

[99] 樹脂アンカーの支持耐力に関する実験研究

正会員 松崎育弘 (東京理科大学工学部)
 正会員 川瀬清孝 (新潟大学工学部)
 正会員 ○永田守正 (日本デコラックス)
 丹羽亮 (日本デコラックス)

1. まえがき コンクリート部材に、アンカーボルトを定着する場合、コンクリート打設時に所定の位置に埋込んでおく先付工法と、コンクリートがすでに打設され、硬化した後に、アンカー位置を墨出しし穴ぐり等を施しアンカーボルトを挿入後、接着(付着)効果により定着させる後付工法とに分類される。本研究では、後付け工法のうち、図1のごとく樹脂アンカー工法(ポリエステル樹脂を用いたカプセル型)によりアンカーボルトを定着した時の単体および群体についての支持耐力を、付着試験、引張試験、せん断試験により得た結果としてまとめたものである。

付着試験 図2に示すような厚さ6mmの鋼管内に打設したコンクリートに樹脂アンカーを後付けし、引抜き試験方法により、樹脂部とコンクリートとの付着強度を知ることにした。アンカーボルトは、先端を45°にカットしたM20の全ネジボルトで、ボルト破断を先行させないようSCM435(降伏点強度 $s\sigma_y = 8.4t/cm^2$)材を用いた。アンカーの穿孔深さ(ℓe)は、20cm(10d)を標準とし、主たる因子は、コンクリート強度(F_c)、コンクリート打設日からアンカー埋設作業日までのコンクリート母材の材令(施工時材令: t)である。試験結果を表1に示す。全ての試験体は、ボルト抜けにより最大荷重(P_{max})が決った。付着破壊面は、コンクリートと樹脂部との接面で、その平均付着強度(τ_a)は、約145kg/cm²であり、 F_c による影響は、あまり見られなかった。図3には、 $P_{max}(\tau_a)$ と t との関係を示す。試験時のコンクリート母材の材令は、すべて32日である($F_c = 19.2kg/cm^2$)。この結果では、若材令時にアンカー打込みを行った方が、付着強度は大きくなる傾向を示し、(式1)の関係を得た。

$$\tau_a (kg/cm^2) = 169 - 1.05t \quad (式1)$$

但し t : アンカー埋設時のコンクリート材令日 ($3 < t \leq 26$)

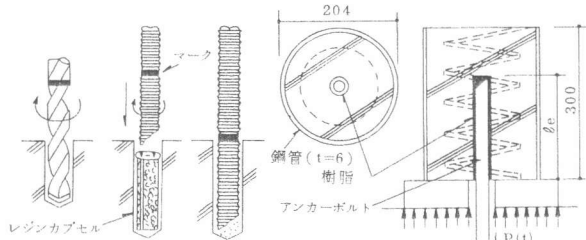


図1 樹脂アンカー工法

図2 付着試験体

表1 付着試験結果一覧

試験体番号	$F_c(kg/cm^2)$	穿孔深さ(ℓe)	施工時材令(t)	実験結果(t)			平均値P(t)	平均付着強度(kg/cm^2)
B1~B3	13.0	20cm (10d)	26	17.4	16.4	18.6	17.5	121
B4~B6	19.5		3	22.8	24.3	24.1	23.7	163
B7~B9			7	24.3	23.6	22.5	23.5	163
B10~B12	32.5		10	14	21.8	21.2	22.8	21.9
B13~B15		26		22.7	20.9	17.9	20.5	142
B16~B18	19.5	20	10	8.4	8.2	8.9	8.5	137
B19~B21			19	3.5	3.5	3.0	3.3	58
B22~B24			20	9.0	9.5	8.4	9.0	79

* B1~B18: B-19, B19~B21: B-1910 B22~B27: D19(SD35)

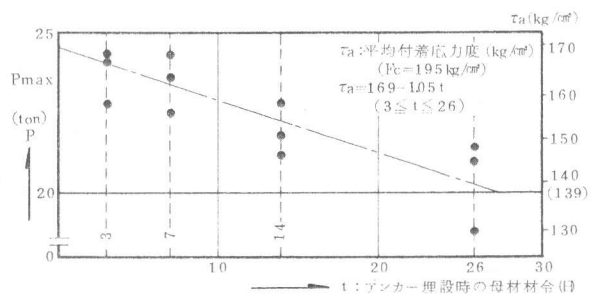


図3 付着強度(τ_a)—施工時材令(t)関係

試験体形状	a	b	c	d
I	90	40	45	—
II	100	60	50	—
III	90	60	6	25
N	90	60	10	25
V	90	60	20	25
M	90	40	45	—

