2), 3)}。一般に、衝撃緩衝材に期待される機能には、衝撃荷重の低減機能と衝突物の持つエネルギーを吸収する機能の2つが考えられる。したがって、衝撃緩衝用ゴムの合理的な設計を行うためには、設計条件を確定したうえで、衝撃荷重の低減機能と衝撃エネルギーの吸収機能の2点について要求水準を明確にすることが不可欠であると考えられる。しかし、緩衝材に衝撃エネルギーを吸収させることの必要性については、必ずしも共通の認識は得られているとは言えず、どの程度のエネルギー吸収を期待するのか、設計者の判断により決定されるものと考えられる。また、現行の道路橋示方書では、大地震時に橋梁全体系でどのような応答プロセスを経て落橋という最悪の事態を防ぐようにすべきであるか、基本的な考えや落橋防止装置に対する要求性能も必ずしも明確ではない。落橋防止用ゴム緩衝材に関しても、桁の死荷重反力 R_d を1.5倍した設計地震力に対し、許容支圧応力によって必要な断面積を決定するように規定されているが、その厚さに関する規定はない。一般に、ゴムは厚さとともに基本的性質である荷重～変位特性が大きく変化するなど、厚さは重要な因子と考えられ、その決定については十分な検討を行う必要があるが、使用するゴムの材質や寸法は、その汎

用的な性能評価法が確立されていないため、衝撃実験データや経験的な判断を基に決定されることが多い。

以上の現状を踏まえ、本研究では落橋防止用矩形状ゴム緩衝材の合理的な設計法の一案を提示するものである。すなわち、設計時の基本的条件として、大地震時に想定される主桁の最大変位速度から換算される運動エネルギー量を踏まえて、ゴム緩衝材に期待するエネルギー吸収量と、主桁との衝突時に許容する最大衝撃荷重を、予め設計者が決定するものと考えた。次に、桁遊間等を考慮した緩衝材の設置可能範囲を踏まえ、緩衝材の材質・寸法を数値解析を用いて決定する手法を提示した。最後に、衝撃エネルギーの吸収能力に優れると思われる積層繊維補強ゴムの適用した場合についても検討を行った。

2. 緩衝材の設計条件

本研究では、大地震時に上部構造(主桁)と落橋防止壁との衝突を想定し、落橋防止壁の衝突面に衝撃緩衝用ゴムが設置される場合を考える。ところで、落橋事故を防止するために、主桁の持つ運動エネルギーを緩衝材で吸収して制止させることも考えられるが、重量の大きな主桁をゴム緩衝材のみで制止するには、大規模なものとなることが懸念される。一方、ゴムは、衝撃力を低減させることが緩衝材本来の役割であり、上部構造の損傷を許容レベルに抑えるためにも、衝撃力の低減効果に関しては、設計者は明確に条件を設定する必要があると考えられる。同様の考えにより、川島ら⁴⁾はゴム製緩衝材の

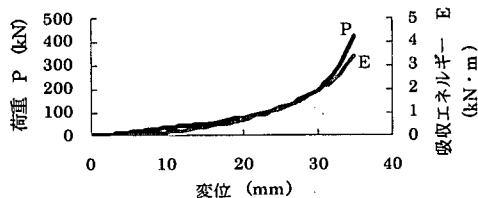


図-1 荷重～変位関係と吸収エネルギー～変位関係

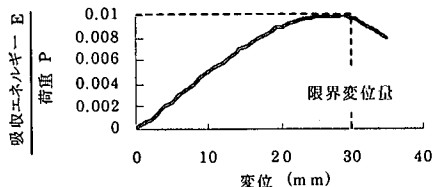


図-2 限界変位量の定義

衝撃実験から、衝撃力と吸収エネルギー量を定式化した上でゴム製緩衝装置の設計法について提案している。

ところで、ゴムは一般に高圧縮ひずみ域で耐力が急激に増大する硬化型の特性を有するため、ある一定の限界変位を定義しておかないと、緩衝材として機能しえない場合がありうる。したがって、明確な基準によりゴム緩衝材の限界変位量を定義することが重要であると考えられる。例えば、適度な吸収エネルギー量と最大荷重の低減の両方を期待した場合の限界変位量の決定法として、以下に示すような手順⁵⁾が一案として考えられる。

