

論文 あと施工アンカーのせん断剝離破壊耐力についての研究

河村博之*1・矢野哲也*2

要旨：あと施工アンカーによりコンクリートがせん断剝離破壊をする場合、耐力はへりあきの影響を受けるが、現在の耐震改修指針は言及していない。既報の河村・浜田の耐力実験式も、その適用範囲はへりあき32mm~64mmとなっており、そのままの形で拡張し、外挿することが出来ない。そこで本研究は、耐震改修指針の規定内で、へりあきや埋込みピッチ、コンクリート強度等を変化させた実験を行い、既存RCばり又は増設壁に剝離破壊を生じる場合の河村・浜田式を、同指針の規定範囲内で使用出来るように、修正した耐力推定実験式を求めたものである。

キーワード：あと施工アンカー、剝離破壊、せん断耐力

1. まえがき

現在、あと施工アンカーのせん断耐力推定式として、耐震改修設計指針¹⁾では、アンカー筋が降伏する場合 $Q_{a1} = 0.7 \cdot \sigma_y \cdot s_a e$ 、コンクリートが支圧破壊する場合 $Q_{a2} = 0.4 \cdot \sqrt{E_c \cdot \sigma_B} \cdot s_a e$ の2式が示されている。しかし、この推定式には、へりあきの影響については触れていない。筆者等は、既往の実験結果から、へりあきが小さく、加力の面外方向に剝離破壊を生じる場合は、指針式では危険側になることがあることを報告した²⁾。しかし、河村・浜田の剝離破壊時の耐力推定式³⁾ $P = 0.69 \cdot \sigma_t \cdot Se$ (σ_t : コンクリート引張強度, Se : 剝離破壊有効側面積) は、適用範囲がへりあき32mm~64mmで、これを越えた場合の適応性についてはデータがないだけでなく、 Se 式はへりあき90mm以上では減少する形になっており、そのまま範囲を拡張することが出来ない。そこで本研究は、耐震改修指針における

規定内で、再度へりあき、ピッチ、コンクリート強度を変化させた実験を行い、剝離破壊を生じる場合の河村・浜田式を、もっと大きなへりあきまで使用可能なように、へりあきの指数関数で表した耐力推定実験式を求めたものである。

2. 実験方法

2.1 供試体形状

供試体の形状は、図-1に示すように、300mm×350mm×1500mmのはり部分と、450mm×1700mm

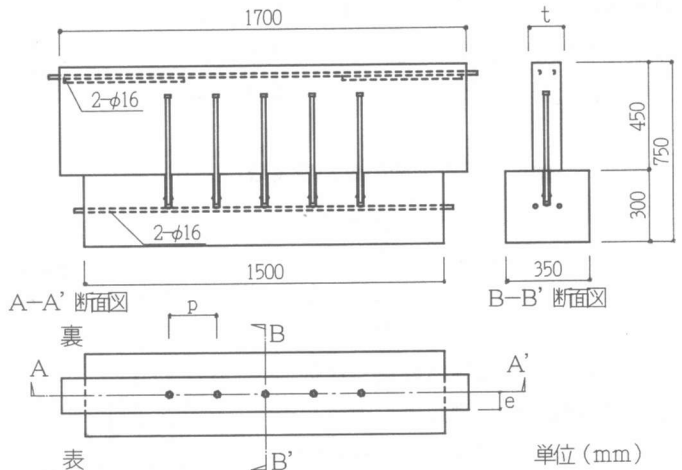


図-1 供試体形状

*1 九州産業大学教授 工学部建築学科, 工博 (正会員)

*2 九州産業大学大学院 工学研究科建築学専攻 (正会員)

