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緩衝効果に関する実験的研究

防衛大学校*1　正会員　○西本　安志
防衛大学校*1　正会員　梶田　幸秀
防衛大学校*1　フェロー　石川　信隆
シバタ工業株式会社*2　西川信二郎

1.緒言

1995 年 1 月に発生した兵庫県南部地震において、橋桁が落下する被災事例が多数発生し [1]、ゴムなどの緩衝材の設置による落橋防止装置の高性能化の必要性が提唱されている。また、道路橋示方書 [2]では、大地震発生時において衝撃的に作用する力を緩和するためのゴムなどの緩衝材を落橋防止システムに設置することが考えられている。一般に、大地震発生時の衝撃的に作用する荷重に対応する緩衝材に要求される機能としては、①衝撃エネルギーの吸収効果、②衝撃荷重の低減効果がある。

よって、これらの要求機能を高いレベルで両立させるために、ゴムに繊維を埋設し剛性と強度を向上させた積層繊維補強ゴム [3]（図-1）に着目した。積層繊維補強ゴムは、衝撃エネルギーの吸収効果という観点から、高エネルギー吸収性能を示すことはすでに確認されている [3]。本研究では、積層繊維補強ゴムの落橋防止システム用緩衝材への適用に関する一連の研究として、重錘落下実験を実施し、衝撃荷重の低減効果について評価することを目的とした。

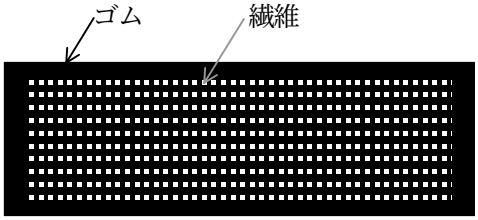

図-1　積層繊維補強ゴム

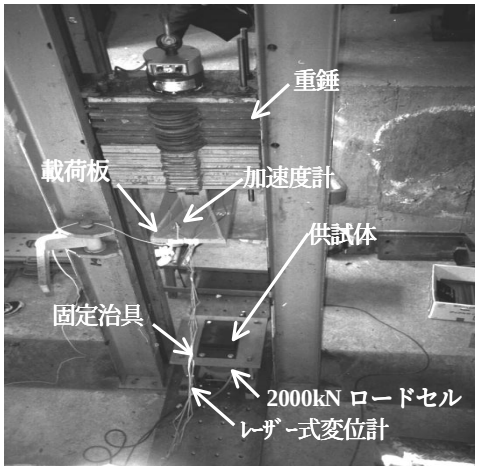

図-2　重錘落下実験概要

2.実験概要

2.1　実験の概要

重錘落下実験には、図-2 に示す落錘衝撃実験装置を使用し、重錘重量を 4.0kN(=408kgf)として、所定の高さから重錘を自由落下させ、供試体に衝撃的な外力を与えた。本実験における実験条件を表-1 に示す。

供試体に入力するエネルギーは、先に実施した静的載荷実験より得られた荷重～変位関係 [4]からエネルギー吸収量～発生荷重関係を求め、初期降伏点（埋設繊維の初期破断点）近傍の 1.0kN･m、および初期降伏点以降を考慮し 5.0, 10.0kN･m とした。測定項目は、重錘加速度、重錘変位、ならびに供試体の下に取り付けたロードセルによる荷重である。

2.2　供試体の種類

供試体は、縦 150×横 150×高さ 50(mm)の直方体形状とした。また、本供試体に使用したゴムおよび繊維の材料諸元を表-2 に示す。供試体は、総ゴム硬度 50 度および 65 度（天然ゴム系）、低強度繊維を 5 枚および 25 枚積層したもの、中強度繊維および高強度繊維を 5 枚積層したものとした。

表-1　重錘落下実験条件

入力エネルギー (kN･m)	落下高さ(m)	衝突速度*(m/s)
1.0	0.25	2.21
5.0	1.25	4.94
10.0	2.50	7.00

*衝突速度 $v=(2gh)^{1/2}$ により算出。

表-2　ゴムおよび繊維の材料諸元

	低強度繊維	中強度繊維	高強度繊維	ゴ　ム	
材質	ビニロン	6,6-ナイロン	ナイロン	天然ゴム (NR)系	天然ゴム (NR)系
引張強度	588(N/cm)	882(N/cm)	1764(N/cm)	10.2(MPa)	20.4(MPa)
破断時の伸び(%)	20	25	40	600	600
硬度	―	―	―	65	50

