

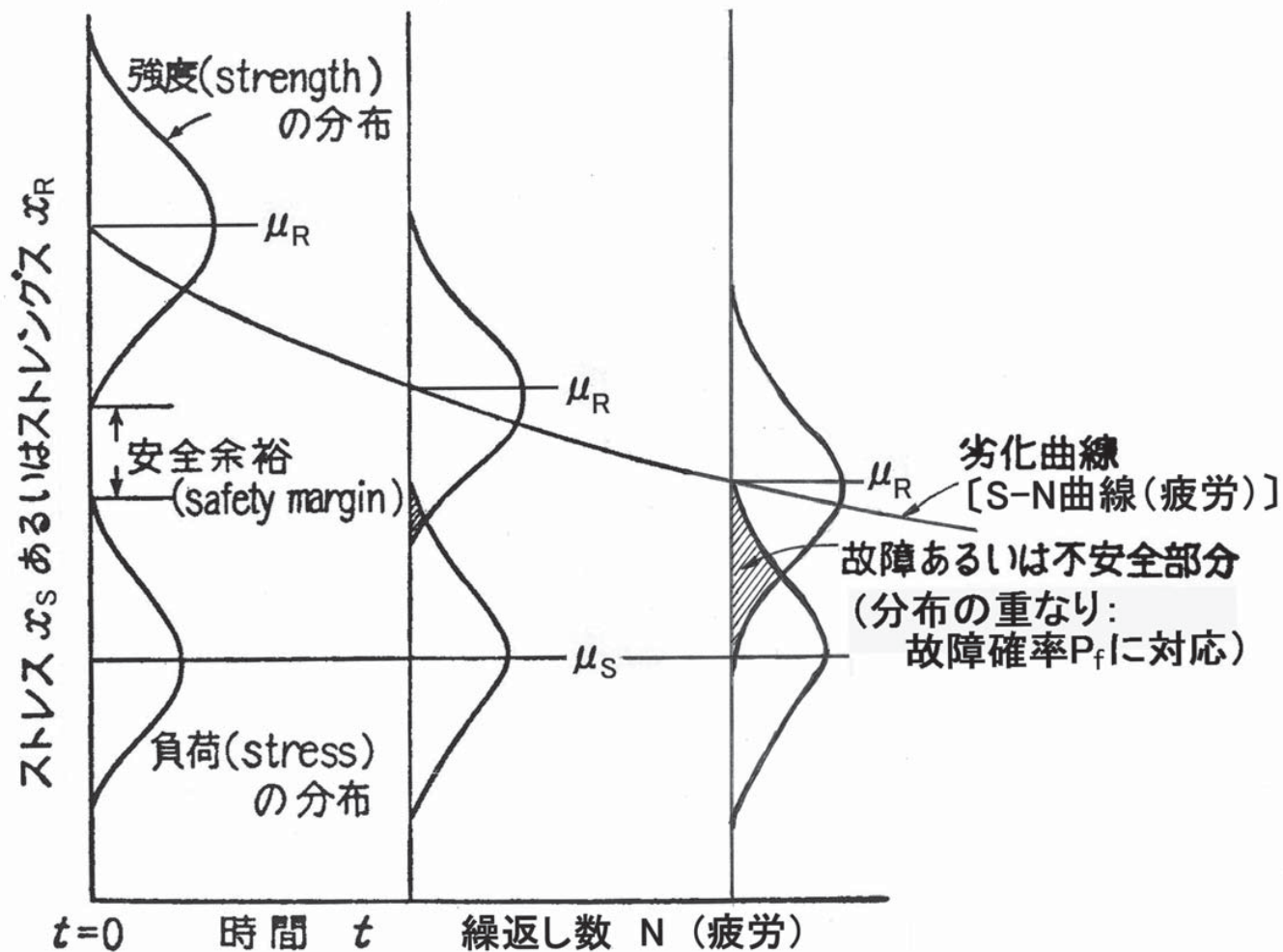


図1 ストレス-強度のモデル

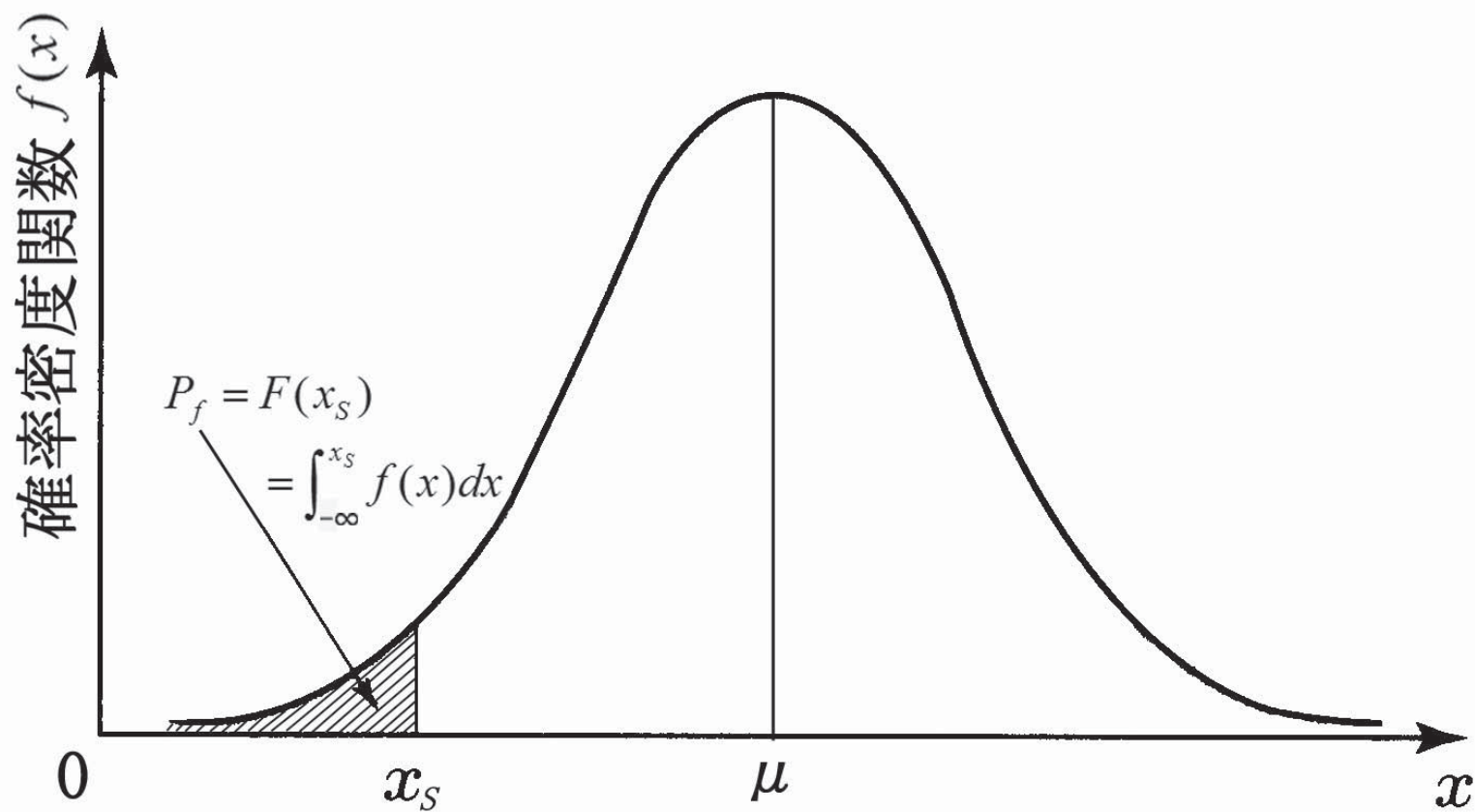


図2 確率密度関数 $f(x)$ と故障確率関数 $F(x)$ との関係

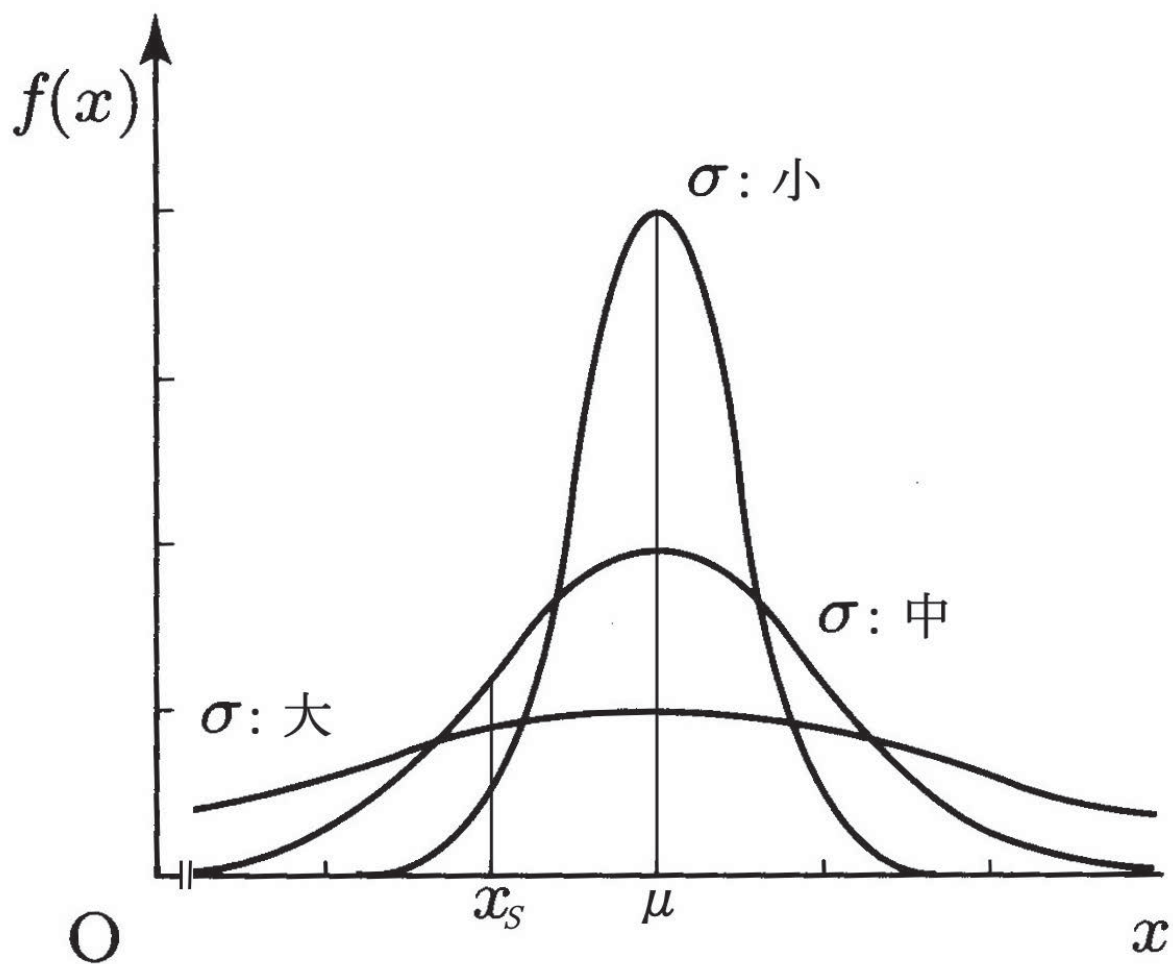


図3 確率密度関数 $f(x)$ と標準偏差 σ との関係

