

論文 超高強度コンクリート(150MPa)に定着したあと施工アンカーの支持耐力に関する実験的研究

酒井 悟^{*1}・杉山 智昭^{*2}・中野 克彦^{*3}・松崎 育弘^{*4}

要旨：本研究は、コンクリート強度に影響を受けるあと施工アンカーの支持耐力の評価を目的としている。ここでは、有効埋め込み長さ・へりあき寸法を要因とする 150MPa 級のコンクリートへ定着されたあと施工アンカーの引き抜き実験を行い、非常に強度が高いコンクリートに定着した場合における、金属系あと施工アンカー拡張部の支圧挙動、および、接着系あと施工アンカーのコンクリート・接着剤・鉄筋間相互の付着挙動について明らかにした。そして、普通強度の実験結果と比較する事で、支持(引張)耐力設計式に対してコンクリート強度が与える影響について検討を行った。

キーワード：あと施工アンカー、支持耐力、高強度コンクリート、埋め込み長さ、へりあき

1. はじめに

現在、金属系および接着系のあと施工アンカーは、設備機器の取り付け、内外装仕上げ工事や耐震補強・補修など、数多くの用途に用いられている。これらあと施工アンカーの支持耐力は、コンクリート強度に依存し、現行の設計式では、そのコンクリート強度を重要な要因としている。しかしながら、コンクリート強度があと施工アンカーの定着(支圧)・付着抵抗機構に及ぼす影響については不明な点が多く残されている。さらに、近年の高層集合住宅等で多用されている高強度コンクリートに対する施工性、その際の構造性能評価についての検討も重要な課題である。

あと施工アンカーの支持耐力に対し、有効埋め込み長さ(l_e)も重要な要因となる^{1), 2)}。金属系アンカーでは、埋め込み長さが増加する場合の挙動は十分に明らかではない。また、接着系アンカーの有効埋め込み長さは、7~10 d_a 程度で設計されており、通常の異形鉄筋の定着長さ 30~40 d と異なっている。その理由として、先付けの異形鉄筋では、かぶり厚さを考慮して評価式が基準化されているのに対して、接着系アンカーは、

コーン状破壊の有効投影面積を考慮する程度で、付着破壊に対するへりあき寸法の明確な規定がないことが挙げられる。今後、構造用アンカーへ接着系あと施工アンカーを用いるためにも、これら問題点を解決する必要がある^{3), 4)}。

そこで、本研究では、コンクリート強度に影響を受けるあと施工アンカーの支持耐力の評価を目指し、非常に強度の高い $F_c=150\text{N/mm}^2$ 級のコンクリートに定着された金属系および接着系のあと施工アンカーの引張特性について明らかにする事を目的としている。さらに、その支持耐力評価方法について検討する。

2. 金属系アンカーの支持耐力

2.1 実験概要

表-1に試験体一覧を図-1に使用した金属系アンカーの形状(上段が拡張前、下段が拡張後)を示す。金属系アンカーの引張支持耐力について明らかにするために、変動要因は、金属系アンカーの種類と埋め込み長さ(拡張部先端までの深さ)とした。使用した金属系アンカーは、使用頻度の高い4種類(芯棒打ち込み式(C)、内部コー

*1 新潟工科大学大学院 工学研究科建築学専攻 修士課程 (正会員)

*2 東京理科大学 工学部建築学科 助手 博(工) (正会員)

*3 新潟工科大学 工学部建築学科 助教授 博(工) (正会員)

*4 東京理科大学 工学部建築学科 教授 工博 (正会員)

