

(30) 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

SHOCK ABSORBING SYSTEM OF THE BRIDGE RESTRAINER WITH RUBBER-ROLLED PIN

石川信隆*, 竹本憲介**, 彦坂 熙***, 佐藤浩明****, 生駒信康*****

Nobutaka ISHIKAWA, Kensuke TAKEMOTO, Hiroshi HIKOSAKA, Hiroaki SATOH and Nobuyasu IKOMA

* 工博 防衛大学校教授 土木工学科(〒239 横須賀市走水1-10-20)

** 防衛大学校本科学学生 土木工学科(〒239 横須賀市走水1-10-20)

*** 工博 九州大学教授 工学部建設都市工学科(〒812 福岡市東区箱崎6-10-1)

**** (株)宮地鐵工所 技術開発課(〒103 中央区日本橋小伝馬町15-18)

***** シバタ工業(株) 建設・海洋用品事業部開発部(〒674 明石市魚住町中尾1058)

キーワード：落橋防止装置，ゴム巻きピン，衝撃緩衝効果
(bridge restrainer, rubber-rolled pin, shock absorbing system)

1. 緒言

先の阪神大震災において、橋桁が落下するという被災例数が多くみられた。この落橋を防止するための装置として連結板を用いた落橋防止装置が用いられているが、阪神大震災においては連結板または橋桁が破壊した例などが多々あった。これまで大地震が発生して衝撃的な外力が作用した場合を想定して、安全かつ確実に桁の落下を防止するための落橋防止装置連結板に関する研究がいくつか行われてきた。例えば、鈴木ら¹⁾および小畑ら²⁾は、強度および変形能の両面、すなわち吸収エネルギーの観点から実験的および解析的に効果的な連結板の形状について検討を行っている。また道路橋示方書 V 耐震設計編³⁾や復旧仕様⁴⁾においても、地震の影響の低減を期待する構造として、エネルギー吸収性能を有した衝撃緩衝装置を用いることを推奨している。しかし、連結板と主桁とを接続するピンにゴムを巻いた研究は行っていない。

そこで本研究は、通常ゴムが衝撃緩衝材として有効な性能を有している点に着目し、連結板と主桁とを接続するピンに積層繊維ゴムを巻き付けることにより、ゴム巻きピンのエネルギー吸収性能を期待した新しい落橋防止装置を開発しようとするものである。ここでは、その基礎的段階として、静的および高速載荷実験により実験的にゴム巻きピンの性能について検討を行ったものである。

2. 実験の概要

2.1 実験装置

静的および高速載荷実験は、図-1に示すように試験体である連結板にピンを通し、さらにこのピンを固定用治具に通して連結板およびピンを設置した。連結板は、載荷用治具と下側をボルトで留めることにより一体化して連結した。載荷治具の上部に静的および高速の荷重を作用させることにより、連結板を下方に移動させ、ピンが連結板の先端部にくい込むようにした。

静的載荷実験は、アムスラー試験機(荷重容量200 tonf)により、また高速載荷実験は、高速変形負荷実験装置(荷重容量50 tonf, 載荷速度4 m/sec)を用いて行った。

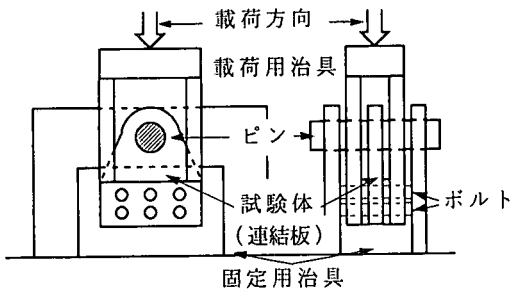


図-1 実験装置

表-1 ピンの種類 (単位: mm)

No.	1	2	3	4	5	6	7
ピン直径	60	50	40	30	50	40	30
ゴム厚	0	0	0	0	5	10	15
ピン全径	60	50	40	30	60	60	60

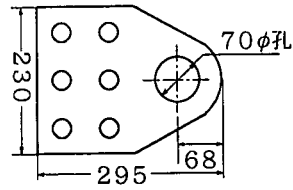


図-2 連結板試験体

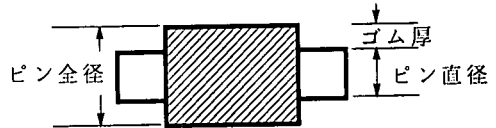


図-3 ピン試験体

表-2 積層繊維ゴムの材料諸元表

	ゴム	繊維
種類	クロロプレン	ビニロン
引張強度	102 kgf/cm ²	180 kgf/3cm
伸び	390 %	11 %
硬度	58	

測定項目は、載荷点荷重、載荷点変位およびピンの変位で、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それぞれ用いて測定した。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することとした。