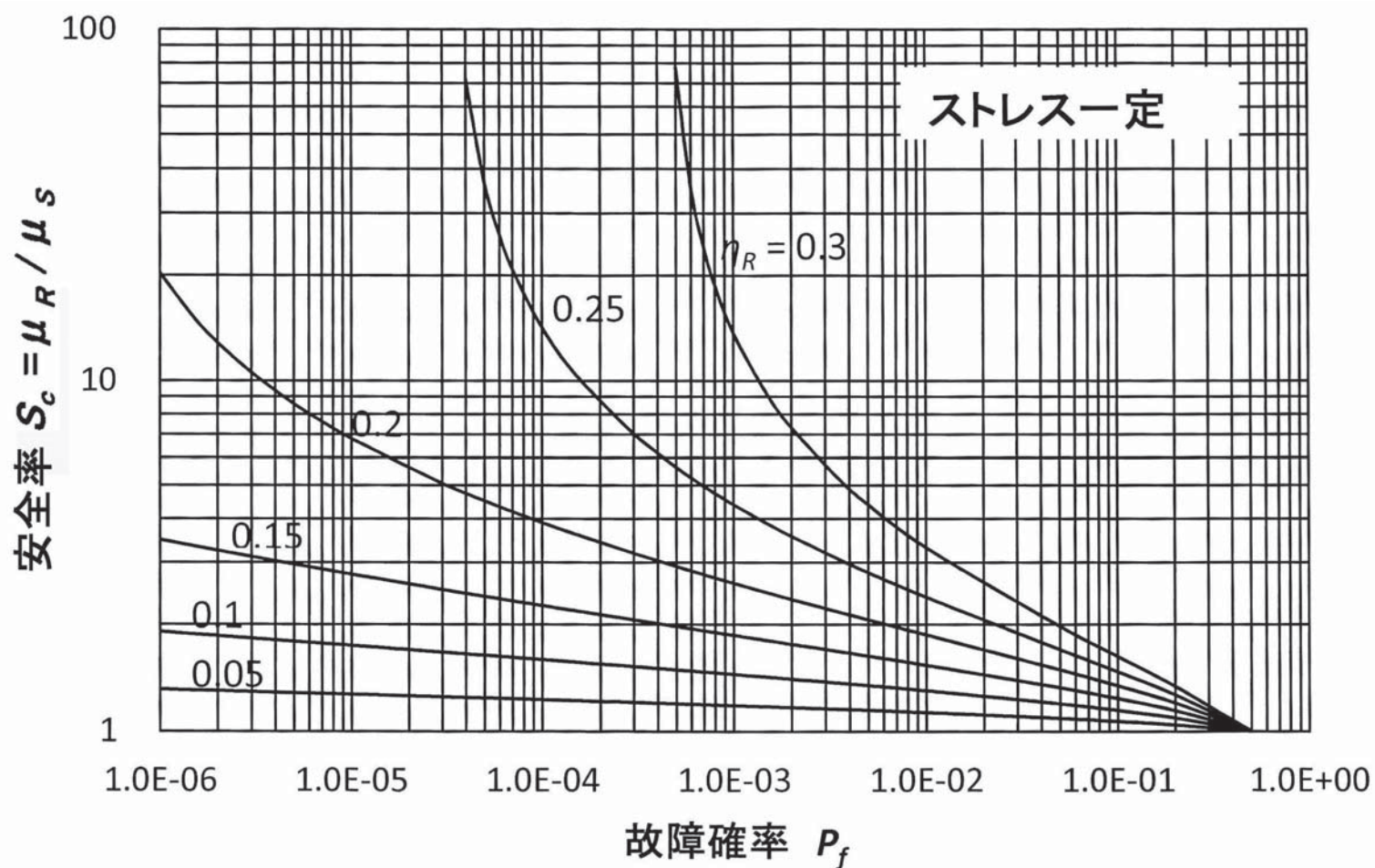


図4 ストレス(負荷応力)が一定の場合の安全率 S_c と故障確率 P_f との関係

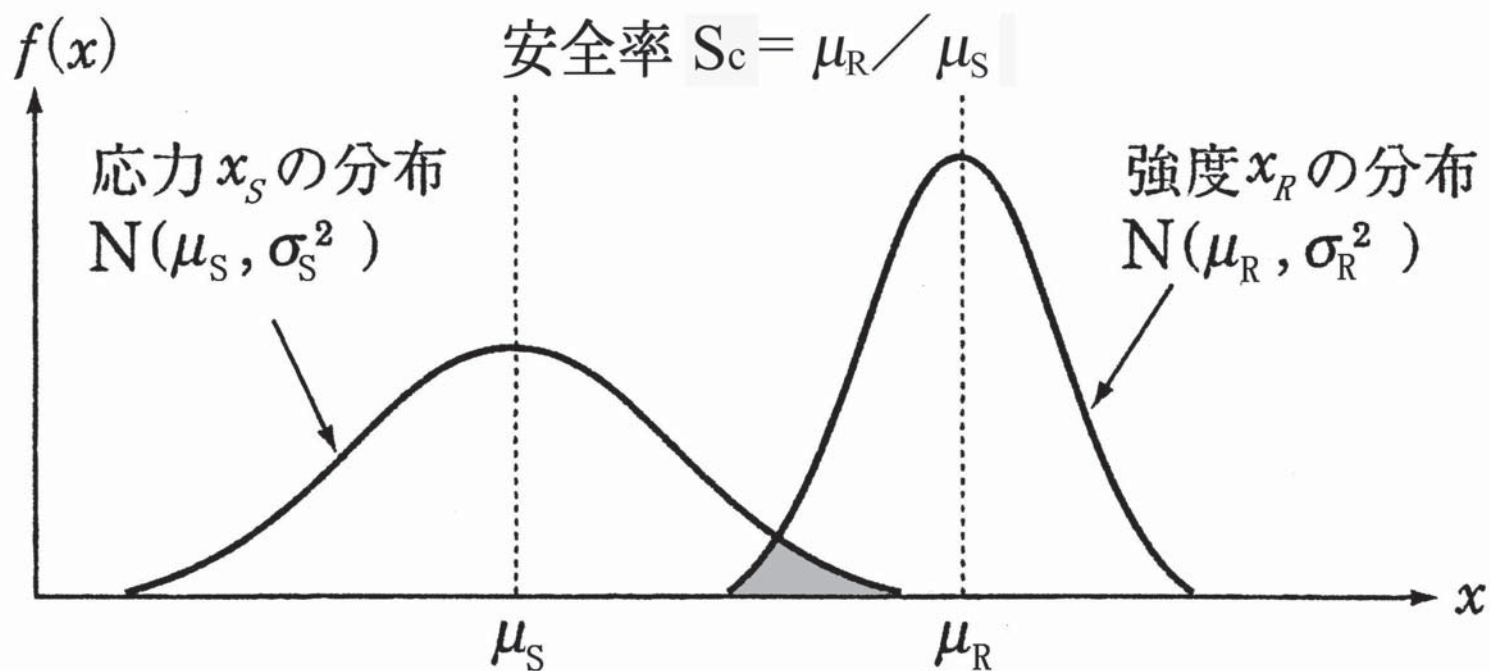


図5 ストレス x_S (負荷応力)と強度 x_R の分布

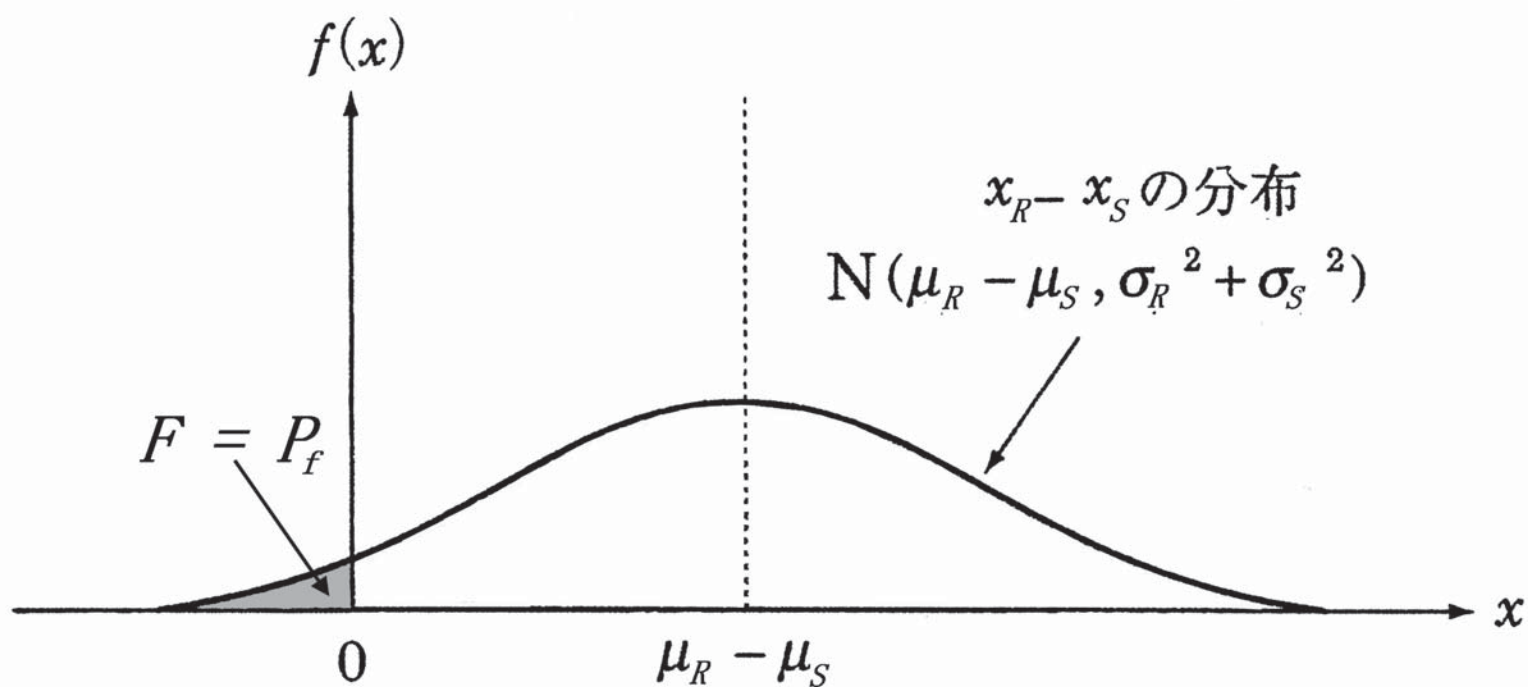