キーワード：積層繊維補強ゴム、落橋防止システム、緩衝材、重錘落下試験、緩衝効果
連絡先：*1)〒239-8686　神奈川県横須賀市走水 1-10-20　TEL:0468-41-3810　FAX:0468-44-5913
**2)〒674-0082　兵庫県明石市魚住町中尾 1058　TEL:078-946-1515　FAX:078-946-0528

表-3　最大発生荷重と荷重低減係数　　：繊維の破断

入力エネルギー	1.0kN･m		5.0kN･m		10.0kN･m	
最大発生荷重／荷重低減係数	$P_{1.0}$(kN)	$K_{1.0}$	$P_{5.0}$(kN)	$K_{5.0}$	P_{10}(kN)	$K_{10.0}$
総ゴム硬度 50 度	120.6	1.00	497.7	1.00	987.7	1.00
総ゴム硬度 65 度	114.8	0.95	482.3	0.97	991.5	1.00
低強度繊維 5PLY	203.8	1.69	326.3	0.66	687.1	0.70
低強度繊維 25PLY	268.9	2.23	690.0	1.39	803.9	0.81
中強度繊維 5PLY	167.5	1.39	414.4	0.83	670.9	0.68
高強度繊維 5PLY	168.4	1.40	474.7	0.95	765.6	0.78

2.3 結果と考察

実験結果をまとめるに当たり、ロードセルより得られた荷重のピーク値を最大発生荷重とした。また、衝撃荷重の低減効果を示す評価係数として、下記に示す式(1)を用いることとした。

$$K_n = P_n / P_{R50\cdot n} \qquad (1)$$

ここで、

K_n ：荷重低減係数（荷重低減効果を評価する係数である。すなわち、1.0 以下であれば荷重低減効果が大きい。）

P_n：総ゴム硬度 50 度以外の供試体を設置した場合の入力エネルギー(E=**n**kN･m)を与えたときの最大発生荷重、

$P_{R50\cdot n}$：総ゴム硬度 50 度を設置した場合の入力エネルギー(E=**n**kN･m)を与えたときの最大発生荷重。

なお、本研究では、ゴム製緩衝材の高機能化・高性能化が目的であるため、文献 5)に記載されている落橋防止壁用緩衝材の規格値（硬度 55±5 度程度）の低硬度側である硬度 50 度の総ゴム構造を基準として比較することとした。各実験ケースにおける最大発生荷重と荷重低減係数を表-3 に示す。

表-3 より、総ゴム構造においては、硬度 50 度と比較して剛性の大きい硬度 65 度は、荷重低減係数が 1.0 よりもやや低い値を示した。

一方、積層繊維補強ゴムは、総ゴム構造に比して初期降伏点までは高剛性となるため、入力エネルギーが小さい場合、すなわち、初期降伏点までの弾性範囲内の応答では、荷重低減係数は約 1.4～2.2 と 1.0 よりも大きな値を示し、荷重低減効果が小さいことがわかる。しかし、入力エネルギーが大きくなると、埋設繊維が破断し、埋設繊維破断後は、荷重低減係数が約 0.7～0.8 と 1.0 以下となり、総ゴム構造と比較して荷重低減効果が大きくなることがわかった。

3.結言

本研究により、得られた成果を要約すると以下の通りである。

(1) 積層繊維補強ゴムは、総ゴム構造に比して初期降伏点までは高剛性となるため、入力エネルギーが小さい場合は、初期降伏点までの弾性範囲内の応答となり、約 1.4～2.2 倍高い発生荷重を示すため、荷重低減効果が小さい。

(2) しかし、入力エネルギーが大きくなると、埋設繊維が破断により、総ゴム構造と比較して最高で約 30%、発生荷重が低減するため、荷重低減効果が大きくなる。

積層繊維補強ゴムの落橋防止システム用緩衝材への適用に関しては、対象とする橋梁の規模に応じて効果的な繊維強度、繊維積層枚数を決定できると考えられ、今後は、実規模橋梁への適用に関する検討を実施する予定である。

参考文献

1)神田昌幸：道路橋における支承および落橋防止構造の被災の総括，橋梁と基礎，pp.156-162，1996.8.

2)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, 1996.

3)西川信二郎，西本安志，小谷美和：PRF 構造緩衝材，繊維学会予稿集, 2B18, pp.G-106, 1999.5.

4)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，第 27 回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, I-51, pp.100-101, 2000.3.

5)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仕様に係る仕様」の準用に関する参考資料(案),pp.Ⅲ-41, 1995.6.