

ゴム緩衝ピンを用いた新しい落橋防止装置の耐震補強効果について

防衛大学校 フェロー ○ 石川信隆 シバタ工業(株) 正 員 生駒信康
防衛大学校 正 員 園田佳巨 防衛大学校 学生員 衛藤芳昭
九州大学 正 員 彦坂 熙

1. 緒言

兵庫県南部地震において、落橋防止装置の破壊にともなう橋桁の橋脚からの落下事故が見られ、既設の落橋防止装置の耐震性能の改良が必要であることが明らかとなった。その手段の一つとして、道路橋示方書Ⅴ耐震設計編¹⁾や復旧仕様²⁾において、地震荷重の橋桁への伝達を低減するためにゴム等の緩衝材を使用することを推奨している。すなわち、予期し難い衝撃的な外力による落橋事故を防ぐには、衝撃緩衝材として機能しうる何らかの装置を備えることが必要である。従来の落橋防止連結板装置に関する研究としては、鈴木ら³⁾や小畑ら⁴⁾が行った実験および解析による一連の検討や、長嶋ら⁵⁾の FEM 解析が代表的なものとして挙げられるが、これらのほとんどは既設の連結板装置を対象としたものであり、いずれもゴム等の緩衝材を使用しないものであった。

さて、直下型大地震を想定すると、桁と桁を連結する落橋防止連結板装置としては、以下の特性を有することが望ましい。

- 1) 桁間の衝突等による衝撃力で桁の破壊を招かないように、十分な緩衝機能を有すること
- 2) 桁落下防止のために、地震エネルギーを吸収しうる大きなエネルギー吸収能力を有すること

そこで著者らは、ゴム自体の剛性やせん断強度の不足等を高強度の繊維を積層にすることによって補強した積層繊維ゴムに着目し、これを連結板と主桁とを連結するピンの周囲に巻き付けること(以後、この積層繊維ゴムを巻いたピンのことをゴム緩衝ピンという)を提案するものである。

すなわち、本研究は、衝撃的外力に対するゴム緩衝ピンを用いた新しい落橋防止連結板装置の動的力学特性を、落錘式衝撃実験および高速載荷実験を行うことによって調べ、その耐震補強効果を検討しようとするものである。

まず最初に、落錘式衝撃実験によりこのゴム緩衝ピンを用いた落橋防止連結板の衝撃的な外力に対する緩衝効果および荷重分散効果について、連結板内の応答ひずみによって定量的な検討を行った。次に、ゴム緩衝ピンを用いた落橋防止連結板の静的載荷実験および高速載荷実験を行い、その限界吸収エネルギー量について考察を行い、地震時のエネルギー吸収性能に関する定量的な評価を試みた。

なお、ゴム等の緩衝材を用いた落橋防止装置として、一般に図-1のように緩衝チェーン、ゴム支承、落橋防止壁用緩衝材、落橋防止連結板(メガネ型)等が、一部あるいは一体となって地震時に作用することが考えられるが、本提案のゴム緩衝ピンは、メガネ型の落橋防止連結板に用いられ、橋桁の落下を防ぐ重要な機能を果たすものである。

2. 積層繊維ゴムの特性

ここで使用する積層繊維ゴムは、鋼製ピンの外周を繊維で補強したゴム(Fiber Reinforced Rubber, FRR と略す)を回転積層化し、全てを完全に一体化したハイブリット構造体(Poly Rubber Fiber, PRF と略す)で、特殊船舶のハイレベル高圧支承材や杭支持浮体式岸壁の緩衝機能付回転支承材として開発されたものである。耐震補強が必要とされる橋梁の大部分は既存の橋梁であることから、緩衝材を設置するためのスペースは狭小であることが前提となっているので、緩衝材の許容支圧応力は高いことが望ましい。

キーワード 耐震補強、ゴム緩衝ピン、緩衝効果、限界吸収エネルギー

連絡先(〒239 横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校 土木工学科 TEL 0468-41-3810 FAX 0468-44-5913)

