

[2099] あと施工アンカーの引抜き耐力に関する検討

正会員 ○清水 泰 (都立大工学部)

正会員 遠藤 利根穂 (都立大工学部)

1. はじめに

既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震補強や増築等を行なう際に、新設部分との接合部に、既存コンクリート部分に穿孔して打設する型式のあと施工アンカーが良く用いられる。このあと施工アンカーを用いた接合部の地震時に於ける挙動に関しては、現在までに種々の研究がなされているが、あと施工アンカーは複雑な定着の形状をしているものが多く、また、抵抗のメカニズムも未だに十分に解明されているとは言い難いため、打設されたあと施工アンカーが引き抜き力等を受ける際の適切な耐力評価方法も現在完全に決定されるまでには至っていないと考えられる。

本論文は以上の事項を考慮したものであり、あと施工アンカーのうち金属拡張系のアンカーが種々の条件の基で引き抜き力を受ける際に、どの程度の耐力が期待出来るのか、また、その適正な評価方法としてはどのような影響因子をどの程度取り入れた算定式を採用すれば良いのかと言う事に関して検討した結果について述べるものである。

2. 実験概要

2.1 試験体

あと施工アンカーの引き抜き試験に用いた試験体は、施工の向き等の実際の現場での条件を検討することを考慮して製作した実物大の柱・はり接合部分の試験体3体〔1〕とコンクリートブロック試験体14体である。これらの試験体を図1に示す。

実物大試験体は50 cm角の柱と45x30 cmの長方形断面のはりがT字型状に接合しているもので、その配筋は柱主筋が8-25φ、はり主筋が6-19φで柱・はりのせん断補強筋が9φ@150となっている。実験は主にはり部分を用いてあと施工アンカーの引き抜き試験を行なった。

コンクリートブロック試験体は寸法が60x70x120 cmで、その配筋は主筋と肋筋が配筋されているもの2体と、配筋を行なわなかったもの12体の両方を作成した。

2.2 あと施工アンカー

表1と図2には本実験で試験したあと施工アンカーの一覧と概要を示す。表2には使用したあと施工アンカー鋼材の試験結果を示す。

実験で用いたあと施工アンカーは改良型アンカー（本体打ち込み式で新旧コンクリート境界面にネジ部の来ない型式）、追随拡張アンカー、内部コーン式アンカー、ウェッジアンカーの4種類とし、アンカー径（Da cm）も4種類とした。また、コンクリート強度（Fc kg/cm²）は表2に示す様に8種類とした他、配筋からの距離（D1 cm）は3種類、埋込み深さ（La cm）は7種

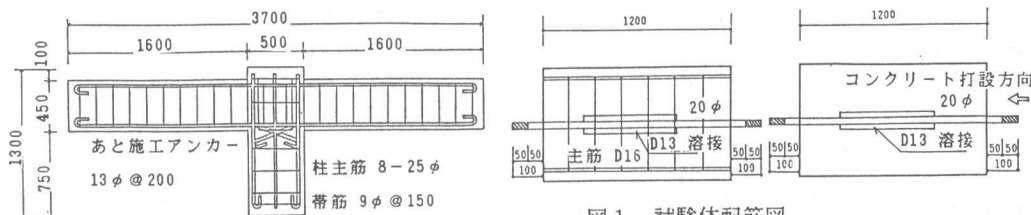


図1 試験体配筋図

類，へり開きは5種類，施工の向きも上向き，下向き，横向きの3種類に関して検討を加えた。

2.3 試験装置

加力装置および測定装置の概念図を図3に示す。引き抜き加力の方法は，あと施工アンカーに焼き入れをしたテンションバーを結合し，これを電動ポンプに連結したセンターホールジャッキにセットして，反力を試験体にとる事により一方向の静加力実験を行なった。その際の検力はロードセルをジャッキと反力足場の中間にセットしてこの値を読み取る事により行なった。

加力関係の主要な変動因子としては，，加力装置の反力足場（試験体に反力を取る際に試験体と接合する部分）の間隔の大きさや種類，および繰り返し加力の有無を考えた。繰り返しを行なったあと施工アンカーでは荷重制御として，繰り返しの限界荷重は13φのあと施工アンカーでは，0.5 ton から始めて0.5 ton 増加する毎に各1回ずつの繰り返しを計画し，それ以上の径のあと施工アンカーでは 1.0 tonから始めて 1.0 ton増加する毎に各1回の繰り返しを計画した。

