

# 建築用ガスケットの耐久寿命推定手法に関する研究

寺内 伸

## I 章 耐久寿命推定手法の検討プロセス

近年、住宅品確法の制定・建築物に対する長寿命化により建築材料・工法の品質保証がより厳しく要求される趨勢にある。従来寿命予測手法としては図 1 に示すアレニウスプロット法が用いられているが、寿命推定手法に不可欠な熱劣化促進温度・促進時間・実際に暴露されている表面温度(以下、実使用環境温度)などの検討は十分行われていたとは言い難く信頼性に乏しかった。

この報文は、建築用ガスケットについて、屋外暴露試験結果と熱劣化促進試験結果を対比し、その相関性を明らかにしアレニウスプロット法による短期間かつ信頼性の高い寿命推定手法を検討した結果を報告する。

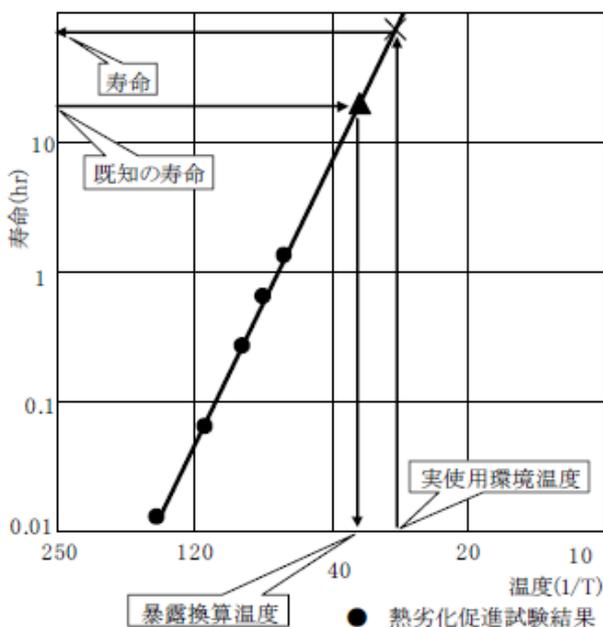


図 1 アレニウスプロット法

## II 章 ゴム系ガスケット (EPDM 系)

ゴム系建築用ガスケットの耐久寿命推定手法と寿命推定の事例について報告する。それらの寿命推定の研究は多いが、寿命推定方法・条件が千差万別で、個々の報告の特殊解に限られるとともに推定手法の信頼性が十分ではなかった。なお紙面の都合上ゴム系ガスケットの代表

事例として EPDM ガスケットの検討事例を報告する。なお、試験体は JIS A 5756 に基づき 2mm厚シートとした。

### 1. 試験体の種類・熱劣化促進試験条件

試験体の種類および熱劣化促進試験条件を表 1 に示す。このうち-60・-70 は、各々硬度の違いを示す。それらの用途は、上から順に構造ガスケット、気密ガスケット、気密・目地・ビル用グレイジングガスケット、目地・ビル用グレイジングガスケット、気密ガスケット、ビル用グレイジングガスケット用である。

各温度条件とも所定の時間ごとに試験体の一部を取り出し、引張り強さ( $TS$ )、伸び( $E_b$ )、100%モジュラス( $M_{100}$ )、硬度(HA)を測定した。

表 1 熱劣化促進試験条件

試験体記号	促進温度[°C]	熱劣化促進時間[hr]
CR-A	80,90,100,120,150	~14400
CR-G	80,90,100,120,150	~14400
EP-60	60,70,80,100,120,150,170	~14400
EP-70	60,70,80,100,120,150,170	~14400
SR-60	120,150,170,200,230	~12000
SR-70	120,150,170,200,230	~12000

### 2. 初期値の検討

EPDM の初期値は諸々の検討を行った結果、表 2 の様に設定した。

表 2 EPDM の初期値

物性	単位	EP-60	EP-70
$TS$	MPa	15.1	12.3
$E_b$	%	500	380
$M_{100}$	MPa	2.8	5.0
$H_A$	度	65	75

### 3. 熱劣化促進試験結果

熱劣化促進試験結果の事例として EP-60 の試験結果を図 2 に示す。この図をみると、どの物性値についても促進試験開始より単調増加または減少傾向がみられるが、詳細な回帰分析を行った結果、 $E_b$  の回帰式が最も寄与率が高く、経年変化の指標として適当であることが分かつ