*せん断試験体の形状は、TYPE Iに同じ

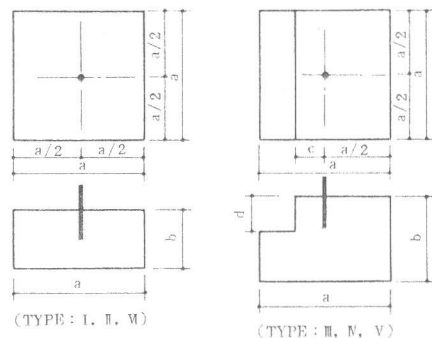


図4 引張試験体形状

3. 引張試験(単体)

図4に、試験体形状を示す。試験体は、コーン破壊面への反力および曲げの影響を少なくすることを考慮し6種の形状とした。TYPE I~Vまでは、無筋コンクリートとしたが、TYPE VIは、スラブ上端筋を想定し、かぶり厚3cmの位置にD10又はD13を20cm間隔に直交配筋した。この試験では、アンカーボルト単体(1本)を、コンクリート母材に、100~240mm(5d~12d; d:ボルト径)の深さに埋込み定着し、静的引張荷重を加えた時のコンクリートコーン破壊耐力、あるいは、ボルトとコンクリートとの付着強度を知ることとしたので、使用したボルトは、M20の全ネジボルトで、材質はSCM435とした。因子は、コンクリート強度(Fc)およびアンカーボルトの埋込み深さ、つまり穿孔深さ(ℓc)、端打距離(c)、埋設時母材材令(t)等で、試験体は合計90体である。加力は、図5に示す方法により行い、荷重およびボルトのコンクリート面よりの抜け出し量を測定した。試験結果を表2に示す。破壊パターンは、図8に示すように、コンクリートのコーン破壊と付着破壊との複合的様相を示した。図6に、付着破壊長さ(ℓb)と穿孔深さ(ℓc)との関係を示す。これによると、両者には、(式2)のような比例関係が見られるので、図7に、最大耐力(Pmax)とℓcとの関係を検討した。これによると、コ

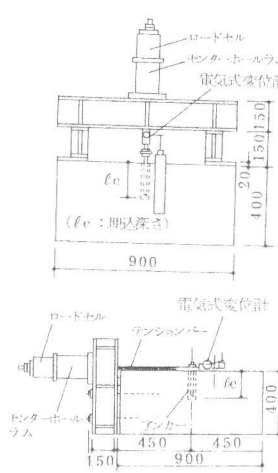


図5 加力方法

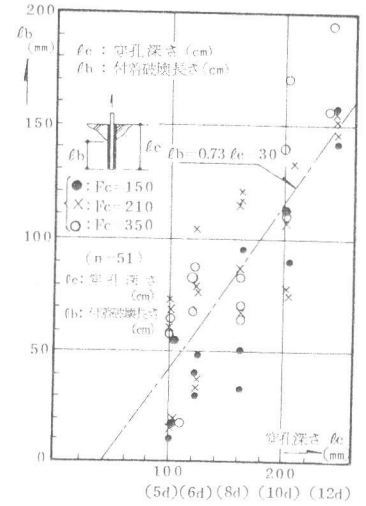


図6 ℓb-ℓc関係

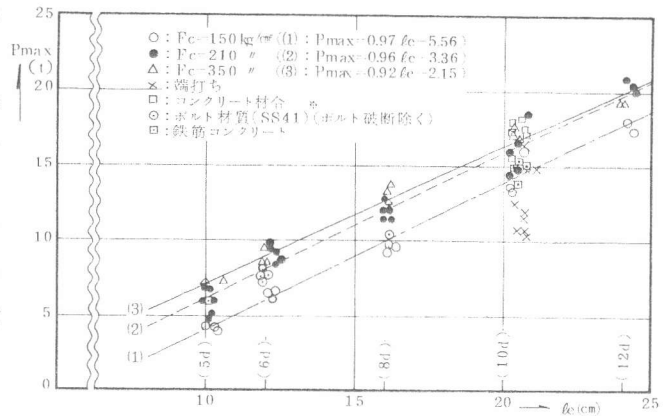


図7 最大耐力(Pmax)-穿孔深さ(ℓc)関係

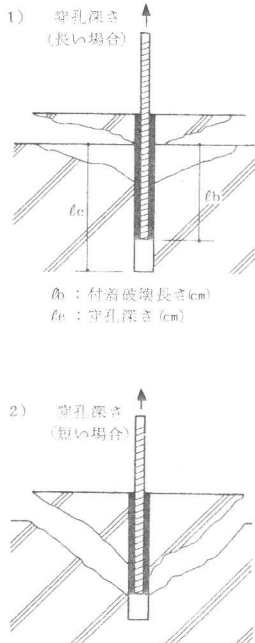


図8 破壊状況

表2 引張試験結果一覧(供試体一覧)

