

建築用ガスケットの耐久寿命推定手法に関する研究

- ゴム系(SR系)と樹脂系(PVC系・TPS系) -

(元)鹿島建設(株)建築技術本部 建築ガスケット工業会

○寺内 伸

I章 ゴム系 (SR系)

1. はじめに

昨年に引き続き、ゴム系ガスケット(SR系・CR系)、樹脂系ガスケット(PVC系・TPS系)の経年変化調査事例などについて報告する。なお耐久寿命推定手法については昨年の報告と同様である。本報告はゴム系ガスケット(SR)の耐久寿命推定手法の検討事例である。

2. 初期値の検討

ゴム系材料は、製造後まもなくは経年劣化とは云えない不安定な物性変化が認められるため、合理的な初期値について検討した。SR系は、他素材に比較して未加硫時の粘度(可塑性)が低いため練り作業時にエアを抱き込み易く、電気絶縁性が良好で塵埃などの異物も付着し易い。またそれらの欠陥が引き金となり引裂が発生し易いなどにより初期物性値にばらつきを生じ易い。それらを考慮し加硫条件としては一次加硫 120℃×10分/プレス、二次加硫 200℃×4時間/オープンとした。検討したSR系の初期物性値を表1に示す。

表1 SRの初期値

物性	単位	SR-60	SR-70
TS	MPa	11.1	11.0
E_b	%	500	390
M_{100}	MPa	1.6	2.6
H_A	度	62	72

3. 熱劣化促進試験結果(以下SR-60のみ報告)

熱劣化促進試験の結果を図1に示す。この図をみると、各物性値とも初期の変化は少なくTS・ E_b は促進時間の経過とともに徐々に減少し M_{100} 、 H_A は上昇傾向を示した。また、促進温度が高いほど変化の傾向が顕著であった。詳細な回帰分析の結果、 $E_b \cdot H_A$ は回帰式の寄与率が高く、経時変化の指標として適当であることが分かった。耐久寿命予測に相応しい合理的なSR-60の熱劣化促進試験条件を検討した結果を表2に示す。

4. 屋外暴露試験結果

屋外暴露試験結果を図2に示す。この図には4年、5年の室内放置の経年変化も併せて示した。この図をみると、TSは暴露4年目まではほとんど変化しないが5年目では若干の低下が認められた。 E_b は暴露3年で若干上昇し、その後低下傾向が見られた。 M_{100} は3年目以降上昇傾向が認められた。

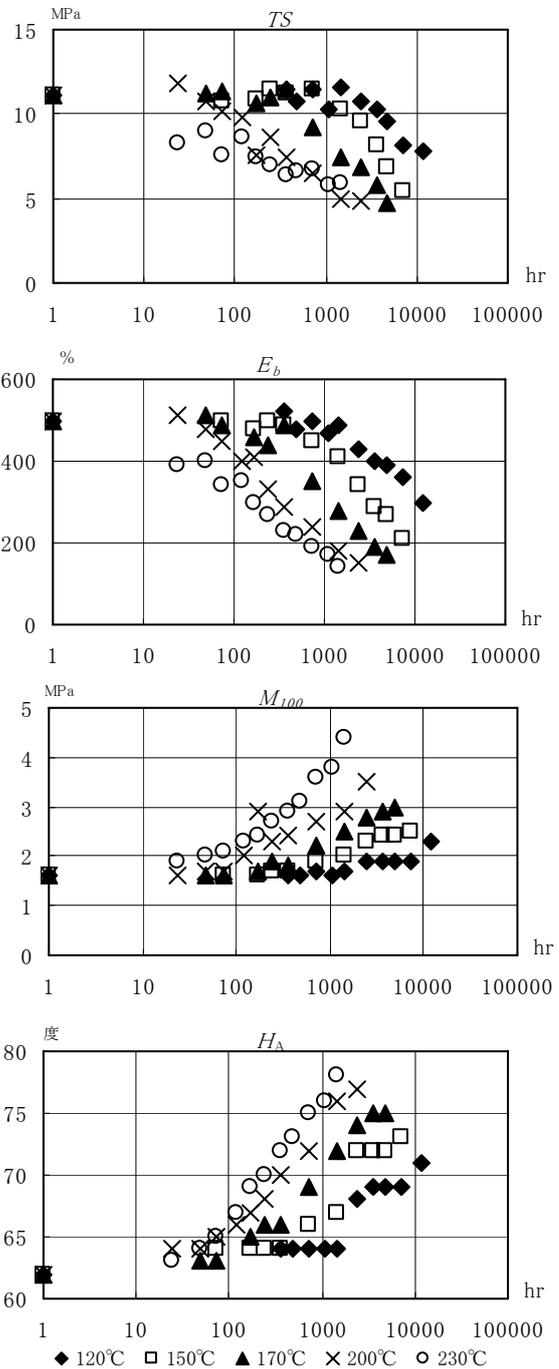


図1 熱劣化促進試験結果(SR-60)