×t(tは壁厚で、供試体により異なる)の壁部分とから構成される。

2.2 供試体種類

供試体の種類は、アンカー筋5本(σ_y : 309N/mm², σ_B : 431N/mm²), へりあき75mm, ピッチ200mm(はり・壁補強筋なし)を基準とし、アンカー筋1及び5本についてへりあきを60mm, 90mm, 125mmと変化させたもの, 5本のままでピッチを150mm, 250mmと変化させたもの, コンクリート圧縮強度を200kgf/cm²~340kgf/cm²の範囲で, 3種類に変化させたもの, 更にアンカー筋の壁側に定着金を付けないもの, 壁にシングル筋, ダブル筋を配筋したもの, アンカー筋を壁の片側に寄せたもの等を加えた22種類を2体ずつ計44体を作製した。供試体種類の一覧を表-1に, 概略図を図-2に示す。

2.3 供試体の作製

はりは, アンカー施工面が下になるようにコンクリートを打設, 3日後に脱型, 約1週間実験室内で養生した。次にはりの上下を逆にし, シアキー付穿孔セメントモルタル充填式あと施工アンカーを施工し, その上に壁を打設した。なお, この実験では, 打継面不良の場合を想定し, はり-壁接合面における付着の影響をなくすために, 全ての供試体のはり-壁接合面には, ビニールシートを敷き絶縁した。

2.4 はり-壁接合面のせん断実験

加力は, はり-壁接合面に曲げモーメントが加わらないように, 図-3に示す様な方法で, 35tonセンターホールジャッキを用いて, 2ton毎の静的正負漸増繰返し片押し荷重を加えた。測定は, 荷重をロードセルで, はり-壁接合面のずれ変形量を, 供試体の表裏両面に電気式変位計を取付け, 静ひずみ計を用いて記録した。