一方、ゴムは同質のゴム材でも形状係数(荷重が作用した場合の受圧面積と作用しない自由面積の比)が大きいと、見かけ上の圧縮ばねの剛性が大きくなり、特に内部に拘束材を埋設した

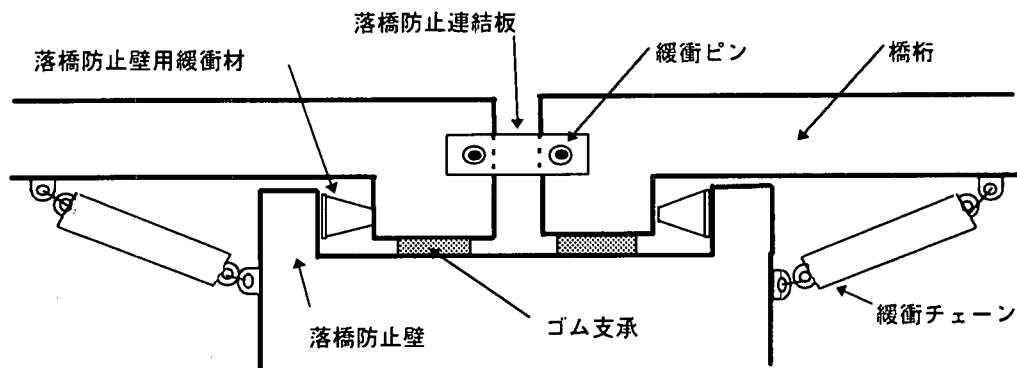


図-1 緩衝材を用いた落橋防止装置の概要

場合は、その拘束材が形状係数を高める役割を果たすことが知られている。そこで、この内部の拘束材としての繊維に着眼し、繊維の枚数による圧縮ばねの特性について静的実験を行った。

2.1 圧縮ばねの特性

予め接着処理を施した一枚の繊維(ナイロンまたはビニロン)にゴムを圧延接着したラバーファイバーを単層とし、所定の形状の中で必要枚数のラバーファイバーを積層して試験体(直径 160mm、厚さ 30mm の円板)を作成し、静的に上方より圧縮

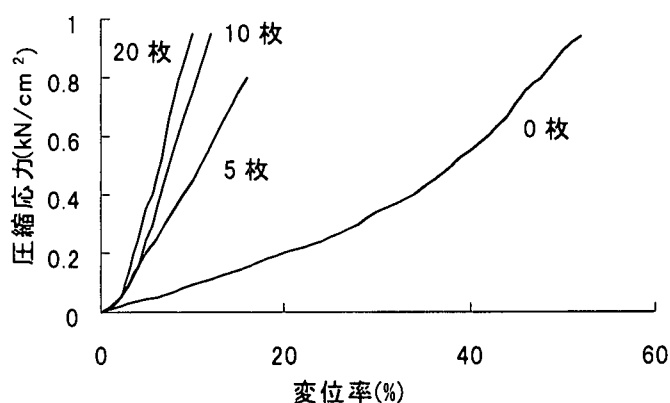


図-2 静的ばね特性

荷重を載荷した。ここでは、試験体内部のラバーファイバーの積層枚数を 0 枚、5 枚、10 枚、20 枚と変化させて実験を行った。

図-2 は、静的圧縮実験より得られた圧縮応力～変位率 ($\Delta l / l \times 100\%$ 、 Δl : 縮み量、 l : もとの厚さ) 関係を示したものである。これより、圧縮ばね特性は、形状係数つまり積層枚数に大きく依存していることが分かる。また一般的なゴム弾性材