表-1 金属系アンカー要因および結果一覧

No.	要因			実験結果			計算値 Ta2 ¹⁾ [kN]	
	アンカー種類	ネジ部 サイズ	アンカー 外径 D [mm] (穿孔径)	埋め込み 長さ ([mm])	最大耐力 荷重 [kN]	変位 [mm]		破壊 モード
1-1	芯棒 打ち込み式 (C)	M16	16 (17)	2D (32.0)	42.1	0.46	S→C	4.8
1-2				3D (48.0)	45.9	1.41	S→C	14.3
1-3				4D (64.0)	49.0	0.22	S→SP	28.6
1-4				5D (80.0)	51.8	0.26	S→SP	47.7
1-5	内部コーン 打ち込み式 (CT)	M16	20 (20.5)	3D (60.0)	63.2	0.91	S→C	22.3
1-6				5D (100.0)	72.0	0.70	S→Y	74.5
1-7	本体 打ち込み式 (GA)	M16	21.5 (22)	2D (43.0)	47.4	1.41	S→C	8.6
1-8				3D (64.5)	51.2	2.90	S→C	25.8
1-9				4D (86.0)	75.2	2.02	S	51.6
1-10				5D (107.5)	64.8	2.62	S	86.1
1-11	スリーブ 打ち込み式 (BA)	M16	21.7 (22)	3D (65.1)	72.5	3.63	S→C	26.3
1-12	5D (108.5)			76.2	10.01	S→Y	87.7	

破壊形式…S: 抜け出し破壊, C: コーン状破壊, SP: 割裂破壊
Y: アンカー破断 例) S→C: 抜け出し後コーン状破壊



図-1 金属系アンカー形状

ン打ち込み式(CT), 本体打ち込み式(GA)), スリーブ打ち込み式(BA))とした。アンカー筋のネジ部サイズは M16 で, 埋め込み長さを 2D~5D(D: アンカー外径)と変動させた。使用したコンクリートは, 図-2 に示す $F_c=150\text{N/mm}^2$ 級の超高強度コンクリートである。

加力は, 反力台をアンカーから埋め込み長さ以上離して, 自己反力型でアンカーに引張力を与える形式とした。また, 計測は, アンカーの抜け出し変位について行った。

施工は, 以下に示す状態であった。1) 一般的な電動ハンマードリルを使用した穿孔では, 特に大きな問題は生じなかった。2) アンカー先端を拡張するための打ち込み回数は, 通常の 4~7 回程度よりも非常に多く, 100 回を超えた試験体では, 図-3 の様にアンカーが変形するほどであった。しかしながら, すべての方式で拡張部は十分に開いていない状況であり, 超高強度コンクリートに対する施工は困難であった。

2.2 実験結果

図-3 に金属系アンカーの破壊状況を示す。破壊性状は, 拡張部分の開きが十分でないため, 最大耐力以降にアンカーのすべりが生じて, 抜け出す性状であった。また, 多くの試験体では, アンカーの拡張部がコンクリート表面に近い位置まで抜け出した後に, 非常に浅いコーン状破壊, または, 割裂破壊となった。

図-4 に埋め込み長さを変動要因とした荷重 P-抜け出し変位 δ 関係を示す。初期剛性は, 埋め込み長さに関わらず同様に, 0.2~0.3mm で抜

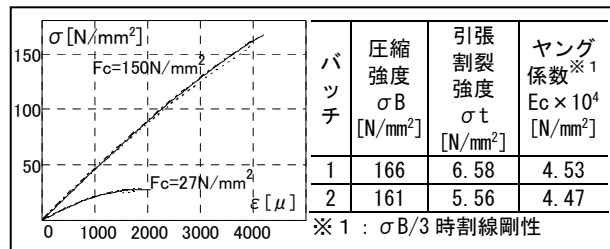


図-2 コンクリート材料試験結果



図-3 金属系アンカー施工・破壊状況

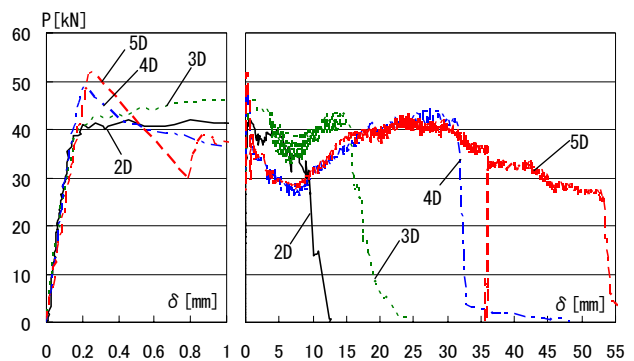


図-4 荷重 P-変位 δ 関係(芯棒打ち込み式)