図6 $x_R - x_S$ の分布

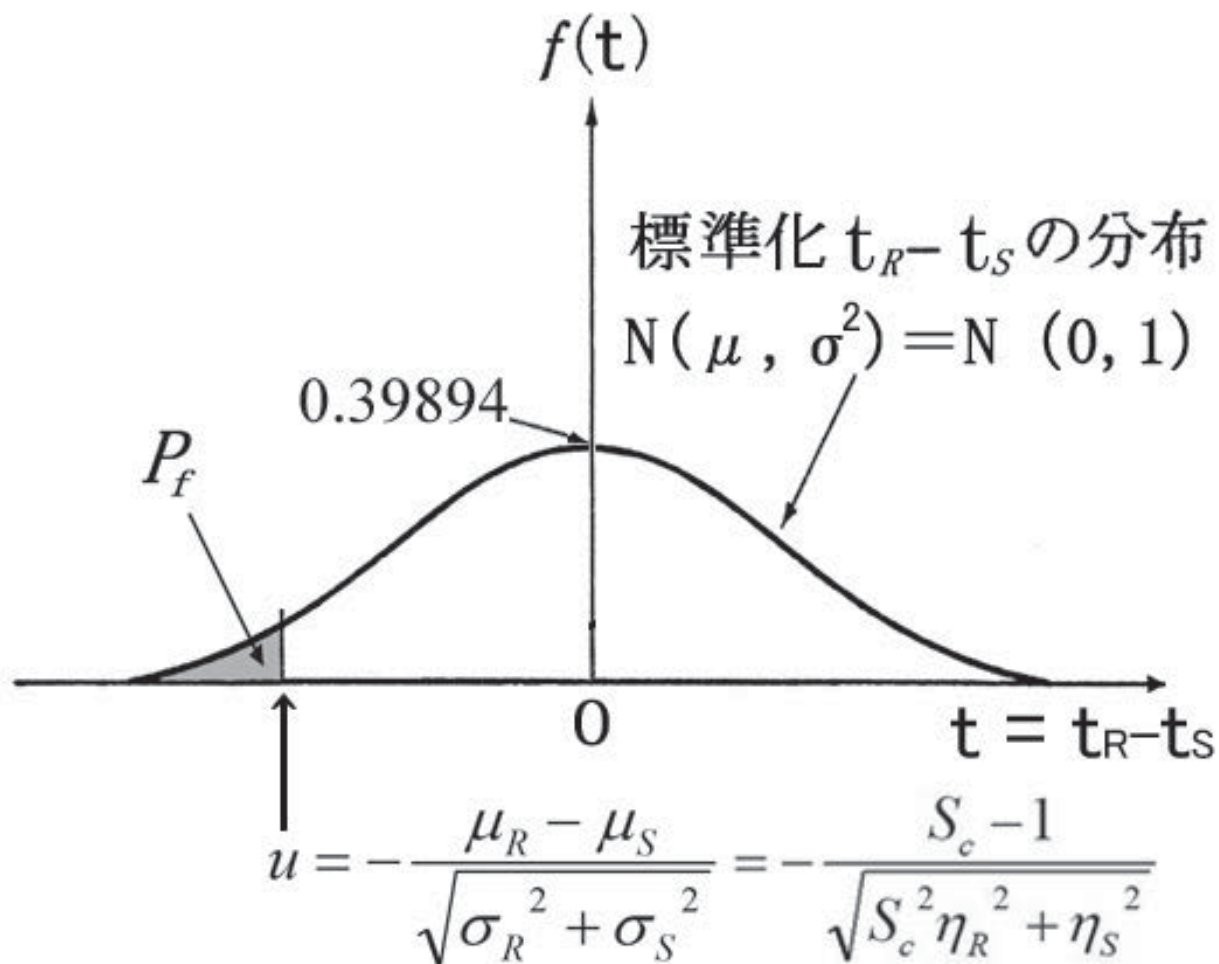


図7 標準化 $t_R - t_S$ の分布から故障確率 P_f を計算する方法

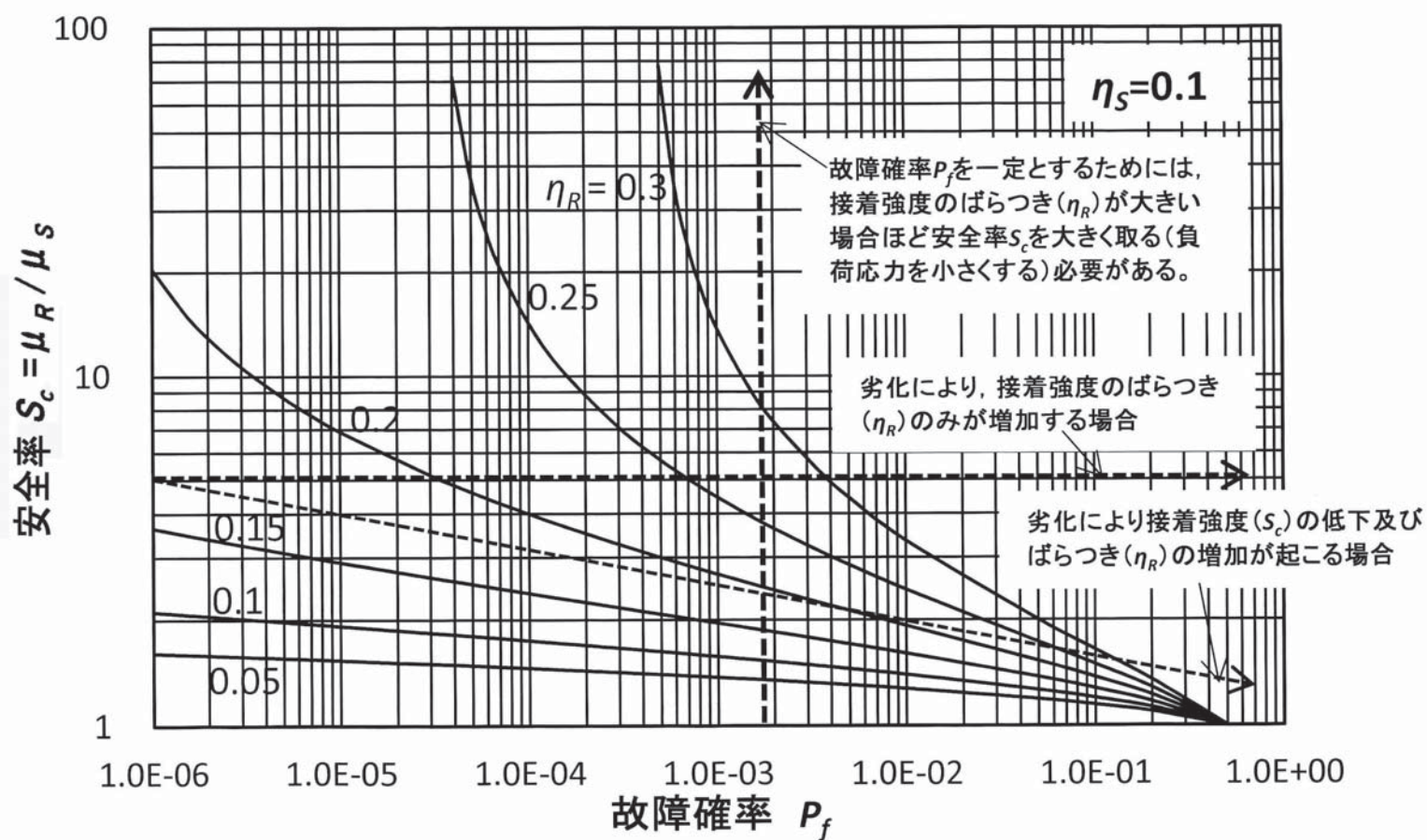


図8 ストレスが分布する場合の安全率 S_c と故障確率 P_f との関係 ($\eta_S = 0.1$)