測定項目に関しては，各荷重段階に於ける抜け出し量をアンカー頭部に取り付けた変位測定用治具と電気式変位計を用いて計測した他，穿孔時の打設用孔の深さやアンカー打ち込み時のコンクリート表面からの出，最終破壊状況下ではく離れたコンクリートの最大径（A1 cm）や深さ等の値を測定した。

3. 実験結果

縦軸に引き抜き耐力（Pm ton）を採り，横軸にコンクリート強度や埋込み深さ，はく離れたコンクリート

表1 供試体一覧（供試体本数）

Fc kg/cm ²	150	152	159	199	241	243	272	417	小計
A 13φ	31	6	54	43	1	35		13	183
16φ		8			25	41	25	12	111
19φ							5		5
304 22φ							5		5
B 14φ	11	3	11	11		3		3	42
15φ							3		3
54 17φ							9		9
C 12φ	4		6	5					15
24 16φ		3					3	3	9
D 12φ	6		5	5					16
25 16φ		3					3	3	9
小計	52	23	76	64	26	79	53	34	407

A；改良型アンカー，B；追隨拡張アンカー，

C；ウエッジアンカー，D；内部コーン式アンカー

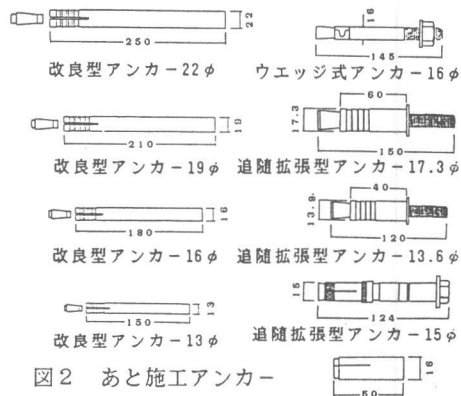


図2 あと施工アンカー

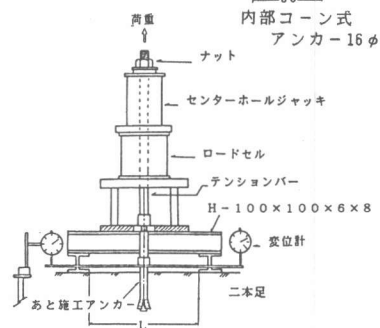


図3 実験装置

表2 使用鋼材試験結果

アンカー種類	改良型アンカー				追隨拡張型			ウエッジ式		内部コーン式	
	13φ	16φ	19φ	22φ	14φ	15φ	17φ	12φ	16φ	12φ	16φ
断面積 Aa cm ²	1.33	2.03	2.83	3.78	0.58	0.84	0.84	0.69	1.33	0.63	1.13
降伏強度σy kg/cm ²	6050	5610	5290	5080	—	6400	—	6080	6080	5790	5790
最大強度σm kg/cm ²	6220	5860	5440	6050	5240	8000	5440	8170	8170	7380	7380

の最大径、鉄筋からの距離を採って各資料をプロットしたものを図4 (a)～(d) に示す。ここで、コンクリート強度と埋込み深さに関しては全資料をプロットしたが、はく離したコンクリートの最大径や鉄筋からの距離に関しては測定していないあと施工アンカーが有るために、それらを省いた資料をプロットした。また、同図中には線形回帰直線とその95%信頼限界の線、および個々の資料の95%信頼限界の線を記入した。[5]

これらの図から下記の事項が指摘出来ると思われる。

横軸にコンクリート強度を採った図4 (a) の散布図を見ると、バラツキが大きく資料相関係数も0.48と小さいためにそれ程強い相関が有るとは言えないものの、 F_c の増加に従ってある程度引き抜き耐力も大きくなる傾向にある事が分かる。また、 F_c を 150～200 kg/cm^2 (215体)、200～250 kg/cm^2 (105体)、272 kg/cm^2 (53体)、417 kg/cm^2 (34体)と4種類に分けて、夫々の引き抜き耐力の平均値を見ると、順に 2.4 ton, 4.2 ton, 4.8 ton, 4.2 tonとなっており、250 kg/cm^2 を超えた辺りで頭打ちになっていることが分かる。