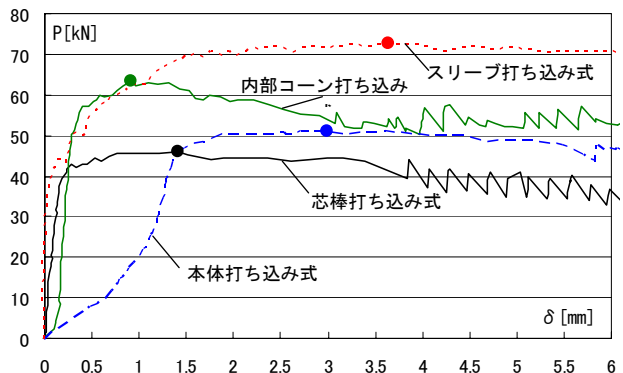


図-5 荷重 P-変位 δ 関係(埋め込み長さ 3D)

け出し変形が大きくなる(滑り出しが生じる)性状となり、最大耐力に至っている。最大耐力は、埋め込み長さの上昇に伴って若干上昇するが、頭打ちの性状であった。そして、最大耐力以降、摩擦抵抗の様な変形特性を示しながら緩やかに耐力が低下する性状であった。図-5にアンカー種類を変動要因としたP-δ関係を示す。ばらつきがあるものの、アンカー種類に関わらず、初期剛性は、同様な傾向であり、最大耐力は、スリーブ、内部コーン、本体、芯棒打ち込み式の順に大きくなっている。

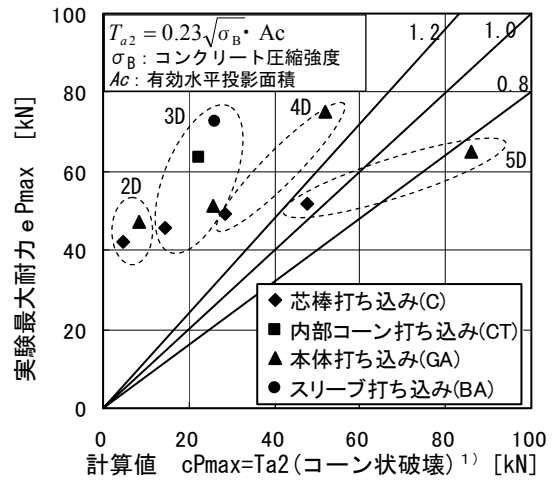


図-6 金属系アンカー実験値・計算値比較

2.3 支持耐力評価式の検討

図-6に実験の最大耐力と計算値の比較を示す。計算値は、文献1)の方法を用いており、計算値は、コーン状破壊に対する耐力式(Ta2)について示した。図のように、2~4Dまで実験値が計算値よりも大きいものの、計算値の上昇に対応して実験値は上昇していない。この様に、超高強度コンクリートによって破壊モードが抜け出し破壊に移行した影響が顕著に認められる。

3. 接着系アンカーの支持耐力

3.1 実験概要

表-2に試験体要因および結果・計算値一覧、図-7に試験体要因図を示す。ここでは、コーン状破壊と付着破壊が混在する状況下における、接着系アンカーの引張支持耐力を明らかにするために実験を計画した。共通要因は母材コンクリート(強度: Fc=150N/mm²)とアンカー筋で、ア