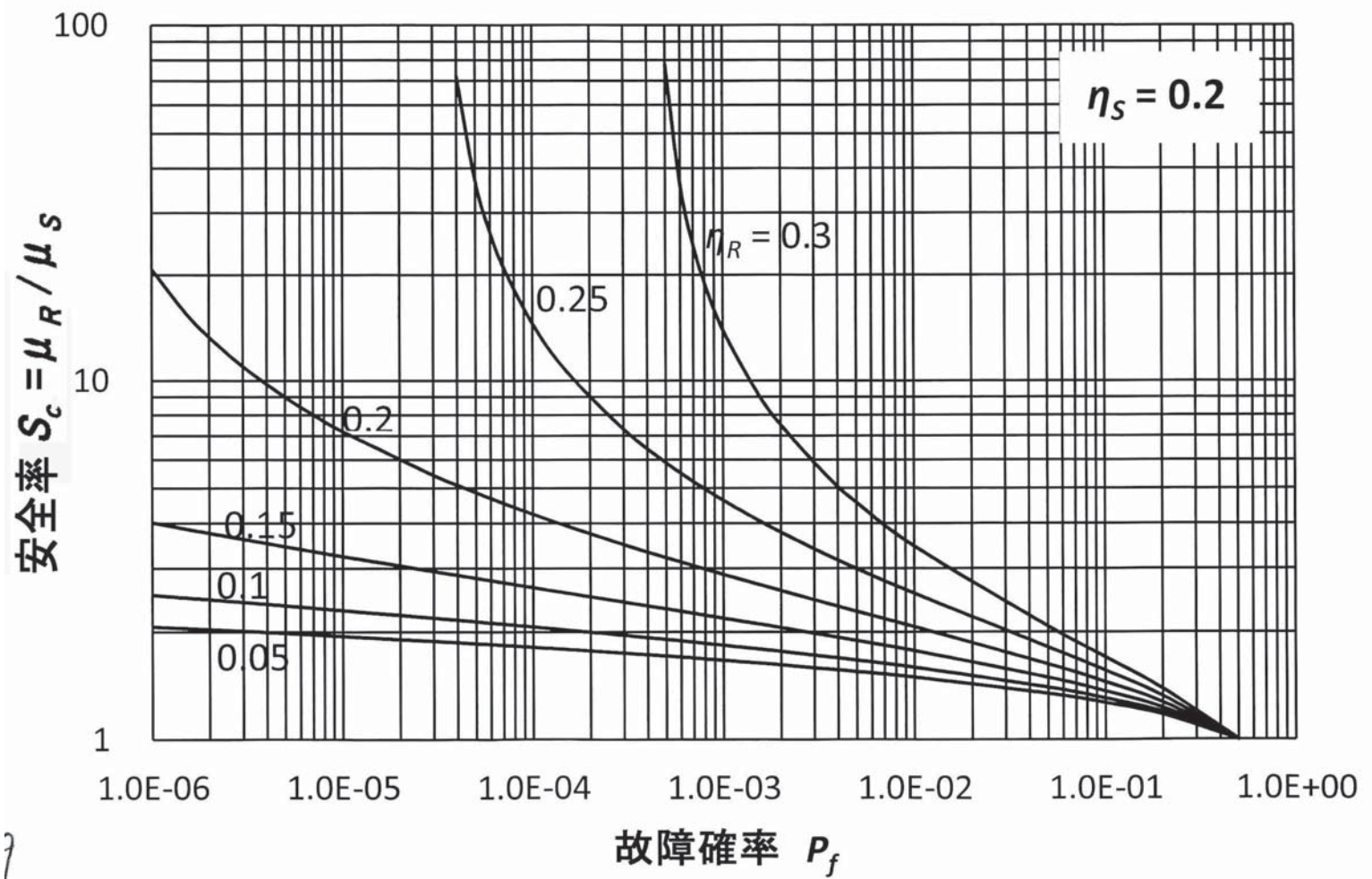


図9 ストレスが分布する場合の安全率 S_c と故障確率 P_f との関係 ($\eta_S = 0.2$)

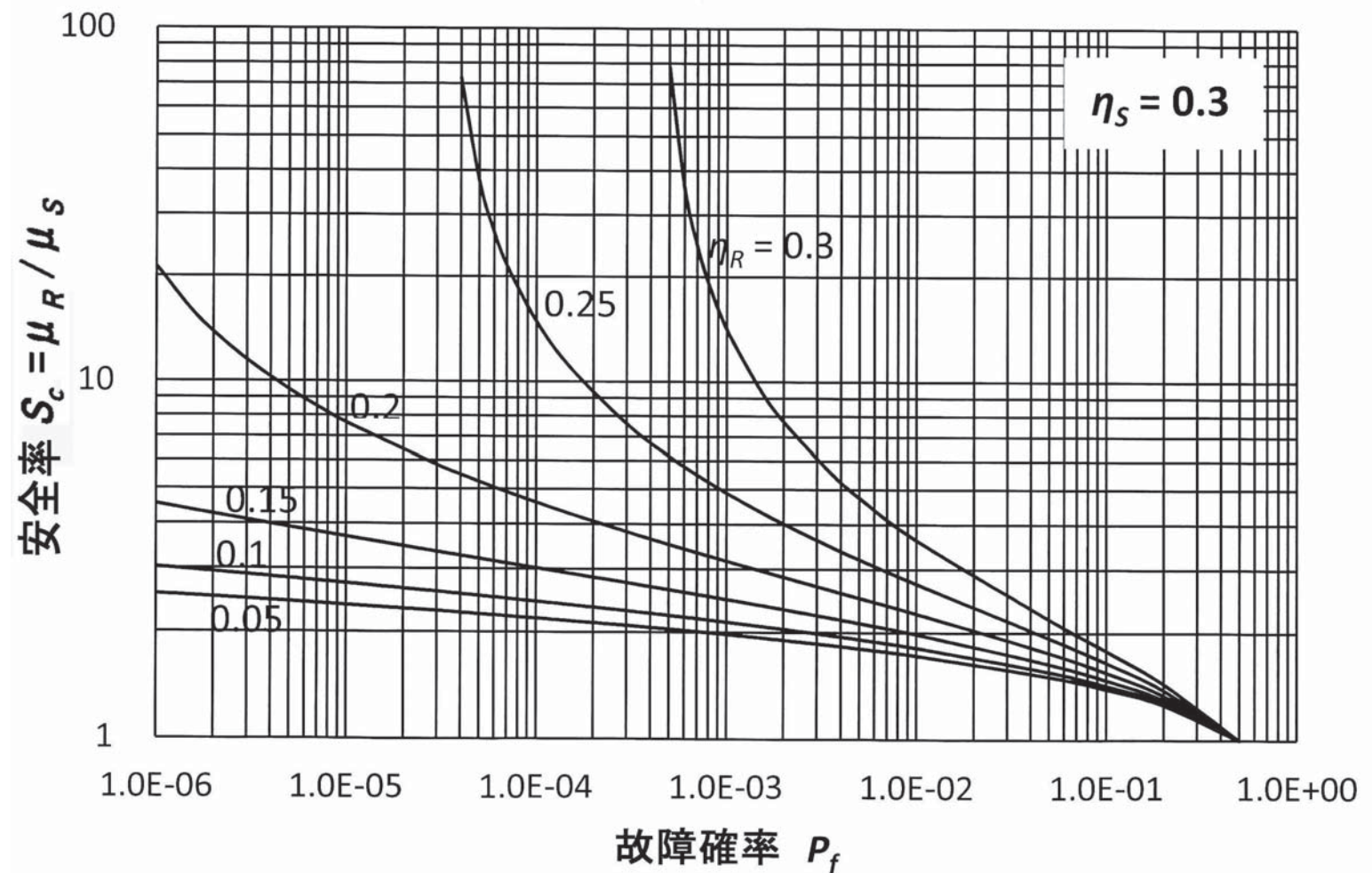


図10 ストレスが分布する場合の安全率 S_c と故障確率 P_f との関係 ($\eta_S = 0.3$)

