

論文 接着系あと施工アンカーの構造特性に関する実験研究

清原俊彦*1・松崎育弘*2・中野克彦*3・福本晃治*4

要旨: ポリエステル系樹脂およびセメント系固着剤を用いた接着系あと施工アンカーを、コンクリート圧縮強度が $10 \sim 24 \text{ N/mm}^2$ の低強度コンクリートに施工した場合の引き抜き力とせん断力に対する構造性能を把握するために実験を実施した。本実験で得られた実験結果、および、現状の接着系アンカーの設計式の基になっている実験データの耐力・変形性状を検討することにより、既往の設計式による耐力評価、および、引き抜き力とアンカー筋の抜け出し量との関係、せん断力とせん断ずれ量との関係を把握し、低強度コンクリートに対する適用性および接着系あと施工アンカーの構造特性に関する知見を得た。

キーワード: 低強度コンクリート, ポリエステル系樹脂, セメント系固着剤, 平均付着応力度, すべり量

1. はじめに

RC構造物の耐震補強に接着系あと施工アンカーが盛んに用いられているが、耐震補強を施す必要性のある既存建物において、 10 N/mm^2 程度のコンクリート強度しか有しないものも少なくない。接着系あと施工アンカーの設計式としては、「各種合成構造設計指針」¹⁾、「既存RC耐震改修設計指針」²⁾に示されている。設計式は耐力算定のみに限られており、変形性状に関しては規定されていない。また、両設計指針を作成する上で引用された実験データは、松崎らが1984年に報告した文献³⁾によるものである。既往の研究に関しても、最大耐力に関する研究がほとんどであり、変形性状まで言及したものは少ないのが現状である。一方、現在普及しているポリエステル系樹脂を用いた接着アンカーに対し、経年変化、耐熱性に優れているセメント系固着剤を用いた接着アンカーも使用されてきている。本報告は、文献³⁾のデータを加え、低強度コンクリートに対する適用性、および、セメント系アンカーの適用性を確認するとともに、引き抜き力およびせん断力に対す

表-1 引き抜き実験試験体一覧

試験体名	F_c (N/mm^2)	アンカー筋	穿孔深さ (mm)	アンカー カプセル
T100-19-R1~R3	9.8	SD345	8d	ポリエステル
T100-19-C1~C3		D19	(160)	セメント
T100-16-R1~R3		SD345	8d	ポリエステル
T100-16-C1~C3		D16	(130)	セメント
T100-19L-R1~R3		SD345	10d	ポリエステル
T100-19L-C1~C3		D19	(190)	セメント
T150-19-R1~R3	14.7	SD345	8d	ポリエステル
T150-19-C1~C3		D19	(160)	セメント
T150-16-R1~R3		SD345	8d	ポリエステル
T150-16-C1~C3		D16	(130)	セメント
T150-19L-R1~R3		SD345	10d	ポリエステル
T150-19L-C1~C3		D19	(190)	セメント
T240-19-R1~R3	23.5	SD345	8d	ポリエステル
T240-19-C1~C3		D19	(160)	セメント
T240-16-R1~R3		SD345	8d	ポリエステル
T240-16-C1~C3		D16	(130)	セメント

表-2 せん断実験試験体一覧

試験体名	F_c (N/mm^2)	アンカー筋	穿孔深さ (mm)	アンカー カプセル
S100-19-R1~R2	9.8	SD345	8d	ポリエステル
S100-19-C1~C2		D19	(160)	セメント
S100-16-R1~R2		SD345	8d	ポリエステル
S100-16-C1~C2		D16	(130)	セメント
S100-19L-R1~R2		SD345	10d	ポリエステル
S100-19L-C1~C2		D19	(190)	セメント
S150-19-R1~R2	14.7	SD345	8d	ポリエステル
S150-19-C1~C2		D19	(160)	セメント
S150-16-R1~R2		SD345	8d	ポリエステル
S150-16-C1~C2		D16	(130)	セメント
S150-19L-R1~R2		SD345	10d	ポリエステル
S150-19L-C1~C2		D19	(190)	セメント
S240-19-R1~R2	23.5	SD345	8d	ポリエステル
S240-19-C1~C2		D19	(160)	セメント
S240-16-R1~R2		SD345	8d	ポリエステル
S240-16-C1~C2		D16	(130)	セメント