表-2 接着系アンカー要因および結果・計算値一覧

No.	アンカー種類	試験体要因		実験結果				計算値 ¹⁾ [min(Ta2, Ta3)]						
		有効埋め込み長さ le [mm]	へりあき面	寸法 C [mm]	荷重 [kN]	変位 [mm]	破壊モード	Ta [kN]	破壊モード	1回低減 ⁵⁾ Ta [kN]	2回低減 ⁶⁾ Ta [kN]	破壊モード		
2-1	ガラス管タイプ (G)	7da (133mm)	1面	75	142	1.73	C	154	C	154	C	-	-	
2-2				150	172	2.72	C	188	C	-	-	-	-	
2-3			2面 (隅面)	75	111	0.37	C	105	C	105	C	105	C	
2-4				150	174	1.82	C	185	C	-	-	-	-	
2-5			Center	-	-	197	1.02	C	185	C	-	-	-	-
2-6				75	200	1.30	B	439	B	282	B	-	-	-
2-7		150		280	-	-	439	B	344	B	-	-	-	
2-8		14da (266mm)	1面	75	168	1.58	B	292	C	282	B	181	B	
2-9				150	242	3.28	B*	402	C	344	B	269	B	
2-10			Center	-	-	280	-	-	439	B	-	-	-	-
2-11		21da (399mm)		1面	75	280	-	-	659	B	392	B	-	-
2-12					150	280	-	-	659	B	453	B	-	-
2-13			75	226	5.45	B*	560	C	392	B	233	B		
2-14		2面 (隅面)	150	280	-	-	659	B	453	B	312	B		
2-15			Center	-	280	-	-	659	B	-	-	-	-	
2-16	インジェクションタイプ (I)	7da (133mm)	1面	75	120	0.72	C	154	C	154	C	-	-	
2-17				150	150	0.94	C	188	C	-	-	-	-	
2-18			2面 (隅面)	75	115	1.87	C	107	C	107	C	107	C	
2-19				150	138	1.27	C	188	C	-	-	-	-	
2-20			Center	-	-	148	1.57	C	188	C	-	-	-	-
2-21				14da (266mm)	1面	75	260	5.02	B*	446	B	286	B	-
2-22		150				267	6.03	B*	446	B	349	B	-	-
2-23		2面 (隅面)	75		154	1.58	B	297	C	286	B	183	B	
2-24			150	280	-	-	408	C	349	B	273	B		
2-25			Center	-	-	264	5.24	B*	446	B	-	-	-	-
2-26		21da (399mm)		1面	75	248	3.09	B*	669	B	398	B	-	-
2-27					150	270	-	-	669	B	460	B	-	-
2-28			75	216	6.22	B*	568	C	398	B	236	B		
2-29		2面 (隅面)	150	280	-	-	669	B	460	B	317	B		
2-30			Center	-	280	-	-	669	B	-	-	-	-	

○アンカー筋...D19(SHD685, σy=749N/mm²) ○穿孔径...G-Type: 25mm, I-Type: 24mm
 ○破壊モード...C: コーン状破壊, B: 付着破壊(付着割裂破壊含む), B*: アンカー筋降伏後の付着破壊(付着割裂破壊含む), -: 載荷限界(≒破断強度)まで加力
 ○計算値の破壊モードは、Ta2で決定の場合コーン状破壊C, Ta3で決定する場合付着破壊B