試験番号	コンクリート 引張強度 fc (kg/cm ²)	穿孔深さ ℓc (cm)	試験条件	試験体 TYPE	埋込時母材材令 t (cm)	Fc (kg/cm ²)	埋込時母材材令 t (cm)	最大耐力 Pmax (t)	平均値 Pmax (t)	Pmax / fc (kg/cm ²)	ℓb / ℓc (%)			
T1~T3	100	5d		I	337	124	4.3	4.0	4.6	43	128	59.6		
4~6	150	120	6d	I	475	124	6.6	6.6	6.7	6.6	13.9	76.1		
7~9	150	160	8d	I	839	124	9.3	9.7	10.4	9.8	11.7	84.8		
10~12	150	200	10d	I	1296	124	13.7	13.3	15.8	14.3	11.0	99.0		
13~14	150	240	12d	I	1873	124	18.1	17.5		17.8	9.9	102.7		
15~19	150	100	5d	I	328	214	6.2	7.0	5.8	6.0	6.7	6.3	19.2	87.8
20~24	150	120	6d	I	481	214	8.4	9.5	8.5	9.3	9.2	9.0	18.7	103.8
25~29	150	160	8d	I	825	214	11.5	12.7	11.9	12.0	12.1	12.0	14.6	103.8
30~34	150	200	10d	I	1312	196	16.3	18.5	16.0	14.2	14.6	15.9	12.1	110.1
35~37	150	240	12d	I	1483	195	20.7	20.2	20.5	20.5	20.5	20.5	10.9	118.3
38~40	150	200	10d	端打距離6cm	894	214	10.8	10.2	10.8	10.6	11.7	7.4	73.4	
41~43	150	200	10d	埋込時母材材令100cm	1051	195	12.5	12.0	11.7	12.1	11.9	83.8		
44~46	150	200	10d	埋込時母材材令200cm	1313	195	14.9	16.0	14.9	15.3	13.7	106.0		
47~49	150	200	10d	埋込時母材材令300cm	1309	192	18.2	17.2	17.4	17.6	13.5	121.9		
50~52	150	200	10d	埋込時母材材令400cm	1300	192	18.0	16.3	17.1	17.1	13.2	118.4		
53~55	150	200	10d	埋込時母材材令500cm	1296	209	16.5	15.0	15.5	15.7	12.1	108.7		
56~58	150	120	6d	ボルト材質SS41	150	192	7.6	7.7	7.7	7.7	16.8	88.8		
59~61	150	120	6d	ボルト材質SCM435	457	192	7.8	8.0	7.3	7.7	16.0	85.8		
62~64	150	160	8d	*	839	192	9.9	10.4	10.1	10.2	12.0	88.7		
65~67	150	200	10d	*	1287	192	11.2	11.7	11.3	11.2	8.0	77.6		
68~70	150	100	5d	鉄筋コンクリート	321	209	6.1	6.0	6.7	6.3	19.6	87.3		
71~73	150	200	10d	D10	1100	209	16.7	16.3	15.9	16.1	12.4	111.5		
74~76	150	200	10d	D13	1300	209	14.0	15.2	15.0	14.2	11.3	101.8		
77~79	150	100	5d	*	332	328	7.0	7.3	7.0	7.1	21.4	98.3		
80~82	150	120	6d	*	462	328	9.6	8.5	8.0	8.0	19.3	102.7		
83~85	150	160	8d	Fc=350	832	340	13.2	12.3	13.7	13.1	15.8	113.3		
86~88	150	200	10d	*	1287	340	16.6	16.8	17.3	17.0	13.2	112.2		
89~90	150	240	12d	*	1826	328	19.4	19.1		19.1	10.6	111.9		

