

ゴムダンパー（HDR-S）の劣化原因究明を目的とした材料試験

名古屋高速道路公社 正会員 ○大門 大
名古屋高速道路公社 山下 章

名古屋高速道路公社
名古屋高速道路公社 正会員

鈴木 信勝
長谷川 秀也

1. はじめに

名古屋高速では、耐震性能向上のために実施した桁連続化に伴い、中間支点部は鋼製支承をゴム支承に取り替え、端支点部は路面の段差防止やそれに伴う振動抑制を目的として既設支承をそのまま使用する形で、地震時水平力に抵抗するデバイスであるゴムダンパー（HDR-S）を追加設置した¹⁾。定期点検により、設置から約10年が経過したそれら複数のゴムダンパーの側面ゴム部において、写真-1に示す亀裂損傷が確認された。名古屋高速では、これまで同様の損傷が発見されたことはなく、橋梁全体系の耐震性能に影響する可能性が懸念されたため、それらゴムダンパーの耐震上の安全性を確認することを目的として、平成26年度に実橋から撤去した亀裂が発生したゴムダンパー（以下、損傷ゴムダンパーという。）を用いた性能確認試験および橋梁全体系の動的解析を実施した²⁾。その結果、性能確認試験ではゴムダンパーの特性値の変化（等価剛性の増加、等価減衰定数の減少）が確認されたものの、動的解析により現状の損傷程度であれば耐震性能を満足していることを確認した。しかし亀裂損傷が発生した原因および今後の経年劣化の影響については、未だ不明な部分が多くあることから、平成27年度に損傷ゴムダンパーの材料試験を実施した。これらの内容について述べる。

2. 損傷したゴムダンパーについて

今回材料試験で用いる損傷ゴムダンパーは、既設鋼製支承（BP 沓）の桁中央側前面の橋脚梁上に設置されており、常時の移動量が比較的大きい端支点の可動沓側であった。ゴムダンパーの構造図と構造諸元を図-1に示す。ゴムダンパーの構造は、設置スペースの制約から高さを抑えた下フランジタイプであり、亀裂は下部鋼板と積層ゴムが加硫接着されているテーパ部で確認された。なお対象ゴムダンパーは、常時鉛直荷重は受けていない。

3. 材料試験の内容

実橋から撤去した損傷ゴムダンパーより切り出した試験体と当時のゴムダンパーの配合を模して新規製作したゴム単体（以下、新規製作ゴムという。）の試験体に対して、表-1に示す材料試験を実施した。試験は現時点での劣化状況を把握するための現状分析に加え、ゴムダンパーの主たる劣化原因の推定および劣化傾向の把握を目的とし、熱とオゾンの2つの劣化因子に着目して促進試験を行った。熱、オゾンともに促進期間は250時間と500時間の2パターンとし、促進試験後に表-1に示す各種試験を実施した。



