

統計的処理による多層塗膜の付着現象の解析

岐阜職業訓練短期大学校 竹内 勇夫

Analysis of Adhesive Phenomenon on Multicoat Films by the Use of Statistical Treatment

Isao Takeuchi

要 約 実用塗装系は、大部分が多層塗膜系である。多層塗膜の付着現象は極めて複雑で、その解析はむづかしい。したがって本報では、統計的手法を用いて多層塗膜の付着現象の解析を試みた。解析に供した付着実験データは、木材素地にサンジグシーラーとトップクリヤーを塗り重ねた2層塗膜でのプルオフ法付着強さである。解析により得られた結果は次のようである。

- (1) R管理図による付着強さデータのばらつきの分析では、異常実験値はみられず、今回の付着測定実験方法は適正と考えられる。
- (2) 良好な付着性が確保できる塗装系は、ポリウレタンサンジグシーラー／ポリウレタントップクリヤーの組合せであった。
- (3) 付着試験の破壊部位は、分散分析法によりサンジグシーラー／木材間の界面付近（界面破壊とサンジグシーラー塗膜の凝集破壊との混在）と推定された。
- (4) 付着強さ～塗膜の抗張力間の相関係数は、0.6と小さく、付着現象の解析には塗膜の抗張力以外の要因を検討する必要がある。

また、統計的処理には、その手続きを簡易化するためにパソコン（PC-9800，日本電気）を活用した。そして、このような方法での実験データの統計的処理を、日常の授業体系に導入した時の効用を考察し、その結果、教育訓練上有効であると考えた。

I はじめに

私達が行う実験で、ばらつきのない、また測定誤差のない実験データは、まずないと考えてよい。したがって、実験データを統計的に処理し、データから得られる情報を客観的に判断することは重要なことである。

データの統計的処理は、数理の苦手な者にとってはおっくうな課題である。しかし今日では、パソコンの普及により初歩的なプログラミング技術で、煩雑な数理計算も比較的楽にできるようになり、データの統計的処理は私達の身近な学問になってきた。よって今後は、専門分野以外にも普及するものと考えられる。⁽¹⁾実験計画法については、多くの専門書⁽²⁾も出版されているし、分散分析法につ

いては筆者の報告⁽³⁾もあるので参照していただきたい。

塗膜の付着現象は、破壊を伴う界面現象で、真の付着強さの測定は極めて困難であるが、実用的にも学問的にも推奨できる付着試験は、プルオフ法と剝離法である。しかしながら、いずれの付着強さもばらつきが多く、統計的手法を用いてこのばらつきを解析する必要が生じる。本報では、各種中塗り、上塗り塗料を用いて木材素地に塗り重ね、それらの2層塗膜／木材試料に対して測定したプルオフ法付着強さデータを次の項目について解析した。

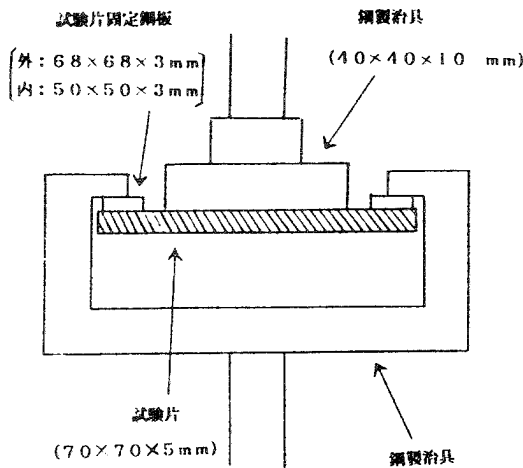
- 1) R管理図による付着試験値のばらつき
- 2) 分散分析法を利用した付着試験の破壊部位の推定
- 3) 付着強さ～塗膜の抗張力間の相関性

以上の解析技術を用いて、良好な付着性が得られる塗料の組合せを明かにするとともに、このような実験データの統計的処理を日常の授業体系に導入した時の教育訓練効果についても考察した。

II データの統計的処理と結果の考察

1 塗膜の付着測定実験の概要

木材用塗料の 4 種類のサンジグシーラーと 3 種類のトップクリヤーを組合せ、木材上に計 12 種類の 2 層塗膜を作成し試験片とした。その試験片を図 1 に示す引張試験治具に装着し、引張試験法により塗膜の付着強さを測定した。(注：素材と塗膜の界面における付着性能は付着力と表現されるが、素材破壊や塗膜の凝集破壊を含む付着性能は、付着強さと表現される。) 実験目的は、木材塗装における付着性良好な塗料の組合せを選択することである。