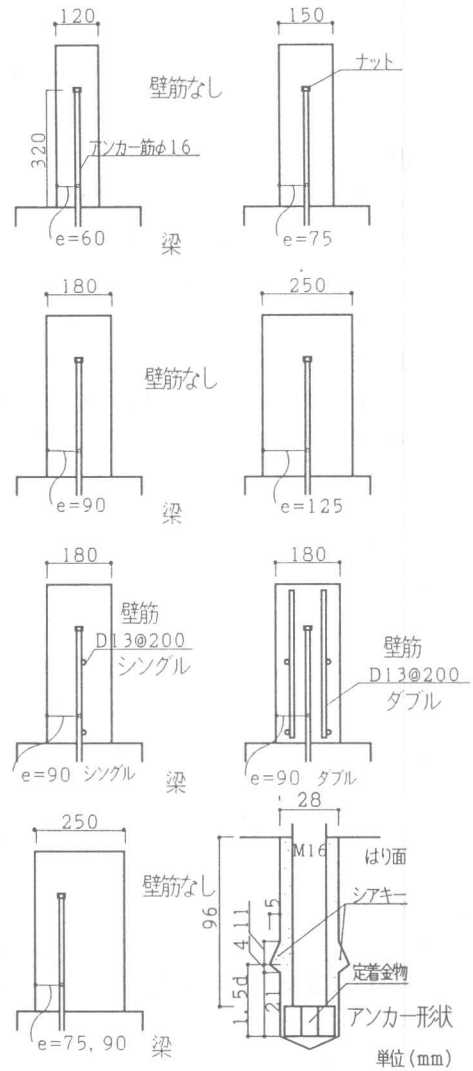


図-2 供試体の略図

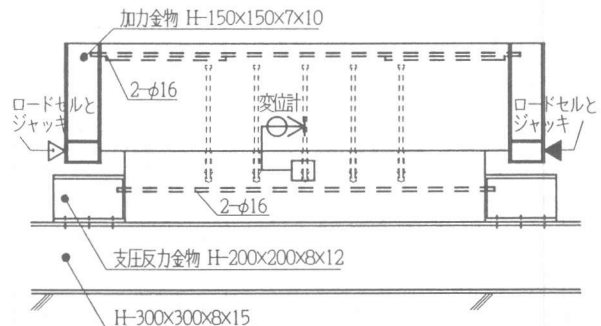


図-3 せん断実験加力図

表-1 供試体種類及び実験結果一覧

供試体番号	初ひびわれ荷重 Pc(tf)		Pc時の ずれ変形量 δPc(mm)		最大荷重 Pmax(tf)		Pmax時の ずれ変形量 δmax(mm)		破壊 要因		備考
	個数	1	2	1	2	1	2	1	2	1	
I-60-1-N	34	36	72	45	35	36	10.7	45	Pf	Pf	へりあきによる影響を調べる実験 (アンカー筋1本)
I-75-1-N	43	-34	19.5	-9.4	43	6.0	28.3	36.6	Pf	Pf	
I-90-1-N	42	-	21.5	-	43	6.5	37.2	-	Pf	Anc	
I-125-1-N	-	-	-	-	↑60	6.0	-	-	Sl	Anc	
I-60-5-200N	16.7	16.8	36	18	16.7	16.8	3.6	18	Pf	Pf	へりあきによる影響を調べる実験 (アンカー筋5本)
I-75-5-200N	-11.4	-17.0	-27.3	-17.7	18.0	18.0	4.1	4.3	Pf	Pf	
I-90-5-200N	-12.4	17.7	-30.9	16.2	18.0	18.7	7.4	23.1	Pf	Pf	
I-125-5-200N	-	-17.7	-	-17.9	↑20.0	20.0	-	12.4	Sl	G	
I-75-5-150N	14.1	12.8	7.2	8.0	15.0	16.0	3.5	0.8	Pf	Pf	埋め込みピッチによる影響を調べる実験
I-75-5-250N	16.1	17.8	12.9	11.5	18.0	20.0	5.2	20.3	Pb	Pf	
I-90-5-200S	13.3	-18.2	15.9	-25.2	18.4	20.0	2.3	7.9	Pf	Sp	壁筋のS、Wによる影響を調べる実験
I-90-5-200W	-15.3	-19.6	-25.5	-22.7	18.0	20.0	7.1	10.2	-	Sp	
壁のコンクリート強度 (kgf/cm ²)		1個目: σ _B =247 2個目: σ _B =295		σ _t =23 σ _t =28		凡例 I - 60・5 - 200 N		S:シングル配筋 偏心なし へりあき 本数 ピッチ 壁筋なし W:ダブル配筋			
I-75-5-200N-B	-17.4	-18.0	-14.2	-16.3	-21.1	18.0	-38.9	5.5	Pb	Pf	コンクリート強度の違いによる影響を調べる実験
I-75-5-200N-A	-16.3	-18.0	-14.9	-17.1	-18.1	-18.0	-27.2	-17.1	Pb	Pf	
I-75-5-200N-C	17.1	14.8	10.6	12.0	17.8	15.0	18.0	32.1	Pb	Pb	コンクリート強度の違いによる影響を調べる実験(アンカー筋を偏心させて施工)
II-75-5-200N-B	-17.6	-	-19.6	-	20.0	↑18.0	10.0	-	Pf	-	
II-75-5-200N-A	19.0	17.1	15.9	12.8	19.3	18.0	13.1	5.5	Pf	Pf	
II-75-5-200N-C	-14.0	-13.9	-6.4	-10.3	16.0	16.0	5.6	5.9	Pf	Pf	
壁のコンクリート強度 (kgf/cm ²) (1個目と2個目は同じ)		A: σ _B =283 B: σ _B =335 C: σ _B =208		σ _t =26 σ _t =29 σ _t =20		凡例 II - 75・5 - 200N - A		偏心あり コンクリート強度			
I-90-5-200N-@	-11.7	-10.5	-24.0	-32.0	18.6	18.3	6.6	5.3	Pb	Pf	壁側の定着金物(ナット)の有無による影響を調べる実験
I-90-5-200N	17.6	18.2	15.6	18.4	17.5	18.4	12.3	19.7	Pf	Pf	
II-90-5-200N-@	16.9	16.5	12.6	12.5	19.4	20.0	6.1	3.5	Pf	Pf	
II-90-5-200N	18.9	-19.1	16.5	-15.7	19.6	-19.5	12.0	-9.2	Pf	Pf	
壁のコンクリート強度 (kgf/cm ²)		σ _B =266 (1個目と2個目は同じ)		σ _t =25		凡例 II - 75・5 - 200N - @		定着ナットなし			
(破壊要因の凡例) Pf: 表側剥離破壊, Pb: 裏側剥離破壊, Sl: 壁側の抜出し, Anc: アンカー筋破断 Sp: 壁割裂破壊, G: はり側の破壊											
注) 表中のσ _t は赤沢式による											