た。これに対して  $TS$  は低温時の変化が小さく、変曲点が存在するため指標としては不適當であった。また、 $M_{100}$ 、 $H_A$  は回帰式の寄与率は高いが若干の変曲点が存在するため指標として採用する際は検討を要することが分かった。また熱劣化促進試験条件は、設定した寿命によって異なるが概ね促進温度 80~170°C で促進時間は最大 4800 時間程度が適切であることが分かった。

$E_b$  について得られた回帰式を用いてアレニウスプロットを行った結果を図 3 に示す。 $E_b$ 、 $M_{100}$  について実使用環境温度を 16.5°C、23°C、30°C、40°C、50°C と仮定した場合の寿命推定結果の算定事例と 5 年間の屋外暴露試験結果より求めた暴露換算温度を表 3 にまとめて示した。

表 3 に示した、実使用環境温度 16.5°C および  $E_b$  変化率 16% という設定は各々 5 年間の屋外暴露試験の結果得られたシート表面温度の平均値および  $E_b$  変化率である。アレニウスプロットの結果得られたこの条件に於ける寿命 0.2 年は実際の暴露期間 5 年より短い結果となっている。これに対して  $E_b$  変化率を 80% と設定したときの推定寿命は明らかに実際より大きな数値となっている。

また、5 年間の屋外暴露試験の結果得られた暴露換算温度 -33.8°C は、実際より明らかに低い温度であるのに対し、暴露 30 年の結果より寿命推定を行った皆葉、小柴らの研究では、暴露換算温度は 22°C と実際より若干高い数値であった<sup>1)</sup>。

以上のことから、暴露期間が短い領域では熱劣化促進試験の方が屋外暴露より厳しい条件であるが、暴露期間が長くなるにつれて屋外暴露の方が熱劣化促進試験より厳しい条件になることが示唆される。

この要因としては、風雨、紫外線、オゾン、ヒートサイクルといった、熱以外の劣化因子の存在が考えられる。

#### 4. まとめ

- EP-60 の寿命推定のための熱劣化促進試験の適切な促進温度と促進時間は、概ね 80~170°C、最大 4800 時間である。
- 経年変化の指標として適当な物性値は  $E_b$  である。
- 5 年間の屋外暴露試験に於ける実使用環境温度は 16.5°C、 $E_b$  の変化率 16% であるが、アレニウスプロットでのこの条件に於ける寿命は 0.2 年である。

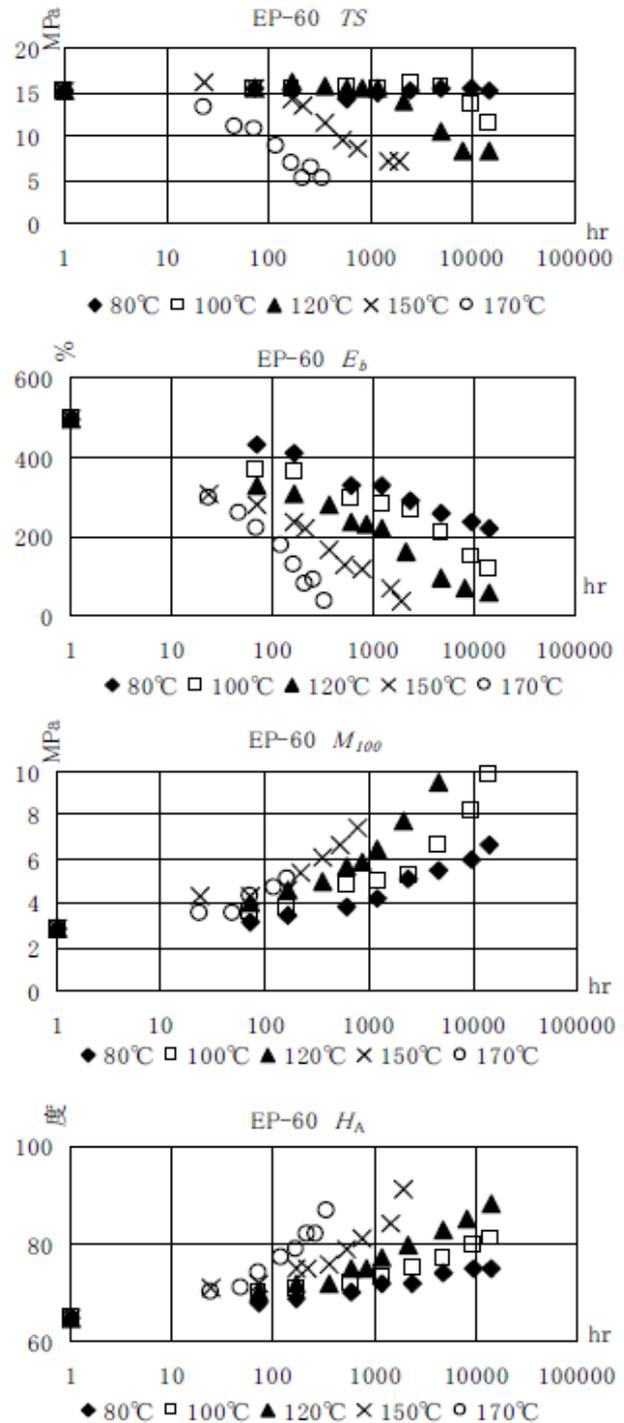


図 2 熱劣化促進試験結果 (EP-60)