付着強さ測定により生ずる付着破壊面は、図 2 に示す 6 タイプが考えられる。したがって実験の目的を検討するには、付着強さのデータの分析と同時に、付着破壊面の各破壊部位の割合を知ることが重要である。この事は、付着強さに影響する因子の解析に必要である。

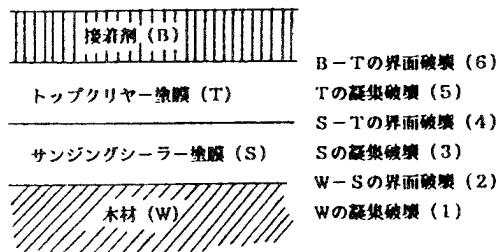


表 1 に引張試験法により得られた付着強さのデータを示す。また表 2 には、各サンジグシーラー遊離塗膜の抗張力のデータを示す。以下これらのデータを使用し統計的処理を行った。

表 1 木材における 2 層塗膜の付着強さ

		トップクリヤー		
		AA	UR	PE
サンジグシーラー	NC	3.7	4.9	5.0
		3.9	5.2	5.2
		4.0	5.4	5.2
	AA	4.3	5.4	5.4
		4.1	5.4	5.3
		4.9	5.8	6.6
		5.3	6.0	4.2
	UR	5.4	7.2	5.4
		7.5	6.9	6.7
		7.5	7.8	6.8
		7.5	7.9	7.0
		8.2	8.4	7.0
PE	4.7	6.4	5.2	
	4.9	6.4	5.3	
	5.0	7.0	5.6	
		7.1	7.8	5.9

(10^{-1} N/m^2)

NC：ニトロセルロースラッカー
AA：酸硬化型アミノアルキド樹脂塗料
UR：ポリウレタン樹脂塗料
PE：不飽和ポリエステル樹脂塗料

表 2 サンジグシーラー遊離塗膜の抗張力

NC	AA	UR	PE
17.6	28.9	28.8	26.0

(N/m^2)

2 R管理図による付着強さデータの管理

R管理図は、 \bar{x} 管理図と組合せて工程管理法として最もよく使用される管理図である。 \bar{x} 管理図は、データの分布の平均値の変化を示し、R管理図は、分布の幅すなわちデータのばらつきの変化を見るために使用される。 \bar{x} -R管理図の見方については、簡明な解説¹⁴⁾があるのでここでは省略するが、工程管理においてはデータの重要な解析法である。よって統計的処理の中で、あわせて説明しておく事は、教育訓練上有意であると考えられる。

図 3 には、データの R 管理図を作成するための処理プログラムを、図 4 にはその処理プログラムを使用し、パソコン処理した結果を示す。作図された R 管理図は、次のように解析できる。繰り返しデータのばらつきが、管

管理限界線 (UCL) を飛び出す現象が見られたら、そのばらつきの原因となったデータ値を異常値とみなし、発生した原因を調査する必要がある。異常値が発生した明かな原因が解れば、異常値はデータから削除する。しかし原因が解らなければ、異常値の棄却検定を行い異常値の採否を決める必要がある。今回はGrubbsの方法³⁾を採用し、繰り返しデータ4点の最大値と最小値の棄却検定を処理プログラム中に組み込んだ。

異常値が繰り返しデータ中の最大値であって、棄却検定の結果、1%の危険率で捨てた方がよいという結果であれば、図4の"イジョウチ (L)" の覧に"ステル"と表示し、データ値として採用できるならば"ノコス"と表示するようプログラム化した。異常値が最小値である場合も同様の検定を行い、"イジョウチ (s)" の覧に同様の方法で表示した。また繰り返しデータのばらつきが、管理限界線を飛び出す事がなければ、その覧はすべて"ノコス"という表示になる。

一方繰り返しデータのばらつきが、頻繁に管理限界線を飛び出すデータであるならば、実験方法の再考が必要である。今回の付着強さデータでは、管理限界線を飛び出すばらつきが見られないので、実験方法には問題がないといえる。

3 付着強さの分散分析

サンジグシーラー、トップクリヤー塗膜の種類を因子として、付着強さ測定値を2元配置し分散分析を行った。付着強さ測定は、同一条件試験片で4回の繰り返し測定を行っているので、交互作用効果(因子間の相乗または相殺作用)も検出できる。今回の分析では、交互作用効果を、サンジグシーラー塗膜とトップクリヤー塗膜間の層間付着力と考えてみた。