5年間の室内放置の結果と比較するとこれらは屋外暴露の結果と類似の傾向を示しており室内放置の試験体の方が経年変化が少ないとはいえない。

表2 適切な熱劣化促進試験条件(SR-60)

促進試験温度 (°C)	最長試験時間 (hr)	変動開始時間 (hr)
120	12,000程度	2,000~7,000
150	7,000程度	300~4,000
170	4,000程度	200~3,000
200	2,000程度	100~1,000

換言すれば、これらの物性値の経年変化は一概に暴露環境の影響を受けたものであると即断できない。 H_A は経年とともに上昇しており、その変化の傾向は以下に示す対数回帰式により比較的精度良く表されることが分かった。

$$H_A = 1.2878 \ln(t) + 65.099 \quad (1)$$

$$R^2 = 0.8801$$

ここに t :暴露期間、 R^2 :寄与率

なお室内放置も若干上昇しているが屋外暴露のほうが顕著であり、 H_A は暴露の影響が $TS \cdot E_b \cdot M_{100}$ に比較して顕著である。

5. アレニウスプロット法による寿命推定事例

熱劣化促進試験および屋外暴露試験の結果得られた H_A の回帰式を用いてアレニウスプロット法による代表的な実使用環境温度における寿命推定を行った事例を表3に示す。但し、この結果は実建屋での経年変化と対比していないので、紫外線・オゾン等による変化は含まれていない。なお、実暴の寿命は屋外暴露試験結果より得られた(1)式より推定した結果であり、暴露換算温度は実暴寿命をアレニウス式に代入して求めた値である。

表3 アレニウス式と寿命推定の事例(SR-60)

変化(度)	アレニウス式	寄与率	寿命推定の事例(年)				実暴寿命(年)	暴露換算温度(°C)
			実使用環境温度(°C)					
			23	30	40	50		
+5	$y=1.2 \times 10^{-3} e^{5586x}$	0.989	21	14	8	4	4.4	50.3
+10	$y=2.0 \times 10^{-4} e^{7184x}$	0.985	792	452	212	104	212	40.0

6. まとめ

- ①寿命予測にふさわしい物性値は E_b 、 H_A である。
- ②5年間の屋外暴露試験の結果、 $TS \cdot E_b \cdot M_{100}$ は若干の経年変化を示したが、室内放置の試験体と酷似しており暴露による経年変化とは言えない。
- ③ H_A は経年と共に上昇しており、その傾向は対数回帰式により精度良く表される。
- ④ H_A の屋外暴露による変化は室内放置のものより顕著であり、 H_A は $TS \cdot E_b \cdot M_{100}$ より暴露の影響を受けやすい。