3. 実験結果

3.1 各荷重と変形量一覧

各供試体の初ひびわれ荷重, 最大荷重, 各荷重時のずれ変形量並びに, 破壊要因と部位を表-1に示す。あわせて, 実験時のコンクリート強度も記す。

3.2 破壊形状

図-4に代表的な供試体の破壊形状図を示す。ほとんどの供試体は剥離破壊を生じたが, へり

あき90mmを越えるとアンカー筋1本のは, 破断を生じた。なお, 剥離破壊とは, 壁の片面が剥がれるように破壊したものを指し, 割裂破壊とは, アンカー筋から壁端部にかけて, 直線的に割裂したものを指す。

3.3 荷重-ずれ変形量曲線

代表的な供試体の荷重-ずれ変形量曲線を図-5に示す。壁側の定着が十分なもの(右図)は, 剥離破壊を生じるまで荷重は維持したままで,

変形だけが大きくなっているのに対し、定着が不足していると(左図)、荷重が減少し始めてから剥離破壊を生じた。また、へりあきが大きくなると、破壊時には1cm程度のアンカー筋の拔出も見られた。

4. 考察

4.1 へりあきについて

まえがきで述べたように河村・浜田等は、せん断耐力

$$Q_u = 0.69 \cdot \sigma_t \cdot S_e \quad (1)$$

ここで σ_t : 母材コンクリート強度 (kg/cm²)

S_e : 剥離破壊有効側面積 (cm²)

$r = e \cdot \tan \alpha + d/2$ (図-4 参照)

ここに e : へりあき (3.2cm ≤ e ≤ 6.4 cm)

d : アンカー径 (cm²)

r : 側面破壊円半径 (cm²)

$\alpha = -5e/16 + 80^\circ$

式により求めることが出来ることを既に報告し

た³⁾。しかし、この式は e を適応範

囲外に外挿すると不都合が生じる。

そこで、既往の実験も含めて、式(1)

