

報 告

[2022] 高強度コンクリート構造に対するあと施工アンカー

正会員○細川洋治 (東京大学建築学科)

正会員 石原益夫 (日本ドライビット)

正会員 青木哲夫 (日本ドライビット)

正会員 青山博之 (東京大学建築学科)

1. はじめに

あと施工アンカーに関する研究は、普通強度のコンクリート（以下普通強度と呼ぶ）を対象に強度、剛性について実験的に検討を行っている場合がほとんどである。近年、鉄筋コンクリート造建物に高強度コンクリート（以下高強度）を用いた例も数多くなり、これらの高強度を用いた建物に対して、設備機器などの設置を行う場合のアンカーの施工性の検討、引き抜き強度の評価法の確立は、アンカーの安全性確保という点において重要な課題の一つと考えられる。

ここでは、金属拡張系アンカーの代表的な4つのタイプを中心に施工性の検討、引抜き強度と破壊形式の確認を行い、接着系アンカーについてはカプセル式と注入式カートリッジ型を用いて、付着性能について検討を行った。

表-1 コンクリート試験結果kg/cm²

コンクリート	圧縮強度				割裂強度	
	No.1	No.2	No.3	平均	実測値	計算値
高 強 度	944	915	928	929	46.0	55.2
普 通	230	208	220	219	—	21.2

割裂強度の計算値は、CEB-FIP1970による。

割裂強度 = $0.607 (f_c')^{2/3}$ f_c' ; 圧縮強度

2. 実験概要

2.1 コンクリート試験体

コンクリート試験体と試験片打込み位置を図-1に示す。また材料強度として表-1に使用したコンクリート試験体の圧縮強度を示した。高強度コンクリートはNew RC平成元年度東大試験体の実験に用いた試験体の基礎部分を利用した[1]。

高強度は915～944kg/cm²で、普通強度は無筋コンクリートで、208～230kg/cm²の範囲である。

表-2 試験片一覧

試験片名	寸 法				埋 込 穴		本 体 ボ ル ト	
	ねじの呼び	外径(d) mm	埋込長(l) mm	l/d	径 mm	目標深さ mm	最小断面積 mm ²	強度 kgf/mm ²
スリーブ打込み式	M12	17.3	50	2.9	18.0	55	84.3	53.4
本体打込み式	W3/8	14.0	40	2.9	14.5	40	104.8	66.2
改良型本体打込み式	M12	16.0	80	5.0	16.7	80	116.8	64.5
ウェッジ式	M12	12.0	60	5.0	12.5	70	58.0*	53.0
コーンナット式	M12	17.3	75	4.3	18.0	90	84.3	87.8
カプセル型	M12	12.0	100	8.3	14.5	100	84.3	89.6
注入型カートリッジ	M12	12.0	100	8.3	14.5	100	84.3	89.6

注) 本体ボルトの最小断面積の項で*印は、テーバー元部、他はねじ部を示す。

2.2 試験片概要

実験に用いた試験片の一覧、各タイプの形状寸法、穿孔径、深さの目標値、試験片最小断面積、材料強度は表-2に示す。

試験片の名称は、金属拡張系はスリーブ打込み式、本体打込み式、ウェッジ式、コーンナ

ット式で、接着系はカプセル式、注入式カートリッジ型である。この中の注入式カートリッジ型は、主剤と硬化剤を2本のチューブから圧力により押し出し、ミキシングノズルにより自動的に攪拌混合された後、注入される形式のものである。

2. 3 施工性の実験

2. 3. 1 施工概要

施工法について、高強度に対しての問題点を確認するため、使用穿孔機械の違い、施工難易度の比較など、基本的な事項を検討した。

使用穿孔機械： 試験片打込み穴は①小型（100V、500W）と②大型（100V、1050W）の2種類のハンマードリル（以下ドリル）を用い、ドリルビットは先端に超硬金属を有するコンクリート穿孔専用のものを使用した。