次に、引き抜き耐力と埋込み深さとの関係を表わした図4 (b) を見ると、資料相関係数が0.66とかなり強い相関がある事が分かる。また、埋込み深さの深い資料は数は少ないものの大きな引き抜き耐力が得られているものが多く、埋込み深さの影響が大きい事が考えられる。

はく離したコンクリートの最大径を横軸に採った図4 (c) は資料数が203体で資料相関係数が0.61となっている。この資料もバラツキは大きい、ある程度の相関がある事が分かる。鉄筋からの距離を横軸とした図4 (d) は資料相関係数が-0.05と負の相関となっており、両者には殆ど相関が見られない結果となっている。

図5 (a) には、縦軸に引き抜き耐力を採り、横軸にははく離コンクリートコーンの計算上の水平投影面積 ($A_c \text{ cm}^2$) を採ったものを示す。この水平投影面積は、はく離コンクリートコーンの角度を45°に仮定して、下に示す算定式で求められるもので、既往の引き抜き耐力算定式もほとんどのものがその影響を取り入れている。

$$A_c = \pi \cdot L_a (L_a + D_a) \quad (1)$$

横軸の A_c は埋込み深さの関数になっているために、図5 (a) は図4 (b) と比較して資料相関係数は0.70と多少高い値を示しているが、ほぼ同様な傾向を示している。

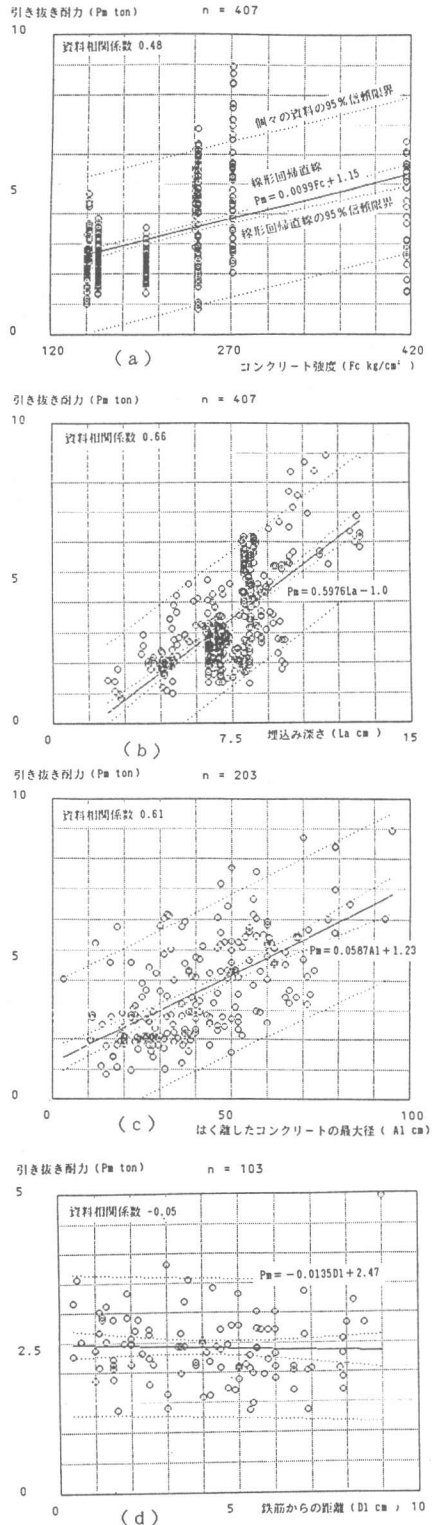


図4 各変動因子の影響

前記のようにコンクリート強度の影響がある程度見られるために、ここでも、コンクリート強度を4種類に分け、夫々に付いて引き抜き耐力とAcとの関係を図5(b)～(e)に示した。これらの図を見ると資料相関係数はコンクリート強度が上がるに従って、0.44, 0.69, 0.81, 0.83と高くなっていく傾向が見られる。また、コンクリート強度の増加に伴って、250 kg/cm²以上の所では頭打ちとなっている傾向は有るものの、線形回帰式の勾配も急勾配になって来ており、Acの値とコンクリート強度が引き抜き耐力に強い影響を持っている事が分かる。

4. 既往の算定式との比較

あと施工アンカーの引き抜き耐力の算定式は設計式を含め種々のものが提案されている。ここでは、これらの算定式の内、代表的なものとして次ぎに示す(2)～(5)式を選び実験値と算定値との比較検討を行なった。