分析の目的は、2層塗膜の付着強さに対するサンジグシーラー、トップクリヤー塗膜の種類および塗膜層間付着力の3因子の影響度を解析することであり、すなわちこの事は、2層塗膜の付着破壊部位の大きな分布域を推定することになる。

図5に処理プログラムを、表3に表示された結果を示す。表3の表示結果を見ると、2層塗膜の付着強さに対して3因子の影響度は、いずれも5%の危険率では有意性を示した。しかし1%の危険率では、サンジグシーラー塗膜の種類の影響のみが有意性を示した (F検定)。この事は、図2の(2)(3)(4)の付着破壊が主体であることを示唆する。また、この付着破壊部位の分布割合は、分散分析表(表3)の寄与率 (P) の数値でも推定できる。この数値は、付着強さのばらつき (塗膜の種類による付

表3 付着強さデータの分散分析結果

ファンタ	ファンタ	ヒョウ	s*c			e		
n	n	n	n	n	n	n	n	
S 45.0000	8.61597	5.68506	13.1825	13.1825				
I 3	2	6	36	36				
V 15	4.30798	.94751	.36618	.36618				
F 40.16735	11.7646	2.58755						
P 60.5676	10.8764	4.81209	23.7439					

ファンタ	ファンタ	ヒョウ	ヒョウ	ヒョウ
s (5%) ; F	c (5%) ; F	e (5%) ; F	s*c (5%) ; F	e (5%) ; F
s (1%) ; F	c (1%) ; F	e (1%) ; F	s*c (1%) ; F	e (1%) ; F
9.4751	ナ	ランジグ	ナ	ナ
sNC= 3.6	sAA= 4.1	sIR= 5.575	sIF= 4.45725	
9.4751	ナ	クサト	ナ	ナ
cAA= 5.5	cIR= 6.49375	cIF= 5.7375		
9.4751	ナ	クサト	ナ	ナ
eNC= 3.975	eAA= 5.225	eIR= 5.225	eNC= 5.2	eIF= 5.2
sAA= 4.925	sAA= 6.1	sAA= 6.375	sIR= 6.875	sIF= 6.875
sIR= 7.675	sIR= 7.75	sIR= 7.75	sIF= 6.875	sIF= 6.875
sIF= 5.425	sIF= 6.9	sIF= 6.9		

ファンタ	ファンタ	ヒョウ	ヒョウ	ヒョウ
s (5%) ; F	c (5%) ; F	e (5%) ; F	s*c (5%) ; F	e (5%) ; F
s (1%) ; F	c (1%) ; F	e (1%) ; F	s*c (1%) ; F	e (1%) ; F
9.4751	ナ	クサト	ナ	ナ
sNC= 3.6	sAA= 4.1	sIR= 5.575	sIF= 4.45725	

着強さの差) に対しての3因子の影響度を示している。結果は、付着強さのばらつきに対して、サンジグシーラー塗膜の種類 (s) によるばらつきが約61%、トップクリヤー塗膜の種類 (c) によるばらつきが約11%およびsとcの交互作用によるばらつきが約5%を占めていることを示し、残り約24%が誤差 (e) のばらつきであることを示している。すなわちこの数値は、F検定の結果と同様であるが、sとcの交互作用によるばらつきが小さいことから、付着破壊は(2)(3)の部位で主体的に起きていることを示唆している。この分析結果は、付着破壊面の目視での観察による各破壊部位の割合とはほぼ一致した。

最高の付着強さが得られたサンジグシーラー、トップクリヤーの組合せは、ポリウレタン塗料同志の組合せであることが表示されている。またこの組合せで、同一条件の基で今後付着強さ測定を続けてゆけば、5%の危険率で7.75±0.61 (10⁻¹N/mm²) の範囲内の平均付着強さが得られることが予測された。

また付着破壊は、主に(2)(3)の部位で起きていることから、付着強さにはサンジグシーラー塗膜の木材への付着力自体と同様に、塗膜の機械的強度の寄与も大きいと考えられる。よって、その強度因子を塗膜の抗張力として、付着強さとの相関を次に検定した。