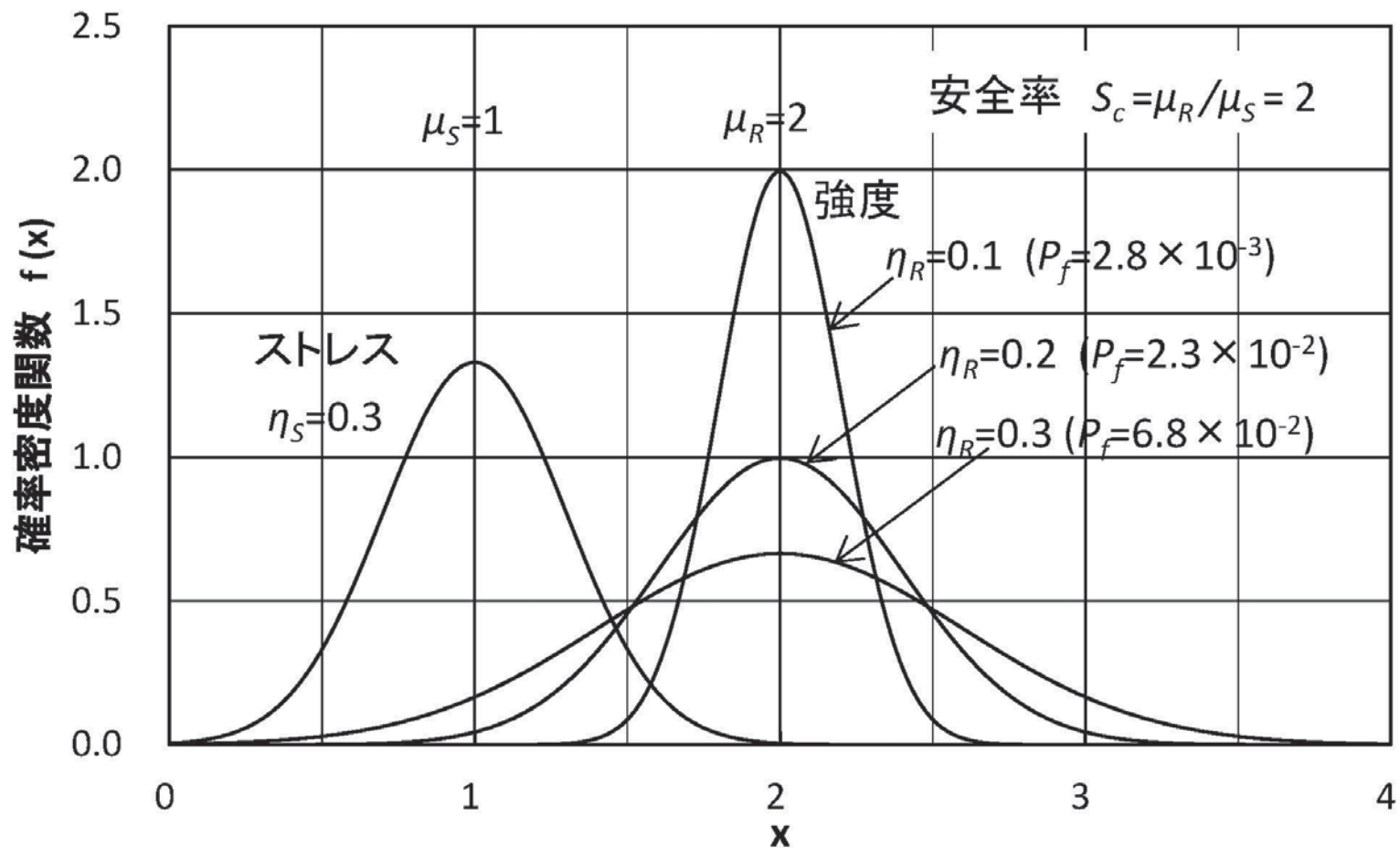


図11 ストレス x_R 及び強度 x_S の分布(安全率 $S_c=2$ の場合)

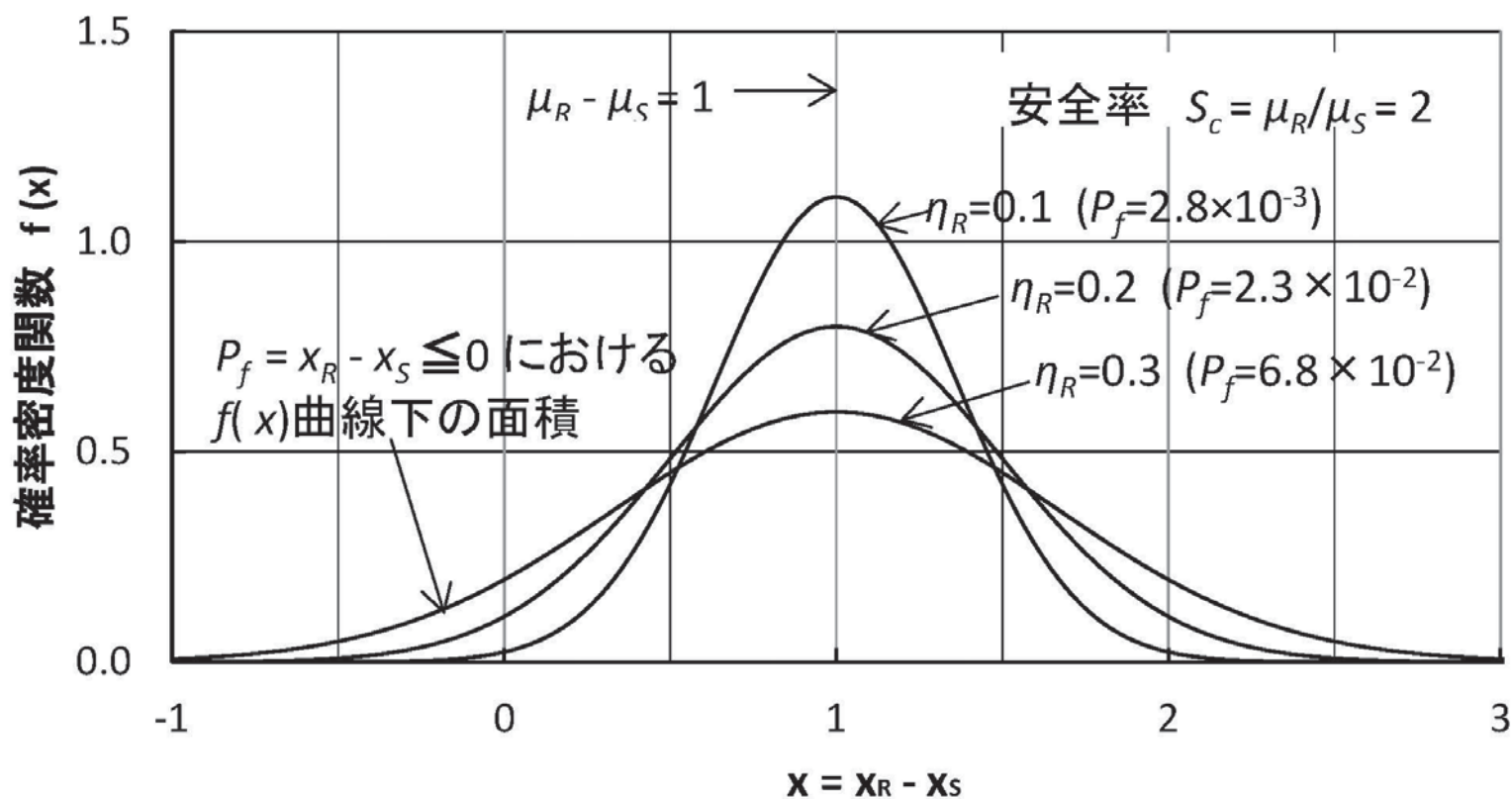


図12 $x_R - x_S$ の分布(安全率 $S_c=2$ の場合)

