ゴム支承のオゾン劣化による耐久性に関する研究

国立研究開発法人　土木研究所　正会員　○余野　智哉，横山　朋弘，大住　道生

１．はじめに

平成29年の道路橋示方書では，橋が性能を発揮することを期待する期間として設計供用期間を100年とすることが標準とされた．これを実現するためには，部材等の設計耐久期間を設定し，維持管理行為による補修や部材等の更新などを行う必要がある．ゴム支承においては，環境作用による劣化に対して，被覆ゴムによって水分の浸入を防止し，内部の耐荷機構の劣化を抑止しているため，ゴム支承の耐久性確保のためには被覆ゴムの劣化予測が重要となるが，被覆ゴムの耐久期間を定量的に明らかにする方法は確立されていない．劣化現象の要因となるものは複数考えられるが，中でも**写真-1**に示すような，大気中のオゾンにより発生すると推定されている，ゴム支承表面に亀裂が発生する劣化現象が近年多く確認されている．そこで，本研究ではゴム支承の環境作用による劣化の内，オゾンによる劣化に着目し，ゴム支承の耐久期間を推定する手法を開発することを目的に試験を行った．

写真-1 ゴム支承のオゾン劣化によると考えられる亀裂の例

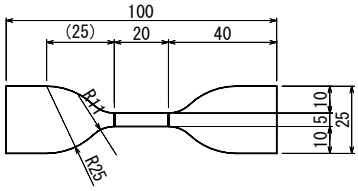

図-1 ダンベル状３号形試験片形状

表-1 オゾン暴露試験条件

試験名	試験片数	オゾン濃度 (pphm)	引張ひずみ［伸長率］(%)	ワックス拭き取り
A	3	100	50	なし
B	3	100	50	あり
C	3	100	5	なし
D	3	100	20	なし
E	3	100	80	なし
F	3	10	50	なし
G	3	50	50	なし
H	3	10	50	あり

※温度は全ての試験で40℃とした．
※オゾン暴露試験は192時間を最大とした．

２．試験片の作成方法

試験片は，一般的なゴム支承に使用される天然ゴム製ゴムシート(静的せん断弾性係数1.0N/mm^{2}相当，厚さ2mm)より，ダンベル状3号形(**図-1**)の試験片を打ち抜き加工で作成した．ゴムシートには，老化防止剤としてアミン系老化防止剤(2phr)及びワックス(1phr)を加えている．アミン系老化防止剤は，ゴムの自動酸化反応を抑える機能を有し，ワックスは，ゴム表面において耐候性保護膜を形成してオゾンとゴムの接触を物理的に遮断する機能を有する．老化防止剤の量については，今回の試験条件で破断又は亀裂発生が確認できると考えられる量とし，かつ一般的なゴム支承に用いられると考えられる，道路橋支承便覧[1)]に示されていた耐オゾン性試験に合格する量とした．試験片は，伸長ジグに取り付け，**表-1**に示す引張ひずみを与えた後に，オゾンガスのない暗所に入れ，恒温槽にて23±2℃の状態で48～72時間の状態調節を行ってから試験に用いた．

写真-2 試験片のジグへの取付状況とオゾン試験機への取付状況

３．試験方法

試験は，JIS K 6259-1に規定される静的オゾン劣化試験に基づき，**表-1**に示す「オゾン濃度」，「試験片に与える引張ひずみ量」，及び「表面老化防止剤の拭き取り有無」の異なる A から H の試験条件毎に3体の試験片を用いて行った．表面老化防止剤の拭き取りについては，状態調節終了後，ダンベル状試験片のくびれ部分の表面をアセトンを用いて拭き取りを行った．オゾン暴露時間は192時間を上限とし，この間，24時間毎の表面状態観察と，伸長を与えている試験片についてはジグにロードセルを設置(**写真-2**)し，オゾン暴露中の荷重の変化を計測した．オゾン暴露終了後，破断に至っていない試験片については，引張試験を行い，破断伸びと破断強さを計測した．