施工手順： 一般に行われている方法で、試験片埋め込み穴を穿孔後バキュームに

よる清掃を行い、アンカーを固着させた。スリーブ打込み式、本体打込み式はハンマーによる打撃を加え、金属音を確認した後さらに2回打撃し、定着を確実にした。ウェッジ式およびコーンナット式はトルクメーターによりナットを3～6回回転させ、締め付け固定した。締め付けトルク値は通常機器の固定に用いられている値を目標とした。

2. 3. 2 施工実験結果

施工性について、図-3の縦軸に穿孔時間、横軸に穿孔深さを示す。使用ドリルと穿孔時間の関係は、普通強度、高強度とも大型は穿孔深さに対して比例的に増加し、小型では2次曲線的に増加する。穿孔に要する時間の絶対値についてみると、普通強度では、大型、小型ドリルで大きな差は見られないが、高強度では大型、小型で違う。すなわち、高強度では小型ドリルは作業効率が著しく劣る。

穿孔時間を縦軸に、各アンカー別に穿孔した穴の体積を横軸に図-4に示した。全体的に穿孔時間は穴体積に比例して増加し、高強度は普通

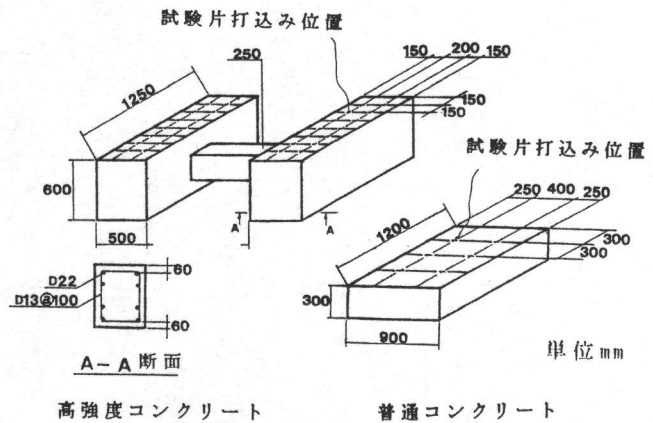


図-1 試験片打込みコンクリート試験体

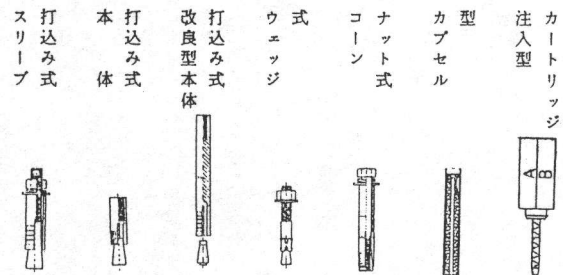


図-2 試験片形状

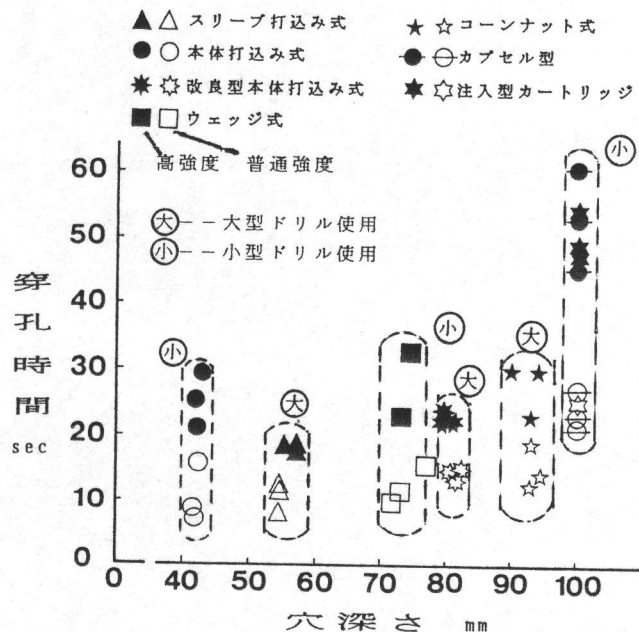


図-3 穿孔深さと穿孔時間

強度より多くの時間を要す。実験値の平均値をドリルの種類別に、高強度の場合を実線で、普通強度の場合を破線で示した。

