

論文

[2156] 人工軽量コンクリートに打設したあと施工アンカーの引抜き耐力に関する実験研究

正会員 片桐 太一 (日本ドライブイット)

正会員 清水 泰 (東京工業大学附属工業高校)

1. はじめに

近年既存鉄筋コンクリート造建築物の増・改築工事や、諸設備の資機材の取り付け工事等にあと施工アンカーの使用量は増加しており、今後ともその用途範囲は広く開発されるものと思われる。また、現在あと施工アンカーの規格化や標準試験方法が検討されており、製品管理の向上に向けて種々の試みがなされている。

しかしながら、その性状は十分に解明されているとは言い難く、特に、ばらつきを考慮した耐力の推定方法や群としての効果に関する基礎的な資料が不足しているのが現状である。

本論文は、あと施工アンカーの内の金属拡張系アンカーの引抜き耐力に関して行なった実験結果をまとめたものである。実験で採用した主な因子は、あと施工アンカーが打設されるコンクリートに着目して決定しており、コンクリート種別やコンクリート強度を変化させてその影響を検討した。また、ばらつきを考慮した耐力推定方法を提案するために、同一条件の基で20本のアンカーの引抜き試験を行ない、耐力の分布状態を検討した。更に、2本のあと施工アンカーを同時に引抜くことにより群の効果も検討している。

2. 実験概要

2.1 試験体およびあと施工アンカー

本実験で採用したあと施工アンカーは金属拡張系アンカー改良型本体打込み式であり、その形状を図1に示す。使用したアンカーは13φと16φの2種類で、総計183本、その内訳は単体での引抜き試験が135本、群体での引抜き試験が24組、48本となっている。この中で、耐力 P_t のばらつきを見るために13φと16φの両者に対して同一条件で20本の引抜き実験を行なった他、単体の試験では埋め込み深さ l_e を、また、群体の試験ではピッチ p を変化させている。

試験体の製作に用いたコンクリートは6種類で、設計基準強度 F_c 210kg/cm²と240kg/cm²の普通コンクリートと軽量コンクリート、および、設計基準強度 F_c 360kg/cm²の高強度コンクリートと高強度軽量コンクリートとした。使用したコンクリートの種別や一軸圧縮強度の試験結果を表1-1に示し、表1-2にはあと施工アンカー母材の引張り試験結果を示す。

表1-1 コンクリート試験結果

コンクリート 呼び名	種別	養生	$c\sigma_{nk}/cm^2$		実験時強度等			
			1週	4週	材令	$c\sigma_b$	$c\sigma_T$	cE
B-PN240	普通	封かん	202	292	214	388	-	3.09
B-PN360	普通	封かん	247	335	214	442	-	3.09
B-PL240	軽量	封かん	147	243	208	344	-	1.74
B-PL360	軽量	封かん	219	326	208	449	-	1.85
W-PN210	普通	気中	176	235	51	260	27.2	2.65
W-PN360	普通	気中	293	368	51	375	32.9	3.11
W-PL210	軽量	気中	158	230	51	257	27.9	1.73
W-PL360	軽量	気中	276	361	51	369	33.6	2.10

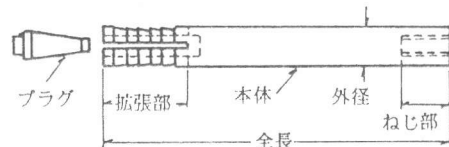


図1 金属系アンカー改良型本体打込み式

表1-2 あと施工アンカー諸元

呼び	径	全長	キリ径	断面積	降伏点強度
13φ	13mm	150mm	13.5mm	1.33cm ²	6220kg/cm ²
16φ	16mm	180mm	16.7mm	20.3cm ²	5860kg/cm ²

2.2 あと施工アンカーの打設

1) 墨出し

コンクリート面に直角に交差したX、Y軸の墨を出し、直角定規を使用し、穿孔時の鉛直方向のガイドとした。また、コンクリート表面にひび割れの影響範囲を観察するための墨出しを行なった。

2) 穿孔

打撃を与えながら回転する形式の電動ハンマードリルを用い、アンカー径に対して4%程度大きな孔径の穴をあけた。穿孔深さはキリ軸部にマークをして所定の深さまで穿孔しており、穿孔後デプスゲージで深さを測定した。