キーワード　ゴム支承，被覆ゴム，オゾン劣化，耐久性能
連絡先　〒305-8516　つくば市南原 1-6　土木研究所　構造物メンテナンス研究センター　ＴＥＬ029-879-6773

© Japan Society of Civil Engineers

表-2 試験結果一覧

試験条件	オゾン濃度(pphm)	試験片	オゾン暴露試験 表面状態 24h後	48h後	72h後	96h後	120h後	144h後	168h後	192h後	引張試験 引張強さ(MPa)	破断伸び(%)
A：50%伸長 ワックス拭き取り無し	100	n1	C-3	C-4	破断	-	-	-	-	-	破断のため引張試験なし	
		n2	C-3	C-4	C-5	破断	-	-	-	-		
		n3	C-3	C-4	破断	-	-	-	-	-		
B：50%伸長 ワックス拭き取り有り	100	n1	C-4	C-4	破断	-	-	-	-	-	破断のため引張試験なし	
		n2	C-4	C-4	C-5	破断	-	-	-	-		
		n3	C-3	C-3	C-5	破断	-	-	-	-		
C： 5%伸長 ワックス拭き取り無し	100	n1	亀裂なし	亀裂なし	亀裂なし	亀裂なし	亀裂なし	亀裂なし	亀裂なし	亀裂なし	26.4	630
		n2	亀裂なし	亀裂なし	亀裂なし	亀裂なし	亀裂なし	亀裂なし	亀裂なし	亀裂なし	25.9	630
		n3	亀裂なし	亀裂なし	亀裂なし	亀裂なし	亀裂なし	亀裂なし	亀裂なし	亀裂なし	26.2	630
D：20%伸長 ワックス拭き取り無し	100	n1	B-4	B-5	B-5	B-5	破断	-	-	-	破断のため引張試験なし	
		n2	B-4	B-5	B-5	B-5	破断	-	-	-		
		n3	B-4	B-5	B-5	破断	-	-	-	-		
E：80%伸長 ワックス拭き取り無し	100	n1	C-3	C-5	破断	-	-	-	-	-	破断のため引張試験なし	
		n2	C-3	C-5	破断	-	-	-	-	-		
		n3	C-3	C-5	破断	-	-	-	-	-		
F：50%伸長 ワックス拭き取り無し	10	n1	亀裂なし	C-2	C-2	C-3	C-3	C-3	C-4	C-4	7.16	380
		n2	亀裂なし	C-2	C-2	C-3	C-3	C-3	C-4	C-4	8.14	400
		n3	亀裂なし	C-2	C-2	C-3	C-3	C-3	C-4	C-4	9.13	390
G：50%伸長 ワックス拭き取り無し	50	n1	C-2	C-3	C-4	C-4	C-5	C-5	破断	-	破断のため引張試験なし	
		n2	C-2	C-3	C-4	C-4	C-5	C-5	破断	-		
		n3	C-2	C-3	C-4	C-4	C-5	C-5	破断	-		
H：50%伸長 ワックス拭き取り有り	10	n1	C-2	C-2	C-2	C-2	C-3	C-3	C-3	C-3	6.31	370
		n2	C-2	C-2	C-2	C-2	C-3	C-3	C-3	C-3	6.62	340
		n3	C-2	C-2	C-2	C-2	C-3	C-3	C-3	C-3	7.40	370

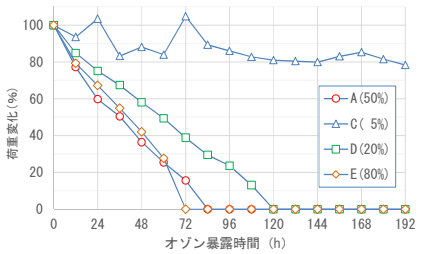

図-3 オゾン暴露試験結果(伸長率別)

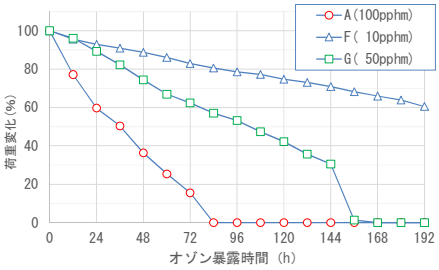

図-4 オゾン暴露試験結果(オゾン濃度別)