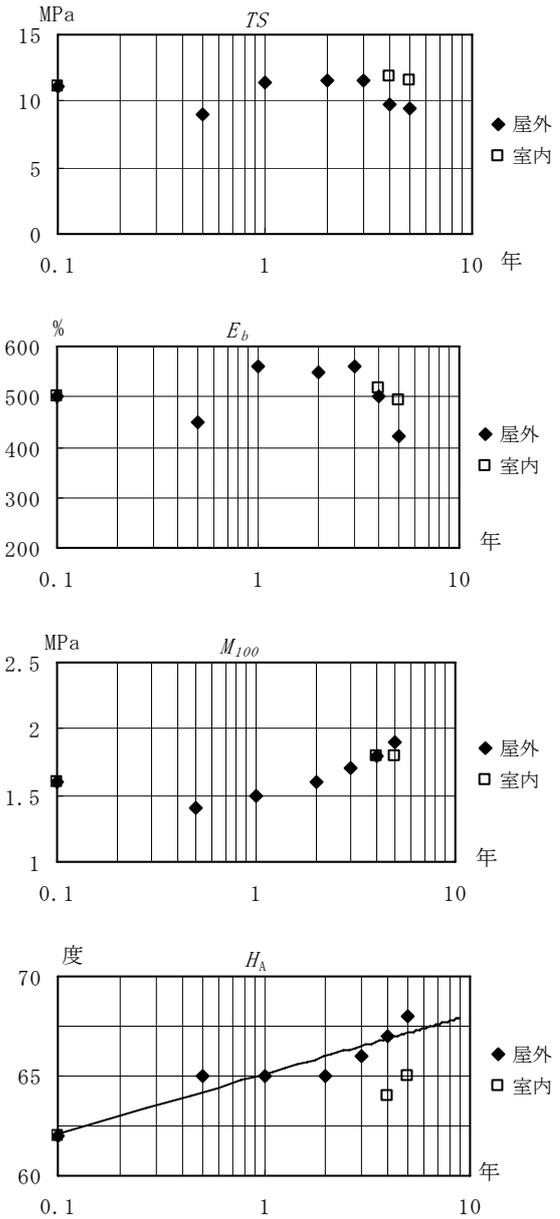


図2 屋外暴露試験結果(SR-60)

II章 樹脂系 (PVC・TPS系)

1. 初期値の検討

樹脂系ガスケットは合成ゴム系と異なり、配合組成を決めれば初期物性値は比較的安定で変化しないことがわかっている。初期値の妥当性については過去に測定した膨大な初期物性値と相対比較することにより検討した。PVC・TPSの初期物性

表4 PVC・TPSの初期値

物性	単位	PVC-70	TPS-70	
			熱劣化試験	屋外暴露試験
TS	MPa	11.2	10.4	8.2
E_b	%	430	940	730
M_{100}	MPa	4.5	1.6	2.3
H_A	度	73	68	68

値を表 4 示す。なお、TPS の熱劣化促進試験、屋外暴露試験の初期値の違いは成形方法の違いに起因するものである。

2. 熱劣化促進試験結果

PVC・TPS の熱劣化促進試験の結果を図 3、図 4 に示す。なお、これらの図には屋外暴露試験結果も併せてプロットした。これらの図をみると、PVC は TS 、 M_{100} および H_A は経時的に上昇傾向にあるが、 E_b については低下傾向にある。またこれらの変化は促進温度が高いほど大きい。TPS はいずれの物性値も 100℃以下では明確な変化は現れない。110℃以上では TS ・ E_b には昨年報告した TPE(TPO)と同様、ある時間に達するまでは不変(安定領域)で、その後に変化が現れる変動領域がある。安定領域より変動領域に移行する変動開始点の時間は促進温度が高いほど早い。なお、この結果は昨年報告した TPE(TPO)と同様であった。 M_{100} については経時的に増加した後、減少に転ずるピークがある。 H_A は TS ・ E_b ほど明確な変動領域は確認されないが、一旦上昇した後低下傾向を示す。

3. 屋外暴露試験結果

図 3 および図 4 に示した PVC・TPS の屋外暴露試験結果(○印のプロット)を見ると、ともに暴露初期に若干の変化はあるものの 5 年間の暴露ではほとんど変化が認められなかった。

4. 回帰式の算定

初期値、熱劣化促進試験及び屋外暴露試験結果を基に寿命予測に相応しい合理的な回帰式を特定した。その一例として PVC は線形回帰式を表 5 に、TPS は指数回帰式を表 6 に示す。これらはいずれも高い相関を示した。

表 5 熱劣化促進試験の回帰式一覧(PVC-70)

物性	温度	回帰式	寄与率
TS	80	$y = 0.0013x + 11.076$	0.901
	90	$y = 0.0042x + 9.933$	0.863
	100	$y = 0.0037x + 10.988$	0.810
	120	$y = 0.0283x + 10.220$	0.896
E_b	80	$y = -0.079x + 423.85$	0.886
	90	$y = -0.100x + 412.94$	0.969
	100	$y = -0.529x + 436.95$	0.928
	120	$y = -1.170x + 424.07$	0.932
M_{100}	80	$y = 0.0020x + 4.507$	0.968
	90	$y = 0.0038x + 4.241$	0.952
	100	$y = 0.0153x + 3.688$	0.961
	120	$y = 0.0478x + 3.460$	0.953