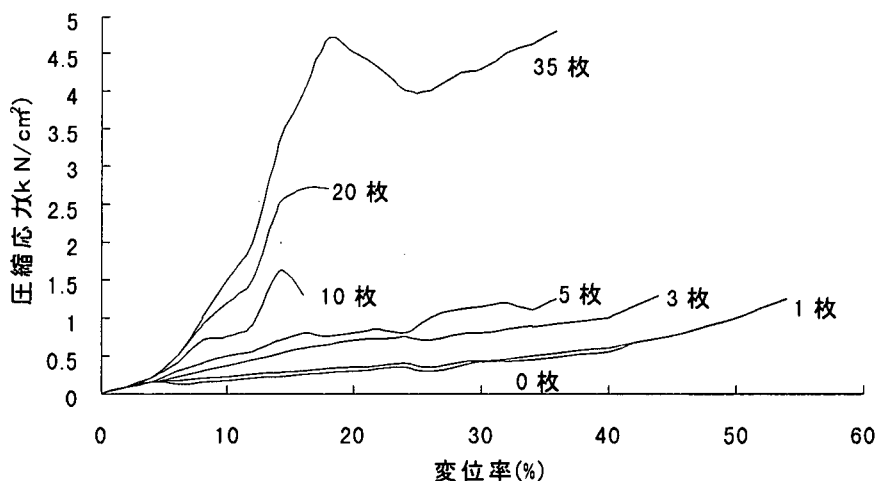


図-3 破壊特性

(枚数 0) の変位率 10% における圧縮応力は約 0.1 kN/cm^2 であるが、PRF の積層枚数 5 枚、10 枚、20 枚ではそれぞれ約 0.5、0.8、 1.2 kN/cm^2 と通常のゴム弾性材の約 5、8、12 倍の圧縮応力を示すことにもなる。このことから、PRF は支圧応力の高いゴム緩衝材として使用が可能であることを示している。

2.2 破壊特性

兵庫県南部地震後に示された提言の中で、橋梁構造物を最悪の破壊から防止するためには、緩衝材の破壊順位を明確化することが必要であるという考え方(支承ヒューズ論)も示された。このことから構造物を防護するためには、緩衝材の破壊を明確化または制御化を確立することが必要である。そのため PRF 中に埋設した繊維の破断点に着目した静的圧縮破壊実験を行った。

用いた試験体の形状は、前述と同じ直径 160mm、厚さ 30mm の円板で、内部のラバーファイバー層は 1、3、

5、10、20、35 枚とした。

図-3 は、破断まで行った圧縮応力～変位率関係を示したものである。これより、ばね特性が不連続となる点は、内部に埋設した繊維の引張破断点で、切断音が発生した。

図-4 は、破断応力と積層枚数の関係を示したもので、ほぼ比例関係にあることが確認された。このことは、内部に積層するラバーファイバーの物性を確認すれば、積層数によって静的圧縮破壊荷重の設定が可能であることを示している。

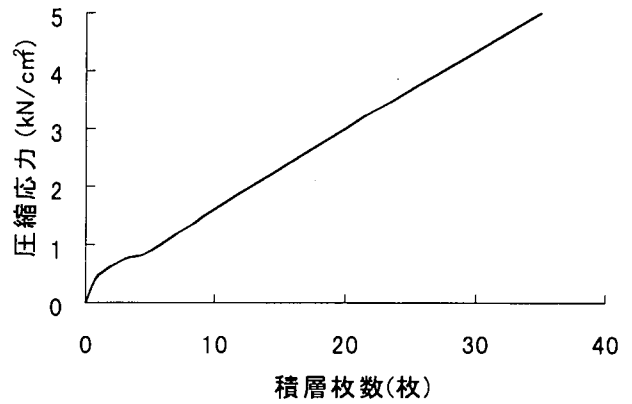


図-4 破断応力と積層枚数の関係

3. ゴム緩衝ピンを用いた落橋防止連結板の落錘式衝突実験による緩衝効果

3.1 落錘式衝突実験の概要

実際の地震時に落橋防止連結板装置が有効に作動するときは、橋桁の水平移動でピンが連結板と衝突するため、連結板装置の耐震性能の評価には衝突実験による検証が必要である。そこで、ゴムの衝撃緩衝効果を把握するために、連結板の応答ひずみの値に着目した弾性応答レベルの落錘式衝突実験を行った。