既存RC耐震改修設計指針[2]

$$P1 = 0.45La \left(1 + La/Da \right) Fc \cdot Aa/Da \quad (2)$$

各種合成構造設計指針[3]

$$P2 = 0.75 \phi 1 \cdot Ac \sqrt{Fc} \quad (3)$$

$$P3 = \phi 2 \cdot \sigma y \cdot Aa \quad \text{いずれか小さい方の値} \quad (4)$$

ACI 349-76[4]

$$P4 = 1.06 \pi \cdot \phi \cdot La^2 \sqrt{Fc} \quad (5)$$

ここで、 $\phi 1$ 、 $\phi 2$ 、 ϕ ；耐力低減係数、ここでは終局状態を考えているために $\phi 1 = \phi 2 = \phi = 1$ とした。
La, Da；あと施工アンカー埋込み深さと外径。Fc；既存コンクリートの圧縮強度。 σy ；あと施工アンカー鋼材の降伏点強度。Aa；危険断面におけるダボ筋断面積でネジ部が危険断面となる時にはネジ部有効断面積とする。

図6(a)～(c)に(2)，(3)，(5)式による計算値と実験値とを比較して示す。同図中には実験値と計

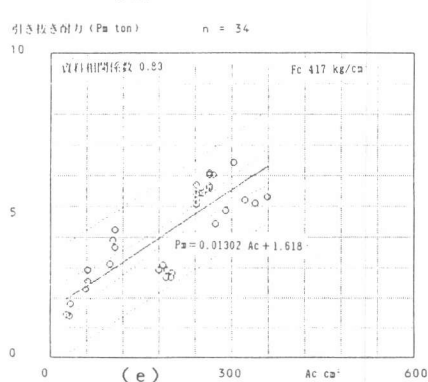
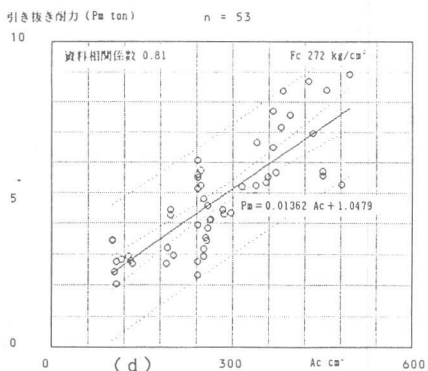
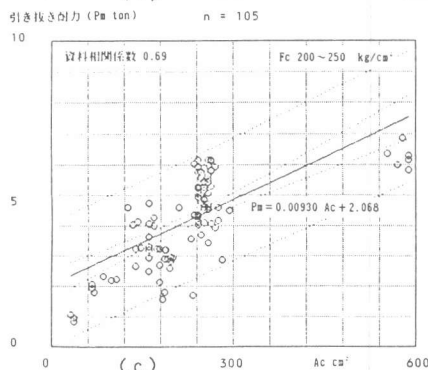
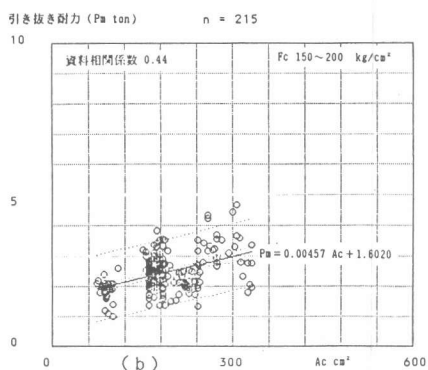
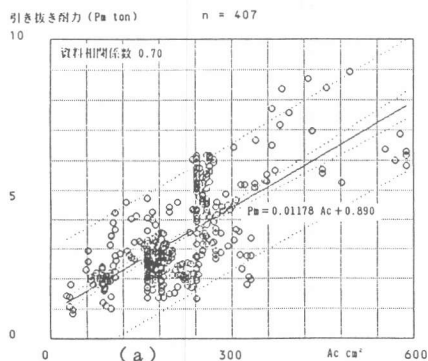


図5

は離コンクリートコーンの計算上の水平投影面積

算値が等しいとした45°の直線や計算値に0.8掛けをした値の直線、実験値と計算値の比の値の標準偏差 σ を引いた値と実験値との関係を示した直線の3本の線を記入した。