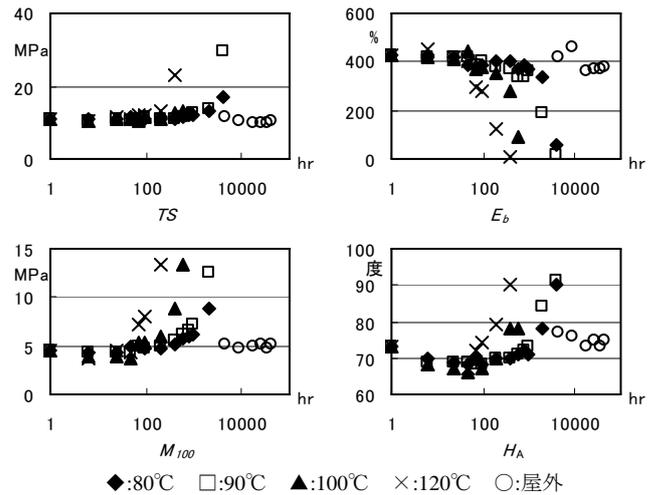


図 3 熱劣化促進試験結果(PVC-70)

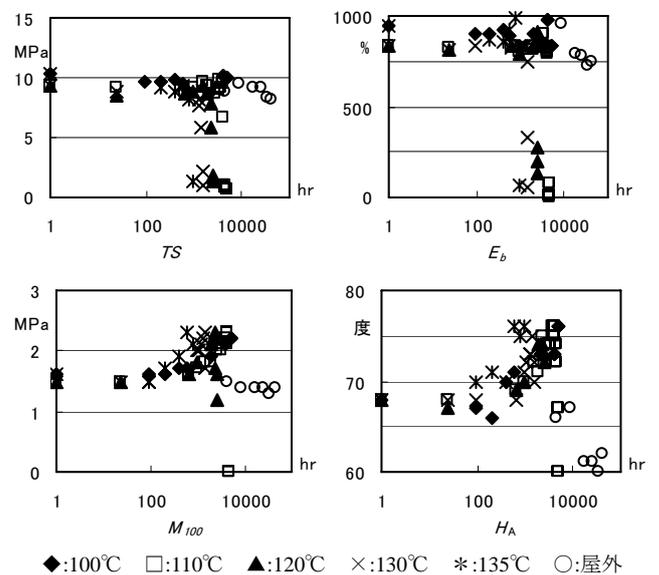


図 4 熱劣化促進試験結果(TPS-70)

表 6 熱劣化促進試験の回帰式一覧(TPS-70)

物性	温度	回帰式	寄与率
TS	110	$y = 1 \times 10^8 e^{-0.004x}$	0.895
	120	$y = 3 \times 10^{10} e^{-0.009x}$	0.956
	130	$y = 2 \times 10^6 e^{-0.010x}$	0.949
	135	$y = 3 \times 10^4 e^{-0.010x}$	1.000
E_b	110	$y = 7 \times 10^{16} e^{-0.008x}$	0.913
	120	$y = 2 \times 10^{15} e^{-0.001x}$	0.995
	130	$y = 3 \times 10^{13} e^{-0.017x}$	0.839
	135	$y = 2 \times 10^8 e^{-0.015x}$	1.000
M_{100}	110	$y = 1.510e^{0.0001x}$	0.991
	120	$y = 1.481e^{0.0002x}$	0.989
	130	$y = 1.456e^{0.0003x}$	0.947
	135	$y = 1.495e^{0.0007x}$	0.909

5. 熱劣化促進試験条件

上記の熱劣化促進試験の結果ならびに屋外暴露試験結果を検討し、PVC・TPSの合理的な熱劣化促進試験条件を各々表7、表8に示した。

表7 熱劣化促進試験条件(PVC-70)

試験温度(°C)	最長試験時間(hr)
80	5000
90	5000
100	1000
120	500

表8 熱劣化促進試験条件(TPS-70)

促進試験温度(°C)	最長試験時間(hr)	変動領域(hr)
~100	不適切	
110	5000	3000~
120	3000	1500~
130	2000	1000~
135	1000	500~

6. アレニウスプロット法による寿命推定事例

アレニウスプロット法によるPVC・TPSの代表的な実使用環境温度の寿命推定の事例を各々表9、表10に示した。なお、PVC・TPSは屋外暴露試験の結果経年変化が認められず、また適当な実建屋での経年変化調査事例も得られなかったため、暴露換算温度の推定は行わなかった。