4 付着強さ～塗膜の抗張力間の相関性

付着強さとサンジグシーラー遊離塗膜の抗張力との相関性を調べるのに用いた処理プログラムを図6に、両者の関係を図7にそれぞれ示す。

```

10 REM *** 7-9 / 2279 ***
20 DIM F(6,3),A(2),H(4),J(3),R(12)
30 FOR M1=1 TO 3
40 FOR N1=1 TO 16
50 READ F(M1,N1)
60 NEXT N1
70 NEXT M1
80 DATA 3,7,3,9,4,0,4,3,4,1,4,9,5,3,5,4
90 DATA 7,5,7,5,7,5,8,2,4,7,4,9,5,0,7,1
100 DATA 4,9,5,2,5,4,5,4,5,4,8,8,6,0,7,2
110 DATA 6,9,7,8,7,9,8,4,5,4,6,4,7,0,7,8
120 DATA 5,0,5,2,5,2,5,4,5,3,6,6,4,2,5,4
130 DATA 5,6,7,6,8,7,0,7,0,5,2,5,3,6,6,5,4
140 FOR M2=1 TO 4
150 A1=A1*(1+M2),1:A2=A2*(1+M2),1:A3=A3*(1+M2),1
160 A4=A4*(1+M2),1:A5=A5*(1+M2),1:A6=A6*(1+M2),2
170 A7=A7*(1+M2),2:A8=A8*(1+M2),2:A9=A9*(1+M2),3
180 A10=A10*(1+M2),3:A11=A11*(1+M2),3:A12=A12*(1+M2),3
190 NEXT M2
200 S1=(A1+A2+A3+A4+A5+A6+A7+A8+A9+A10+A11+A12)*2
210 FOR M3=1 TO 3
220 F0M M3=1 TO 16
230 S2=S2*(1+M3),M3*2
240 NEXT M3
250 NEXT M3
260 S3=(A1+A5+A9)*2:S4=(A2+A6+A10)*2:S5=(A3+A7+A11)*2
270 S6=(A4+A8+A12)*2:S7=(A1+A2+A3+A4)*2
280 S8=(A5+A6+A7+A8)*2:S9=(A9+A10+A11+A12)*2
290 S10=A1+A2+A3+A4+A5+A6+A7+A8+A9+A10+A11+A12*2
300 REM *** 8-1 / 2280 ***
310 P=(S1+S2+S3+S4+S5+S6+S7+S8+S9+S10)/(2*3)
320 CT=(S1)/(3*3*3)
330 ST=S2+S3+S4+S5+S6+S7+S8+S9+S10/(3*3)-CT:(S2+S3+S4+S5+S6+S7+S8+S9+S10)/(3*3)-CT
340 S4B=S10/(1+1):S2=SAR-(S4S3B):S2=S1-SAR
350 REM *** 9-1 / 2281 ***
360 F1=H*(M1):F2=H*(M2):F3=H*(M3):F4=H*(M4)
370 VA=SA*(F1):VB=SB*(F2):VC=SC*(F3):VD=SD*(F4)
380 REM *** 10-1 / 2282 ***
390 DIM H(4)
400 H(1)=SA:H(2)=SB:H(3)=SC:H(4)=SD
410 FOR I=1 TO 2
420 FOR J=1 TO 2
430 IF H(I)*H(J)=0 THEN I=J:IF H(I)=0 THEN J=I
440 NEXT I
450 NEXT J
460 NEXT I
470 IF I=1 THEN I=2:IF I=2 THEN I=3:IF I=3 THEN I=4
480 IF I=4 THEN I=1:IF I=1 THEN I=2:IF I=2 THEN I=3:IF I=3 THEN I=4
490 IF I=1 THEN I=2:IF I=2 THEN I=3:IF I=3 THEN I=4
500 IF I=1 THEN I=2:IF I=2 THEN I=3:IF I=3 THEN I=4
510 IF I=1 THEN I=2:IF I=2 THEN I=3:IF I=3 THEN I=4
520 IF I=1 THEN I=2:IF I=2 THEN I=3:IF I=3 THEN I=4
530 IF I=1 THEN I=2:IF I=2 THEN I=3:IF I=3 THEN I=4
540 IF I=1 THEN I=2:IF I=2 THEN I=3:IF I=3 THEN I=4
550 IF I=1 THEN I=2:IF I=2 THEN I=3:IF I=3 THEN I=4
560 IF I=1 THEN I=2:IF I=2 THEN I=3:IF I=3 THEN I=4
570 IF I=1 THEN I=2:IF I=2 THEN I=3:IF I=3 THEN I=4
580 IF I=1 THEN I=2:IF I=2 THEN I=3:IF I=3 THEN I=4
590 IF I=1 THEN I=2:IF I=2 THEN I=3:IF I=3 THEN I=4
600 IF I=1 THEN I=2:IF I=2 THEN I=3:IF I=3 THEN I=4
610 REM *** 11-1 / 2283 ***
620 VA=SA*(F1):VB=SB*(F2):VC=SC*(F3):VD=SD*(F4)
630 P1=VA*(1+M1):P2=VB*(1+M2):P3=VC*(1+M3):P4=VD*(1+M4)
640 REM *** 12-1 / 2284 ***
650 PA=(SA+A*(M1)*1000)/ST
660 PB=(SB+B*(M2)*1000)/ST
670 PC=(SC+C*(M3)*1000)/ST
680 PD=(SD+D*(M4)*1000)/ST
690 REM *** 13-1 / 2285 ***
700 H(1)=(A1+A5+A9)/(3*3):H(2)=(A2+A6+A10)/(3*3)
710 H(3)=(A3+A7+A11)/(3*3):H(4)=(A4+A8+A12)/(3*3)
720 H(5)=(A1+A2+A3+A4)/(3*3):H(6)=(A5+A6+A7+A8)/(3*3)
730 H(7)=(A9+A10+A11+A12)/(3*3)
740 H(8)=(A1+A2+A3+A4)/(3*3):H(9)=(A5+A6+A7+A8)/(3*3):H(10)=(A9+A10+A11+A12)/(3*3)
750 H(11)=(A1+A2+A3+A4)/(3*3):H(12)=(A5+A6+A7+A8)/(3*3):H(13)=(A9+A10+A11+A12)/(3*3)
760 F=F*A:GOSUB 800
770 IF F=0 THEN I=I+1 ELSE GOTO 800