- 1) まず、ゴム緩衝材の圧縮荷重 (P) ～変位特性 (δ) が図-1 に示すように与えられる場合、新たに荷重～変位曲線の面積を縦軸とした吸収エネルギー量 (E) ～変位曲線 (δ) を図-1 のように求めておく。
- 2) 次に、吸収エネルギー量 (E) をその時の荷重 (P) で除した値 (E/P) と変位との関係を図-2 のような曲線で表し、この曲線がピーク値を迎える変位量を最も効率の良い変位量 (荷重増加率に対し、エネルギー吸収量の増加率が最大となる) とみなし、これを限界変位量とする。図-1 および図-2 は、縦 150mm×横 150mm×厚さ 50mm で、硬度 60 のゴムに対して適用したものである。図-2 より、 E/P のピーク値は変位 30mm (圧縮ひずみ 60%) となり、この変位量を限界変位量と見なすことができる。しかし、この時点での支圧応力は約 7.5MPa (77kgf/cm²) となり、一般的なゴムの許容支圧応力 11.76MPa (=120kgf/cm²) と比較すると、かなり安全側になるため、使用する環境やゴムの種類によって適切な限界変位の定義を別途選択すべきであると思われる。

本研究では、許容支圧応力と設定された限界変位量の 2 つの条件を満たす範囲で、期待されるエネルギー吸収能を有するようにゴム緩衝材 (材質・寸法) を設計することを試みた。これらの考え方を設計フローとして整理すると、図-3 のようになる。この手法で選定されたゴム緩衝材の中から、施工性や経済性などの諸条件を十分考慮し、最終的に設計者が選択すれば良いと思われる。

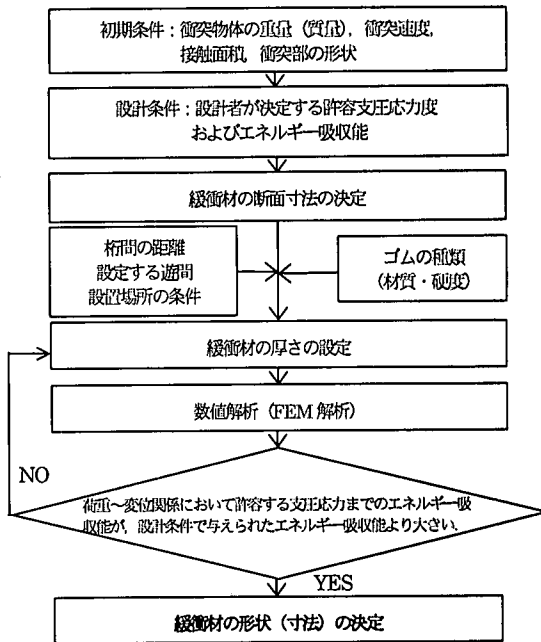


図-3 緩衝材の設計フロー

3. ゴム製緩衝材の静的圧縮特性の評価方法

(1) ゴムの静的圧縮～変位関係の数値解析手法

2 章の考えを設計条件としてゴム製緩衝材へ適用するには、基本的な指標である圧縮変形特性を大変形域まで求めておく必要がある。そこで、ゴムの構成則として超弾性体の式を適用し、幾何学的非線形性の影響を考慮した有限要素解析により求めることとした。なお、ゴムの材料定数は、できるだけ簡易かつ標準的な手法 (端面摩擦の影響などが作用しない) が望ましい。そこで、本研究では、JIS 規格に基づく単軸引張実験結果を用いて決定した。ゴムは一般に超弾性体⁶⁾として扱われ、単位体積当りのひずみエネルギー密度関数 W を用いて構成式が以下のように定義される。

$$S_{ij} = \frac{\partial W}{\partial E_{ij}} \quad (i)$$

ただし、 S_{ij} は第 2 Piola-Kirchhoff 応力、 E_{ij} は Green-Lagrange ひずみテンソル、 W は単位体積当たりのひずみエネルギー密度関数である。