穿孔時間とコンクリート強度の関係は、高強度では普通強度の約2.08倍の時間を要し、穿孔時間はコンクリート強度の影響が大きい。

ドリルの性能と穿孔時間についてみると、大型ドリルの所要時間 T_L と小型ドリルの所要時間 T_S の比は、 $T_L/T_S = 0.362$ （高強度） ~ 0.364 （普通強度）の間にある。大型ドリルを用いて高強度を穿孔する時間は、小型で普通強度を穿孔するより少なく、大型ドリルの有効性を示している。

〔打撃回数〕：金属音が確認されるまでの打撃回数は、高強度は普通強度に比べて1.14～1.57倍であった。

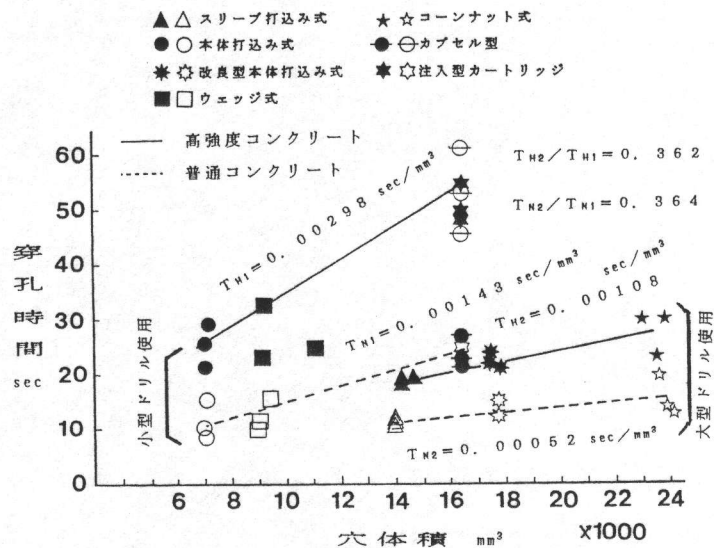


図-4 穿孔体積と穿孔時間

2.4 引張試験

2.4.1 実験概要

試験装置、測定方法を図-5に示す。変位計は精度 $1/200\text{ mm}$ 、50 tロードセル、加力は12 t油圧ジャッキを使用した。反力台はコンクリート試験体の厚みが充分で、引抜きによる曲げびび割れの影響が考えられないので4点支持方式を用いた。接着系については、付着性能が重要な抵抗要素があるので付着試験を行った。

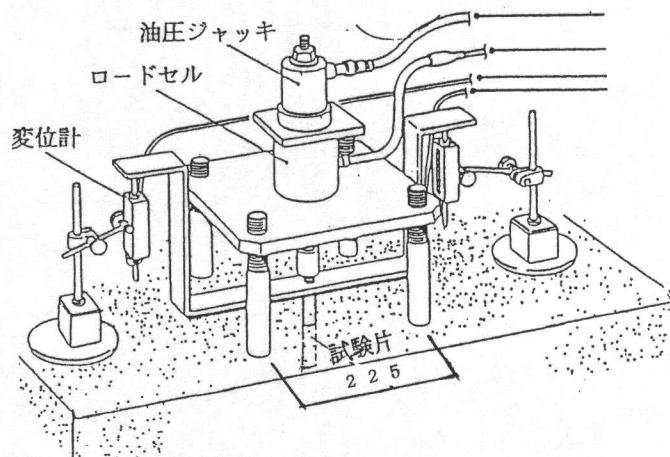


図-5 試験装置

2.4.2 引抜き試験結果

実験結果のうち、埋め込み深さの実測値、最大荷重および最大荷重時の変位の実験値、破壊モードを表-3に示した。金属系アンカーについて、最大荷重と埋め込み深さの関係を図-6に示した。高強度、普通強度とも、埋め込み深さが深くなると最大荷重が大きくなる。また、同じ埋め込み深さでは、高強度は普通強度より最大荷重は大きい。