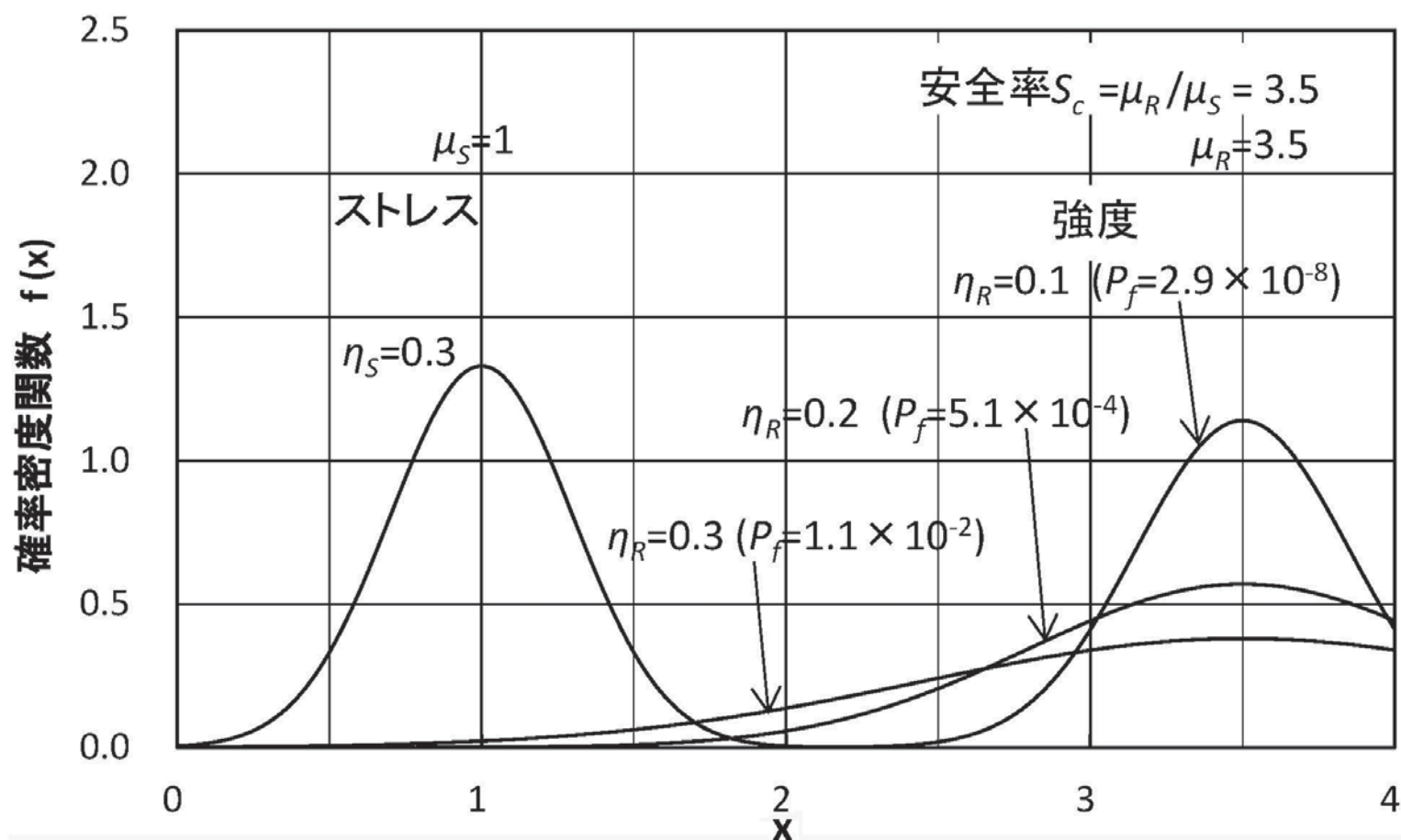


図13 ストレス x_R 及び強度 x_S の分布(安全率 $S_c=3.5$ の場合)

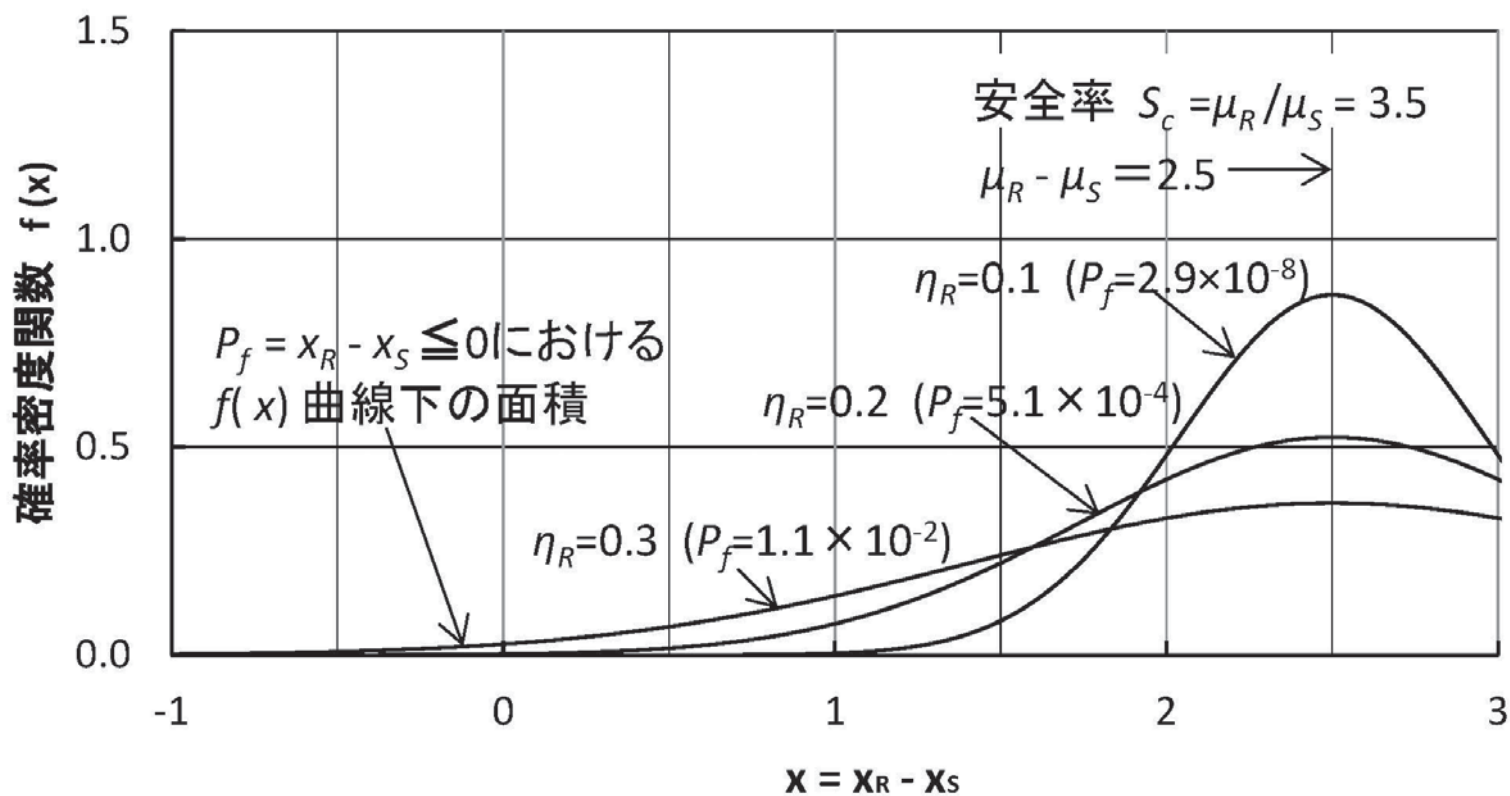
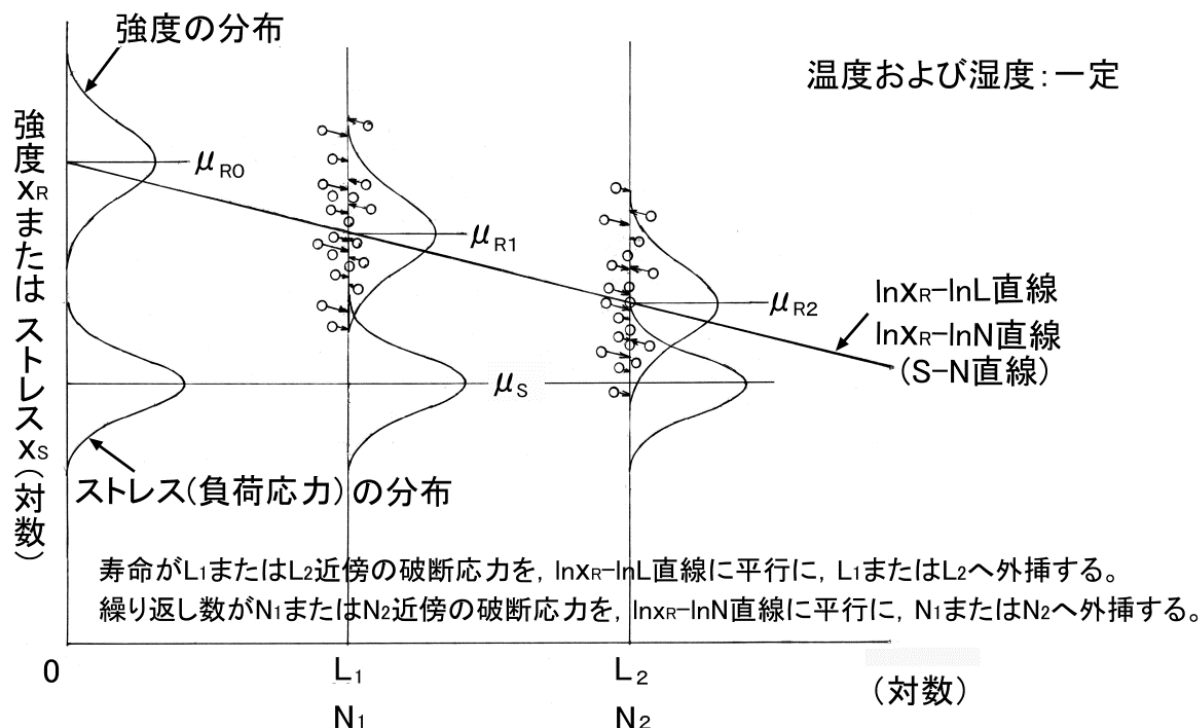


図14 $x_R - x_S$ の分布(安全率 $S_c=3.5$ の場合)

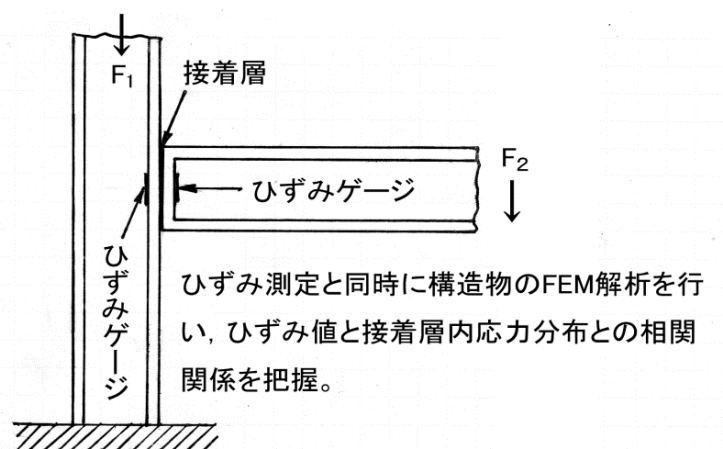


L_1, L_2 : 使用時間, または加速試験時間 $\times$ その時の促進倍率 A_L

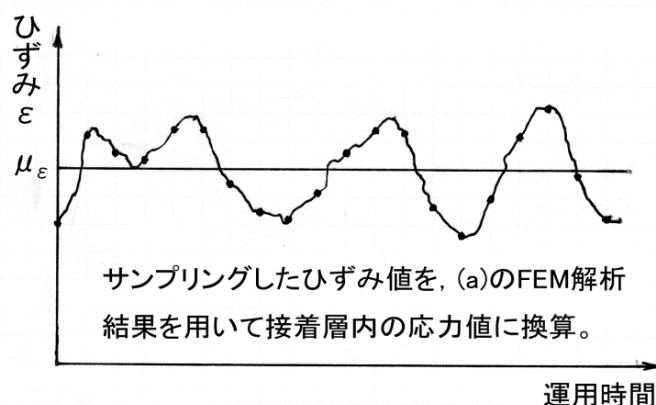
N_1, N_2 : 疲労試験における破断繰返し数

強度 X_R の変動係数 η_R は, 上図の外挿法により得られた $L_1(N_1)$ または $L_2(N_2)$ における $\ln X_R$ の真数 X_R を用いて計算する