3) 打設

あと施工アンカーに熱処理を施した打撃棒を装着し、ネジ部を保護した状態で1kgのハンマーによる手動打撃で打設した。その後、コンクリート面よりのアンカー軸部の出しろをノギスにより測定し、アンカー全長との差から埋め込み深さを推定した。打設ピッチは他の近接するアンカーに対して影響の無いように、アンカー径の1.5倍以上とした。あと施工アンカーを打設状態を図2に示す。

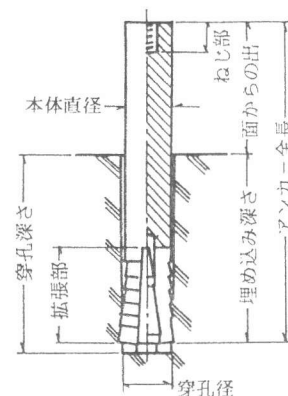


図2 打設状態

2.3 加力方法および測定方法

単体加力は、コンクリート試験体に打設したあと施工アンカーに、ネジ接合によりJIS G 4105 SCM 435材を熱処理したテンションバーを取り付け、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ことにより一方向の引抜き静加力実験を行なった。なお、その際の検力はロードセルをジャッキと反力足場の間にセットして、この値を読取るにより行なった。図3に加力装置の概念図を示す。

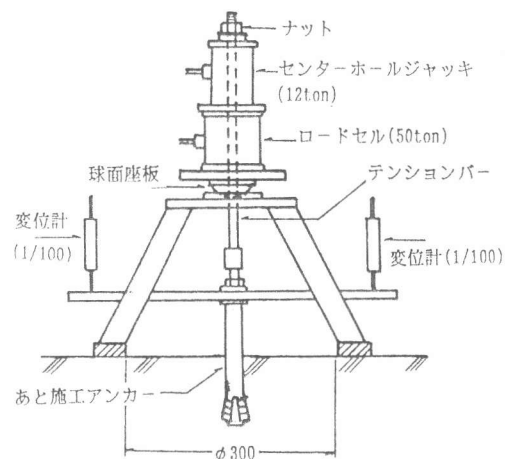


図3 単体加力装置

群体加力では2本同時に引抜くために、図4-1から4-3に示すような加力治具を作成し、打設時の傾きをヒンジピンと球面ワッシャーとを用いて補正し、さらに、熱処理をしたボルトを用いて埋め込み深さの不均一を調整し2本のあと施工アンカーに応力が等分に加わるようにした。

測定は、各荷重段階における抜け出し量その他、最終破壊状況やその時のはく離したコンクリートの最大径や深さ等の値を測定した。なお、抜け出し量の測定に関しては、単体試験体では変位測定用治具をアンカー軸部に取り付け、群体試験体では加力治具下部に取り付け、電気式変位計を用いて計測した。