2.2 試験体

(1) 連結板試験体

実験に用いた連結板をモデル化した試験体を図-2に示す。本試験体は、実際に用いられている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SS 400である。

(2) ピン試験体

ピン試験体は、ゴム巻き効果の調べるためピン直径を変化させて、ゴムを巻き付けないもの、およびピン全径を一定にしてゴムの巻き付け厚さを変化させたものを用いた。実験に用いたピンの寸法を表-1に示す。用いたピンの材質はS 35 Cである。またゴム巻きピンは、積層繊維ゴムを所望の厚さになるまでピンに巻き付けて図-3のように作成した。ゴムおよび繊維の特性は表-2の通りである。

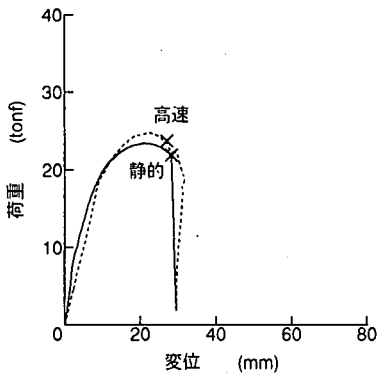
2.3 実験ケース

実験は、同一の連結板試験体に対し、表-1に示すようにピンの直径を変化させて、各ピンの種類毎に静的載荷実験を2体、高速載荷実験を3体ずつ行った。

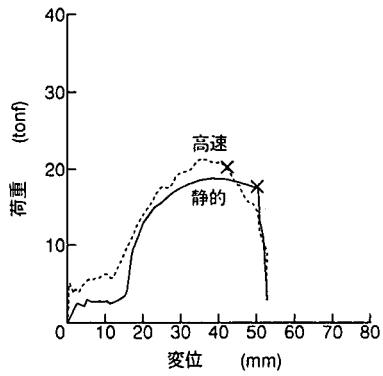
3. 実験結果および考察

3.1 載荷速度の影響

図-4に、ピン直径60 mm、ゴム厚0 mm (No. 1) およびピン直径30 mm、ゴム厚15 mm (No. 7) のピンを用いた場合の静的および高速載荷実験から得られた荷重～変位関係をそれぞれ示す。図-4より、ゴムの有無に関わらず、載荷速度が速い場合の方が約10%大きな耐力を示すことが認められる。また、連結板の破断により、耐力は急激に低下することがわかる。

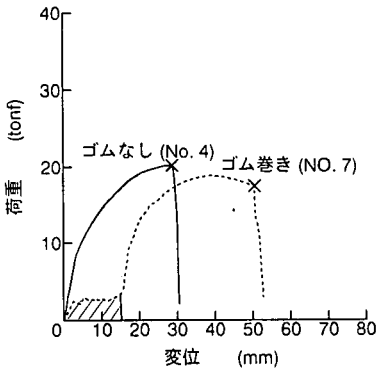


(a) ピン直径 60 mm, ゴム厚 0 mm
(No. 1, ゴムなしピン)

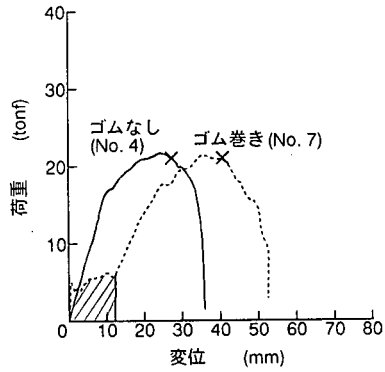


(b) ピン直径 30 mm, ゴム厚 15 mm
(No. 7, ゴム巻きピン)

図-4 載荷速度の影響



(a) 静的載荷実験
(ϕ 30, ゴム巻き, ゴムなし)



(b) 高速載荷実験
(ϕ 30, ゴム巻き, ゴムなし)

図-5 ゴムの有無の影響

3.2 ゴムの有無の影響

図-5に、ピン直径 30 mm に厚さ 15 mm のゴムを巻き付けたピン (No. 7) およびゴムを巻き付けないピン (No. 4) を用いた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-5より、ゴムなしピン (No. 4) の場合は載荷後直ちに荷重が立ち上がり弾塑性型の傾向を示すのに対し、ゴム巻きピン (No. 7) の場合は載荷後僅かな荷重 (静的では約 3 tonf, 高速では約 5 tonf) 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 15 mm, 高速では約 12 mm) に達した以降は、荷重が急激に立ち上がり、それ以降はゴムなしピン (No. 4) の場合と同様な挙動を示す。ゴム巻きピン (No. 7) において僅かな荷重で変形が進行するのは、この領域でピンに巻き付けた積層ゴムの繊維が逐次切断されていくためである。