本研究では、ひずみエネルギー密度関数 W として、以下の 3 パラメータを有する Mooney-Rivlin 式を選択した。

$$W = c_{10}(I_1 - 3) + c_{01}(I_2 - 3) + c_{11}(I_1 - 3)(I_2 - 3) \quad (2)$$

ただし、 c_{10}, c_{01}, c_{11} はそれぞれ Mooney-Rivlin 定数

(MPa)、 I_1, I_2, I_3 はそれぞれ右 Cauchy-Green 変形

表-1 ゴムの材料諸元

	硬度 60 のゴム	硬度 70 のゴム
ゴムの種類	天然ゴム	
引張破断強度 (MPa)	14.3	17.7
破断時の伸び (%)	410	390

表-2 同定計算で得られたゴムの材料定数

ゴムの種類	c_{01} (MPa)	c_{10} (MPa)	c_{11} (MPa)	λ
硬度 60 度のゴム	-0.01	0.49	0.29	1.96
硬度 70 度のゴム	-0.06	0.69	0.49	2.16

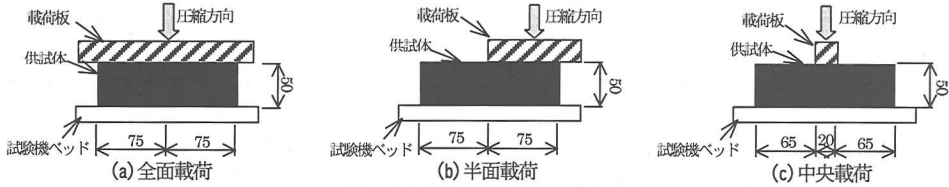


図-5 圧縮面積を変化させた静的荷重実験の荷重状況

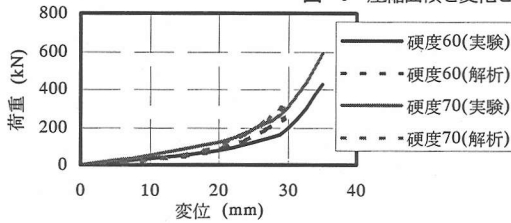


図-6 静的荷重シミュレーション結果 (全面荷重)

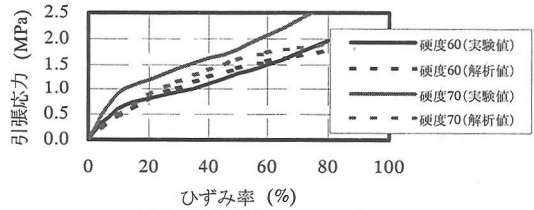


図-4 単軸引張実験結果とその同定状況

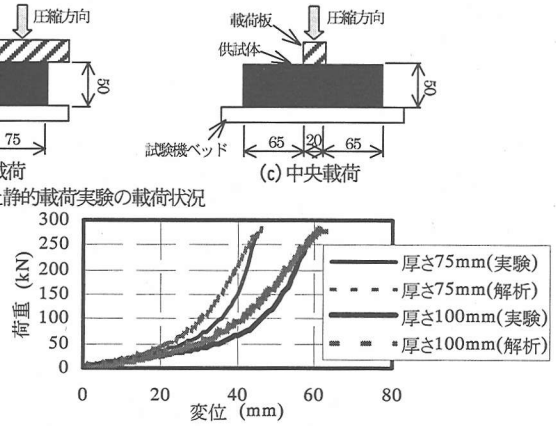


図-7 厚さを変化させた場合の静的荷重シミュレーション結果 (硬度 60 のゴム)