ンクリート強度により多少の影響は見られるものの、比例常数は、ほぼ同値であり、(式3)である程度推定できるものと思われる。

$$\ell_b(\text{cm}) = 0.73 \ell_c - 30 \quad (\text{式2})$$

$$P_{\max}(\text{ton}) = 0.96 \ell_c - 3.36 \quad (\text{式3})$$

但し、 ℓ_b : 付着破壊長さ(cm)、 ℓ_c : 穿孔深さ(cm)

(式2),(式3)より、 P_{\max} 時の平均付着強度($\bar{\tau}_a$)を算定すると、約180kg/cm²程度であり付着試験結果と対応する。

図9は、 P_{\max} と端打距離(c)との関係を示す。図7に示すように、×印の端打シリーズ結果は、(式3)との対応に、検討の余地を示したので、端打距離による耐力低減係数(β)を求めたのが(式4)である。

$$P_c(\text{ton}) = \beta \cdot P_{\max} \quad (\text{式4})$$

但し、 $\beta = 0.43(c/\ell_c) + 0.57$, $0.3 \leq c/\ell_c \leq 1.0$

本試験では、穿孔深さ(ℓ_c)以上の端打距離(c)があれば、最大耐力に対する端打距離による耐力低下は、考慮しなくてもよい結果が得られた。

先付工法における頭付きアンカーボルトの引張強度に関する実験結果によると、コンクリートコーン破壊の場合、最大耐力は、有効投影面積(A_c)と相関が強いと報告したが、樹脂アンカー工法について図10に、同様の検討を行ってみた。この結果、端打ちシリーズも含め、(式5)の関係があり、この工法においても、図8のような破壊パターンの場合、 P_{\max} は、有効投影面積(A_c)で評価することが可能であることがわかった。

$$P_{\max}(\text{ton}) = 0.0086 A_c + 3.76 \quad (\text{式5})$$

但し、 A_c : 有効投影面積(cm²)

図11には、 P_{\max} のアンカー埋設時母材材合(I)による影響をまとめたが、穿孔深さが20cm(10d)あれば、材合3日以上で、 P_{\max} および破壊パターンに差異がないことが明らかとなった。

4. せん断試験

表3に試験体の種類を示す。試験体は、図4のTYPE Iとし、合計18体である。この試験では、アンカーボルトのせん断耐力とコンクリートの支圧強度との関連の中で、その支持耐力を知ることとしたので、コンクリート強度(F_c)と穿孔深さ(ℓ_c)を因子とした。使用したアンカーボルトは、付着試験に用いたものと同様のM22の全ネジボルト(SCM435 : 材料試験結果は、sPy=20.6 ton, sPu=24.5 tonであった。)を用いた。