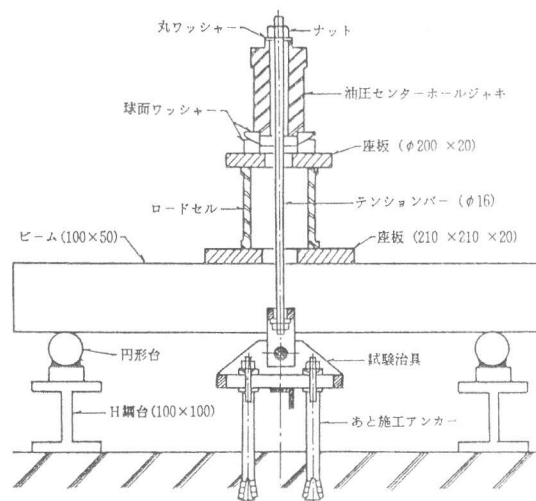


図4-1 群体加力装置側面図

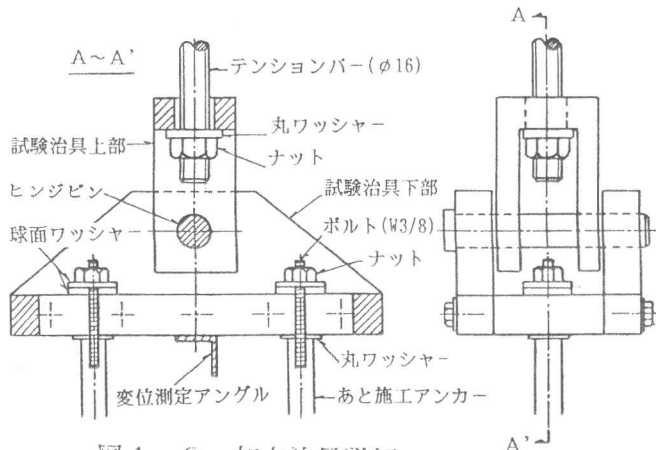


図4-2 加力治具詳細

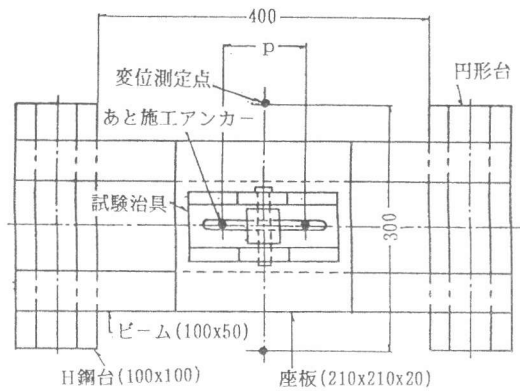


図4-3 加力装置平面図

あと施工アンカーの打設

(記号説明)

- l : コンクリート穿孔深さ (cm)
- l_a : 金属系あと施工アンカー全長 (cm)
- l₁ : 埋め込み深さ (cm)
- l₂ : コンクリート面からの出 (cm)
- d_a : あと施工アンカー本体直径 (cm)
- D_a : 穿孔径 (cm)
- cσ_H : コンクリート一軸圧縮強度 (kg/cm²)

- P : ピッチ (cm)
- cσ_T : 割裂強度 (kg/cm²)
- cE : ヤング係数 (x10⁵ kg/cm²)
- AC : 有効水平投影面積 (cm²)
- sP_T : 単体引抜き耐力 (ton)
- wP_T : 群体引抜き耐力 (ton)

3. 実験結果および考察

図5にはあと施工アンカーの耐力のばらつきを検査するために行なった、同一条件の20本の単体から、横軸に最大耐力P_tを採り、縦軸にその頻度を採って実験結果の分布状態を示す。同図中には、頻度分布を正規分布と仮定した場合の確立密度関数の曲線f(τP_t)や平均値μ、標本標準偏差値σ、実験値τP_tが計算値cP_tを上回る場合の確立値Φ(-cP_t)等を示す。また、95%の実験資料τP_tが安全係数kを考慮した計算値k・cP_tを上回る場合、すなわちΦ(-k・cP_t)=0.95となるような安全係数の値も記入した。