テンソルの 3 不変量である。

ここで、ゴムの非圧縮性を考慮するために、以下の式 (3) を体積変化量に対するペナルティ項としたペナルティ関数法を用いて数値的に考慮することにした。

$$\phi(I_3) = \frac{\lambda}{2} (I_3 - 1)^2 \quad (3)$$

ただし、 λ は体積変化に対するペナルティ係数である。

また、ゴムの大変形域までの挙動を解析するには、幾何学的な非線形の考慮が不可欠であるため、更新ラグランジュ法⁷⁾に基づく増分形式で行った。設計計算の対象としたゴムは、単軸引張実験における初期剛性 (200% 伸張時の引張応力から算出したもの) が、約 3.1MPa (硬度 60 のゴムに相当)、約 4.3MPa (硬度 70 のゴムに相当) の 2 種類である。用いたゴムの材料諸元を表-1 に示す。これら 2 種類のゴムに対して、JIS K 6301 に基づく単軸引張実験を 4 回ずつ実施し、得られた引張実験結果に対して、図-4 に示すような同定計算を行うことで、材料定数として表-2 に示す値を採用することとした。

(2) 矩形状ゴムの静的圧縮実験のシミュレーション

前節に示した解析手法により、著者らが過去に実施した矩形状ゴムの静的圧縮実験のシミュレーションを試みた。供試体の寸法は、縦 150mm × 横 150mm × 厚さ 50mm で、硬度 60 のゴムについて厚さのみを 75mm、100mm と変えた供試体についても検討した。なお、緩衝材全面に荷重されない場合を想定し、図-5(a)の全面

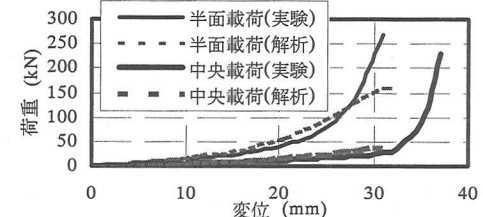


図-8 荷重面積を変化させた場合の静的荷重シミュレーション結果 (硬度 60 のゴム)

圧縮に加えて、図-5(b)の半面荷重および図-5(c)の中央荷重を、厚さ 50mm、硬度 60 のゴム供試体に対して検討した。境界条件については、実験時と同様に鉛直方向のみ支持することとした。

静的圧縮実験で得られた荷重～変位関係およびそのシミュレーション結果を図-6～8 に示す。図-6 より、厚さ 50mm の全面荷重の場合では、2 種類のゴムともに、約 20mm の変位 (圧縮ひずみ 40%) 以降に、圧縮剛性が急増し、強度の非線形性を有することが認められる。解析値は、変位 20mm 以降は圧縮剛性の増加を過大評価する傾向にあるものの概ね良好に実験結果を再現していることがわかる。また図-7 より、硬度 60 のゴムで厚さを変化させた場合、やはり厚さ 75mm の場合で約 30mm、厚さ 100mm では約 40mm 以降に圧縮剛性が急激に増加する傾向が見られ、緩衝材として有効に機能するのは、適度な撓み性を持つ約 40～60%ひずみ域までと考えられる。なお、本解析による結果は、厚みを変化させた場

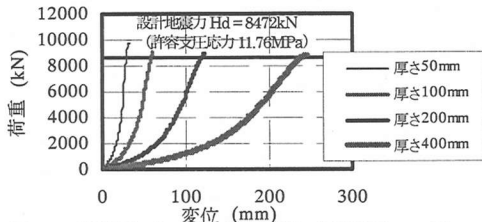


図-9 試設計によるゴム製緩衝材の解析結果の一例 (硬度 60 度のゴム)