図 15 寿命試験・加速試験による確率密度関数の決定法



(a) 接着構造物の運用により生じる接着部のひずみの測定



(b) 接着構造物のひずみ測定値のサンプリング

図 16 接着構造物の接着層内応力およびその変動係数の測定法

表 1 NORMSDIST 関数を用いた故障確率 P_f の EXCEL 計算シート

G2		▼		fx		=NORMSDIST(F2)		
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	μ_R	μ_S	$S_c = \mu_R / \mu_S$	η_R	η_S	$u = -\frac{S_c - 1}{\sqrt{S_c^2 \eta_R^2 + \eta_S^2}}$	$P_f = \text{NORMSDIST}(u)$	備考
2	3	1	3	0.2	0	-3.3333	4.2906E-04	ストレス一定 $\eta_S = 0$ (図4)
3	5	1	5	0.16711	0.1	-4.7533	1.0004E-06	図8 右下り 破線矢印
4	4	1	4	0.17407	0.1	-4.2649	1.0002E-05	
5	3.1	1	3.1	0.17928	0.1	-3.7188	1.0007E-04	
6	2.6	1	2.6	0.19539	0.1	-3.0902	1.0000E-03	
7	2	1	2	0.1	0.3	-2.7735	2.7728E-03	図11 図12
8	2	1	2	0.2	0.3	-2.0000	2.2750E-02	
9	2	1	2	0.3	0.3	-1.4907	6.8019E-02	
10	3.5	1	3.5	0.1	0.3	-5.4233	2.9261E-08	図13 図14
11	3.5	1	3.5	0.2	0.3	-3.2827	5.1416E-04	
12	3.5	1	3.5	0.3	0.3	-2.2893	1.1030E-02	
13	注1. 第1行は注釈行							
14	注2. $u = F = -(C-1)/\text{SQRT}(C^2 \cdot D^2 + E^2)$							
15	注3. 本計算シートは、使用者の責任においてご使用ください							

表 2 NORMSINV 関数を用いた安全率 S_c の EXCEL 計算シート

E2		= (1 + SQRT(1 - (1 - B2^2 * C2^2) * (1 - B2^2 * D2^2))) / (1 - B2^2 * C2^2)					
	A	B	C	D	E	F	G
1	P_f	$u = B = \Phi^{-1}(P_f)$ =NORMSINV(P_f)	η_R	η_S	S_c	備 考	
2	1.00E-03	-3.0902	0.1	0	1.45	ストレス一定 ($\eta_S=0$) (表3 左側)	
3	1.00E-04	-3.7190	0.1	0.1	1.75	$\eta_R=0.1, \eta_S=0.1$ (表3 右側)	
4	1.00E-03	-3.0902	0.1	0.1	1.58		
5	1.00E-04	-3.7190	0.1	0.2	2.07	$\eta_R=0.1, \eta_S=0.2$ (表4 左側)	
6	1.00E-03	-3.0902	0.1	0.2	1.84		
7	1.00E-05	-4.2649	0.1	0.3	2.73	$\eta_R=0.1, \eta_S=0.3$ (表4 右側)	
8	1.00E-04	-3.7190	0.1	0.3	2.44		
9	1.00E-03	-3.0902	0.1	0.3	2.14	$\eta_R=0.2, \eta_S=0.3$ (表4 右側)	
10	1.00E-06	-4.7534	0.2	0.3	21.29		
11	1.00E-05	-4.2649	0.2	0.3	7.65		
12	1.00E-04	-3.7190	0.2	0.3	4.60		
13	P_f	u	η_R^*	η_S	S_c	* $P_f=10^{-6}, S_c=3.5$ に必要な η_R の値	
14	1.00E-06	-4.7534	0.150	0	3.48	$\eta_S=0$ (図4)	
15	1.00E-06	-4.7534	0.148	0.1	3.53	$\eta_S=0.1$ (図8)	
16	1.00E-06	-4.7534	0.139	0.2	3.50	$\eta_S=0.2$ (図9)	
17	1.00E-06	-4.7534	0.123	0.3	3.49	$\eta_S=0.3$ (図10)	
18	P_f	u	$\eta_R^\#$	η_S	S_c	# $P_f=10^{-5}, S_c=3.5$ に必要な η_R の値	
19	1.00E-05	-4.2649	0.167	0	3.48	$\eta_S=0$ (図4)	
20	1.00E-05	-4.2649	0.165	0.1	3.50	$\eta_S=0.1$ (図8)	
21	1.00E-05	-4.2649	0.157	0.2	3.48	$\eta_S=0.2$ (図9)	
22	1.00E-05	-4.2649	0.144	0.3	3.50	$\eta_S=0.3$ (図10)	
23	P_f	u	$\eta_R^\%$	η_S	S_c	% $P_f=10^{-4}, S_c=3.5$ に必要な η_R の値	
24	1.00E-04	-3.7190	0.192	0	3.50	$\eta_S=0$ (図4)	
25	1.00E-04	-3.7190	0.190	0.1	3.50	$\eta_S=0.1$ (図8)	
26	1.00E-04	-3.7190	0.183	0.2	3.49	$\eta_S=0.2$ (図9)	
27	1.00E-04	-3.7190	0.172	0.3	3.50	$\eta_S=0.3$ (図10)	
28	注1. 第1行は注釈行						
29	注2. $S_c = E = \frac{1 + \sqrt{1 - (1 - u^2 \eta_R^2)(1 - u^2 \eta_S^2)}}{1 - u^2 \eta_R^2}$						
30	注3. 本計算シートは、使用者の責任においてご使用ください						

表3 安全率 S_c と故障確率 P_f との関係(ストレスが一定および $\eta_s=0.1$ の場合)

ストレス一定							ストレスの変動係数 $\eta_s=0.1$						
故障 確率 P_f	強度の変動係数 η_R						故障 確率 P_f	強度の変動係数 η_R					
	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3		0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3
	安全率 S_c							安全率 S_c					
1.0E-06	1.31	1.91	3.48	20.28			1.0E-06	1.61	2.11	3.64	20.40		
1.5E-06	1.30	1.88	3.34	15.19			1.5E-06	1.60	2.08	3.49	15.31		
2.0E-06	1.30	1.86	3.24	12.87			2.0E-06	1.59	2.05	3.39	12.98		
3.0E-06	1.29	1.83	3.11	10.56			3.0E-06	1.58	2.02	3.26	10.67		
5.0E-06	1.28	1.79	2.96	8.58			5.0E-06	1.56	1.98	3.10	8.69		
7.0E-06	1.28	1.77	2.87	7.62			7.0E-06	1.55	1.95	3.01	7.73		
1.0E-05	1.27	1.74	2.78	6.80			1.0E-05	1.54	1.93	2.91	6.91		
3.0E-05	1.25	1.67	2.51	5.06			3.0E-05	1.50	1.84	2.64	5.16		
4.0E-05	1.25	1.65	2.45	4.74	71.94		4.0E-05	1.49	1.82	2.57	4.83	72.02	
5.0E-05	1.24	1.64	2.40	4.51	36.56		5.0E-05	1.48	1.80	2.52	4.60	36.64	
6.0E-05	1.24	1.62	2.36	4.33	26.00		6.0E-05	1.48	1.79	2.48	4.43	26.07	
7.0E-05	1.24	1.62	2.33	4.20	20.85		7.0E-05	1.47	1.78	2.45	4.29	20.93	
1.0E-04	1.23	1.59	2.26	3.90	14.24		1.0E-04	1.46	1.75	2.38	3.99	14.31	
1.5E-04	1.22	1.57	2.18	3.61	10.40		1.5E-04	1.45	1.72	2.30	3.70	10.47	
3.0E-04	1.21	1.52	2.06	3.19	7.04		3.0E-04	1.42	1.67	2.17	3.27	7.11	
5.0E-04	1.20	1.49	1.97	2.92	5.64	77.87	5.0E-04	1.40	1.63	2.08	3.00	5.70	77.92
6.0E-04	1.19	1.48	1.94	2.84	5.26	35.29	6.0E-04	1.39	1.62	2.04	2.92	5.32	35.34
7.0E-04	1.19	1.47	1.92	2.77	4.97	24.04	7.0E-04	1.39	1.60	2.02	2.85	5.03	24.09
8.0E-04	1.19	1.46	1.90	2.71	4.74	18.79	8.0E-04	1.38	1.59	2.00	2.79	4.80	18.84
1.0E-03	1.18	1.45	1.86	2.62	4.40	13.71	1.0E-03	1.38	1.58	1.96	2.69	4.46	13.76
1.5E-03	1.17	1.42	1.80	2.46	3.87	9.12	1.5E-03	1.36	1.55	1.89	2.53	3.93	9.17
2.0E-03	1.17	1.40	1.76	2.36	3.57	7.32	2.0E-03	1.35	1.52	1.85	2.43	3.62	7.37
3.5E-03	1.16	1.37	1.68	2.17	3.07	5.24	3.5E-03	1.32	1.48	1.76	2.24	3.12	5.28
5.0E-03	1.15	1.35	1.63	2.06	2.81	4.40	5.0E-03	1.31	1.45	1.71	2.12	2.86	4.44
1.0E-02	1.13	1.30	1.54	1.87	2.39	3.31	1.0E-02	1.28	1.40	1.61	1.93	2.44	3.35
5.0E-02	1.09	1.20	1.33	1.49	1.70	1.97	5.0E-02	1.19	1.27	1.38	1.53	1.73	2.00
1.0E-01	1.07	1.15	1.24	1.34	1.47	1.62	1.0E-01	1.15	1.20	1.28	1.38	1.50	1.65
2.0E-01	1.04	1.09	1.14	1.20	1.27	1.34	2.0E-01	1.10	1.13	1.17	1.22	1.28	1.35
5.0E-01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	5.0E-01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