(1) 実験装置

本実験では、図-5 に示すように载荷治用具とボルト締めにより一体化された連結板にピンを通し、このピンを固定用治具で支えることにより連結板を設置した。連結板に対する载荷は、図-6 に示すように重錘を载荷治具上部に与え、载荷治具および連結板を下方に移動させて固定用治具で支えられたピンに連結板をくい込ませることにより行った。

(2) 試験体の種類

実験に用いた連結板試験体を図-7 に示す。本試験体の寸法は、支間 20m 程度の小規模の橋梁において実際に用いられる大きさ

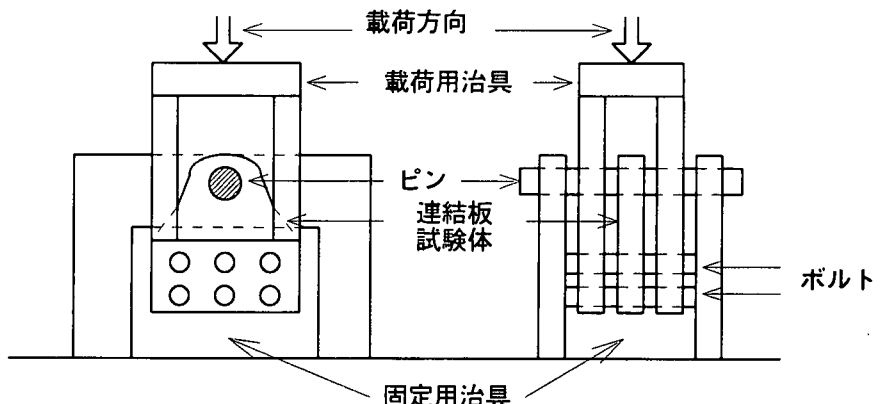


図-5 実験装置

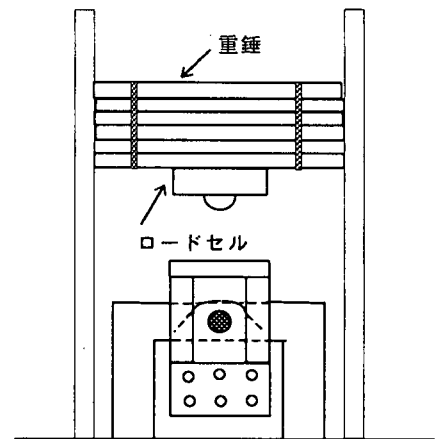


図-6 落錘式実験装置

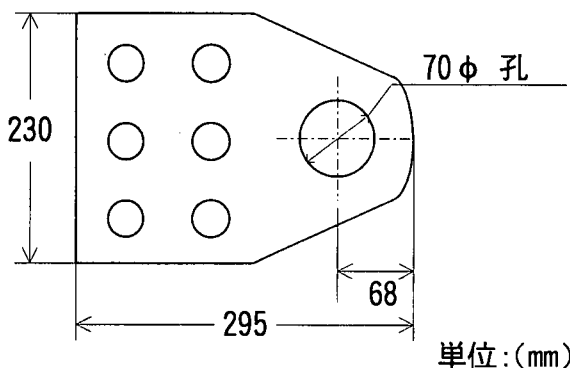


図-7 連結板試験体

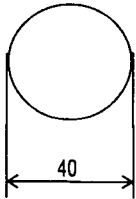
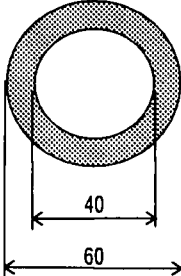
名称	タイプ A	タイプ B
構造	鋼製ピン	積層繊維ゴム巻きピン
ピン形状		

図-8 ピン試験体

のもので、実際の連結板の片側半分のみをモデル化したものであり、材質はSS400を用いた。ピン試験体は図-8に示すよう

表-1 ゴムの材料諸元表

項目	B-1		B-2	
種類	クロロピレン	繊維	クロロピレン	繊維
引張強度	1.96kN/cm ²	4.7kN/3cm	1kN/cm ²	1.76kN/3cm
伸び	500%	40%	390%	11%