金属系アンカーの破壊モードは、雄ねじ式のスリーブ打込み式およびコーンナット式は2本がアンカー本体の拡張部またはボルトねじ部の破壊であり、残りはコンクリートのコーン破壊であった。雌ねじ式の本体打込み式では本体拡張部の破断またはコーン破壊を示した。普通強度ではすべての試験片がコンクリートのコーン破壊となった。

接着系アンカーは、付着強度が求まるように高強度アンカーボルトを使用したので、鋼材破断は

なく、コンクリートと樹脂または鋼材と樹脂の間で付着破壊した。さらに付着破壊は、高強度では注入型、カプセル型とも類似した破壊で、鋼材のネジの凹凸部と樹脂の間でせん断破壊し、普通強度ではコンクリートと樹脂の間ですべり破壊した。

2. 4. 3. 荷重-変位関係

金属系各試験片の最大荷重と最小荷重の2ケースについて、荷重-変位関係を、図-7 (a) ~ (e) に、縦軸に引抜き力、横軸に変位を取り、高強度コンクリートは破線で、普通強度は実線で示した。

いずれのアンカーも高強度コンクリートに打込んだものは、普通強度のものより最大荷重は高くなっている。各アンカーの主な特徴を示すと、(a) スリーブ打込み式は普通強度にくらべ、最大荷重時の変位は小さい。(b) 本体打込み式、本体打込み式改良型、ウェッジ式は高強度では最大荷重およびその時の変位とも普通強度の2倍と、エネルギー吸収が大きい。(c) コーンナット式は高強度の最大荷重は普通強度の約1.7倍、最大荷重時変位および以後の耐力低下の傾向は両者類似している。

接着系アンカーについては、付着力と抜け出し量の関係を図-8に示した。

(a) カプセル型では普通強度は最大荷重以後の耐力低下はあまりないが、高強度では最大荷重時変位は小さく、以後の荷重低下は著しい。

(b) 注入型のエポキシ樹脂は、最大耐力は普通強度と高強度とも大きな差は見られないが、普通強度では最大強度以後の荷重低下が著しく、高強度では比較的大きな変位まで耐力を維持している。