また、図よりゴムの有無にかかわらず、最大荷重はほぼ等しい値を示すことが認められるが、連結板が破断するときの破断変位は、明らかにゴムを巻き付けた場合の方が静的で約 62%、高速で約 50% 大きくなっている。また図-5の斜線部が積層繊維ゴムの吸収エネルギーに相当し、これを除くとゴムなしの場合とほぼ等しい挙動となることがわかる。

3.3 ゴム巻き厚さの影響

図-6に、ピン直径を 60 mm と一定にしてゴムの巻き付け厚さを変化したピン (No. 1, 5, 6, 7) を用いた静的および高速載荷実験から得られた荷重～変位関係をそれぞれ示す。図-6より、ゴム巻き付け厚さを増加させると、荷重

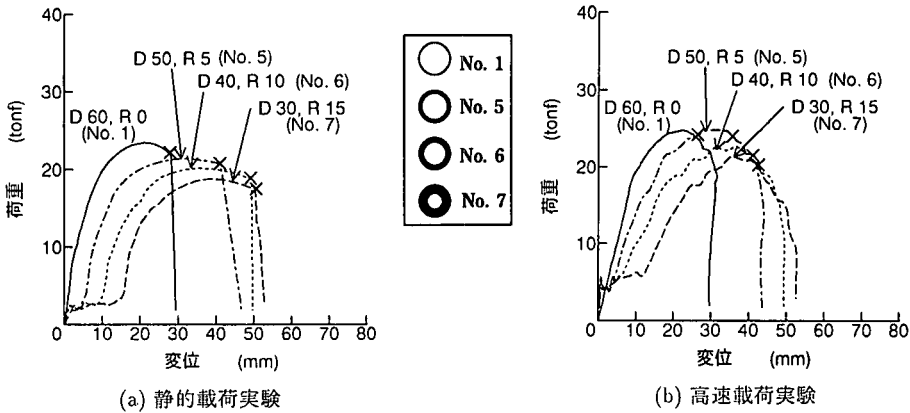


図-6 ゴム巻き厚さの影響

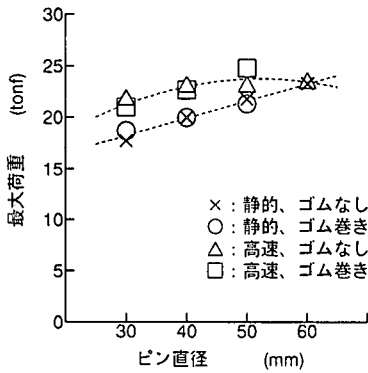


図-7 最大荷重～ピン直径関係

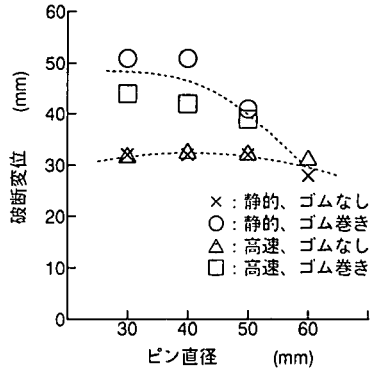


図-8 破断変位～ピン直径関係

はやや小さくはなるものの破断時の変位が大きくなることが認められ、吸収エネルギー（後の 3.6 参照）は当然大きくなる。

3.4 最大荷重

図-7に、ピン直径毎の最大荷重を示す。図-7より、高速載荷の方が静的載荷に比べひずみ速度効果により大きな荷重（約 15% 増）を示している。またピン直径が大きくなるに従い、最大荷重も大きくなるのがわかる。これは、ピン直径の大きい方が連結板の孔穴部との接触面積が大きくなるためである。なお、ゴムの有無にかかわらず最大荷重はほぼ等しい値を示すことが認められる。

3.5 破断変位

図-8に、ピン直径毎の連結板の破断時の変位を示す。図-8より、ゴムなしの場合は、ピン直径にかかわらずほぼ一定の破断変位（約 30 mm）となるのがわかる。また載荷速度にかかわらず、破断変位はほぼ等しい値となっていることが認められる。これに対しゴム巻きの場合は、ピン直径が小さくなり、ゴムの巻き付け厚さが厚くなるにしたがい、ゴムの効果が強くなり破断変位が大きくなっている。これは、ゴム厚さの厚い方が、積層ゴムの繊維を逐次破断していくことにより変形量を稼ぐためと思われる。