に、従来の装置に使用されている緩衝材を有しないタイプA、ピンにゴムを巻きつけたタイプBの2種類を検討の対象とした。タイプBの積層繊維ゴムの特性を表-1に示す。また、各タイプとも鋼棒の直径は40mmの同一の大きさとし、材質はS35Cのものを用いた。

(3) 測定項目

衝突実験での計測項目は、載荷点荷重および連結板のひずみである。連結板のひずみについては、図-9に示すように連結板のピン孔中心を基準とした極座標を想定し、15° 間隔で円周方向に貼付した2軸および3軸ゲージにより計測した。なお、本実験では、特に円周方向に対するゴムの荷重分散効果を把握するために、ゲージの貼付位置はピン孔中心からR=60mmの一定の距離に配置し、連結板内のひずみ分布を測定した。実験に用いた重錘の重量はW=0.98kNとし、最大応答ひずみが最も大きくなると思われるタイプAに対して予め予備実験を行い、その結果を基に弾性応答実験を落下高さH=10cm(衝突速度V=140cm/s)と設定した。

3.2 衝突実験結果および考察

(1) 連結板内の円周方向ひずみ～時間関係

図-10(a)、(b)は、弾性応答実験におけるタイプA、タイプB-1の円周方向の引張ひずみ～時間関係を、30° 間隔毎の位置(No. 3, No. 5, No. 7)で得られた値を示したものである。この図より、両タイプとも $\theta = 90^\circ$ のピン直下(No. 7)で最大引張ひずみが発生していることが認められる。また、両タイプとも各位置毎のひずみ波形の時間的変化の傾向はよく似ているが、タイプB-1のひずみ波形はタイプAより時間的に緩やかになっており、衝撃現象がゴムによって緩和されていることが分かる。また、タイプAでは $\theta = 90^\circ$ の位置のひずみ(No. 7)が1200 μ 、 $\theta = 75^\circ$ の位置のひずみ(No. 5)が500 μ と差が大きくなるのに対して、タイプB-1では $\theta = 75^\circ$ 、 90° の位置のひずみが比較的均等に生じており、荷重が分散されていることが分かる。