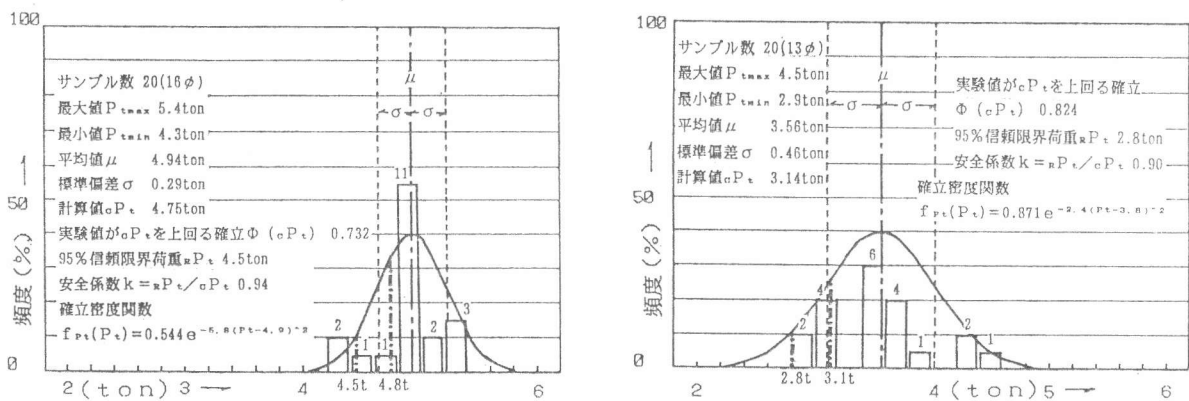


図5 引抜き耐力のばらつき

表2に群体系験結果の一覧を示し、表3に普通コンクリートと軽量コンクリートの試験結果を比較して示す。図7に群体系験の最終ひび割れ状態を示し、図8には群体の引抜き荷重Pと抜け出し量δとの関係を示す。図9に群体の試験結果の内ピッチpと最大耐力P_tとの関係を示す。

各試験体の引抜き耐力の算定には、日本建築学会「各種合成構造設計指針」のコンクリートのコーン状破壊面の有効水平投影面積A_oを用いた。図6に算定方法を示し、図10および図11に算定値と実験値を比較して示す。

これらの図表から以下の事項が指摘できる。

1) 埋め込み深さの影響は大きく、この値が小さな所ではコンクリートのコーン状破壊が卓越し、深くなるに従って鋼材の破断を生じるようになっていく。なお、この傾向は普通コンクリートでは概ね5D_aを境に生じており、軽量コンクリートでは6D_a以上となっている。

表2 群体系験結果一覧

試験体 No	p	コンクリート		埋込深さ l ₁ cm	有効水平 投影面積	群体系験耐力 _w P _T ton			加力順	単体系験耐力 _s P _{rt}	
		種別	c ₀₃			実験値	計算値	実/計		平均値	群体系験/単体系験
1	6.5	普通	260	7.0	278.8	4.91	4.49	1.09	4	3.0	1.64
2	6.5	普通	260	6.9	270.9	4.48	4.36	1.03	1		1.49
3	6.5	普通	375	7.0	278.8	7.81	5.41	1.44	22	3.9	2.00
4	6.5	普通	375	7.2	286.9	7.31	5.57	1.31	19		1.87
5	6.5	軽量	257	7.5	311.7	4.95	4.99	0.99	10	2.7	1.83
6	6.5	軽量	257	7.4	303.0	4.95	4.85	1.02	7		1.83
7	6.5	軽量	369	7.9	278.8	6.03	5.35	1.13	13	3.1	1.95
8	6.5	軽量	369	7.2	286.9	5.16	5.51	0.94	16		1.66
9	9.8	普通	260	6.8	303.1	5.20	4.88	1.07	3	3.0	1.73
10	9.8	普通	260	7.2	330.0	5.33	5.31	1.00	6		1.78
11	9.8	普通	375	7.6	320.9	7.75	6.23	1.24	24	3.9	1.99
12	9.8	普通	375	6.9	311.9	6.99	6.05	1.16	21		1.79
13	9.8	軽量	257	7.3	339.2	4.44	5.43	0.82	12	2.7	1.64
14	9.8	軽量	257	6.8	303.1	4.04	4.85	0.83	9		1.50
15	9.8	軽量	369	6.9	311.9	5.41	5.99	0.90	15	3.1	1.75
16	9.8	軽量	369	7.0	320.9	4.95	6.16	0.80	18		1.60
17	13	普通	260	6.8	333.6	5.46	5.37	1.02	2	3.0	1.82
18	13	普通	260	6.9	343.8	6.62	5.54	1.19	5		2.21
19	13	普通	375	6.8	333.6	6.56	6.47	1.01	23	3.9	1.68
20	13	普通	375	7.0	354.1	7.90	6.87	1.15	20		2.03
21	13	軽量	257	7.0	354.1	5.20	5.57	0.92	11	2.7	1.93
22	13	軽量	257	6.9	343.8	4.54	5.50	0.83	8		1.68
23	13	軽量	369	7.2	364.3	6.16	6.99	0.88	14	3.1	1.99
24	13	軽量	369	7.0	354.1	7.22	6.80	1.06	17		2.33