```

```

800 YUHSI10="G1":IF G0=1 THEN YUHSI10="79" ELSE YUHSI10="78"
810 F=F*B:GOSUB 800
820 IF F=0 THEN I=I+1 ELSE GOTO 800
830 YUHSI10="G2":IF G2=1 THEN YUHSI10="79" ELSE YUHSI10="78"
840 F=F*K:GOSUB 800
850 IF F=0 THEN I=I+1 ELSE GOTO 800
860 YUHSI10="G3":IF G3=1 THEN YUHSI10="79" ELSE YUHSI10="78"
870 GOTO 960
880 IF F=2 AND FEE=34 THEN F0=3.28:IF F=2 AND FEE=35 THEN F0=3.27
890 IF F=2 AND FEE=36 THEN F0=3.26:IF F=2 AND FEE=37 THEN F0=3.25
900 IF F=3 AND FEE=34 THEN F0=3.24:IF F=3 AND FEE=35 THEN F0=3.23
910 IF F=3 AND FEE=36 THEN F0=2.87:IF F=3 AND FEE=37 THEN F0=2.86
920 IF F=4 AND FEE=34 THEN F0=2.37:IF F=4 AND FEE=35 THEN F0=2.37
930 IF F=4 AND FEE=36 THEN F0=2.37:IF F=4 AND FEE=37 THEN F0=2.36
940 IF F=5 AND FEE=34 THEN F0=2.35
950 RETURN
960 F=F*A:GOSUB 1060
970 IF F=0 THEN I=I+1 ELSE I=0
980 YUHSI14="H1":IF H1=1 THEN YUHSI14="79" ELSE YUHSI14="78"
990 F=F*B:GOSUB 1060
1000 IF F=0 THEN I=I+1 ELSE I=0
1010 YUHSI15="H2":IF H2=1 THEN YUHSI15="79" ELSE YUHSI15="78"
1020 F=F*K:GOSUB 1060
1030 IF F=0 THEN I=I+1 ELSE I=0
1040 YUHSI16="H3":IF H3=1 THEN YUHSI16="79" ELSE YUHSI16="78"
1050 GOTO 1170
1060 IF F=2 AND FEE=34 THEN F00=5.29:IF F=2 AND FEE=35 THEN F00=5.27
1070 IF F=2 AND FEE=36 THEN F00=5.25:IF F=2 AND FEE=37 THEN F00=5.23
1080 IF F=3 AND FEE=34 THEN F00=5.22
1090 IF F=3 AND FEE=35 THEN F00=4.42:IF F=3 AND FEE=36 THEN F00=4.4
1100 IF F=3 AND FEE=37 THEN F00=4.38
1110 IF F=4 AND FEE=34 THEN F00=4.34
1120 IF F=4 AND FEE=35 THEN F00=3.35:IF F=4 AND FEE=36 THEN F00=3.37
1130 IF F=4 AND FEE=37 THEN F00=3.35:IF F=5 AND FEE=37 THEN F00=3.33
1140 IF F=5 AND FEE=38 THEN F00=3.32
1150 F=F*B
1160 REM *** 14-1 / 2286 ***
1170 IF FEE=34 THEN T=2.031:IF FEE=35 THEN T=2.029
1180 IF FEE=36 THEN T=2.027:IF FEE=37 THEN T=2.025
1190 IF FEE=38 THEN T=2.023
1200 IF G=0 THEN T=2.020
1210 T1=0:GOTO 1230
1220 M=(1+A*(F1)+B*(F2)+C*(F3)+D*(F4))/(2)
1230 IF G=0 AND G=0 OR G=0 AND G=0 THEN T=2.020
1240 T1=0:GOTO 1260
1250 F1=(F1*(V1/R1)+F2*(V2/R2)+F3*(V3/R3)+F4*(V4/R4))
1260 PRINT "M:";M;"F1:";F1;"F2:";F2;"F3:";F3;"F4:";F4
1270 PRINT "S:";S;"SR:";SR;"SE:";SE
1280 PRINT "F:";F;"FA:";FA;"FB:";FB;"FC:";FC;"FD:";FD
1290 PRINT "VA:";VA;"VB:";VB;"VC:";VC;"VD:";VD
1300 PRINT "P:";P;"P1:";P1;"P2:";P2;"P3:";P3;"P4:";P4
1310 PRINT "PA:";PA;"PB:";PB;"PC:";PC;"PD:";PD
1320 PRINT "T:";T;"T1:";T1
1330 PRINT
1340 PRINT "ダテ"
1350 PRINT "a(50):";YUHSI10;"c(50):";YUHSI14;"d(50):";YUHSI16
1360 PRINT "a(10):";YUHSI10;"c(10):";YUHSI14;"d(10):";YUHSI16
1370 PRINT
1380 PRINT "1: ";A;"2: ";B;"3: ";C;"4: ";D
1390 PRINT "a(1):";A;"a(2):";B;"a(3):";C;"a(4):";D
1400 PRINT "b(1):";A;"b(2):";B;"b(3):";C;"b(4):";D
1410 PRINT "c(1):";A;"c(2):";B;"c(3):";C;"c(4):";D
1420 PRINT "d(1):";A;"d(2):";B;"d(3):";C;"d(4):";D
1430 PRINT
1440 PRINT "1: ";A;"2: ";B;"3: ";C;"4: ";D
1450 PRINT "a(1):";A;"a(2):";B;"a(3):";C;"a(4):";D
1460 PRINT "b(1):";A;"b(2):";B;"b(3):";C;"b(4):";D
1470 PRINT "c(1):";A;"c(2):";B;"c(3):";C;"c(4):";D
1480 PRINT "d(1):";A;"d(2):";B;"d(3):";C;"d(4):";D
1490 PRINT
1500 PRINT "1: ";A;"2: ";B;"3: ";C;"4: ";D
1510 PRINT
1520 PRINT
1530 PRINT "1: ";A;"2: ";B;"3: ";C;"4: ";D
1540 PRINT "1: ";A;"2: ";B;"3: ";C;"4: ";D