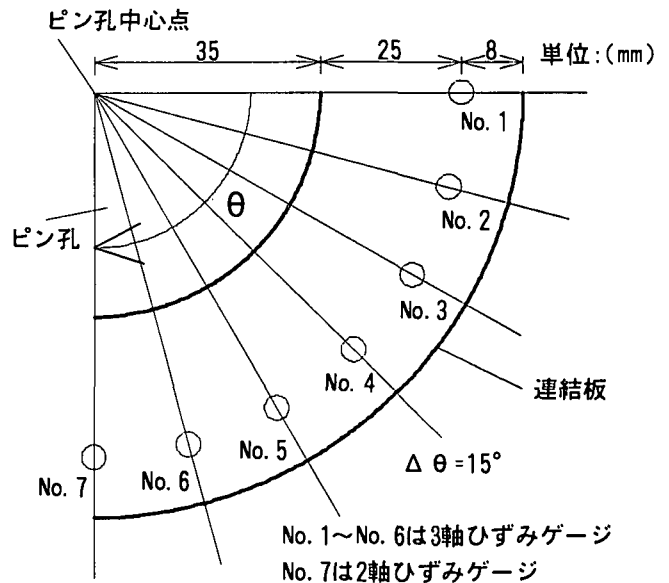


図-9 連結板ひずみ計測位置

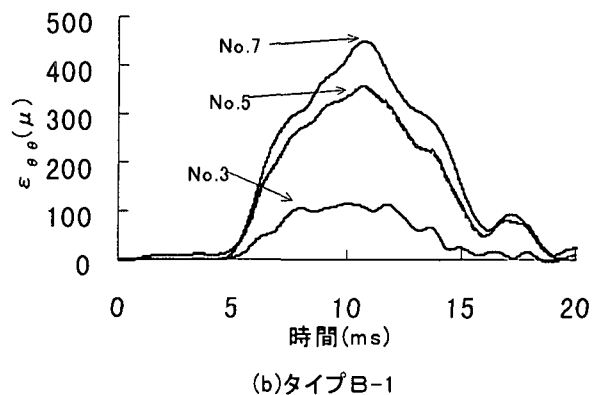
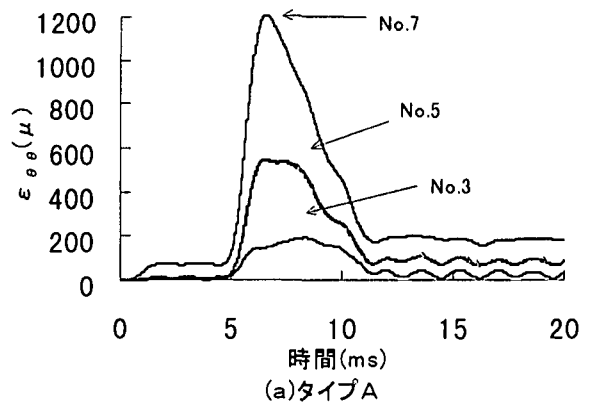


図-10 連結板内の円周方向ひずみ～時間関係

(2) ピン直下のひずみ～時間関係

次に、各タイプの $\theta = 90^\circ$ 、つまりピン直下における円周方向ひずみ($\varepsilon_{\theta\theta}$)および半径方向ひずみ(ε_{rr})の時間的変化をそれぞれ図-11(a)、(b)に示す。これらより、両成分ともにひずみの最大値がタイプAに比べてタイプB-1では約1/3まで低減されており、また応答作用時間もタイプB-1の方が約2倍程度大きく伸びていることが認められる。すなわち、ゴムを使用することにより連結板に対する緩衝効果が明確に現れていることが分かる。

4. 静的載荷および高速載荷実験による限界吸収エネルギーの評価

4.1 実験の概要

ここでは、ゴム緩衝ピンのエネルギー吸収性能に着目して検討を行う。そこで、ゴム緩衝ピンを使用した場合の吸収エネルギー量を把握するために、静的載荷および高速載荷実験を行った。なお、この両実験で使用したピン試験体はタイプAおよびタイプB-2である。

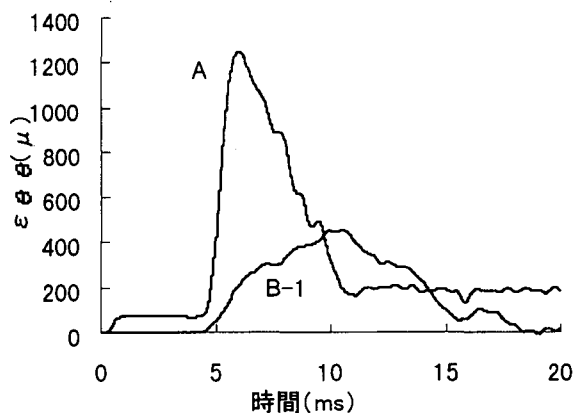
両実験における測定項目は、載荷点荷重、載荷点変位およびピン変位で、荷重はロードセルにより、また変位は静的載荷実験においてはひずみゲージ式変位計を、高速載荷実験においてはレーザ式変位計を用いて計測した。載荷治具の変位からピンの変位を差し引くことにより、連結板に対するピンのくい込み量が算定され、これを変位量として評価した。