は成り立つものとし、 $r = \mu \cdot e^n$

とおけば、 $S_e = \eta (\mu^2 e^{2n})$ 、ここ

に η , μ , n は係数となり、実験

値を σ_t 及び S_e に比例させ $\sigma_t =$

200kg/cm², S_e は $\pi r^2/2$ の値に換算

した値と e との関係から μ , n を求

めると、

$$r = 35.2 e^{0.295} \quad (2)$$

が得られた。この式(2)を用

いて最大荷重とへりあきの

関係を比較してみる。耐力

はコンクリートの引張強度

に比例するものとし、赤沢

式による引張強度式 $\sigma_t =$

$0.396 \sigma_{t0}^{0.73}$ を用いて、圧縮

強度 200kgf/cm² 時の最大荷

重に補正したものとへりあ

きについて比較してみると

図-6 のようになり、壁-はり接合面の付着がなく、割裂補強筋がない場合は実験値と良く符合する。

4.2 埋込みピッチについて

式(1)(2)を用いて推定した耐力と、実験値を

比較してみると、図-7 のように埋込みピッチ

が変化した場合でもほぼ満足のいく推定ができる

が、アンカー筋の埋込みピッチを $2r$ より大き

くした場合、アンカー筋1本分の耐力の本数倍

にならず、やや危険側になった。これは、本実

験のような片押し加力の場合、加力側のアンカ

ー筋の応力が大きく逐次破壊するためと考えら

れる。

4.3 コンクリート強度について

既往の実験も含めた、200kgf/cm²~360kgf/cm² の

範囲で、最大荷重とコンクリート強度の関係を

比較してみる。各供試体のへりあきやピッチが

異なるために直接比較出来ないので、最大荷重

を式(1)右辺の $0.69 S_e$ で除した値と実験時のコ

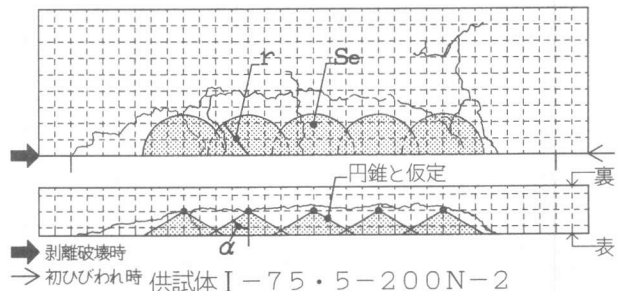


図-4 代表的な破壊形状

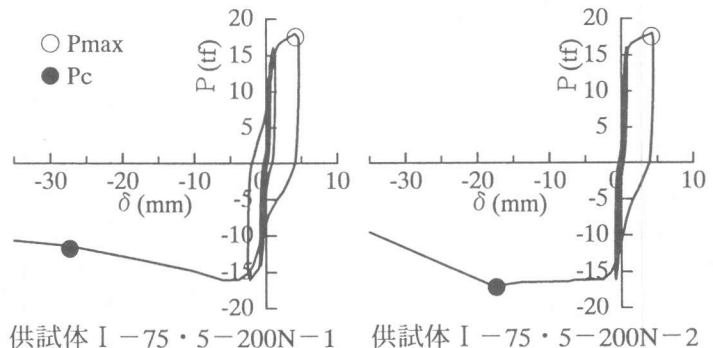


図-5 代表的な荷重-ずれ変形量曲線

ンクリート強度について比較してみると、図-8のようになり、概ね引張強度に一致する。

4.4 壁筋の種類による影響

耐震改修指針では、壁厚 t が180mmを越える場合、壁筋をダブル配筋するように規定されている。そこで、 $t=180\text{mm}$ の供試体について配筋しないもの、シングル及びダブル配筋をしたものの3種類について比較してみると、図-9のようになり、ほとんど耐力差はなかった。壁にダブル配筋をすると、破壊形状は、剥離破壊でなく割裂破壊を示した。割裂防止筋を挿入したとしても、壁側の剥離破壊で耐力が決まることがあるので注意が必要である。

4.5 剥離破壊側面積と耐力

あと施工アンカーが剥離破壊を生じる場合の河村・浜田の耐力推定式 $P=0.69 \cdot \sigma_t \cdot Se$ は、剥離破壊半径を式(2)とすれば、図-10のようになる。参考のために、指針式 $Qa1$ 、 $Qa2$ の E_c 、 σ_B に壁コンクリートの値を入れたときの値も併記した。アンカー筋5本の場合、多少ばらつきがあり、危険側になるものも生じたが、へりあき32mm~125mm、埋込みピッチ48mm~250mm、コンクリート強度 $200\text{kgf/cm}^2 \sim 360\text{kgf/cm}^2$ までの