表-3 実験結果一覧

試験片名	項 目	高強度コンクリート				普通コンクリート			
		No. 1	No. 2	No. 3	平均	No. 1	No. 2	No. 3	平均
スリーブ打込み式	埋込み深さ mm	50.5	52.3	50.5	51.1	52.1	50.8	50.1	51.0
	最大荷重 kgf	4,180	4,300	4,700	4,390	2,540	3,070	2,320	2,640
	最大荷重時変位 mm	1.52	1.60	2.52	1.88	4.54	4.83	4.10	4.49
	破壊モード	B	B	B	—	C	C	C	—
本体打込み式	埋込み深さ mm	43.8	41.6	42.3	42.6	43.7	43.8	43.7	43.7
	最大荷重 kgf	3,550	2,500	4,040	3,360	1,410	1,410	1,430	1,410
	最大荷重時変位 mm	3.20	4.60	5.60	4.46	3.29	2.17	3.03	2.83
	破壊モード	C	C	C	—	C	C	C	—
改良型本体打込み式	埋込み深さ mm	69.0	69.8	73.5	70.7	77.4	77.4	76.5	77.4
	最大荷重 kgf	4,760	5,950	5,770	5,490	3,570	3,930	3,210	3,570
	最大荷重時変位 mm	4.39	8.87	6.33	6.53	8.09	5.64	5.15	6.29
	破壊モード	C	C	E	—	C	C	C	—
ウェッジ式	埋込み深さ mm	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
	最大荷重 kgf	3,390	2,940	3,570	3,300	1,530	1,630	1,750	1,630
	最大荷重時変位 mm	14.99	6.60	12.71	11.43	6.57	7.21	5.30	6.36
	破壊モード	E	C	E	—	C	C	C	—
コーンナット式	埋込み深さ mm	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0
	最大荷重 kgf	7,230	7,550	8,340	7,700	3,570	3,490	4,360	3,800
	最大荷重時変位 mm	2.60	5.06	4.08	3.91	0.29	2.20	2.32	1.60
	破壊モード	B	B	C	—	C	C	C	—
カプセル型	埋込み深さ mm	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	最大荷重 kgf	7,570	7,070	6,030	6,890	5,190	5,930	4,720	5,280
	最大荷重時変位 mm	4.99	4.41	3.40	4.26	2.98	0.69	4.61	2.76
	破壊モード	—	—	—	—	—	—	—	—
注入型カートリッジ	埋込み深さ mm	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	最大荷重 kgf	7,170	6,960	6,720	6,950	7,470	5,790	6,540	6,600
	最大荷重時変位 mm	5.18	1.52	5.38	4.02	1.40	1.52	1.15	1.35
	破壊モード	—	—	—	—	—	—	—	—

[破壊モード]

C : コンクリートのコーン状破壊

B : アンカー本体のねじ部破壊

E : アンカー本体拡張部破壊

接着系アンカーで特記のないものはすべて付着破壊である。

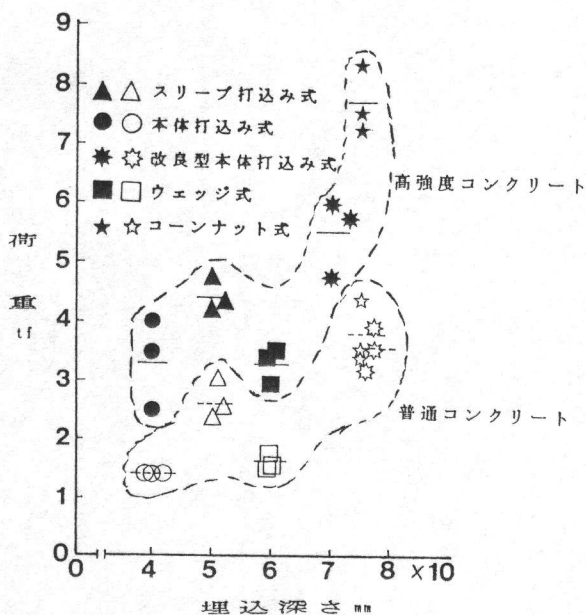
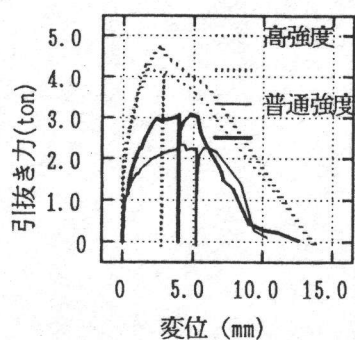
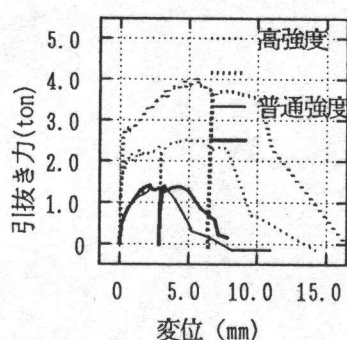