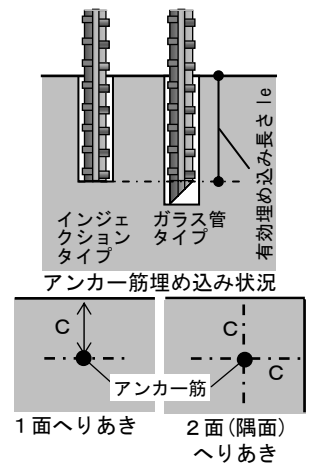


図-7 試験体要因図

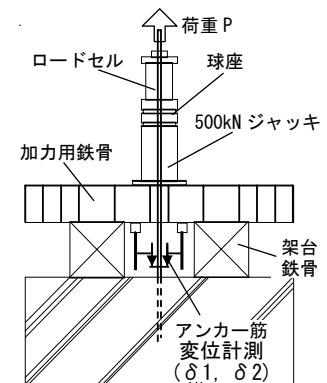


図-8 加力装置図



図-9 母材破壊状況

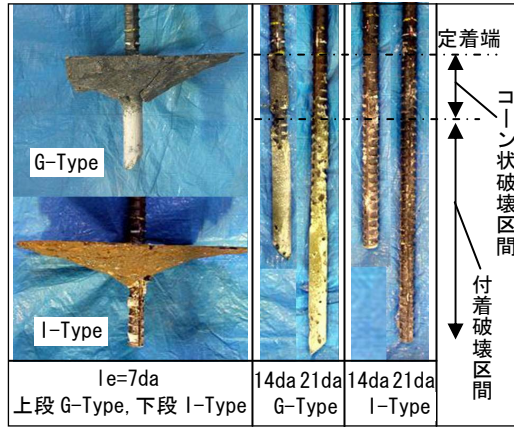


図-10 接着系アンカー破壊状況

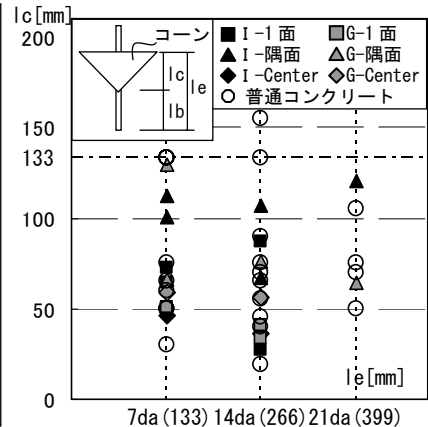
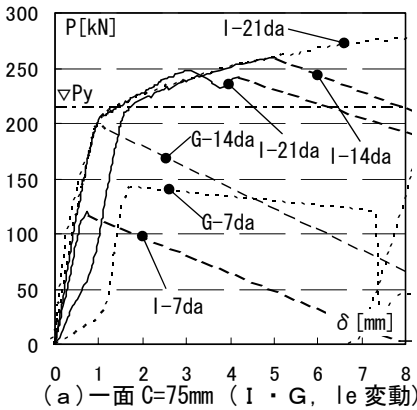
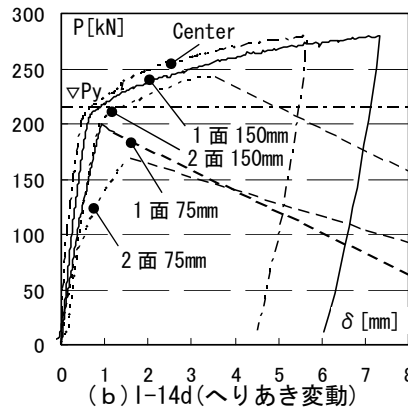


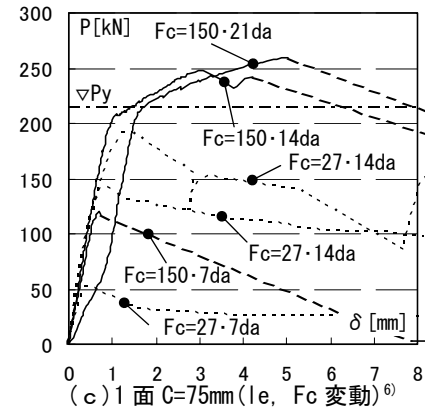
図-11 lc-le 関係



(a) 一面 C=75mm (I・G, le 変動)



(b) I-14d(へりあき変動)