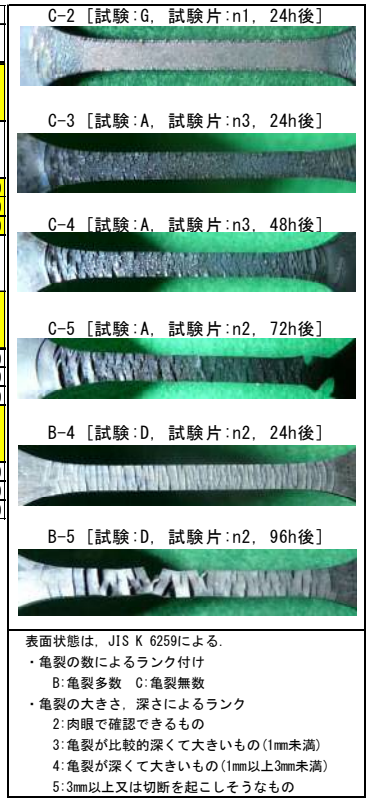

図-2 オゾン暴露後表面状態の例

4．試験結果

試験の結果一覧を表-2に，オゾン暴露後の表面状態の例を図-2に示す．100pphm,5%伸長(試験 C)の場合は，亀裂は確認されず，引張試験においても道路橋支承便覧[2]で求められる規格(破断伸び550%以上，引張強さ15Mpa 以上) を満足する結果であった．オゾン暴露中の時間 - 荷重関係のグラフを，伸長率の違いによるものを図-3に，オゾン濃度の違いによるものを図-4に示す．荷重は，暴露試験開始時点の荷重を100とし，そこからの低下率を示す．各試験のデータは試験片3体の平均値でプロットしている.伸長率及びオゾン濃度が高いほど荷重低下速度は速く,破断に至る時間も速くなっており，伸長率及びオゾン濃度に起因する線形傾向を示すことが分かる．表面老化防止剤としてのワックス拭き取り有無による違いは，100pphm，50%伸長時(試験 A,B)では，表面状態及び破断までの時間に明確な差は見られなかった．10pphm，50%伸長時(試験 F,H)においても同様であり，引張試験の結果も明確な差は見られなかった．しかし，試験 F,H については，引張試験時に伸長なしの状態と伸長率80%の状態でマイクロスコープによる表面観察(図-5)を行ったところ，伸長なしの状態では明確な差異は見受けられなかったものの，伸長を与えた状態では，拭き取り無しのものは小さい亀裂が無数に発生しているのに対し，拭き取り有りのものは個々の亀裂が大きい状態となっていることが確認された．

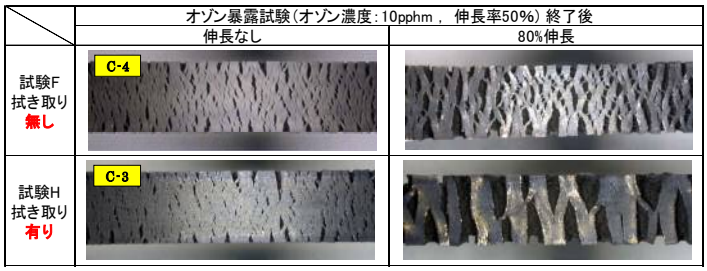

図-5 表面ワックス拭き取り有無による表面状態の差

5．まとめ

本研究では，ゴム支承のオゾン劣化に対する耐久性能を明らかにすることを目的に，劣化は経時に対してある法則で進行するのではという仮説を立て，荷重支持能力の低下に着目し，様々な条件に対してオゾン暴露試験を行った．結果，オゾン濃度，伸びに起因する線形傾向を示しており，荷重変化から亀裂の進行速度が予測できると考える．今後は実環境と促進環境を比較し，耐オゾン性能を定量化する方法を検討していく．

参考文献 1) 社団法人日本道路協会：道路橋支承便覧，2004．2) 公益社団法人日本道路協会：道路橋支承便覧，2018.

© Japan Society of Civil Engineers