写真-1 損傷状況

ゴム種別	有効平面寸法	形状係数
HDR-S (G12)	270×370mm (橋軸×直角)	S ₁ =7.1 S ₂ =4.9

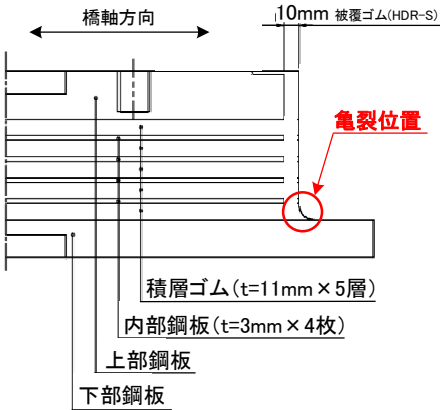


図-1 構造諸元および構造図

表-1 材料試験項目一覧

試験項目		測定項目	JIS規格	損傷ダンパーの試料採取箇所 ^{※1}
現状分析	引張試験	引張強さ 破断伸び	JIS K 6251	ゴム表面から中央部まで3箇所 (2,3,4層目)
	せん断変形試験	静的せん断弾性係数	JIS K 6254	
	接着はく離試験	接着性能	JIS K 6256-2	
	硬さ試験	JIS硬さ	JIS K 6253-3	ゴム表面から中央部まで11箇所(5層目)
	マイクロオーダー解析	溶存酸素量	—	ゴム表面から中央部まで7箇所(5層目)
	熱分解解析	老化防止剤残量	—	ゴム表面から中央部まで3箇所(5層目)
	網目鎖密度試験	架橋密度	—	ゴム表面から中央部まで3箇所(3,5層目)
促進試験 ①熱酸化劣化 ^{※2} ②オゾン劣化 ^{※3}	引張試験	引張強さ 破断伸び	JIS K 6251	ゴム中央部付近から採取
	せん断変形試験	静的せん断弾性係数	JIS K 6254	
	硬さ試験	JIS硬さ	JIS K 6253-3	
	マイクロオーダー解析	溶存酸素量	—	
	網目鎖密度試験	架橋密度	—	

※1: ゴムダンパー上鋼板側から第1層目とする。
※2: 試験温度70℃の条件下で熱による劣化促進試験(JIS K 6257)を実施。
※3: オゾン濃度50pphm,試験温度40℃,無伸長の条件下で静的オゾン劣化試験を実施。

キーワード ゴムダンパー、経年劣化、材料試験、促進試験、架橋密度、溶存酸素量

連絡先 〒453-0804 愛知県名古屋市中村区黄金通 7-28-1 名古屋高速道路公社 整備部 T E L 052-461-4408

4. 試験結果

(1) 現状分析

- a) 引張試験 (表-2) : 引張り強さは新規製作ゴムの値と比べ高い傾向にある。破断伸びは新規製作ゴムの値と比べ低い傾向にあり、規格値 (550%以上) を下回った。また引張り強さ、破断伸びともにゴム表面からの深さや層ごとでの明確な差異は確認されなかった。
- b) セン断変形試験 (表-2) : 静的せん断弾性率は新規製作ゴムの値と比べほぼ同じ値であった。またゴム表面からの深さや層ごとでの明確な差異は確認されなかった。
- c) 接着はく離試験 (表-2) : 接着はく離強さはすべての箇所規格値 (7.0N/mm²以上) を満足した。また層ごとで明確な差異は確認されなかったが、ゴム表面付近の値が中央部と比べ低い傾向にある。
- d) 硬さ試験 (図-2) : 硬さは亀裂が発生したゴム表面付近で比較的高い値を示した。また新規製作ゴムのほうが硬い値であった。
- e) マイクロコーダー解析 (老化防止剤) (表-2) : 2種類の老化防止剤の量を計測した結果、ともに亀裂が発生したゴム表面付近ではゴム内部の老化防止剤残量と比べ低い値を示した。
- f) 熱分解解析 (図-3) : 溶存酸素量は亀裂が発生したゴム表面付近で比較的高い値を示し、ゴム内部ほど値が低い傾向にある。また新規製作ゴムのほうが高い値であった。
- g) 網目鎖密度試験 (表-2) : 架橋密度は新規製作ゴムと比べ約2倍程度高い値を示した。またゴム表面からの深さや層ごとでの明確な差異は確認されなかった。

(2) 促進試験 (熱酸化劣化, オゾン劣化)

新規製作ゴムに対し熱とオゾンでそれぞれ促進試験を行った結果、各試験で劣化速度の差はあるが、2つの劣化因子ともに同じ劣化傾向であった。唯一架橋密度だけは、熱酸化劣化後の値が上昇しているのに対し、オゾン劣化後の値はほぼ変化がなかった。同様に損傷ゴムダンパーに対し促進試験を行った結果、2つの劣化因子ともに各試験の値にほぼ変化はなかった。参考までに熱酸化劣化後の架橋密度の変化を図-4に示す。新規製作ゴムの値が上昇しているのに対し、損傷ゴムダンパーはほぼ変化がなかった。