(c) 1面 C=75mm (le, Fc 変動)⁶⁾

図-12 接着系アンカー荷重P-抜け出し変位δ関係

ンカー筋は D19(SHD685)を使用した。

変動要因は、接着タイプ、有効埋め込み長さおよびへりあきの3種類とした。接着タイプは、ガラス管タイプ(G-Type)およびインジェクションタイプ(I-Type)の2種類とした。G-Typeは、穿孔後にガラス管カプセルを挿入し、鉄筋を回転打撃させながら定着するタイプで、I-Typeは、穿孔後に接着剤をあらかじめ注入してから鉄筋を挿入して定着するタイプである。なお、接着剤の樹脂には、双方ともエポキシアクリレート系の材料を使用している。有効埋め込み長さ(le)は、7da(133mm, da:アンカー筋径), 14da(266mm)および21da(399mm)の3水準とした。へりあきは、へりあき面とへりあき寸法が要因で、へりあき面は片側のみへりあき面が小さい『一面へりあき』と90度の隅での定着を想定した『二面(隅面)へりあき』の2水準、へりあき寸法(C)は、75mmと150mmの2水準とした。これら変動要因を組み合わせ、計30体の加力を行った。なお、使用したコンクリートの材料特性は、図-2に

示した値である。

図-8に加力・計測装置図を示す。加力は、架台鉄骨をアンカー筋から200mm以上離して設置した自己反力型の単調引き抜き载荷で行った。载荷の最大荷重は、アンカー筋破断直前の280kN(=Psm)とし、変位の計測は、架台上部からアンカー筋に取り付けた治具を使用して抜け出し変位($\delta = (\delta 1 + \delta 2)/2$)について行った。

3.2 実験結果

図-9にコンクリートブロック破壊状況、図-10に破壊後のアンカー筋状況を示す。破壊状況は、コーン状破壊と付着破壊が混在する性状であった。破壊モードは、有効埋め込み長さleが7daと短い試験体でコーン状破壊、14daおよび21daでは、コーン状破壊を伴う付着破壊(一部付着割裂)と分類される。その付着破壊の区間は、G-Typeの場合、接着剤の樹脂が鉄筋に付着しているため、樹脂とコンクリートの間で破壊し、I-Typeの場合、樹脂が母材コンクリートに付着しているため、鉄筋と樹脂の間で破壊していると

推測される。図-11にコーン状破壊区間長さ(l_c)と有効埋め込み長さ(l_e)の関係を示す。 l_e に関わらず、コーン状破壊の区間は、50~133(7da)mmとほぼ一様の長さであり、この傾向は、普通コンクリートと同様の性状であった⁶⁾。

図-12に荷重P-抜け出し変位 δ 関係を示す。図(a)は、有効埋め込み長さ l_e とアンカー種類を変動要因とした図である。初期剛性は、 l_e 、接着タイプ(I-Type・G-Type)に関わらずほぼ同様の性状である。また、最大耐力時の変位は、最大耐力が大きいほど大きく、I-TypeよりもG-Typeで最大耐力が大きい。図(b)は、へりあき面および寸法を変動要因とした図である。へりあき面が少ないほど、また、寸法が大きいほど最大耐力が大きくなり、ばらつきがあるものの、最大耐力が大きい程、初期剛性が高くなる傾向が見受けられる。図(c)は、同一要因の試験体について普通コンクリート($F_c=27\text{N/mm}^2$)の実験結果⁶⁾と比較した図である。初期剛性については、強度の違いによる差異が明確に見られないが、強度の上昇にともない、最大耐力は上昇している。

図-13に実験最大耐力 eP_{max} と有効埋め込み長さ l_e の関係を示す。図のとおり、支持耐力は、有効埋め込み長さが長くなるほど、ほぼ直線的に上昇する傾向である。また、2面(隅面) $C=75\text{mm}$ で最大耐力が最も小さく、1面 $C=75\text{mm}$ 、隅面 $C=150\text{mm}$ 、1面 $C=150\text{mm}$ となるにつれて最大耐力が大きくなっている。つまり、へりあき面が少ない場合、または、へりあき寸法が大きい場合で最大耐力が上昇する傾向である。

3.3 付着抵抗状態(歪み分布)

図-14にI-Typeのアンカー筋歪み分布を示す。歪みの勾配は引き抜き端側が最も大きく、荷重が増加するにつれて、奥側の歪み勾配が大きくなっている。したがって、引張抵抗は、引き抜き端側の抵抗力(付着力)が失われるにつれ、さらに奥側の区間が抵抗するといえる。また、同一荷重時において、有効埋め込み長さに関わらず、各区間、特に引き抜き端の勾配がほぼ同様の性状となっている。この性状は、普通コンクリー