表 3 アレニウス式と寿命推定の事例 (EP-60)

物性値	変化率	アレニウスプロット式	寄与率	寿命推定の事例(年)					実暴露年数	暴露換算温度
				実使用環境温度(°C)						
				16.5	23	30	40	50		
$E_b$	16	$y = 2.0 \times 10^{-4} e^{4.592x}$	0.944	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	5	-33.8
	30	$y = 1.0 \times 10^{-3} e^{3.27x}$	0.984	2.9	1.8	1.1	0.6	0.3		
	50	$y = 1.0 \times 10^{-7} e^{3.67x}$	0.998	119	61	31	13	5		
	80	$y = 2.0 \times 10^{-10} e^{12.27x}$	0.998	57864	22818	8759	2402	714		
$M_{100}$	25	$y = 1.3 \times 10^{-3} e^{4.48x}$	0.861	1.6	1.1	0.8	0.5	0.3	5	-2.4

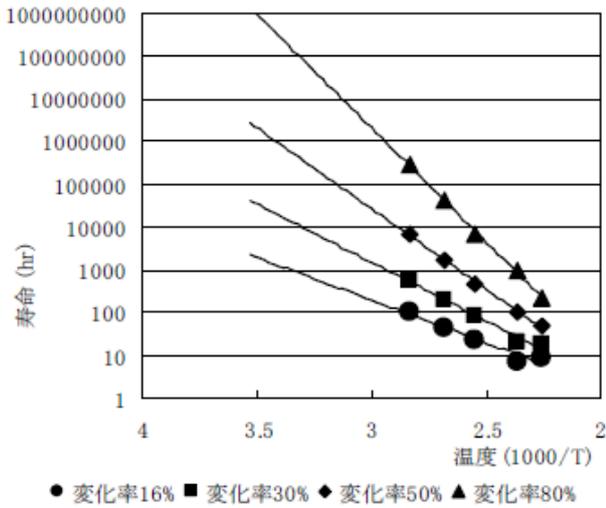


図3 アレニウスプロット (EP-60)

・屋外暴露 5 年間の暴露換算温度は  $E_b$  を経年変化の指標とした場合 $-33.8^{\circ}\text{C}$ 、 $M_{100}$  の場合 $-2.4^{\circ}\text{C}$ であり、30 年間の場合の既往の研究結果  $22^{\circ}\text{C}$ より低い値となった。

### III章 樹脂系ガスケット (TPE 系)

樹脂系ガスケットは、熱劣化促進試験において促進時間に対する経時変化の傾向がゴム系ガスケットと比較して大きく異なることがわかった。それゆえ、アレニウスプロット法による寿命推定の手法も相違することが予想され、ゴム系ガスケットとは別に樹脂系ガスケットの耐久寿命推定手法の検討事例を報告することにした。なお、本報告では樹脂系ガスケットの代表事例として TPE の検討事例を報告する。試験体はゴム系ガスケット同様な素材の 2mm厚シートとした。

#### 1. 試験体の種類・熱劣化促進試験条件

試験体の種類・熱劣化促進試験条件を表 4 に示す。このうち試験体記号末尾の-60、-70 はそれぞれ硬度  $60^{\circ}$ 、 $70^{\circ}$  を示す。

ゴム系材料と同様に各温度条件とも所定の時間ごとに試験体の一部を取り出し、引張り強さ ( $TS$ )、伸び ( $E_b$ )、100%モジュラス ( $M_{100}$ )、硬度 ( $HA$ ) を測定した。

表 4 熱劣化促進試験条件

試験体記号	促進温度 $^{\circ}\text{C}$	熱劣化促進時間[hr]
PVC-70	80,90,100,120	~5000
TPS-70	80,90,100,110,120,130,135	~5000
TPE-60	100,120,135,150	~12000
TPE-70B	100,120,135,150	~12000