- 2) コンクリート強度の影響は比較的小さかったが、同程度のコンクリート強度で破壊モードがコンクリートのコーン状破壊となっている場合には、普通コンクリートに打設したあと施工アンカーの方が軽量コンクリートに打設したものよりも多少大きな最大耐力が得られている。
- 3) 有効水平投影面積による算定結果は比較的良好な適合性を示したが、埋め込み深さの小さな所では多少過小評価となっており、逆に埋め込み深さの大きい所では鋼材破断を含むこともあって、過大評価となっている。施工係数や構造規定を明確にし、破壊モードを適切に評価すれば本計算式で評価することが可能であると思われる。
- 4) 13φ、16φ共に実験値が計算値を上回る確立は0.7以上の比較的高い数値を示しており、また、95%信頼限界荷重 R_{Pt} を得るための耐力低減係数 $k (R_{Pt}/cP_t)$ も0.9以上の高い値となっている。したがって、引抜き耐力のばらつきは大きいものの、有効水平投影面積による設計強度の信頼性は高いものと考えられる。
- 5) 群体と単体とを比較すると群体のピッチの影響が多少表れており、水平投影面積が重ならない13cmピッチで群体と単体との比の値が最も大きくなり、平均値で1.96となった。

単体の場合の有効水平投影面積の算定

$$A_c = \pi (l_e + D/2)^2 - D^2/4$$

$$= \pi l_e (l_e + D)$$

群体（2本）の場合の有効水平投影面積の算定

1) $l_e + D/2 \leq a/2$ の時

$$A_c = 2\pi (l_e + D/2)^2 - \pi D^2/2$$

2) $l_e + D/2 > a/2$ の時

$$A_c = (2\pi - \theta \pi/180 + \sin \theta) (l_e + D/2)^2 - \pi D^2/2$$

ただし、 $\theta = 2\cos^{-1}[a/(2l_e + D)]$ 度

$$A' = (\theta \pi/180 - \sin \theta) (l_e + D/2)^2$$

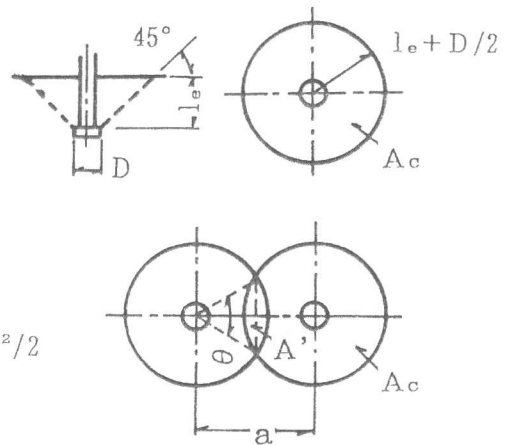


図6 有効水平投影面積の算定

表3 普通コンクリートと軽量コンクリートの比較

コンクリート種別	単体試験結果						群体試験結果					
	13φ		16φ				13φ					
	埋め込み深さ		打設ピッチ*1				6.5 cm		9.8 cm		13.0 cm	
	X t	L/N	X t	L/N	X t	L/N	X t	L/N	X t	L/N	X t	L/N
W-PN360	2.73	0.92	3.93	0.79	4.15	0.96	7.55	0.74	*2	*2	*2	*2
W-PL360	2.50		3.10		3.87		5.60		5.20		6.70	
B-PN360	2.80	0.69	*2	*2	—	—	—	—	—	—	—	—
B-PL360	1.93		3.17		—		—		—		—	
B-PN240	2.53	0.68	*2	*2	—	—	—	—	—	—	—	—
B-PL240	1.73		2.67		—		—		—		—	
W-PN210	2.17	0.86	2.97	0.91	4.00	0.86	4.70	1.06	5.25	0.80	0.80	0.80
W-PL210	1.87		2.70		3.43		5.00		4.20		4.85	

(備考) X : 単体試験体各3本の平均値、群体試験体各2組の平均値 (ton)