5. まとめ

材料試験から得られた知見および考察を、下記①～③に示す。

- ① 引張試験の結果、ゴム材料が硬化し変形能が低下しており、損傷ゴムダンパーの性能確認試験結果¹⁾と同じ傾向であった。
- ② ゴム表面付近では老化防止剤が析出し、酸化が進行したことで、硬さ試験の値が上昇したと推測される。
- ③ 経年劣化により架橋がある程度進行したゴム (損傷ゴムダンパー) は、その後の架橋が進みにくいと推定される。

参考文献

- 1) 加藤, 袁, 青木, 浅野, 小林: 機能分離型支承の耐震性能実験, 第58回年次学術講演会概要集, 2003.
- 2) 大門, 中山, 水谷, 林田, 鈴木, 後藤: 経年劣化により損傷したゴムダンパー (HDR-S) の耐震性能の確認試験および考察, 第18回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集 pp. 487-492, 2015.

表-2 材料試験結果

ゴム表面からの深さ		25mm	85mm	145mm
引張り強さ(N/mm ²)	2層目	19.1	19.9	18.5
	3層目	20.3	19.3	19.7
	4層目	19.1	19.1	19.7
	新規製作ゴム	17.1		
破断伸び(N/mm ²)	2層目	430	460	430
	3層目	450	440	460
	4層目	440	460	430
	新規製作ゴム	650		
静的せん断弾性率(N/mm ²)	2層目	1.42	1.54	1.51
	3層目	1.55	1.57	1.45
	4層目	1.54	1.70	1.25
	新規製作ゴム	1.57		
接着はく離強さ(N/mm ²)	2層目	12.0	14.4	18.4
	3層目	13.9	10.7	15.4
	4層目	10.7	9.9	13.0
	新規製作ゴム	0.37		
老化防止剤(%)	6PPD※1	0.22	0.38	0.37
	新規製作ゴム	0.37		
	TMDQ※2	0.36	0.43	0.45
	新規製作ゴム	0.49		
架橋密度(×10 ⁻⁴ mol/cm ³)	2層目	0.99	1.00	1.05
	3層目	1.08	0.92	0.96
	4層目	1.08	0.92	0.96
	新規製作ゴム	0.58		

※1: 6PPD: アミン系オゾン劣化防止剤

※2: TMDQ: アミン-ケトン系老化防止剤

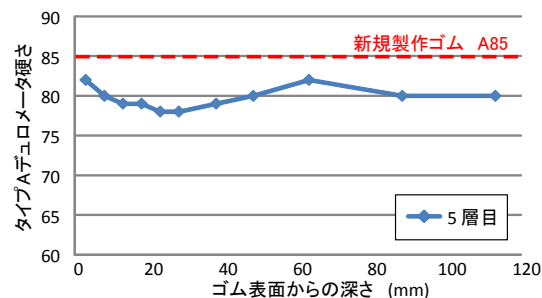


図-2 硬さ試験結果

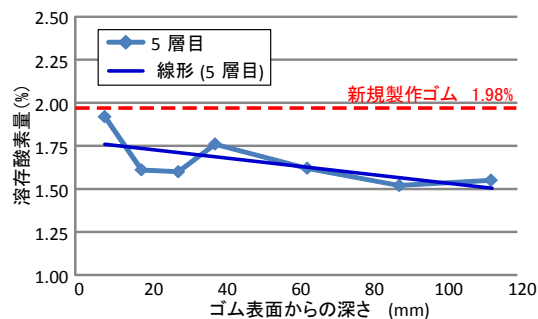


図-3 熱分解解析結果 (溶存酸素量)

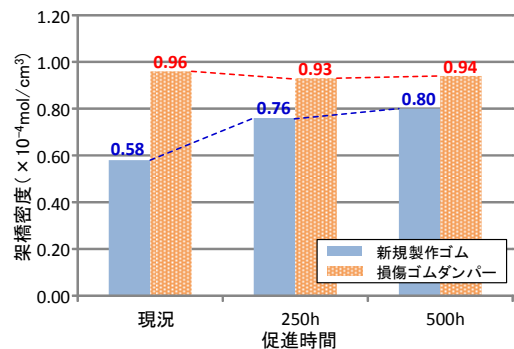


図-4 熱酸化劣化結果 (網目鎖密度試験)