```

図 5 データの分散分析処理プログラム

```

10 REM *** 15-1 / 2287 ***
20 DIM F(2,12)
30 FOR M1=1 TO 12
40 FOR N1=1 TO 2
50 READ F(M1,N1)
60 NEXT N1
70 NEXT M1
80 DATA 1,0,1,7,6,5,2,1,7,6,5,2,1,7,6,4,9,28,9,6,1,28,9,5,4,28,9
90 DATA 7,1,28,8,7,28,9,6,9,28,9,6,4,26,6,9,26,5,5,28
100 FOR M1=1 TO 12
110 S1=S1*(1+M1),1:S2=S2*(1+M1),2
120 S3=S3*(1+M1),2:S4=S4*(1+M1),2
130 S5=S5*(1+M1),2:S6=S6*(1+M1),2
140 NEXT M1
150 REM *** 16-1 / 2288 ***
160 A=(S1+S2)/(2):B=(S3+(S1S1)/(2)):C=(S4+(S2S2)/(2))
170 R=A/(1+(1/2))
180 F=2.228:F0=H*(10*(1/2)):F1=(1-R)*A*(1/2):F2=ARS*(F0)
190 IF F=0 THEN I=I+1 ELSE F=0
200 SORHAM5="FFF":IF F=0 THEN SORHAM5="79" ELSE SORHAM5="78"
210 G=H:GG=H*(10*(1/2)):G1=(1-R)*A*(1/2):GG=ARS*(G)
220 IF G=0 THEN I=I+1 ELSE G=0
230 SORHAM10="GGG":IF G=0 THEN SORHAM10="79" ELSE SORHAM10="78"
240 X=N1/12:Y=S2/12
250 S=(1+11*(X-1/2)*(X-1/2))*A*(1/2):S1=(1+11*(X-1/2)*(X-1/2))*A*(1/2)
260 S1=(1+11*(Y-1/2)*(Y-1/2))*B*(X/S1)
270 Y1=(X/S1)*X*B*(X/S1)
280 FOR M2=0 TO 8
290 X1(2)=X-Y/2:R0=X/S1*(X1(2)-R)*X/S1*(X1(2)+R)+Y1
300 NEXT M2
310 REM *** 17-1 / 2289 ***
320 SCREEN 3:CLS 3
330 DIM A(12)
340 FOR M3=1 TO 12
350 A(M3)=150*(1-N3)*10
360 NEXT M3
370 DIM H(12)
380 FOR I=1 TO 12
390 H(I)=300-I*(2,N3)*10
400 NEXT I