表-3 ゴム製緩衝材の試設計結果

緩衝材の厚さ (mm)	硬度 60 度のゴム		硬度 70 度のゴム	
	許容応力度までのエネルギー吸収量 (kN・m)	エネルギー吸収効率 (%)	許容応力度までのエネルギー吸収量 (kN・m)	エネルギー吸収効率 (%)
50	68.9	6	64.6	6
100	149.3	13	132.7	11
200	318.6	28	260.1	22
300	479.2	41	396.2	34
400	648.4	56	523.6	45

場合も実験結果を概ね良好にシミュレートしていることがわかる。次に、図-8より、同じ形状のゴムでも载荷範囲によって荷重～変位関係が大きく異なることがわかる。したがって、設置状況によっては設計者が適切な载荷条件を想定することが重要であると考えられる。なお、解析値は変位約25mm～30mm (圧縮ひずみ約60%) まで実験結果とよく一致しており、载荷範囲を変化させた場合も十分に荷重～変位関係の予測が可能であることが確認された。

4. 矩形状ゴム製緩衝材の設計法に関する考察

3章の数値解析による定量的な評価を基に、想定した設計条件に対し、図-3に示した設計フローに基づき、ゴムの硬度と厚さを変化させた場合、どの程度の硬度のゴムでどの程度のエネルギー吸収が見込めるかなどについて緩衝装置の試設計を行う。

(1) 想定した設計条件

ここでは、死荷重反力 R_d が 5648kN ($=580\text{tonf}$) の PC 桁に地震力が作用し、移動速度 2.0m/s ⁸⁾ で橋台側に取り付けられるゴム製緩衝材に衝突する場合を想定した。また、衝突時の荷重がゴムの許容支圧応力を上回らないことを前提に、以下の条件のもとで検討した。「ゴムの許容支圧応力 11.76MPa ($=120\text{kgf/cm}^2$) 以下の応力レベルで、PC 桁の持つ運動エネルギー ($1160\text{kN}\cdot\text{m}$) の 1/2 を吸収させる。ただし、衝突面は緩衝材の全面とする。」

本事例では、桁の有する運動エネルギーの 1/2 を吸収することと設定したが、現実には、桁の有する運動エネルギーに対するゴム緩衝材の吸収率 (%) を設計者が適切なレベルに設定すべきであると考えられる。

(2) ゴム製緩衝材の諸元の決定

手順1: ゴム緩衝材の設置断面積の決定

まず最初に、ゴム緩衝材の設置断面積を決定する必要がある。ここでは、設計地震力 H_d ($1.5 \times R_d = 8472\text{kN}$) が緩衝材全面に均等に作用すると仮定すると、ゴムの許容支圧応力から最低 7250cm^2 以上必要となり、一辺が 86cm の正方形断面 (もしくは同等の断面積を複数個で確保する) とする。現実には、主桁の本数に応じて緩衝

材は分割設置されると思われるが、この試算では簡易に一つの緩衝材を想定して検討を行った。

手順2: ゴム緩衝材の荷重～変位特性の検討

手順1で決定した断面に対し、選定候補のゴム厚を変えた場合の解析を行い、荷重～変位関係を得る。ここで、解析で得られた荷重～変位関係の一例を図-9に示す。

手順3: ゴム緩衝材の材質・厚さの決定

数値解析により得られた荷重～変位関係を用いて、許容支圧応力および限界変位量に達するまでの吸収エネルギー量を求め、設計者の期待する吸収エネルギー量を確保できる緩衝材の材質および厚さを選定する。表-3に、本計算で求めた検討例を示す。ただし、表-3に示す値は、ゴムの許容支圧応力に対応する変位を限界変位と定義し、吸収エネルギー量を求めている。表-3の網掛けの部分が要求されるエネルギー吸収能力 ($580\text{kN}\cdot\text{m}$ 以上) を有するものである。表-3より、硬度60のゴムでは厚さ400mm以上必要となり、PC桁の運動エネルギーの1/2を全てゴム緩衝材で吸収させるには、設置スペースの関係上困難な場合もあることがわかる。なお、表-3において硬度60のゴムの方が、硬度70のゴムよりもエネルギー吸収能力に優れた結果が得られているのは、硬度70のゴムが許容支圧応力に達したときの限界変位が小さいことに起因している。