表4 ストレスが分布する場合の安全率 S_c と故障確率 P_f との関係($\eta_s=0.2$ および 0.3)

ストレスの変動係数 $\eta_s=0.2$							ストレスの変動係数 $\eta_s=0.3$						
故障 確率 P_f	強度の変動係数 η_R						故障 確率 P_f	強度の変動係数 η_R					
	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3		0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3
	安全率 S_c							安全率 S_c					
1.0E-06	2.07	2.53	4.02	20.74			1.0E-06	2.55	3.03	4.53	21.29		
1.5E-06	2.05	2.49	3.86	15.64			1.5E-06	2.52	2.97	4.36	16.17		
2.0E-06	2.03	2.46	3.76	13.31			2.0E-06	2.50	2.94	4.25	13.83		
3.0E-06	2.01	2.42	3.62	10.99			3.0E-06	2.47	2.88	4.09	11.49		
5.0E-06	1.99	2.37	3.45	9.00			5.0E-06	2.43	2.82	3.91	9.47		
7.0E-06	1.97	2.34	3.35	8.03			7.0E-06	2.40	2.78	3.80	8.49		
1.0E-05	1.95	2.30	3.24	7.20			1.0E-05	2.38	2.73	3.68	7.65		
3.0E-05	1.89	2.19	2.95	5.44			3.0E-05	2.29	2.59	3.35	5.84		
4.0E-05	1.87	2.16	2.88	5.10	72.26		4.0E-05	2.26	2.55	3.27	5.49	72.65	
5.0E-05	1.86	2.14	2.82	4.86	36.87		5.0E-05	2.25	2.53	3.20	5.24	37.25	
6.0E-05	1.85	2.12	2.78	4.69	26.30		6.0E-05	2.23	2.50	3.16	5.06	26.67	
7.0E-05	1.84	2.11	2.74	4.54	21.15		7.0E-05	2.22	2.48	3.11	4.91	21.52	
1.0E-04	1.82	2.07	2.66	4.24	14.53		1.0E-04	2.19	2.44	3.02	4.60	14.88	
1.5E-04	1.79	2.03	2.57	3.94	10.68		1.5E-04	2.15	2.39	2.92	4.28	11.01	
3.0E-04	1.75	1.96	2.42	3.49	7.30		3.0E-04	2.09	2.30	2.75	3.81	7.61	
5.0E-04	1.72	1.91	2.32	3.22	5.89	78.09	5.0E-04	2.04	2.23	2.63	3.52	6.17	78.36
6.0E-04	1.70	1.89	2.29	3.13	5.50	35.51	6.0E-04	2.03	2.21	2.59	3.42	5.78	35.77
7.0E-04	1.69	1.88	2.26	3.05	5.21	24.25	7.0E-04	2.01	2.19	2.55	3.34	5.48	24.51
8.0E-04	1.68	1.86	2.23	2.99	4.98	19.00	8.0E-04	2.00	2.17	2.52	3.27	5.25	19.25
1.0E-03	1.67	1.84	2.19	2.89	4.63	13.91	1.0E-03	1.98	2.14	2.48	3.16	4.89	14.16
1.5E-03	1.64	1.80	2.11	2.72	4.10	9.31	1.5E-03	1.94	2.08	2.39	2.98	4.34	9.54
2.0E-03	1.62	1.77	2.06	2.61	3.78	7.51	2.0E-03	1.91	2.04	2.32	2.86	4.02	7.73
3.5E-03	1.58	1.71	1.96	2.40	3.27	5.41	3.5E-03	1.85	1.97	2.20	2.64	3.49	5.61
5.0E-03	1.55	1.67	1.90	2.28	3.00	4.57	5.0E-03	1.81	1.92	2.13	2.50	3.20	4.75
1.0E-02	1.50	1.60	1.77	2.07	2.56	3.46	1.0E-02	1.73	1.82	1.98	2.26	2.74	3.62
5.0E-02	1.35	1.40	1.49	1.63	1.82	2.08	5.0E-02	1.51	1.56	1.64	1.76	1.94	2.19
1.0E-01	1.27	1.31	1.37	1.45	1.56	1.70	1.0E-01	1.39	1.43	1.48	1.55	1.65	1.79
2.0E-01	1.18	1.20	1.23	1.27	1.33	1.39	2.0E-01	1.26	1.27	1.30	1.34	1.39	1.44
5.0E-01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	5.0E-01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

表5 引張強さを基準強さとした時のUnwinの安全率

材 料	安 全 率			
	静荷重	繰返し荷重		衝撃荷重
		片 振	両 振	
鋼	3	5	8	12
鋳 鉄	4	6	10	15
木 材	7	10	15	20
れんが・大理石	20	30	—	—

安全率：材料の基準強さ／許容応力

表6 室温硬化形接着剤による引張せん断接着強度平均値 μ_R (kgf/cm²)および変動係数 η_R

接着剤		試験条件											
		室温				82℃				湿潤(49℃, 95%RH, 30日間)			
種類	記号	μ_R	μ_R 平均値	η_R	η_R 平均値	μ_R	μ_R 平均値	η_R	η_R 平均値	μ_R	μ_R 平均値	η_R	η_R 平均値
二液性室温硬化型 エポキシ系	E1	244	247	0.067	0.043	82	53	0.121	0.142	180	180	0.115	0.096
	E2	163		0.013		87		0.123		178		0.057	
	E3	239		0.063		22		0.137		111		0.151	
	E4	340		0.029		22		0.188		250		0.062	
二液性室温硬化型 ポリウレタン系	U1	286	270	0.073	0.053	71	60	0.093	0.060	98	125	0.096	0.109
	U2	254		0.033		49		0.027		151		0.121	
二液性アクリル(SGA)	A	316		0.052		81		0.127		173		0.059	
高性能両面粘着テープ	P	9		0.042		2		0.051		6		0.077	

被着材:SUS304 t1.5, 試験片幅:25mm, ラップ長さ:12.7mm, MEKを用いて超音波洗浄3回実施

試験片数:各接着剤について 5本

表7 一液性120℃加熱硬化形エポキシ系接着剤の引張せん断接着強度平均値 μ_R ,
変動係数 η_R および凝集破壊率 r_c .

接着剤 記号	接着剤 番号	試験条件 (FS MMM-A-132A)								
		室温			82℃			湿潤 (49℃, 95%RH,30日間)		
		μ_R kgf/cm ²	η_R	r_c %	μ_R kgf/cm ²	η_R	r_c %	μ_R kgf/cm ²	η_R	r_c %
C	1	284	0.042	0	214	0.079	0	153	0.037	0
	2	271	0.038	100	187	0.058	48	244	0.016	28
	3	298	0.039	0	225	0.074	0	212	0.042	0
	4	231	0.035	0	183	0.031	0	178	0.015	0
	5	326	0.032	0	233	0.039	0	211	0.069	0
	6	278	0.088	0	246	0.036	0	176	0.026	0
A	7	277	0.018	100	243	0.038	98	223	0.010	100
	8	289	0.037	0	215	0.018	0	175	0.029	0
	9	344	0.076	16	252	0.046	24	209	0.042	15
	10	303	0.015	10	239	0.023	10	236	0.022	12
	11	305	0.013	70	206	0.023	9	223	0.047	23
	12	294	0.044	52	196	0.015	3	229	0.076	14
平均値		292	0.040	29	220	0.040	16	206	0.036	16

接着剤の記号: 次号総説「耐久性評価と寿命予測法」において解説
被着材: SUS304 t1.5, 試験片幅: 25mm, ラップ長さ: 12.7mm, MEKにより超音波洗浄3回実施
試験片数: 各接着剤について 5本

表8 欧米における各種荷重の変動係数 η_s

荷重の種類 (単位)	地 域			
	西ヨーロッパ		米 国	
自重(重量)	コンクリート	0.05(正規)		0.10(正規)
	鋼	0.02		
積載荷重 (荷重強度)	住 宅 50年	0.40		
	事務所 50年	0.40		
	店 舗 50年	0.30(極値 I 型)		0.25(極値 I 型)
	駐車場 1年	0.06		
	50年	0.05		
風荷重 (風圧力)	1年	0.51(極値 I 型)	1年	0.59(極値 I 型)
	50年	0.20	50年	0.37
雪荷重 (荷重強度)	1年	0.33(極値 I 型)	1年	0.73(対数正規)
	50年	0.22	50年	0.26(極値 II 型)
地震荷重 (最大加速度)	50年	0.50(極値 I 型)		場所による(極値 II
研究者	Borges		Ellingwood	

注1. 年数はデータ採取期間, () 中は分布形式。

注2. 上表における η_s の平均値 = 0.297