*1 東京理科大学 工学部建築学専攻 (正会員)

*2 東京理科大学教授 工学部建築学科 工博 (正会員)

*3 東京理科大学助手 工学部建築学科 (正会員)

*4 東京理科大学大学院 工学研究科建築学専攻

る変形状、特に、引き抜き力に対するアンカー筋の平均付着応力と抜け出し量の関係について把握することを目的とする。

2. 実験

2.1 実験概要

実験は引き抜き実験とせん断実験の2シリーズからなる。引き抜き実験およびせん断実験の試験体一覧を表1,表2にそれぞれ示す。

実験に用いたコンクリートブロック供試体は、図1に示す形状の無筋コンクリートであり、あと施工アンカーの打設位置と試験方向は図に示す通りである。アンカーカプセルは、ポリエステル系およびセメント系のガラス管タイプである。アンカー筋は、SD345の異形鉄筋の先端を45°にカットしたものであり、異形鉄筋の材料試験結果を表3に示す。コンクリートの材料試験結果を表4に示す。コンクリートの圧縮試験は、実験時に実施し、材令は2週程度であった。

引き抜き実験加力装置図、せん断実験加力装置図を図2に示す。加力はいずれも一方向単調載荷とし、荷重、および、引き抜き実験においてはアンカー筋のコンクリート面よりの抜け出し量を、せん断実験においてはアンカー筋とコンクリート面との水平ずれ量を測定した。水平ずれ量の測定は、加力プレートの水平ずれ量を持ってアンカー筋の水平ずれ量とした。

2.2 引き抜き実験

試験体要因は、1)コンクリート圧縮強度3水準($\sigma_c=11.4, 13.2, 24.7\text{N/mm}^2$)、2)アンカーカプセル2種類(R:ポリエステル系, C:セメント系)、3)アンカー穿孔深さ2水準(8d, 10d[d:鉄筋呼び径])、4)アンカー筋径2種類(D16, D19)であり、試験体総数48体である。

2.2.1 引き抜き耐力および破壊性状

図3に引き抜き耐力($P_{\max}$)とコンクリート圧縮強度(σ_c)との関係、図4に $P_{\max}$ とアンカー筋の有効埋め込み長さ(l_e : l_e =穿孔深さ-アンカー筋径)との関係をそれぞれ示す。図3中には文献³⁾の穿孔深さが8d, 10dの試験体(アンカー筋:M20,