```

```

410 LINE (150,0)-(150,300)
420 LINE (150,300)-(300,300)
430 LINE (150,(300-Y(0)*10)-(150*(8)*10),(300-Y(8)*10)
440 CIRCLE (A(1),B(1)),3
450 CIRCLE (A(2),B(2)),3
460 CIRCLE (A(3),B(3)),3
470 CIRCLE (A(4),B(4)),2:PAINT (A(4),B(4)),2,7
480 CIRCLE (A(5),B(5)),2:PAINT (A(5),B(5)),2,7
490 CIRCLE (A(6),B(6)),2:PAINT (A(6),B(6)),2,7
500 CIRCLE (A(7),B(7)),3:CIRCLE (A(7),B(7)),1
510 CIRCLE (A(8),B(8)),3:CIRCLE (A(8),B(8)),1
520 CIRCLE (A(9),B(9)),3:CIRCLE (A(9),B(9)),1
530 CIRCLE (A(10),B(10)),2:LINE (A(10)-4,B(10))-(A(10)+4,B(10))
540 CIRCLE (A(11),B(11)),2:LINE (A(11)-4,B(11))-(A(11)+4,B(11))
550 CIRCLE (A(12),B(12)),2:LINE (A(12)-4,B(12))-(A(12)+4,B(12))
560 LOCATE 15,19:PRINT "0"
570 LOCATE 15,19:PRINT "5"
580 LOCATE 15,19:PRINT "10"
590 LOCATE 15,19:PRINT "15"
600 LOCATE 16,19:PRINT "20"
610 LOCATE 16,12:PRINT "10"
620 LOCATE 16,5:PRINT "20"
630 LOCATE 15,8:PRINT "Y"
640 LOCATE 10,9:PRINT "M(1/2)"
650 LOCATE 20,12:PRINT "SORHAM5"
660 LOCATE 16,16:PRINT "Y=";R0;"X=";X;"R=";R;"S=";S
670 LOCATE 14,21:PRINT "Y1=";Y1;"X=";X;"R=";R;"S=";S
680 LOCATE 14,22:PRINT "Y0=";Y0;"X=";X;"R=";R;"S=";S
690 LOCATE 20,13:PRINT "SORHAM10"
700 LOCATE 20,14:PRINT "SORHAM5"
710 PRINT "200,880,3"
720 CIRCLE (200,105),2:PAINT (200,105),2,7
730 CIRCLE (200,120),3:CIRCLE (200,120),1
740 CIRCLE (200,135),2:LINE (226,135)-(234,135)
750 LOCATE 30,5:PRINT "1: ";A
760 LOCATE 30,6:PRINT "2: ";B
770 LOCATE 30,7:PRINT "3: ";C
780 LOCATE 30,8:PRINT "4: ";D

```

図 6 付着強さと塗膜の抗張力との相関図作成プログラム

図7の結果から、相関係数(R)は0.6であった。このRの有意性を検討する方法としては、r表を用いる方法とt分布を利用する方法がある。⁽⁶⁾今回は後者を利用して検定を行った。その結果、5%の危険率では有意が認められ、1%の危険率では有意が認められなかった。(r表を用いても同様の結果がえられる。)よって、付着強さ~サンジグシーラー塗膜の抗張力間の相関性は小さく、付着強さにはサンジグシーラー塗膜の抗張力以外の要因も当然考えられる。