4.2 実験結果および考察

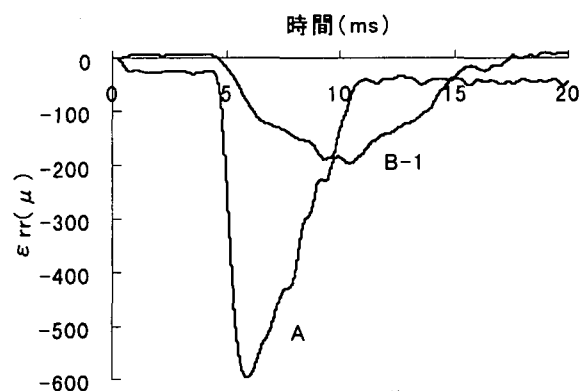
(1) 荷重～変位関係

図-12(a)、(b)に、それぞれ静的および高速載荷実験から得られた荷重～変位関係を示す。図からゴムを巻くことによる耐力への影響はないが、高速載荷の方が静的載荷よりも約10%大きな耐力を示すことが分かり、載荷速度が耐力に影響することが分かる。

次に、ゴムの有無の影響についてみると、タイプAの場合は載荷後直ちに荷重が立ち上がり弾塑性の傾向を示すのに対し、タイプB-2の場合は載荷後比較的小さな荷重(静的では約30kN、高速では約50kN)で一度荷重が一定となり変形が進行する。その後ある変位(静的では約10mm、高速では約7mm)に達した以降は、荷重が急激に立ち上がり、それ以降はタイプAと同様の挙動を示す。タイプB-2において低い荷重で変位が進行するのは、この領域でゴムが逐次に切断されるからであり、それ以降荷重が急激に上昇するのは、連結板にピンの芯棒が接しゴム巻きの効果が失われたためである。また、終局変位は静的載荷および高速載荷のい

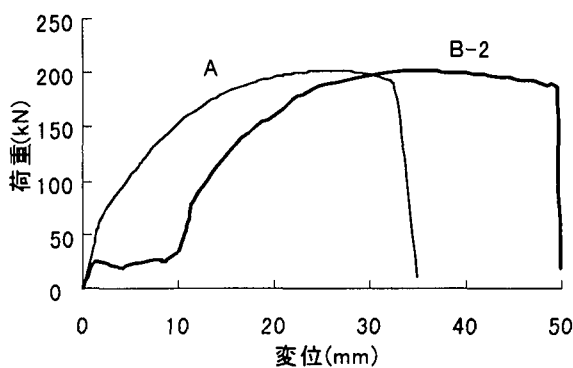


(a) 円周方向ひずみ

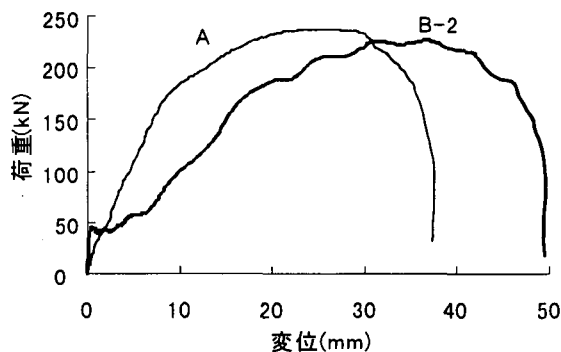


(b) 半径方向ひずみ

図-11 ピン直下のひずみ時間～関係



(a) 静的載荷実験



(b) 高速載荷実験

図-12 荷重～変位関係

れにおいてもタイプB-2の方が、ゴム厚以上に増大していることが分かる。

(2) 吸収エネルギー

図-13(a), (b)は、図-12(a), (b)に示す荷重～変位関係をそれぞれ積分することにより、吸収エネルギーを算定したものである。両図から、変位約3.5cm以下における吸収エネルギーはタイプAの方が大きな値を示すが、タイプAでは変位約3.5cmで破断に至るのに対し、タイプB-2はさらに変形してエネルギーを吸収することが分かる。破断時の限界吸収エネルギーは、タイプAが静的載荷で約540kN・cm、タイプB-2で約700kN・cm、高速載荷でタイプAが約700kN・cm、タイプB-2で約800kN・cmであり、ゴムを巻きつけることにより、静的で約30%、高速で約15%エネルギー吸収性能が向上していることが確認された。