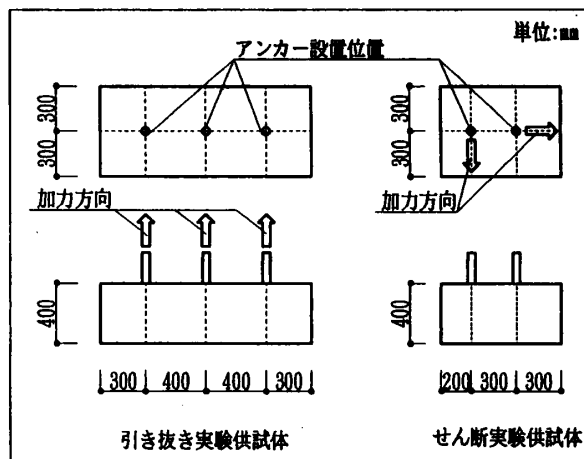


図1 コンクリートブロック供試体形状

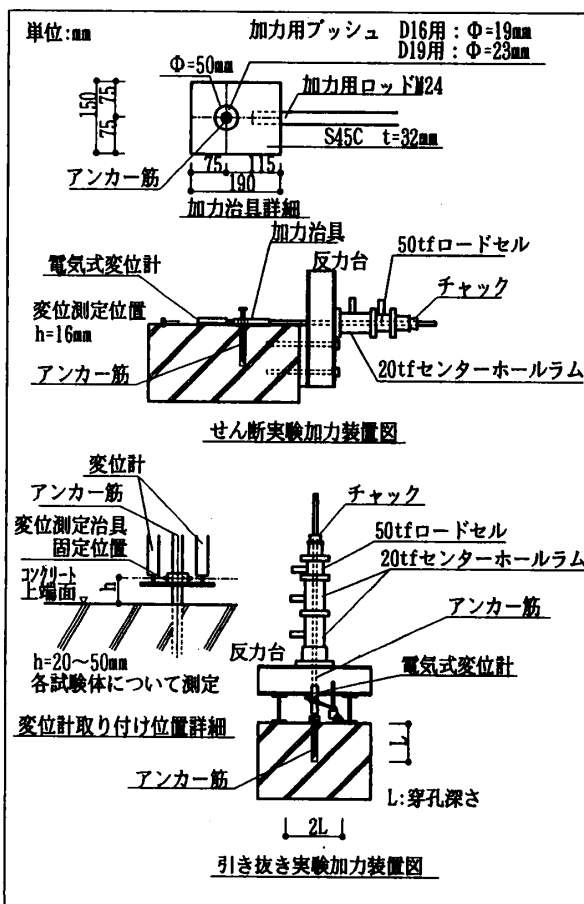


図2 加力装置図

表-3 アンカー筋材料試験結果

	降伏強度 (N/mm ²)	破断強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
D19	384	585	181
D16	404	618	198

表-4 コンクリート材料試験結果

F_c (N/mm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
9.8	11.4	1.23	19.2
14.7	13.2	1.55	21.5
23.5	24.7	2.12	25.6

ポリエステル系樹脂), 図4中には文献³⁾の σ_B が3水準(σ_B : 12, 20, 33 N/mm²級)で穿孔深さ5水準(5d, 6d, 8d, 10d, 12d)の試験体も合わせて示した。図3のコンクリート圧縮強度は, $11.4 \leq \sigma_B$ (N/mm²) ≤ 33.2 の範囲である。 σ_B が大きくなるにつれ P_{max} は大きくなる傾向が見られたが、 $\sigma_B \approx 20$ (N/mm²)を超えると σ_B に対する P_{max} の上昇率は小さくなっている。図4より、 P_{max} と l_e の関係は、文献³⁾においても報告されているように、 l_e が大きくなるにつれて直線的に P_{max} が増大していることが確認された。破壊パターンは付着破壊とコーン破壊の複合破壊の様相を示したが、付着破壊長さとコンクリート圧縮強度および埋め込み長さとの相関関係はみられなかった。

また、ポリエステル系とセメント系を比較すると、耐力および破壊性状において顕著な差はみられなかったが、ポリエステル系では樹脂とコンクリート面において、セメント系では固着剤とアンカー筋の界面において、付着破壊が生じていた。

図5に既往の設計式^{3, 4)}による耐力算定値(T_a)と P_{max} の比較を示す。この算定式は工学単位系で記述されているため、耐力算定後、SI単位系に換算した。全ての試験体において実験値が算定値を上回った。この算定式は、有機系樹脂のみを対象とし、 $F_c = 150 \sim 360 \text{ kgf/cm}^2$ (14.7 ~ 35.3 N/mm²)が適用範囲である。本実験結果より、 $\sigma_B = 11.4 \text{ N/mm}^2$ までの低強度コンクリートまで、また、セメント系接着アンカーに対しても適用可能であることが確認された。図6にアンカー筋の降伏前に付着破壊した試験体の P_{max} 時の平均付着応力度(τ_{bmax})と付着に対して有効な埋め込み長さ(l_b)との関係を示す。ここに、コンクリート上端面近傍では付着は期待できないとし、 $l_b = l_e - d$ とした。 τ_{bmax} は、この範囲内でのアンカー筋の歪み分布を三角形分布に仮定し、この範囲で付着応力度は一様に分布していると仮定して算出した。図中に実線で示した付着強度は文献³⁾で実施した付着強度試験から得られた最大付着強度である。低強度コンクリートにおいてばらつきがみられるが、コンクリート強度別にほぼ一定値を示し