3.6 吸収エネルギー

図-4に示す高速載荷の場合の荷重～変位関係の面積を積分することにより、吸収エネルギー量を算定した。図-9に、ピン直径 30 mm に厚さ 15 mm のゴムを巻き付けたピン（No. 7）およびゴムなしでピン直径 60 mm のピン（No. 1）を用いた高速載荷実験から得られた吸収エネルギー～変位関係を示す。図-9より、変位約 30 mm 以下における吸収エネルギーはゴムなしの方が大きな値を示すことが認められる。しかし、ゴムなしの場合は変位が約 30 mm

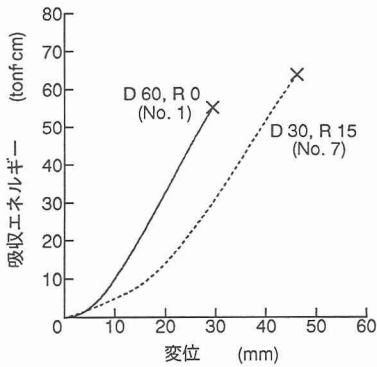


図-9 吸収エネルギー～変位関係
(高速载荷)

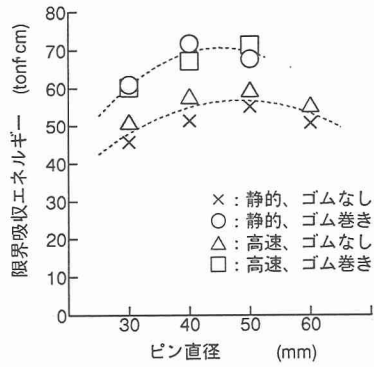
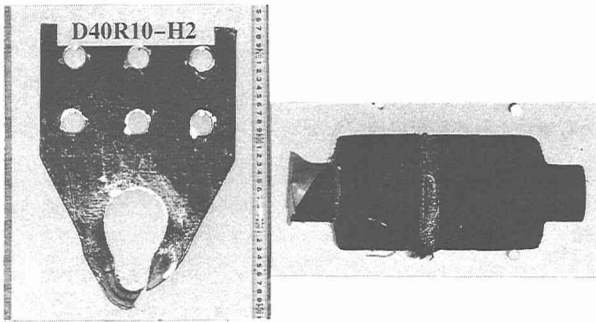


図-10 限界吸収エネルギー～ピン直径関係



(a) 連結板試験体 (b) ピン試験体
写真-1 破壊形態

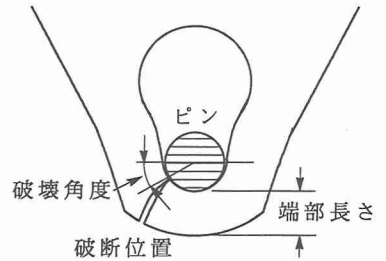


図-11 破壊後の端部長さ、
破壊角度測定方法

で破断に至るのに対し、ゴム巻きの方はさらに変形してエネルギーを吸収でき、破断する際の限界吸収エネルギーはゴムなしの場合より約15%大きな値となることが認められる。例えば、外力エネルギーが60 tonf·cmの場合、ゴムなしの場合は破断しているが、ゴム巻きの場合は連結板が破断しないことがわかる。

また図-10に、連結板が破断するまでの限界吸収エネルギー～ピン直径関係を示す。図-10より、ゴムを巻き付けることにより、限界吸収エネルギーは大きくなることが認められ、ピンにゴムを巻き付けることが、耐衝撃性能を高めていると考えられる。特に、ゴムなしでピン直径60mmのピン(No.1)を用いた場合より、ゴムを巻き付けて全径60mmとしたピン(No.5,6,7)を用いた場合の方が、ピン直径にかかわらず限界吸収エネルギーは大きな値を示すことが認められた。

特に、ピンの全径を一定としてゴム厚を変化させた場合は、直径40mm(No.6)もしくは50mm(No.5)の場合、吸収エネルギー量が最も大きくなることが認められる。すなわち、最適なゴムの厚さが存在すると考えられる。