5. 結論

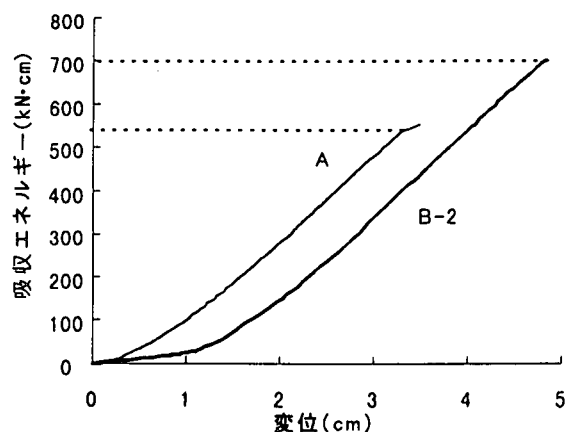
本研究では、落橋防止連結板装置に積層繊維ゴムをピンに巻いたときの効果について実験的な検討を行ったもので、ここで得られた成果を要約すると以下ようになる。

- (1) 積層繊維ゴムをピンに巻くことにより、連結板に生じるひずみが局所的に大きくなることを防止できることが衝突実験において認められ、地震発生時における衝撃力を低減させることが明らかになった。また、その荷重分散効果も確認できた。
- (2) ゴム緩衝ピンを用いることにより連結板が破断するまでの変位量を大きくすることができた。また、ゴムが切断された以降の荷重～変位関係は、ゴム無しの場合とほぼ同様の傾向を示すことが分かった。

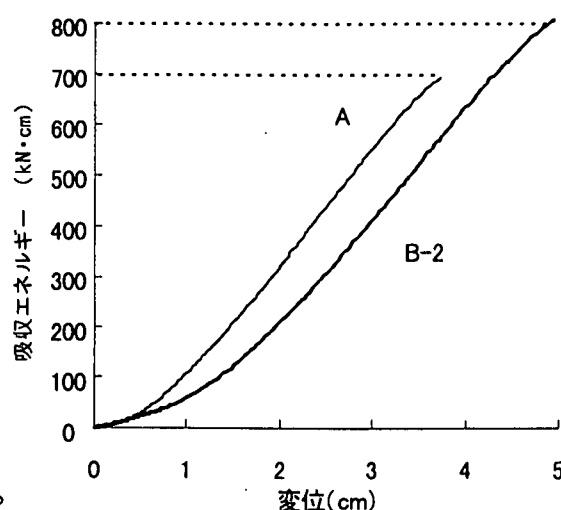
- (3) 与えられた外力エネルギーは、ゴム緩衝ピンのゴムを破断することにより吸収され、限界吸収エネルギーを静的で約30%、高速で約15%増大させることが実験的に明らかになり、耐震補強として有用であることが認められた。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説、V耐震設計編、平成2年2月
- 2) 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)、平成7年6月
- 3) 鈴木五月、後藤芳顕、松浦聖、石原英一：鋼道路橋の落橋防止装置連結板の耐荷力試験、構造工学論文集、Vol.35A, pp.1011-1018, 1989.3
- 4) 小畑誠、後藤芳顕、松浦聖、藤原英之：高速引張時の落橋防止装置連結板の強度特性、土木学会論文集、No.441/I-18, pp.97-105, 1992.1
- 5) 長嶋文雄、成田信之：落橋防止連結部材の衝撃応答解析、構造工学論文集、Vol.40A, pp.1343-1348, 1994.3
- 6) 石川信隆・竹本憲介・彦坂熙・佐藤浩明・生駒信康：ゴム巻きピンを用いた落橋防止連結板の衝撃緩衝効果について、第3回落石等による衝撃問題に関するシンポジウム論文集、pp.169-174, 1996.6
- 7) 園田佳巨・石川信隆・彦坂熙：落橋防止連結板の高速変形特性に関する解析的考察、第3回落石等による衝撃問題に関するシンポジウム論文集、pp.321-325, 1996.6



(a) 静的載荷実験



(b) 高速載荷実験

図-13 吸収エネルギー～変位関係