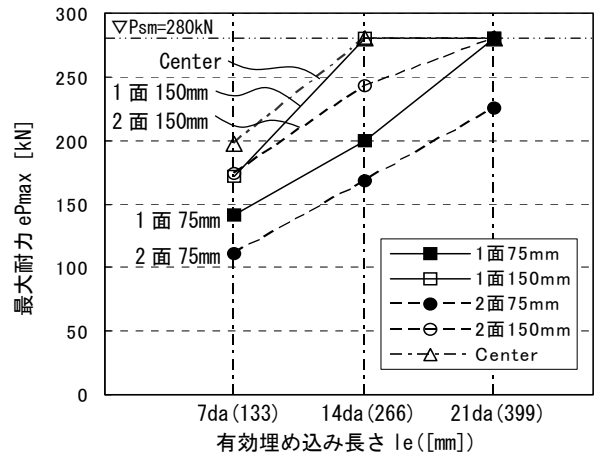


図-13 最大耐力比較(ガラス管タイプ)

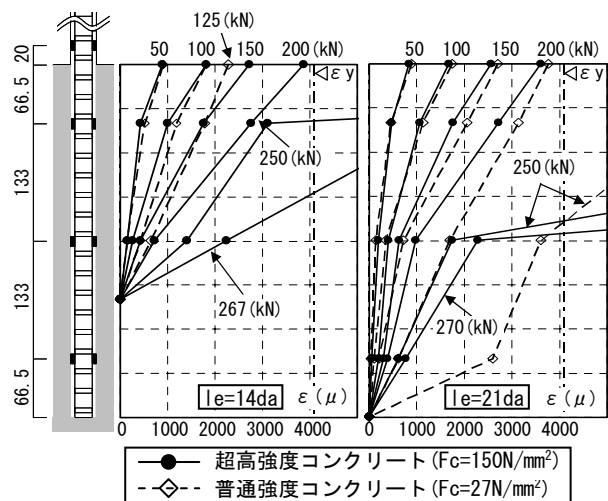


図-14 アンカー筋歪み分布 (I-Type, 1面 C=150)

トの特性と同様であるが、同一荷重時の引き抜き端部付着抵抗(付着応力)は、超高強度コンクリートで大きくなっている。

3.4 支持耐力評価式の検討

図-15に計算の最大耐力算出方法、表-2中に計算結果一覧および図-16に実験最大耐力と計算値の比較を示す。実験では、破断荷重の直前まで加力をしているため、計算値は、コーン状破壊で決定される Ta_2 と付着破壊で決定される Ta_3 の両者の小さい値を用いることとした。なお、 Ta_2 は、有効水平投影面積 A_c を用いてへりあき寸法の考慮を行っている。また、 Ta_3 については、へりあきを考慮した低減がなされていないが、文献5,6)で提案しているへりあきと埋め込み長さの関係による低減係数を用いて、計算を行うこととした。低減の際、2面(隅面)へりあきでは、さらにもう一回低減係数を乗じた場

合についても図・表中に示した。

図-16 に示すように、コーン状破壊した試験体の場合($l_e=7d_a$: 図中白抜き), 比較値が 0.73~1.05 と若干低い比較値で分布している。したがって、コーン状破壊では、コンクリートの割裂強度を概ね評価していると考えられる。

一方、付着破壊($l_e=14, 21d_a$)の場合、へりあきによる低減を一回行った実験値と計算値の比較値(図中灰色)は、0.6~0.9 程度の分布となっている。一面へりあきはやや低い分布であるが、2面(隅面)へりあきの場合、0.6 付近を中心に分布しており、特に計算値が大きく評価されている。この隅面へりあきの試験体に関して 2 回低減係数を乗じた場合(黒塗り), 比較値が 1.0 近くになるが、一面・Center の試験体の分布よりも低減がやや過大となる傾向である。これらより、超高強度コンクリートに定着された接着系アンカーは、付着強度がやや大きく計算されること、また、隅面に定着されたアンカーの耐力低減方法については、検討が必要であるといえる。