改修設計指針の計算値と実験値との関係を示した図6(a)を見ると、散布図のバラツキは比較的小さく、資料相関係数も0.81と高い値を示したものの、安全側の値を示しているあと施工アンカーの数は407体中わずかに49体(12%)であり、5 ton以上の耐力算定値が得られたあと施工アンカーでは全ての実験値が計算値を下回る結果となっている。

各種合成構造設計指針の図6(b)は、(a)図に比較して散布図のバラツキが多少大きくなっており、標準偏差の値は0.24と良い値を示しており、353体(87%)のあと施工アンカーが安全側の値となっている。また、引き抜き耐力計算値が3.5 tonを超える範囲では全ての実験値が計算値の0.8掛け以上の値となった。しかしながら、反面この範囲では大半のあと施工アンカーの実験値は計算値の1.2掛け以上の値になっており、耐力の評価が少し小さ目となっている傾向が見受けられた。

ACIの図6(c)に関してはバラツキが大きく資料相関係数も0.77と3式中最も小さな値となったが、実験値と計算値の比の値の平均値は0.85と比較的良好な値が得られており、307体(75%)のあと施工アンカーに対して安全側の結果が得られた。なお、引き抜き耐力計算値が大きな範囲で危険側の値となっている資料も見られる。

5. 引き抜き耐力算定式の提案

既往の引き抜き耐力算定式の形を見ると、 $\alpha \cdot F_c \cdot A_c$ の形のものや $\alpha \sqrt{F_c} A_c$ の形のものに分けられる。そこで、今回の実験結果を用いて夫々の α の値を、最小二乗法により、グラフの原点を通る直線の勾配として求めて見ると、次ぎに示す様に、前者の値が0.20で、後者の値が3.20となった。

$$EQ1 = 0.2 \alpha \cdot F_c \cdot A_c \quad (6)$$

$$EQ2 = 3.2 \alpha \sqrt{F_c} A_c \quad (7)$$

これらの算定式による計算値と実験値とを比較して図7(a)、(b)に示す。同図では引き抜き耐力の算定値が鋼材の降伏強度(σ_y)を上回るあと施工アンカーに関しては(4)式でその耐力を求め、また、検討用資料としては、へり開きが厳しい条件(2.5Da以下)となっているあと施工アンカー22体を省いて検討を加えている。

図7(a)には(6)式による結果を示したが、同図を見ると資料相関係数が0.82で、比の値の平均値が0.87、安全側に算定されているあと施工アンカーの数は278体(72%)で相当に良い結果となっている。また、(b)図には(7)式による値を示したが、この図では資料相関係数が0.80、比の値の平均値が0.96、安全側に算定されているあと施工アンカーの数は254体(66%)となっ