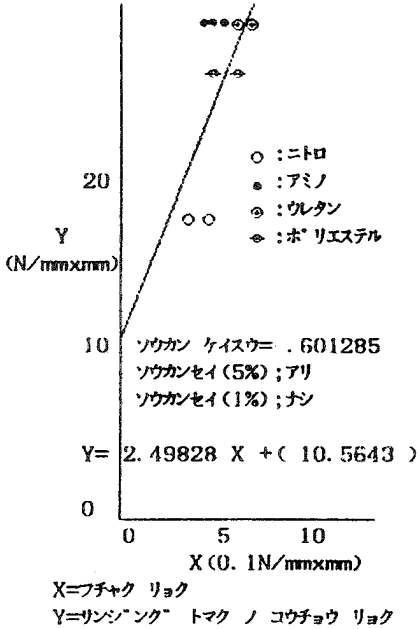


図7 付着強さと塗膜の抗張力との相関図

付着強さ(X)に対するサンジグシーラー塗膜の抗張力(Y)の回帰式は、 $Y = 2.498X + 10.564$ で示された。回帰直線を中心とするデータの散布状態を見るとアミノアルキドサンジグシーラー塗膜系では、塗膜の抗張力に比較し付着強さは低い。ニトロセルロースサンジグシーラー塗膜系では、その逆の結果を示している。この現象は、アミノアルキド塗膜系では付着強さを低下する因子が、ニトロセルロース塗膜系では逆に付着強さを向上させる因子が、塗膜の抗張力の他に存在することを示唆している。すなわち、アミノアルキド塗膜系では、表4に示す塗膜の収縮応力(塗料→塗膜の乾燥過程で体積収縮により発生する内部応力)の大きさが付着性の低下因子として、またニトロセルロース塗膜系では、木材素地とニトロセルロースとの親和性が付着性の向上因子として作用していると考えられる。

表4 サンジグシーラー塗膜の収縮応力

NC	AA	UR	PE
0.9	3.2	2.4	1.5
(N/mm ²)			

III 教育訓練における効果

実験データの統計的処理は、処理手続きの煩雑さもあって、職訓短大にはなじみにくい学科である。しかし、統計的処理は、品質管理の一手法として、また実験計画法に基づく製品開発の手法として、企業ではかなりの普及を示している。よって職訓短大生に、データの統計的処理法を教えることは重要なことと考えた。

しかし、統計学を専門書に沿って順序だてて教えるならば、かなりの学生が拒否反応を示すだろうし、内容の十分な理解も得られないであろう。したがって、今回報告した塗膜の付着性の解析と同様の方法で、学生自らが計測した実験データを使用し、統計的処理を行わせる授業の展開は、学生の統計的手法に対する興味を喚起し、更に次のような教育訓練効果を生み出すであろうと考えた。

- 1) 実験データの統計的処理により、学生の実験課題に対する考察を更に深めることができる。それにより、統計的処理の有用性を体得させることができる。
- 2) データの処理プログラムは、比較的初級プログラミング技術で作ることができるので、数学の苦手な、または情報処理の苦手な学生でも取り組むことができる。処理プログラムが比較的長くなる場合は、データの処理区分ごとにプログラムを切ることができるので、情報処理の初めての学生でも十分対応出来る。
- 3) この授業を契機として、品質管理や実験計画法の授業に発展させることが可能である。

IV 結 言

木材素地に対する多層塗膜の付着現象を解析する目的で、プルオフ法付着強さの測定値を統計的手法に基づいて処理することを試みた。主な結果は次のようである。

- 1) 良好な付着性が確保できる塗膜系は、ポリウレタンサンジグシーラー/ポリウレタントップクリヤーの組合せであった。
- 2) 付着試験の破壊部位は、分散分析法により推定できた。
- 3) 付着強さ~塗膜の抗張力間の相関係数は0.6と小

さく、付着現象の解析には塗膜の抗張力以外の要因を検討する必要がある。

また、実験データの統計的処理は、データから得られる情報を客観的に判断することを可能にすると共に、データから直接得られる情報より更に深い情報分析を可能とする。よって、統計的処理を活用した授業の展開は有効と考えられる。

参考文献

- (1) 清水弘光：市場情報の解析(2)，色材協会誌，62(1)，1989年，P 24-27
- (2) 石川，中里，松木，伊藤：初等実験計画法テキスト，日科技連，1968年
中里，川崎，平栗，大滝：実験計画法テキスト，日科技連，1985年 など
- (3) 竹内勇夫：実験計画法における分散分析法のパソコン処理，岐阜職訓短大紀要，1号，1990年，P 39-45
- (4) FQC誌編集委員会編：現場のQC手法，日科技連，1968年，P 67-73
- (5) 藤森利美：分析技術者のための統計的方法，(社)日本環境測定分析協会，1986年，P 88-89
- (6) (5)と同，P 349