L/N : 軽量コンクリート試験結果/普通コンクリート試験結果

* 1 : 埋め込み深さ 6.5 cm、* 2 : アンカー鋼材破断、- : 実験値無し

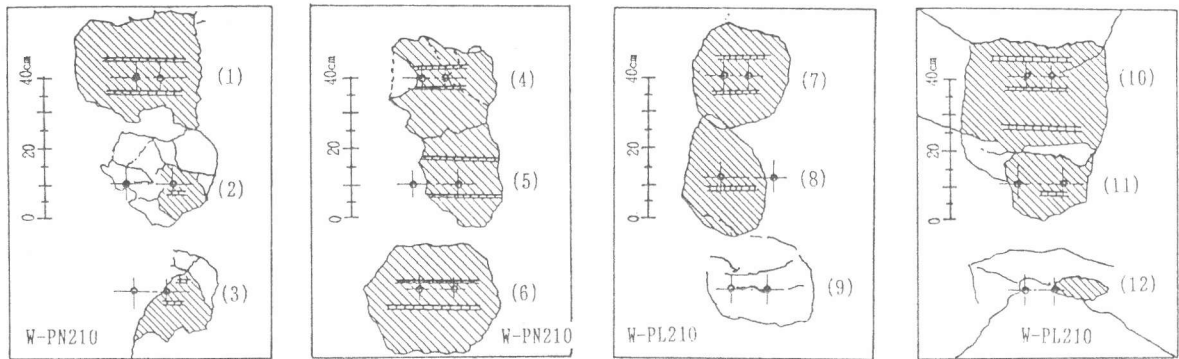


図7 群体最終ひび割れ図

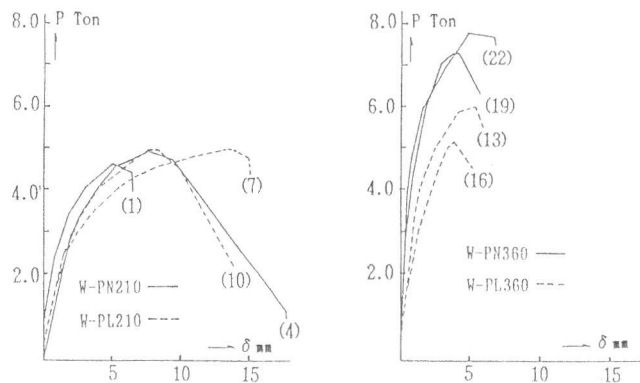


図8 群体荷重・抜け出し量曲線

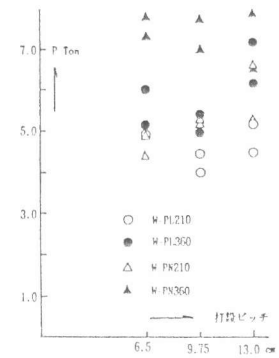


図9 ピッチと引抜き耐力

4. まとめ

普通コンクリートと軽量コンクリートに打設した金属拡張系あと施工アンカーの引抜き試験を行なった結果、両者とも埋め込み深さの影響が大きく、コンクリート

強度の影響は比較的少ないことが指摘できた。

また、軽量コンクリートはコンクリートのコーン状破壊を生じる場合には普通コンクリートに比較して多少小さな引抜き耐力が得られる結果となった。

(謝辞) 本研究を行なうに当って御助言、御協力を頂いた日本大学理工学部建築学科小野新助教授、海洋建築学科安達洋教授、中西三和助手に深く感謝致します。

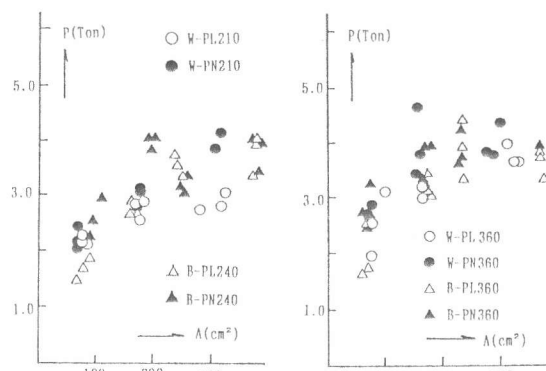


図10 単体13φの引抜き耐力とAcの関係

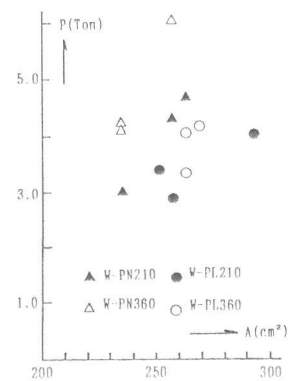


図11 単体16φの引抜き耐力とAcの関係