ここでは、上部構造の衝突面として緩衝材の全面に均等に作用する場合を想定したが、底面を拘束していない図-6に示した実験結果を基に設計を試みたため、エネルギー吸収量に関しては過小な評価を行っている可能性がある。しかし、本解析法は任意の荷重条件に対して荷重～変位関係を良好に推定できることから、設置場所や想定される応答状況に応じて設計者が载荷条件を適切に与えれば、同様の数値解析によって汎用的にゴム緩衝材の設計が可能であると考えられる。

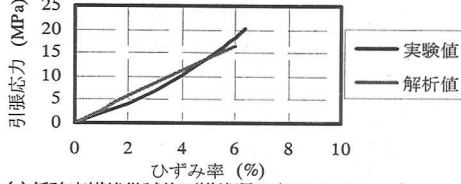
5. 積層繊維補強ゴムの適用

第4章でゴム緩衝材の設計を試みたが、設計者が期待する吸収エネルギー量が大きな場合、許容支圧応力レベルでその要求を満足させるには、緩衝材の厚さが非常に大きくなってしまいう結果が得られた。このような場合の

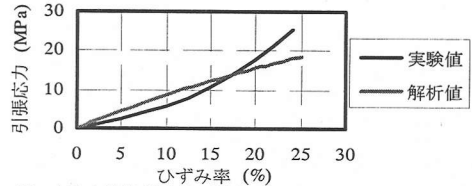
表-4 繊維の材料諸元

	低強度繊維	中強度繊維
材質	ビニロン	6,6-ナイロン
引張破断強度(N/cm)*	588	832
破断時の伸び(%)	10	20

*N/cm: JIS規格に基づく材料強度の単位で表した。

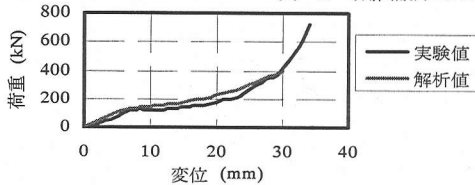


(a) 低強度繊維供試体 (繊維混入率 2PLY/20mm)

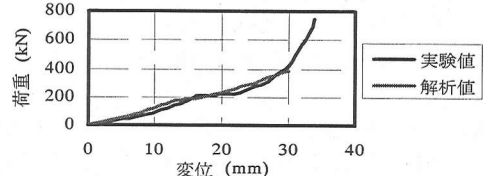


(b) 中強度繊維供試体 (繊維混入率 2PLY/20mm)

図-10 繊維補強ゴムの単軸引張試験のシミュレーション



(a) 低強度繊維 (繊維混入率 5PLY/50mm)



(b) 中強度繊維 5PLY (繊維混入率 5PLY/50mm)

図-11 積層繊維補強ゴムの静的載荷実験のシミュレーション

現実的な対処策として、初期剛性が大きく、大変形域でゴムのような過度な硬化（圧縮耐力の増加）を示さない弾塑性的な特性をもつ緩衝装置の適用が考えられる⁹⁾。そのような特性をもつ緩衝装置の一例として、積層繊維補強ゴム¹⁰⁾（写真-1）に着目し、図-3 に示した設計フローによる形状の決定を試みた。