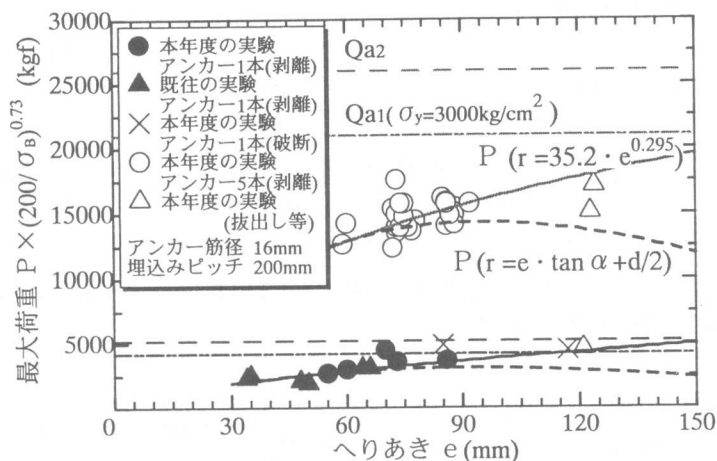


図-6 最大荷重とへりあきの関係

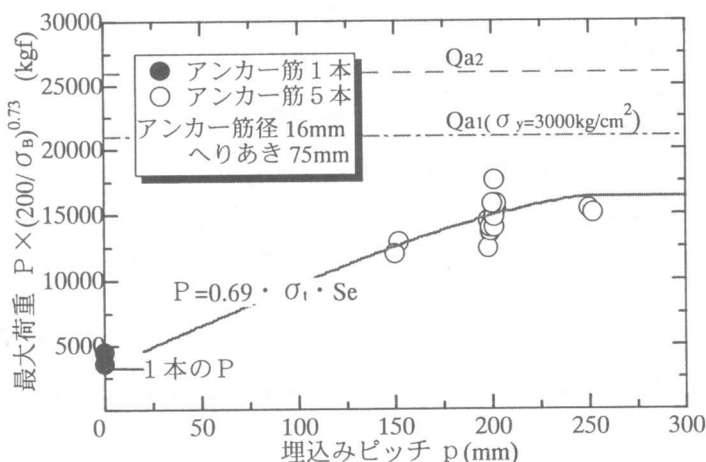


図-7 最大荷重と埋込みピッチの関係

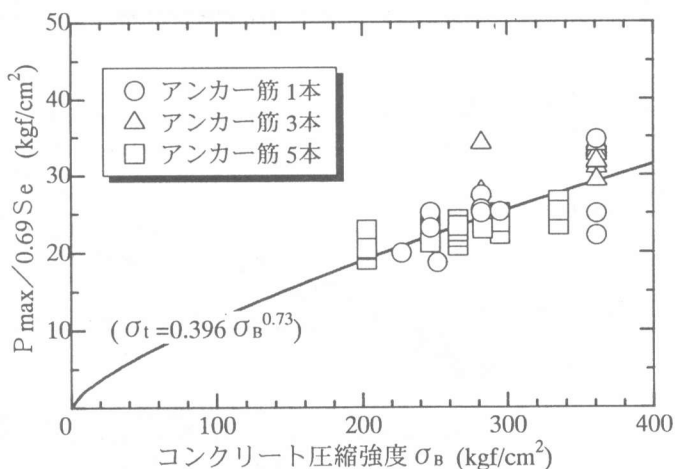


図-8 最大荷重とコンクリート強度の関係

範囲で実験結果と概ね符号する。

5. まとめ

あと施工アンカーが剥離破壊を生じる場合のせん断耐力推定式は、剥離破壊側面積 Se を算出するための半径を $r=35.2 e^{0.295}$ とすれば、へりあき $e=12.5\text{cm}$ にまで、河村・浜田式を拡張出来ることが明らかになった。ただし、使用範囲は本実験での範囲内とし、また、アンカー筋を5本以上連続して使用する場合、せん断力の不均等分布を考慮し、下限値としてこの耐力の0.8程度みておいた方がよいと思われる。