7. まとめ

- ①寿命予測に相応しい物性値はPVCが $TS \cdot E_b \cdot M_{100}$ 、TPSは $TS \cdot E_b$ である。
- ②熱劣化促進試験、屋外暴露試験ともに昨年報告のTPE(TPO)と類似の傾向を示した。
- ③熱劣化促進試験結果を表す合理的な回帰式を算出した。その結果を用いてアレニウスプロット法による寿命推定を行ったが、5年間の屋外暴露によりPVC、TPSともに顕著な物性変化が見られなかったため、暴露換算温度は算出し得なかった。
- ④アレニウスプロット法による寿命推定結果は実際の暴露結果と対比していないので、紫外線・オゾンなどの劣化要因に対する影響は含まれていない結果である。
- ⑤今後はさらに長期間の屋外暴露試験、実建屋での経年変化調査を行い、暴露換算温度を推定したい。

III章 ゴム系と樹脂系の特性比較検討

(1) 初期値について；ゴム系のSRは未加硫時の粘度が低いため、練り作業時にエアを抱き込み引裂が発生し易いなどにより初期物性値にばらつきを生じ易い。樹脂系のPVC・TPSは初期値が安定している。

表9 アレニウス式と寿命推定の事例(PVC-70)

物性値	変化率	アレニウス式	寄与率	寿命推定の事例(年)			
				実使用環境温度(°C)			
				23	30	40	50
TS	20	$y=2.45 \times 10^{-9} e^{9.75x}$	0.981	57	26	9	4
	50	$y=1.57 \times 10^{-9} e^{10.15x}$	0.998	140	63	22	8
	70	$y=6.86 \times 10^{-10} e^{10.56x}$	1.000	244	107	35	12
E_b	20	$y=6.85 \times 10^{-10} e^{10.14x}$	0.974	59	27	9	3
	50	$y=1.03 \times 10^{-9} e^{10.09x}$	0.962	75	34	12	4
	70	$y=1.39 \times 10^{-9} e^{10.06x}$	0.953	91	42	14	5
M_{100}	20	$y=1.24 \times 10^{-8} e^{8.68x}$	0.981	8	4	2	1
	50	$y=9.33 \times 10^{-10} e^{9.89x}$	0.974	35	16	6	2
	70	$y=6.02 \times 10^{-10} e^{10.14x}$	0.972	52	24	8	3

表10 アレニウス式と寿命推定の事例(TPS-70)

物性値	変化率	アレニウス式	寄与率	寿命推定の事例(年)			
				実使用環境温度(°C)			
				23	30	40	50
TS	20	$y=3.40 \times 10^{-8} e^{9.80x}$	0.991	935	435	155	59
	50	$y=6.97 \times 10^{-8} e^{9.59x}$	0.991	926	438	159	62
	70	$y=1.08 \times 10^{-7} e^{9.37x}$	0.991	703	338	126	50
E_b	20	$y=4.35 \times 10^{-8} e^{9.71x}$	0.986	885	415	149	57
	50	$y=7.20 \times 10^{-8} e^{9.53x}$	0.987	782	372	136	53
	70	$y=9.82 \times 10^{-8} e^{9.41x}$	0.989	728	349	129	51

- (2) 熱劣化促進試験結果；SRは各物性値とも初期の変化は少なく $TS \cdot E_b$ は促進時間の経過とともに徐々に減少し M_{100} 、 H_A は上昇傾向を示した。これらの変化は促進温度が高いほど顕著であった。PVCは TS 、 M_{100} 、 H_A は経時的に上昇傾向にあり E_b は低下傾向にある。SRと同様促進温度が高いほど大きい。TPSはいずれの物性値も100°C以下では明確な変化は現れない。110°C以上では $TS \cdot E_b$ はある促進時間までは不変で、その後に変化が現れる。その変動開始点は促進温度が高いほど早い。これらはゴム系との大きな違いである。
- (3) 屋外暴露試験結果；SRは H_A は経年とともに上昇している。PVC・TPSは暴露初期に5年間の暴露ではほとんど変化がない。SRの初期値の検討が未だ不十分とも考えられ今後の検討課題である。

「参考文献」

寺内 伸, 古賀英明；建築用ガスケットの耐久寿命推定方法に関する実験研究, 日本建築学会構造系論文集, No.535, 2000年9月, pp.13~20