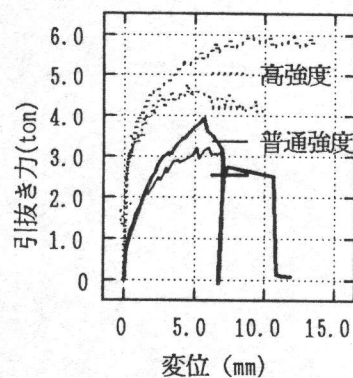
図-6 埋め込み深さと引抜き力



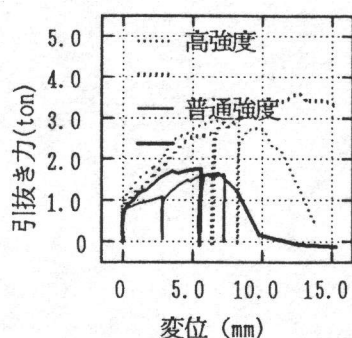
(a) スリーブ打込み式



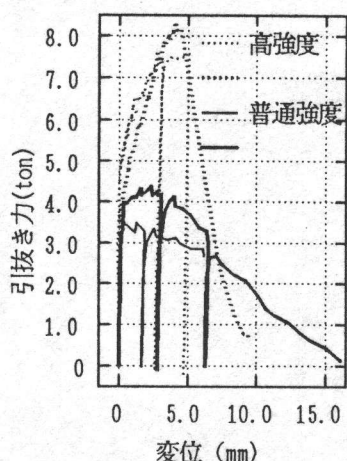
(b) 本体打込み式



(c) 本体打込み式改良型



(d) ウエッジ式



(e) コーンナット式

図-7 金属系アンカーの引抜き力-抜け出し関係

2. 4. 4 計算値と実験値について

金属系アンカーの破壊形式は、コンクリートのコーン破壊または材料の破断による場合が多い。ここでは、コーン強度について実験値と計算値の比較を行う。

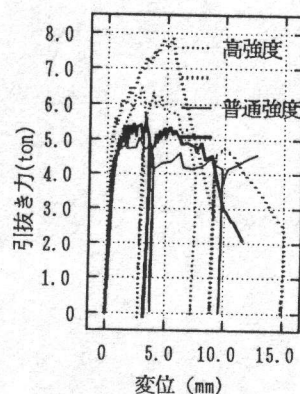
(a) 現在一般に用いられている、日本建築学会 [3] に示されているコーンの角度を45度とした、(1)式を用いた。

$$(Tc1) = \sqrt{Fc} \times Ac \quad \text{----- (1)}$$

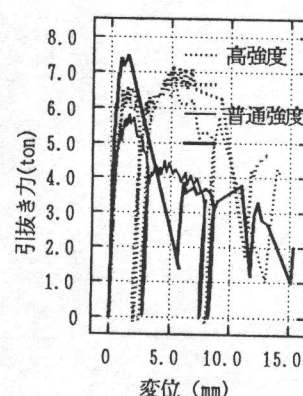
Ac : 水平投影面積 $= \pi \cdot \ell a (\ell a + d)$ 、

ℓa : コーンの深さ

Fc : コンクリートの圧縮強度



(a) カプセル式



(b) カートリッジ式

図-8 接着系アンカーの
引抜き力-抜け出し関係

(b) コーン破壊する場合、コンクリートの割裂破壊の様子を呈するので、(1)式の中の $\sqrt{Fc}$ の項を、コンクリートの割裂強度 σ_t に置き換えた(2)式を用いた。

$$(Tc2) = \sigma_t \times Ac \quad \text{----- (2)}$$

これら(1)、(2)式はコーンの水平投影面積が基本となっているので、コーン深さが直接強度に影響する。そこで、 A_c を求める場合の埋め込み長さ ℓa の影響を調べるため、①：アンカーの先端部までを有効($\ell a = \ell$)と考えた場合、②：先端部から $d/2$ ($\ell a = \ell e$)を差し引いた部分までを有効としたものであり。③：②から表-3に示した最大荷重時変位量(δ)を差し引いた値($\ell a = \ell e - \delta$)として検討した。コーン強度について、コンクリートの圧縮強度を基準とした文献[3]による計算値は、実験値に対して低めの評価となり、抜け出し量の影響が計算結果にあまり影響を及ぼさない。これに対して(2)式によると、抜け出し量を考慮しない場合は実験値より大きめになるが、考慮すると実験値に近くなり、抜け出し量が強度に影響を及ぼしていると云える。