3.7 破壊形態

ゴムなしピンの場合(No.1~4)は、载荷後直ちにピンが連結板先端部にくい込み最終的に連結板が破断した。これに対し、ゴム巻きピンの場合(No.5~7)は、载荷後ゴムの繊維が切断していくが、ゴムの厚さ程度まで切断した後に、内側のピンが連結板に接触し、このピンが連結板にくい込みことにより最終的に連結板を破断させた。写真-1(a),(b)に、ゴム巻きピンを用いた場合の実験後の連結板試験体の破壊形態、ならびにゴム巻きピンの破壊形態を示す。

ここで、実験後の試験体において、図-11に示す方法で先端部分の厚さおよび連結板の破断が始まっている部分の角度を測定した。図-12にピン直径毎の端部長さを、図-13にピン直径毎の破断角度を示す。図-12より、ピン直

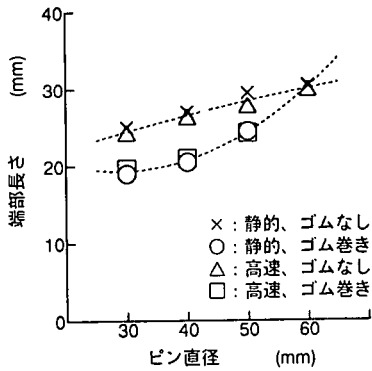


図-12 破壊後の端部長さ～ピン直径関係

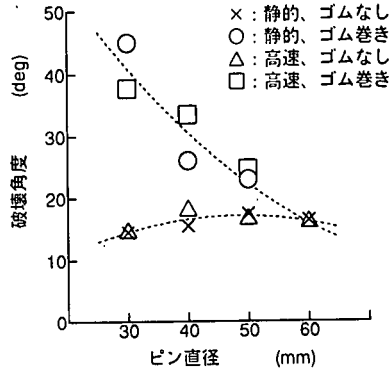


図-13 破壊角度～ピン直径関係

径が大きくなるに従い、端部長さは大きくなる、すなわち連結板へのピンのくい込み量は小さくなり、当然ながらくい込みにくいことを示している。また、ゴムを巻き付けた場合の方が端部長さが短い、つまりくい込み量が大きくなり、破断しにくいことを意味している。さらに、図-13 よりゴムなしピンの場合、破断角度はピン直径にかかわらずほぼ一定の値(約 15°)を示すのに対し、ゴム巻きピンの場合は、ピン直径が小さくなるにしたがい破断角度が大きくなる(約 40～45°)ことが認められ、ゴムの有無により連結板の破壊形態が異なることが認められた。

4. 結論

本研究から得られた成果を要約すると、以下のとおりである。

- (1) ピンにゴムを巻き付けることにより、連結板が破断するまでの変形量を大きくすることができた。また、ゴム巻きピンにおいて、ゴムの繊維が切断された以降の荷重～変位関係は、ゴムなしの場合とほぼ同様の傾向を示すことが認められた。
- (2) ピン直径が大きくなるにしたがい、ゴムの有無にかかわらず最大荷重は大きくなるが、破断時の変位は小さくなることが認められた。また吸収エネルギーは、ピン直径 40 mm (No. 6) もしくは 50 mm (No. 5) において最も大きくなり、最適なピン直径ならびにゴム巻き厚さが存在することが認められた。
- (3) 与えられた外力エネルギーは、ゴムを巻き付けることにより積層ゴムの繊維の破断により吸収されることになり、吸収可能なエネルギー量が大きくなることが認められた。すなわち、強制変位としてあるいはエネルギーとして外力が作用した場合においては、ゴムを巻き付けることにより連結板の破断を防止することができ、衝撃緩衝効果を大きくすることが認められた。なお、大地震の発生により主桁が移動し、連結板にピンが衝突する場合においても、衝撃(衝突)外力下における荷重の低減効果という意味でのゴムの衝撃緩衝性能はすでに認められており⁵⁾、ゴム巻きピンは有効な衝撃緩衝効果を有するものと考えられる。
- (4) 本実験結果から、ゴムを巻き付けることによる連結板の破壊形態が異なることが認められた。今後解析的検討により、ゴム巻きピンによる連結板の破壊メカニズムについて検討していく予定である。

参考文献

- 1) 鈴木五月, 後藤芳頭, 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実験, 構造工学論文集, Vol. 35A, pp. 1011 - 1018, 1989. 3
- 2) 小畑誠, 後藤芳頭, 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
- 3) 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
- 4) 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
- 5) 小暮幹太, 酒巻勝, 藤掛一典, 大野友則: 落錘衝撃実験における荷重計測に関する一考察, 土木学会第 50 回年次学術講演会講演概要集, 第 1 部(B), pp. 1064 - 1065, 平成 7 年 9 月