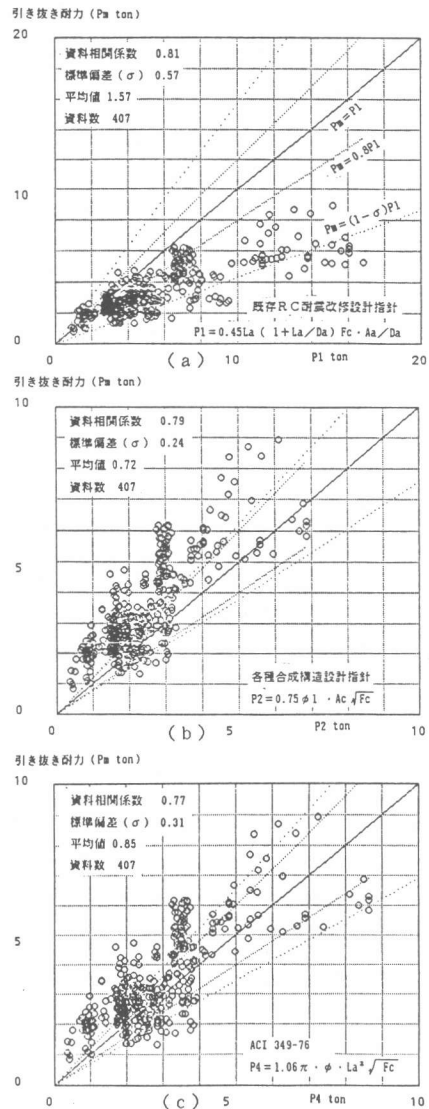


図6 計算値と実験値との比較

おり、(a) 図に比較して平均値は高いものの相関係数は低い値となっており、安全側に算定されているあと施工アンカー数も少ない結果となっている。

金属拡張系のあと施工アンカーが引き抜き力を受ける際に、その最大耐力が定着部のコンクリートの局所的な支圧耐力で決まり、その支圧耐力は埋込み深さにある程度左右されると考えると、(6) 式のような形でその引き抜き耐力を求める事が出来ると思われる。また、実験値との相関が最も良いのも(6) 式となっている。ここでは、このような考えから(6) 式に安全係数として 0.8 を掛けた式を設計式として用いた場合に付いて検討し、その結果を図 8 に示した。同図を見ると、資料相関係数は 0.82、比の値の平均値は 0.70、安全側に評価されたあと施工アンカーの数は 340 体 (88%) となっている。

6. まとめ

あと施工アンカーの内、金属拡張系アンカーが引き抜き力を受ける際の耐力に関して実験を行なった結果、下記の事項が結論として得られた。

1. コンクリート強度の影響はコンクリート強度がある程度低い所では見られたが、コンクリート強度が高くなるとアンカーの破断等により引き抜き耐力が決まるために、頭打ちとなる傾向が現われた。

2. 埋込み深さに関しては、本実験で選んだ影響因子の中で最も大きな影響が見受けられた。また、はく離したコンクリートの最大径も散布図のバラツキは大きいもののある程度の相関が認められた。

3. 予想はく離コンクリートの水平投影面積が今回の実験では最も大きな影響を示したが、この値とコンクリート圧縮強度を考慮した算定式による計算値が、実験値に対して最も良い資料相関係数を与える結果となった。

4. 本実験資料を用いて求めた算定式の(6) 式は、多数の実験資料との相関を重視して係数を定めているために、適切な安全係数を考える事により設計式として十分に使用する事が可能であると思われる。

(参考文献) [1] 遠藤利根穂, 田極義明, 片桐太一, 清水 泰: あと施工アンカーの引き抜き耐力, (その 1), (その 2), 日本建築学会大会学術講演会, PP.767~770, 1986 [2] 日本建築防災協会: 既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修設計指針, 1977.4, [3] 日本建築学会: 各種合成構造設計指針, 1985, [4] ACI Committee 349 "Proposed Addition to: Code Requirements for Nuclear Safety Related Concrete Structures" ACI Journal 1978.8, PP.329~335, PP.336~347, (ACI 349-76), [5] 大滝厚, 鈴木和幸, 長沢伸也: パソコンBASIC 統計解析, 東海大学出版会, 1984

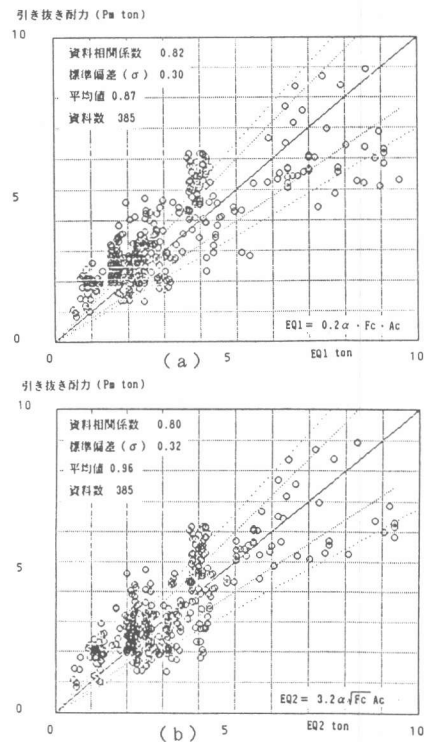


図 7 引き抜き耐力推定式の検討

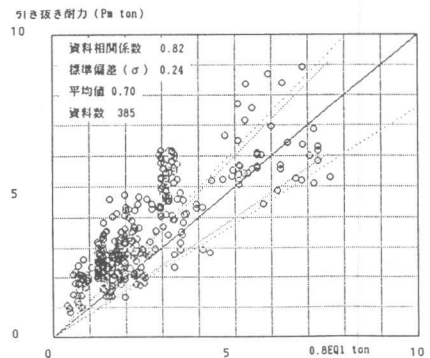


図 8 あと施工アンカーの設計式