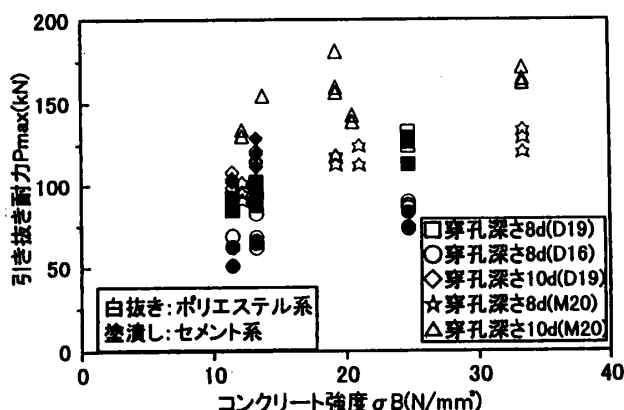
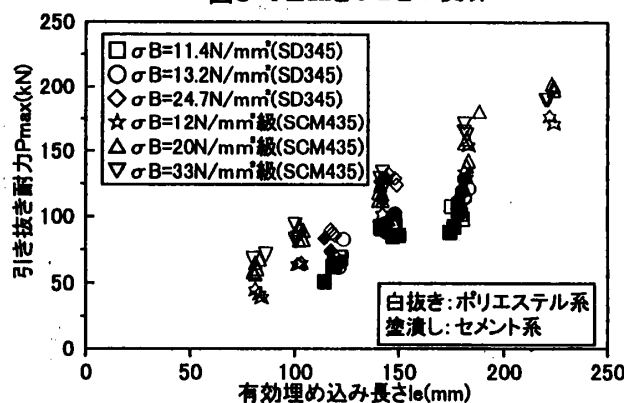
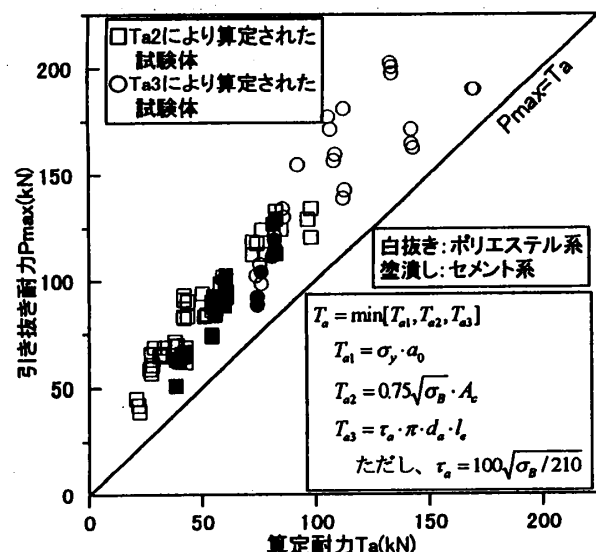
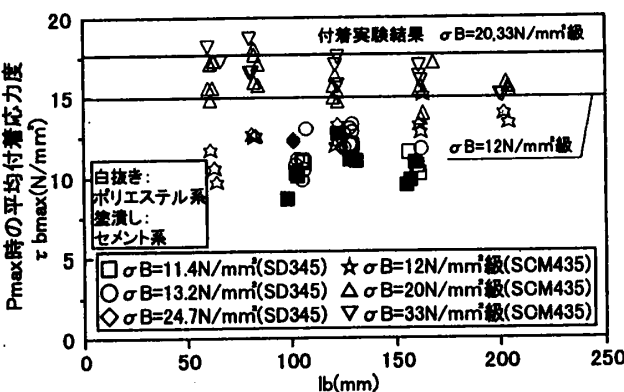
図3 P_{max} と σ_B との関係図4 P_{max} と l_e との関係