参考文献

- 1) (財)日本建築防災協会：耐震改修設計指針，pp197-208, 1996
- 2) 矢野哲也，河村博之：は

り・壁接合面の付着力と壁の補強方法が接合面のせん断耐力に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 20, 1998

- 3) 浜田公也，河村博之：周辺コンクリートの大きさがせん断耐力に及ぼす影響(シアキー付穿孔セメントモルタル充填式あと施工アンカーボルト耐力の基礎的研究その3)，日本建築学会構造系論文集，第460号，pp113-122, 1994.6

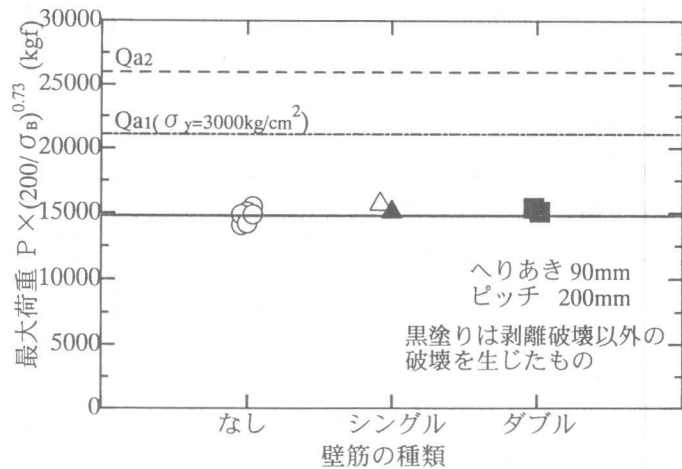


図-9 最大荷重と壁筋種類の関係

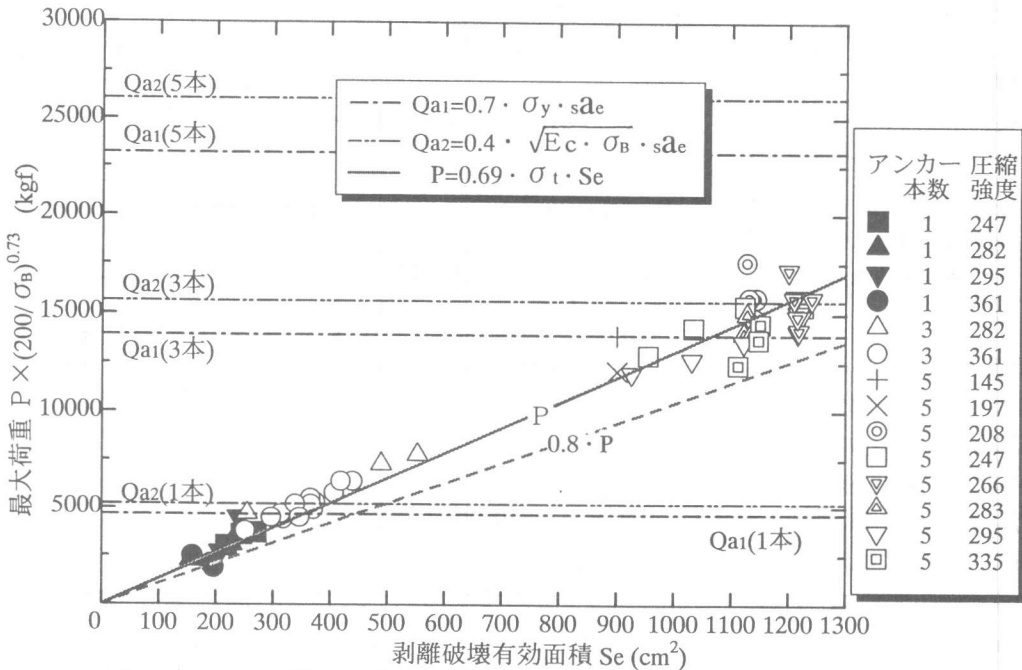


図-10 最大荷重と剥離破壊側面積の関係