4. まとめ

150N/mm² 級の超高強度コンクリートに定着したあと施工アンカーの構造性能について引き抜き試験を行うことで以下の知見を得た。

- 1) 金属系アンカーの拡張部は、普通コンクリートの場合と同様には拡張せず、施工は困難である。このため、破壊状況は引き抜ける特性となり、埋め込み長さが長くなっても、支持耐力の上昇は小さく頭打ちの傾向となる。このため、既往の評価式との適合性が十分でない。
- 2) 接着系アンカーの破壊状況は、普通コンクリートと同様に引き抜き端のコーン状破壊と定着奥側の付着(付着割裂)破壊が生じる性状であった。その引張抵抗は、引き抜き端側が大きく、抵抗力(付着力)が失われるにしたがって、更に奥側の区間が抵抗する傾向である。実験の接着系アンカー支持耐力は、既往の評価式の計算値と比較して、コーン状破壊の場合にやや小さく、付着破壊の場合は小さい。

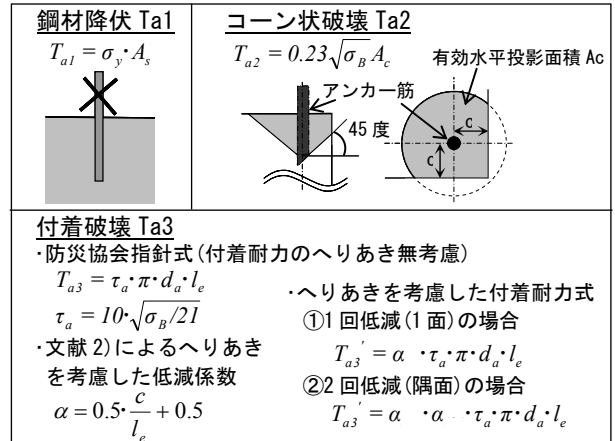


図-15 各破壊形式における最大耐力の算出方法

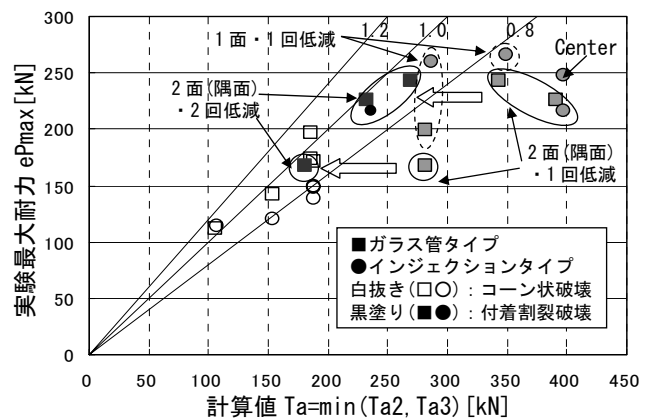


図-16 金属系アンカー要因および結果一覧

謝辞

本研究を行うにあたりサンコーテクノ株式会社の皆様、東京理科大学大学院生の山元雄亮君の協力を得ました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本建築防災協会: 既存鉄筋コンクリート建築物の耐震改修指針・同解説, 2001
- 2) 日本建築学会: 各種合成構造設計指針・同解説, 1985
- 3) 村山, 松崎他: 接着系あと施工アンカーの付着特性に関する実験研究—へりあき寸法が付着特性に及ぼす影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2pp.645-646, 2000
- 4) 中野, 松崎: 構造用接着系あと施工アンカーのせん断設計法に関する考察, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2pp.653-654, 2002
- 5) K.Nakano, Y.Matsuzaki: Structural Performance of Post-installed Bonded Anchors, Bond in Concrete -from research to standards-, pp.455-462, 2002
- 6) 酒井, 杉山, 中野, 松崎他: 定着長さとはりあき寸法が接着系あと施工アンカーの引張特性へ与える影響に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2pp.49-50, 2004