図5 実験結果と算定耐力との比較

図6 τ_{bmax} と l_b との関係

ていることがわかる。図6よりアンカー筋の平均付着応力度で引き抜き耐力を評価できるものと思われる。

2. 2. 2 アンカー筋の抜け出し性状

図7に文献³⁾における試験体($\sigma_B=20\text{N/mm}^2$ 級, 穿孔深さ:5d,6d,8d,10d,12d,アンカー筋:SCM435-M20($\sigma_y=823\text{N/mm}^2$),ポリエステル系樹脂)の引き抜き力(P)とアンカー筋の抜け出し量(δ)との関係を示す。最大耐力および最大耐力時の抜け出し量は穿孔深さが大きくなるにつれて大きくなる傾向があるが,初期剛性には穿孔深さによる顕著な差異は見られない。図6で示したように, $P_{\max}$ 時の平均付着応力度 $\tau_{b\max}$ は l_b に関わらずほぼ一定であることから,引き抜き力により l_b の区間において付着応力が一様に分布していると仮定して,アンカー筋の伸び量を抜け出し量から差し引いたものをすべり量(s)とした。 τ_b と s/l_b との関係を図8に示す。図より, l_b の違いに関わらず, s/l_b が0.5%程度までは同様な傾向を示していることがわかる。このことは,コンクリート種類別,アンカー筋種類別に同様なことが言える。図9に $\sigma_B=13.2, 24.7\text{N/mm}^2$ で穿孔深さが8dの試験体の τ_b-s/l_b 関係を示す。ポリエステル系とセメント系において顕著な差はみられないが,セメント系において,剛性が多少高くなる傾向がみられた。図中に文献³⁾の $\sigma_B=12\text{N/mm}^2$ 級で穿孔深さが8dの試験体も合わせて示した。コンクリート種類およびアンカー筋種類により,多少の違いがみられた。図10にアンカー筋が降伏前に付着破壊した試験体とアンカー筋が降伏した後に付着破壊した試験体の τ_b-s/l_b 関係を示す。実験データは文献³⁾の $\sigma_B=20\text{N/mm}^2$ 級で,アンカー筋に材質がSCM435($\sigma_y=823\text{N/mm}^2$),SS400($\sigma_y=294\text{N/mm}^2$)でM20を用いた試験体である。SS400を用いた試験体において,穿孔深さが大きくなるに従い,降伏時および引き抜き耐力時の平均付着応力度が低下している。これは,降伏時の平均付着応力度は埋め込み深さが大きくなるほど小さく,引き抜き耐力時にはアンカー筋がコンクリート端部より徐々に降伏していくために付着が喪