(1) 積層繊維補強ゴムのモデル化と材料定数の評価

積層繊維補強ゴムの構成材料となる繊維とゴムは、極端に力学特性が異なるため、本来であれば別々に力学モデルを考えるべきである。しかし、ここでは両者を一体とみなした簡易モデルにより、ゴムと同様の手法で評価可能か否か検討した。すなわち、繊維補強ゴムも超弾性体とみなし、JIS K 6404-3 に基づく幅 30mm×長さ 300mm の供試体を用いた静的引張実験結果から材料定数を同定した。なお、同じ繊維を同一混入率で埋設した試験体は、全く同じ力学モデルで表せるものと考え、表-4 に示すような 2 種類の特性の繊維（低強度および中強度）とゴムから構成される供試体（厚さ 20mm 中に繊維を 2 枚埋設した）に対する引張実験結果に対して、図-10 に示すような同定計算をもとに Mooney-Rivlin 定数を決定した。なお、今回用いた Mooney-Rivlin 式は、応力-ひずみ曲線が上に凸と実験結果と異なる傾向を示しており、その妥当性に関して更に検討が必要であるが、概ね繊維の破断点まで評価できるものと判断し、表-5 に示す値を材料定数として採用した。

(2) 積層繊維ゴムの静的載荷実験のシミュレーション

静的圧縮実験に対するシミュレーション結果を図-11

表-5 同定計算で得られた積層繊維補強ゴムの材料定数

繊維混入率	c_{01} (MPa)	c_{10} (MPa)	c_{11} (MPa)	λ	破断時の W
低強度繊維 2PLY/20mm	-0.2	29.4	4.9	1.0	0.18
中強度繊維 2PLY/20mm	-0.4	7.8	1.0	3.9	0.75

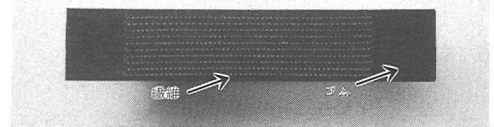


写真-1 積層繊維補強ゴムの断面写真

に示す。ここで、積層繊維ゴムの特徴として、圧縮変形の進行とともに埋設繊維の破断が生じるが、解析においては、要素モデルのひずみエネルギー密度が表-5 に示す埋設繊維の破断時のひずみエネルギー密度 W （静的引張実験による）に達した時点で繊維の破断が発生したと仮定した。なお、繊維の破断はひずみエネルギー密度関数を繊維補強ゴムの式から母材ゴムの式に置換することで評価している。また、埋設繊維破断後は、母材ゴム硬度 65 を想定) のみが有効断面とみなして耐力の計算を行った。図-11 より、繊維とゴムを一体化した本解析法は、いずれの供試体においても実験結果を概ね良好にシミュレートできることを確認した。

(3) 積層繊維補強ゴムの設計事例

3. (1) で示した設計条件に対して、ゴム製緩衝材と同じ手法を用いて、設計条件を満足する積層繊維補強ゴム製緩衝材の形状を求めた。ここでは、先の静的シミュレーション結果（厚さ 50mm 中に低強度繊維を 5 枚埋設した供試体の結果）を基に、10mm 厚さに対し低強度繊維 1 枚を積層した場合について実施した。その結果を図-12 および表-6 に示す。ここで、表-6 の網掛けの部分が要求されるエネルギー吸収能（580kN・m 以上）を満足したものである。

表-3 との比較より、繊維を埋設することにより、い

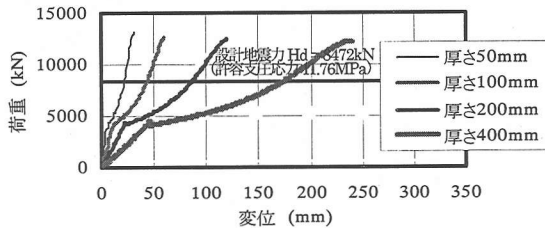


図-12 試設計による積層繊維補強ゴム製緩衝材の解析結果の一例

ずれの厚さの緩衝材においても吸収エネルギー量の増加が認められる。例えば、通常のゴムが厚さ 400mm 必要であるのに対して、積層繊維補強ゴムは厚さ 300mm で設計条件を満足しており、通常のゴムと比較して約 25% の厚さの低減が図れることがわかる。