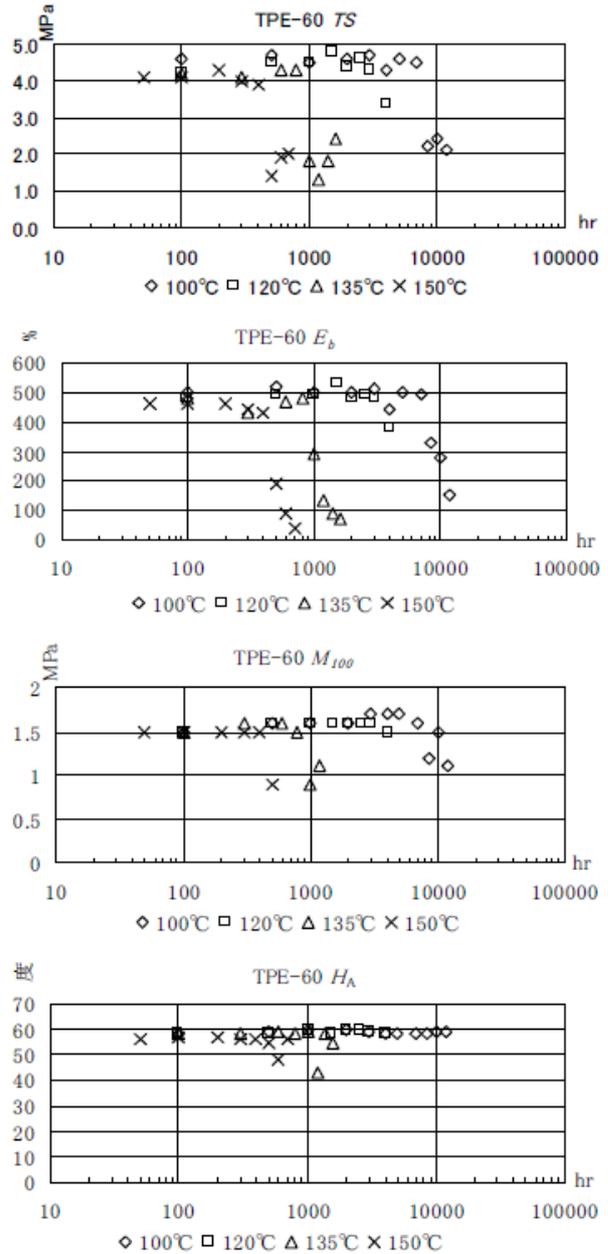


図4 熱劣化促進試験結果 (TPE-60)

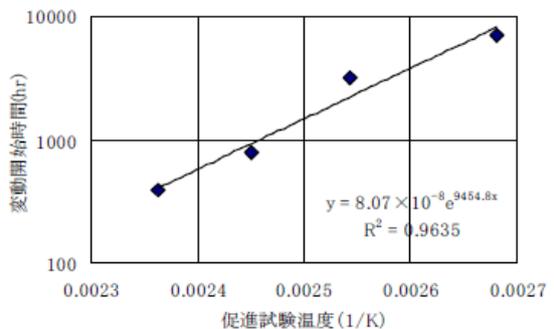


図5 促進試験温度と変動開始時間の関係 (TPE-60)

#### 2. 初期値の設定

一般に、架橋型熱可塑性エラストマーは通常の熱成形

によって物性値が変動する要因がないため、熱劣化促進試験前の測定データが初期値となる。設定した初期値を表5に示す。

表5 TPEの初期値

物性	単位	初期値	
		TPE-60	TPE-70B
TS	MPa	4.6	7.3
$E_b$	%	530	530
$M_{100}$	MPa	1.6	2.5
$H_k$	度	58	72

### 3. 熱劣化促進試験結果

TPE-60の熱劣化促進試験結果を図4に示す。この図をみると、促進試験開始よりある時間まではほとんど経年変化が見られない安定領域と、その時間(以下、変動開始点)を超えると急激に経時変化が見られる変動領域がある。

表6  $E_b$ の回帰式算定事例(TPE-60)