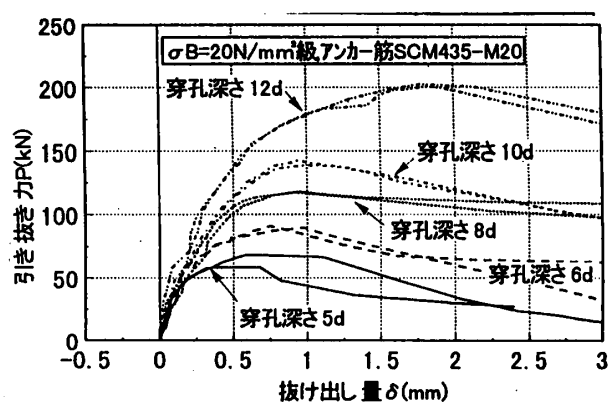


図7 引き抜き力-抜け出し量関係

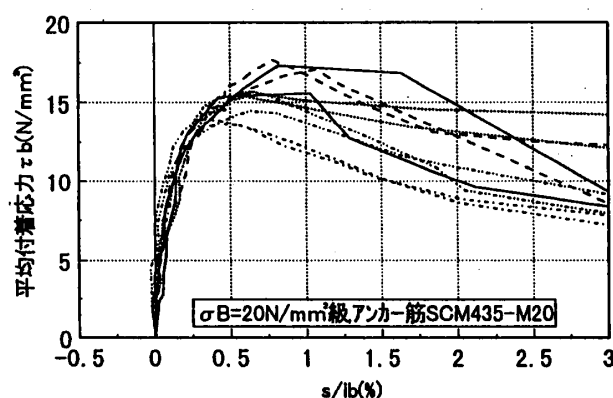


図8 l_b を要因とした τ_b-s/l_b 関係

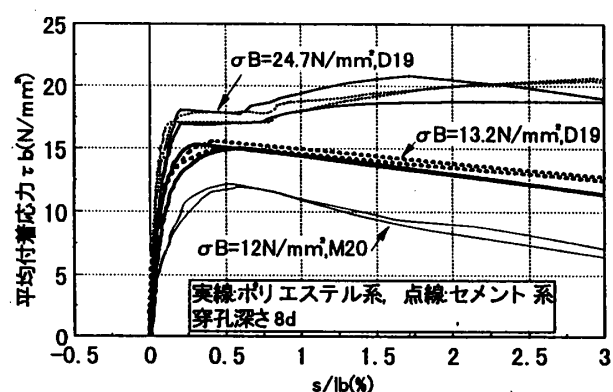


図9 σ_B を要因とする τ_b-s/l_b 関係

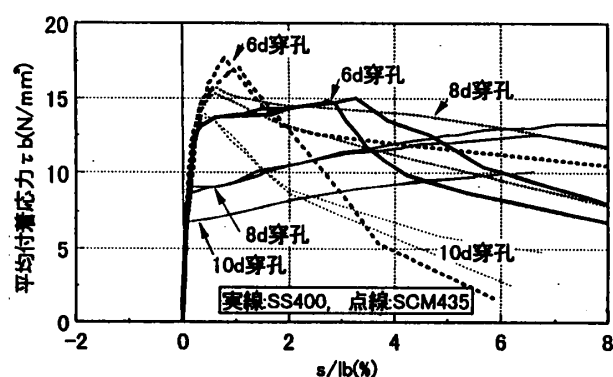


図10 アンカー筋の降伏の有無による τ_b-s/l_b 関係

失し、付着に対し有効な埋め込み長さが短くなるためと考えられる。

以上のことより、接着系あと施工アンカーの引き抜き力と抜け出し量との関係は、平均付着応力とすべり量との関係を把握することにより評価できると考えられる。すべり量には、アンカー筋全体の付着応力によるすべり量とコンクリート供試体のせん断変形量が含まれている。埋め込み長さが5d~12dと短い試験体による結果であり、また、施工誤差による影響も含まれているが、本実験結果より求めた付着応力とすべり量との関係は微妙な違いであるが、コンクリート種類、固着剤種類、アンカー筋節形状の違いにより差がみられた。