なお、積層繊維補強ゴムは、繊維強度および繊維積層枚数を選択することにより、所望の力学特性を得ることが可能であることから¹⁰⁾、繊維強度および繊維積層枚数の選択によっては、本解析手法（設計手法）を用いた試算により、コンパクトでエネルギー吸収能力が高い緩衝材の設計も可能であると考えられる。

6. 結言

本研究では、できるだけ簡易に矩形状ゴム緩衝材の寸法等を決定する手法について検討した。ここで提案した手法により、期待される衝撃荷重の低減と衝撃エネルギーの吸収性能を満たすゴム緩衝材を設置スペース等の制約の中で設計することが可能であることが確認された。

なお、今回の手法は、ゴム緩衝材の静的挙動を基に検討したもので、緩衝材の速度依存性を考慮した動力学的特性などについては、今後さらに検討する予定である。

参考文献

- 1) 窪田賢司, 菅野匡, 上東泰, 石田博: 緩衝効果を有する落橋防止装置の衝突実験および地震時応答解析, 日本道路公団試験研究所報告, Vol.34, pp.98-104, 1997.11.
- 2) 川島一彦, 庄司学: 衝突緩衝用落橋防止システムによる桁間

表-6 積層繊維補強ゴム製緩衝材の試設計結果

緩衝材の厚さ (mm)	積層繊維補強ゴム*	
	許容応力度までのエネルギー一吸収量 (kJ・m)	エネルギー吸収効率 (%)
50	113.5	10
100	222.2	20
200	448.4	39
300	674.6	58
400	905.1	78

衝突の影響の低減効果, 土木学会論文集, No.612/I-46, pp.129-142, 1999.1.

- 3) 庄司学, 川島一彦, 宇根寛, 剣持安伸, 長谷川恵一, 島ノ絵哲: 高ひずみ/高面圧下におけるゴム製緩衝装置の応力度一ひずみ関係, 構造工学論文集, Vol.46A, pp.917-928, 2000.3.
- 4) 川島一彦, 庄司学, 越中邦博, 島ノ江哲: 落橋防止機能を有する耐震伸縮装置の開発, 第 2 回免震・制震コロキウム講演論文集, pp.201-208, 2000.11.
- 5) PIANC 技術情報, No.19, PIANC 日本国内委員会, 1987.5.
- 6) Oden.J.T : *The finite elements of nonlinear continua*, McGrawHill, 1972.
- 7) 久田俊明: 非線形有限要素法のためのテンソル解析の基礎, 丸善, 1992.
- 8) 伊津野和行, 武野志之歩: 地震時の橋梁における隣接部材の衝突速度に関する考察, 第 3 回地震時保有耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, pp.209-214, 1999.12.
- 9) 例えば, 越中邦博, 運上茂樹, 足立幸郎, 長屋和宏: 弾塑性特性を有する緩衝構造の衝撃吸収効果に関する実験的検討, 第 25 回地震工学研究発表会講演論文集, pp.857-860, 1999.7.
- 10) 西本安志, 梶田幸秀, 石川信隆, 西川信二郎: 落橋防止システム用緩衝材としての積層繊維補強ゴムの動的特性に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol.46A, pp.1865-1874, 2000.3.

(2001.01.30 受付)

A FUNDAMENTAL STUDY ON THE DESIGN METHOD OF RUBBER AS A SHOCK ABSORBER

Yasushi NISHIMOTO, Yoshimi SONODA, Nobutaka ISHIKAWA,
Hiroshi HIKOSAKA and Shinjiro NISHIKAWA

This study presents a fundamental design method of cubical rubber as a shock absorber for the bridge restrainer system. In this study, the mitigation effect and energy absorbing capacity were regarded as the basic design conditions of the shock absorber, and determined by the designer's demand in advance. The size and material type of cubical rubber absorber were determined by the results of three-dimensional (3D) FEM large deformation analysis. Finally, we applied to design the cubical laminated fiber reinforced rubber as a shock absorber.