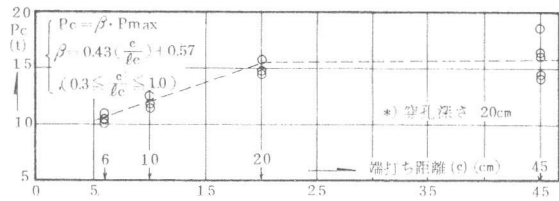


図9 最大耐力(P_{\max})—端打距離(c)関係

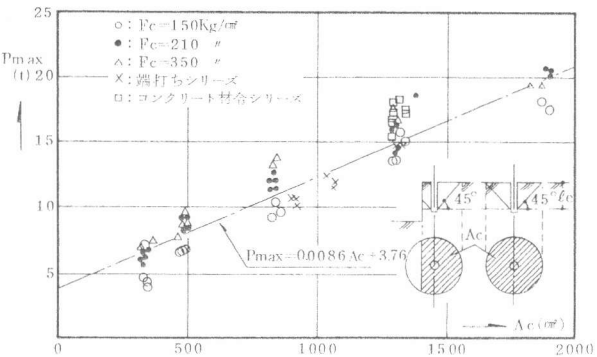


図10 最大耐力(P_{\max})—有効投影面積(A_c)関係

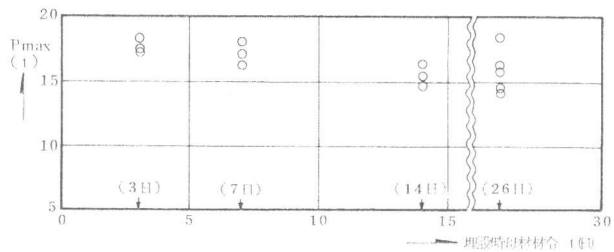


図11 最大耐力(P_{\max})—施工時材合(I)関係

表3 せん断試験結果一覧

試験項目 番号	穿孔深さ ℓ_c (mm)	F_c (kg/cm ²)	E_c (kg/cm ²)	試験結果				破壊状況
				最大耐力 S_{\max} (t)			平均	
S1~S3	120(6d)	140	$\times 10^6$	10.6	*11.5	10.5	10.9	*S2:ボルト 抜け
4~6	160(8d)			13.4	13.2	14.4	13.7	
7~9	120(6d)	215	$\times 10^6$	10.4	13.0	13.1	12.2	S2以外は すべてボルト せん断破壊
10~12	160(8d)			20.2	13.7	13.2	13.9	
13~15	120(6d)	343	$\times 10^6$	14.0	14.7	14.7	14.5	
16~18	160(8d)			2.58	14.5	15.0	15.3	

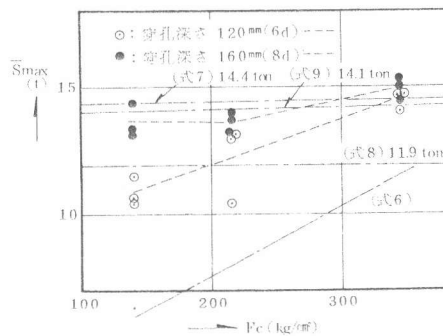


図12 せん断耐力(\bar{S}_{\max})—コンクリート強度(F_c)関係

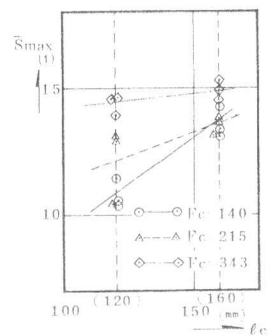


図13 \bar{S}_{\max} — ℓ_c 関係

加力は、図5に示すように行い、荷重およびアンカーボルトとコンクリート面との水平および垂直方向変位を測定した。試験の結果、S2は、コンクリートの支圧破壊から最終的にはボルトがコンクリートより抜けて、最大耐力(Smax)に達したが、その他は全て、ボルト破断により Smax 値は決った。

鉄筋コンクリート部材内に定着した鋼材のせん断耐力については、多方面で研究報告されている。ここでは、(式6)~(式9)について、本試験における各計算値を求めてみた。(式6)では、Fc, Ec値により、5.94 ton, 8.07 ton, 11.52 tonとなり、(式7)でμを0.7とすると14.4 ton, (式8)で11.9 ton, (式9)で14.1 tonとなり、これらと試験結果との関係を図12および図13に示す。

$$S_{max} = 0.5 \cdot s_{at} \cdot \sqrt{F_c \cdot E_c} \quad (\text{式6}) \quad (\text{文3})$$

$$S_{max} = \mu \cdot s_{at} \cdot s_{\sigma y} \quad (\text{式7}) \quad (\text{文4})$$

$$S_{max} = (s_{at} \cdot s_{\sigma y}) / \sqrt{3} \quad (\text{式8})$$

※(式8)は、Von Misesの降伏条件より得られるもので、(式9)は、これを引張強度まで拡張して表現したものである。

$$S_{max} = (s_{at} \cdot s_{\sigma u}) / \sqrt{3} \quad (\text{式9})$$

但し、s_{at} : 鋼材の有効断面積(㎠), E_c : コンクリートのヤング係数(kg/㎠), s_{σy}, s_{σu} : 鋼材の降伏点, 引張強度(kg/㎠) 個々の式の適用範囲に必ずしも本試験が対応しているわけではないが、結果としては、埋込み深さが16cm (8d) あれば、Fcが140~340kg/㎠の範囲で、(式7)または、(式9)でS_{max}をほぼ推定できることがわかった。

5. 引張試験(群体)

図14に、試験体形状を示す。樹脂アンカー工法により、4本を直列にアンカーボルトを埋込み、その群効果により、その引張強度の及ぼす影響を知ることとした。因子は、アンカーピッチ(a)および穿孔深さ(ℓe)とし、これらは、図14に示すような有効投影面積(Ac)を想定し、単体のAcがその配置により相互の重なる状態を変化するようにした。使用したボルトは、D22(SD30)である。試験結果を表4に示す。各試験体とも、最大耐力(P_{max})は、図14に示すようなコンクリートコーン破壊により決った。表4中に示した有効投影面積(Ac)は、個々の投影面積で相互に重なる場合、重複して面積を加算しないようにした値である。図15に、最大耐力(P_{max})と、この有効投影面積(Ac)との関係を示す。これらより、両者の間には、(式10)のような相関がみられ、樹脂アンカー工法によって直列配置した場合のコンクリートコーン破壊耐力を、Acとの関係で推定することが可能であることがわかった。

$$P_{max}(\text{ton}) = 0.013Ac + 2.6 \quad (\text{式10}) \quad \text{但し、} Ac : \text{有効投影面積(㎠)}$$