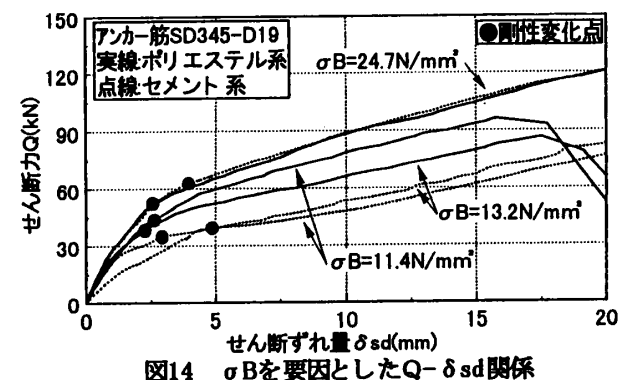
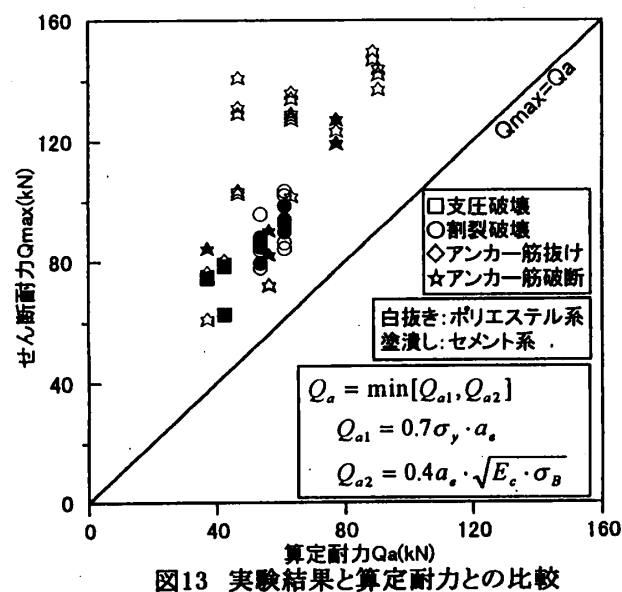
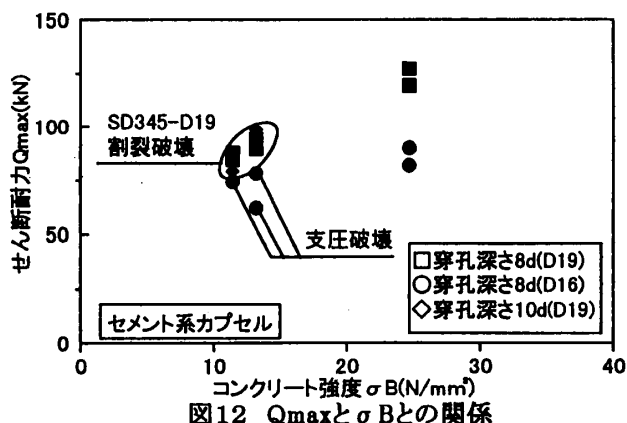
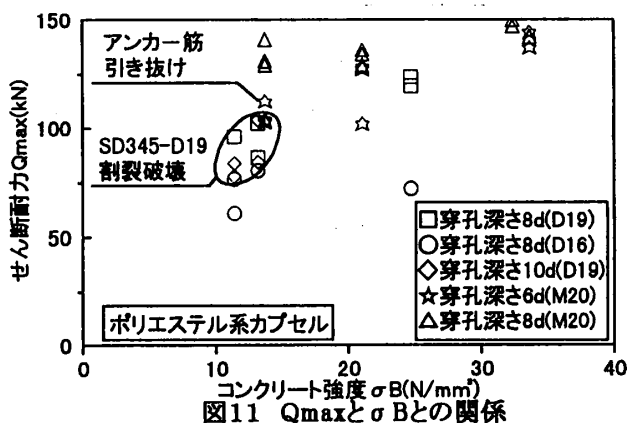
2.3 せん断実験

試験体一覧を表2に示す。試験体要因は引き抜き実験シリーズと同様であり、1)コンクリート圧縮強度3水準、2)アンカーカプセル2種類、3)アンカー穿孔深さ2水準、4)アンカー筋径2種類であり、試験体総数32体である。

2.3.1 最大耐力および破壊性状

図11および図12にコンクリート強度とせん断耐力との関係を示す。試験体の破壊性状は、1)アンカー筋のせん断破壊、2)コンクリートの支圧破壊に分類された。コンクリートの支圧破壊には、アンカー筋の引き抜き、および、支圧破壊に伴うコンクリート供試体の割裂破壊も含まれる。この割裂破壊は、加力線上にコンクリート供試体が割裂したものであるが、低強度コンクリート試験体のみにもみられた特徴的な破壊性状である。図中に、コンクリートの支圧破壊により最大耐力の決定した試験体をマークした。また、図11には文献³⁾の σ_B が3水準(12, 20, 33N/mm²級)で、穿孔深さ2水準(6d, 8d)の試験体も合わせて示した。アンカー筋がせん断破壊した試験体は、 σ_B に関わらずほぼ同様な耐力を示し、コンクリートが支圧破壊した試験体はコンクリート強度が大きくなるに従い最大耐力は上昇する傾向がみられた。せん断耐力に関しては、ポリエステル系とセメント系で顕著な差異はみられなかった。

図13に既往の設計式^{*)}による耐力算定値



との比較を示す。全ての試験体においてせん断耐力は算定値を上回っており、引き抜き実験と同様に $\sigma_s=11.4\text{N/mm}^2$ の低強度コンクリートまで、また、セメント系アンカーに対しても既往の設計式が適用可能であることが確認された。