促進温度	領域	範囲[hr]	近似法	回帰式	寄与率
100℃	安定領域	0~7000	線形	$y = -0.0032x + 514$	0.400
			対数	$y = -3.41\text{Ln}(x) + 528$	0.578
	変動領域	7000~12000	線形	$y = -0.065x + 918$	0.963
			対数	$y = -604\text{Ln}(x) + 5830$	0.977
			累乗	$y = 6 \times 10^{10} x^{-2.09}$	0.955
			指数	$y = 2420e^{-0.0002x}$	0.972
120℃	安定領域	0~3000	線形	$y = -0.0074x + 501$	0.250
			対数	$y = -5.37\text{Ln}(x) + 523$	0.742
	変動領域	3000~8500	線形	$y = -0.129x + 835$	0.841
			対数	$y = -626\text{Ln}(x) + 5490$	0.887
			累乗	$y = 4 \times 10^{19} x^{-4.28}$	0.926
			指数	$y = 13200e^{-0.001x}$	0.949
135℃	安定領域	0~800	線形	$y = -0.0469x + 508$	0.447
			対数	$y = -8.42\text{Ln}(x) + 527$	0.922
	変動領域	800~1600	線形	$y = -0.51x + 824$	0.869
			対数	$y = -609\text{Ln}(x) + 4510$	0.928
			累乗	$y = 2 \times 10^{11} x^{-2.93}$	0.982
			指数	$y = 3310e^{-0.0025x}$	0.963
150℃	安定領域	0~400	線形	$y = -0.181x + 495$	0.633
			対数	$y = -15.4\text{Ln}(x) + 529$	0.953
	変動領域	400~700	線形	$y = -1.27x + 886$	0.895
			対数	$y = -697\text{Ln}(x) + 4570$	0.940
			累乗	$y = 4 \times 10^{13} x^{-4.20}$	0.993
			指数	$y = 9940e^{-0.0079x}$	0.999

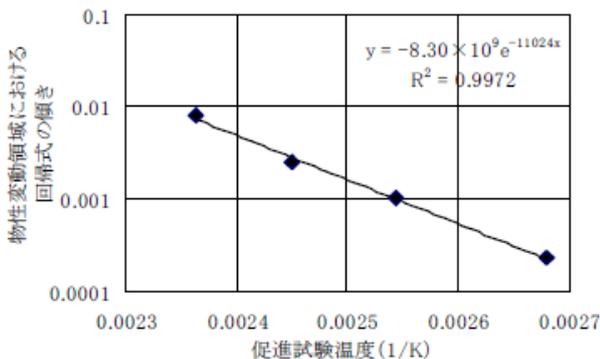


図6 促進試験温度と変動領域における $E_b$ の回帰式の傾きの関係

ることが分かる。 $E_b$ の回帰式算定事例を表6に示す。この表をみると、変動領域の回帰式は寄与率が高いのは明らかである。なお変動開始点は、図4よりビジュアルに数点仮定してそれぞれ変動領域の回帰式を算定し、寄与率の最も大きな回帰式と、測定値の標準偏差との関係から推定する方法を採った。安定領域の回帰式を考慮しなかった理由は、物性値の温度変化がないため寄与率が低いことは明らかであることによる。変動開始時間と変動領域の回帰式の傾きの温度依存性を図5および図6に示す。この結果をみると促進温度が高いほど、変動開始点以後の経年変化が大きいことが分かる。

実使用環境温度を23℃、30℃、40℃、50℃を仮定しアレニウスプロットによる寿命推定を行った事例を表7に示す。ただし、この結果は実際の暴露結果と対比してないので、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。

### 4. まとめ

- TPE-60の寿命推定のための熱劣化促進試験の促進温度と促進時間は100~150℃、12000時間である。
- 熱劣化促進試験での経年変化の傾向は安定領域と変動領域があり、変動開始点を特定した。また寿命推定には変動開始点以後の経年変化の回帰式を使用することが好ましい。
- 経時変化の指標として適当な物性値は、 $E_b \cdot TS \cdot M_{100}$ である。
- 5年間の屋外暴露による経年変化が見られなかったこと、実建物の調査事例がなかったことにより、暴露換算温度を特定されなかった。

表7 アレニウス式と寄与率・算出された寿命(TPE-60)

設定寿命(変化率%)	アレニウスプロット式	寄与率	寿命推定の事例(年)				
			実使用環境温度(℃)				
			23	30	40	50	
初期値	20	$y = 4.62 \times 10^{-6} e^{9700x}$	0.990	884	415	149	57
	50	$y = 3.09 \times 10^{-6} e^{9930x}$	0.980	1286	593	208	78
	70	$y = 2.35 \times 10^{-6} e^{10100x}$	0.973	1736	790	273	100
変動基準点	20	$y = 6.06 \times 10^{-6} e^{9610x}$	0.990	856	405	147	57
	50	$y = 3.96 \times 10^{-6} e^{9640x}$	0.981	1216	565	200	76
	70	$y = 2.95 \times 10^{-6} e^{10000x}$	0.974	1555	713	249	93

### 参考文献

- 1) 寺内伸、古賀英明：建築用ガasket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、第535号、2000年9月