これらの計算結果と実験値の比較の一部を図-9(a)～(d)に示した。

A_c の値は、 $A_{c2} = \pi \cdot \ell e (\ell e + d)$, $\ell e = \ell - d/2$, d =アンカー径

$A_{c3} = \pi \cdot \ell o (\ell o + d)$, $\ell o = \ell e - \delta$

とした。

3. まとめ

1) 通常用いられている大型ドリルを使用した場合、単位体積当たりの施工時間は、普通強度($F_c 219 \text{ kgf/cm}^2$)に施工した場合は $T = 0.52 \text{ sec/cm}^3$ であるのに対し、高強度($F_c 919 \text{ kgf/cm}^2$)では $T = 1.08 \text{ sec/cm}^3$ と約2倍の時間である。

2) 金属系アンカーの引張試験では、現在行われている標準的な埋め込み深さで施工を行うと、普通強度の場合より最大強度は1.54～2.38倍と大きく上昇する。また、破壊形式は普通強度の場合はすべてコーン破壊であったものが、高強度ではアンカーの母材破断で終局に達するケースが多く見られた。

3) 接着系の付着試験では、高強度は普通強度の付着応力度に対し、1.05～1.30倍となっている。

4) コーン強度の評価については、割裂強度を用い、有効埋め込み長さとして、最大荷重時変位を差し引いた求めると実験値に対して、適合性がよい。

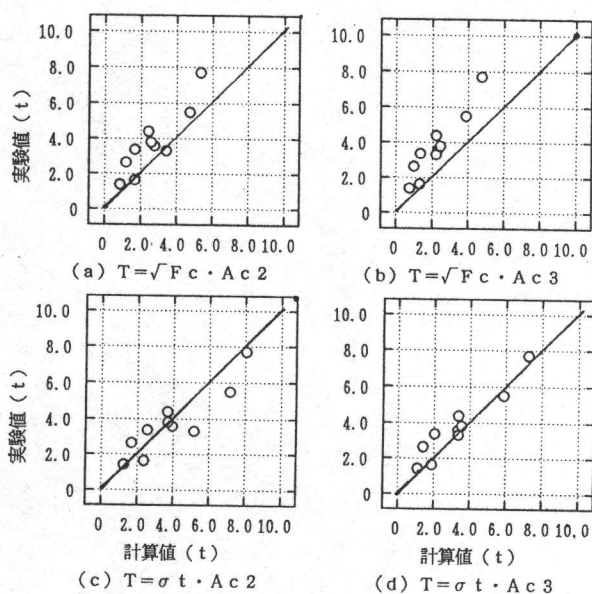


図-9 引抜き力の実験値と計算値の比較

謝辞：本研究にあたり、結果の評価法について東京大学小谷俊介助教授にご指導頂き、表の作成には、上野久美子嬢にお世話になりました。結果の図表作成には、李康寧氏作成のプログラムを使用させて頂きました。ここに深く感謝の意を表します。

文献

- [1] 境有紀、日比純一、小谷俊介、青山博之：高強度コンクリートを用いたRC柱の曲げ変形性能に関する実験的研究、コンクリート工学年次論文報告集、12-2、1990、p. 445～450.
- [2] 小坂義夫、森田司郎：”鉄筋コンクリート構造”丸善、1975、385PP.
- [3] 日本建築学会：”各種合成構造設計指針同解説”1985、255PP.