<参考文献> 1. 松崎育弘、川瀬清孝他：“樹脂アンカーの支持耐力に関する実験研究(静的引張試験結果)”，日本建築学会，昭58.9。
2. 松崎育弘他：“機器配管用支持構造物(埋込金物)の耐力に関する実験研究”(その9)，日本建築学会大会，昭56.9；(その10)(その12)，日本建築学会大会，昭57.10。

3. J. W. Fisher 他：“Shear Strength of Stud Connectors in Lightweight and Normal-Weight Concrete” AISI, 1971. 4.

4. R. F. Mast：“Auxiliary Reinforcement in Concrete Connections” ACT, Vol. 94, No. ST6, 1968. 6.

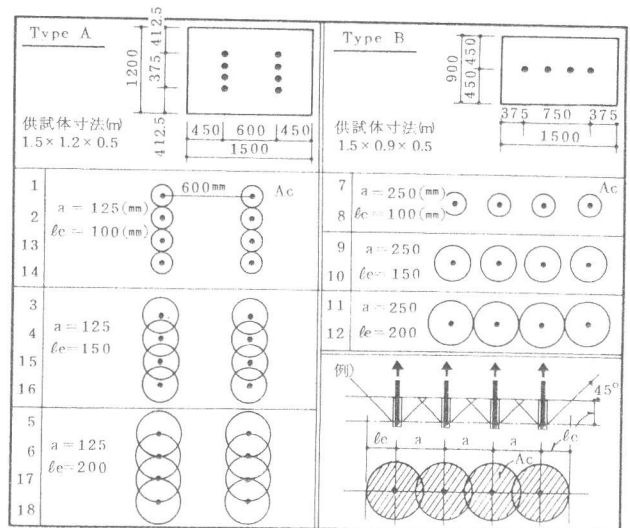


図14 試験体形状および有効投影面積(Ac)

表4 群体試験結果一覧(供試体一覧)

番号	供試体	穿孔深さ ℓe(mm)	アンカーピッチ a(mm)	供試体 TYPE	有効投影面積 Ac(㎠)		最大耐力 Pmax (ton)		Pmax / Ac (kg/㎠)	Ac / √Fc (ton)	
					個々の面積	平均	個々の値	平均			
1, 2	無筋	100			1203	180	172	176	14.6	17.6	
3, 4	Fc = 215	150	125	A	2031	26.8	28.0	27.4	13.5	29.8	
5, 6		200			3012	36.0	38.0	37.0	12.3	44.2	
7, 8	アンカーボルト	100		B	1631	24.0	24.0	24.0	14.7	23.9	
9, 10		D22	150		250	3046	42.0		42.0	13.8	44.7
11, 12		200			4454	56.0		56.0	12.6	65.3	
13, 14	有筋	100		A	1203	16.0	18.8	17.4	14.5	17.6	
15, 16		Fc = 215	150			2031	28.0	27.2	27.6	13.6	29.8
17, 18		D22	200			3012	48.0	48.0	48.0	15.9	44.2

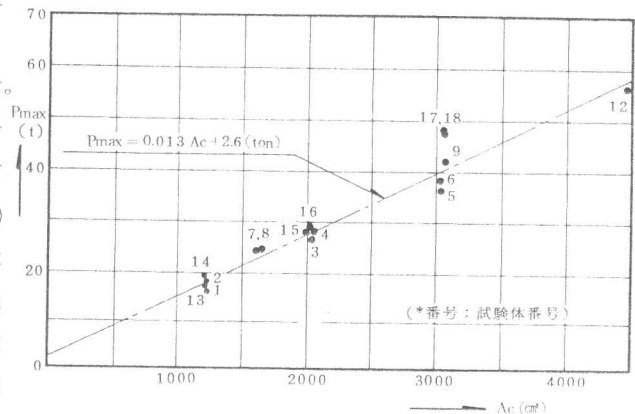


図15 最大耐力(Pmax)-有効投影面積(Ac)関係