2. 3. 2 変形性状

図14にコンクリート強度3水準を比較したせん断力(Q)－せん断ずれ量(δ_{sd})関係を示す。コンクリート強度に関わらず、剛性が急変する点(剛性変化点)がみられる。この剛性変化点のせん断力は、コンクリート強度が高いほど高い傾向がみられる。また、ポリエステル系とセメント系で比較すると、コンクリートの支圧破壊により耐力が決定している試験体においては、セメント系の方が剛性変化点のせん断力が低くなっている。また、剛性変化点以降の剛性は、コンクリート強度、固着剤種類に関わらずほぼ一定である。図15に穿孔深さの違いによるQ－ δ_{sd} 関係を示す。穿孔深さによる顕著な差異はみられない。図16にアンカー筋の降伏点強度およびアンカー筋径の違いによるQ－ δ_{sd} 関係を示す。降伏点強度が等しい場合には径が大きいほど、径が等しい場合には降伏点強度が高いほど、剛性変化点のせん断力は大きくなっている。

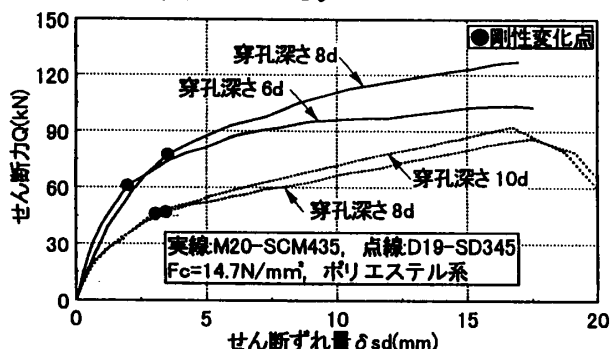


図15 穿孔深さを要因としたQ－ δ_{sd} 関係

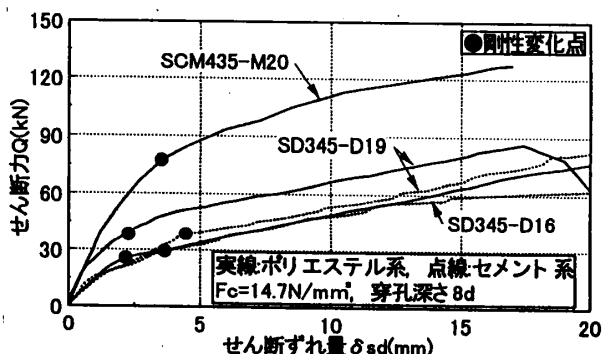


図16 アンカー筋種類を要因としたQ－ δ_{sd} 関係

以上のことより、せん断力とせん断ずれ量の関係は、剛性変化点まではコンクリートの $\sigma - \epsilon$ 曲線とアンカー筋のせん断剛性に影響を受け、剛性変化点以降は、せん断面においてアンカー筋が曲げ塑性化し、アンカー筋のみのせん断剛性がせん断ずれ量に影響を与えていると思われる。

3. まとめ

接着系あと施工アンカーの構造性能に関して、以下の知見が得られた。

- ①コンクリート圧縮強度が 10N/mm^2 程度の低強度コンクリート部材に施工した接着系あと施工アンカーの引き抜き耐力、およびせん断耐力は既往の算定式により評価できる。
- ②今回用いたポリエステル系アンカーとセメント系アンカーの違いが構造性能に与える影響は顕著ではなかった。
- ③接着系あと施工アンカーの引き抜き耐力は平均付着応力度で評価でき、抜け出し性状は平均付着応力度とすべり量をモデル化することにより評価でき、その関係はコンクリート種類、アンカー筋節形状、固着剤種類に影響を受ける。
- ④接着系あと施工アンカーのせん断力とせん断ずれ量との関係は、コンクリートの支圧性状、アンカー筋の降伏点強度、固着剤の種類により影響を受ける。

[謝辞] 本研究を行うにあたり資料を提供していただいた日本デコラックス㈱に感謝します。

[参考文献]

- 1) 日本建築学会：各種合成構造設計指針・同解説，1985
- 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・同解説，1990改訂
- 3) 松崎育弘，川瀬清孝，永田守正，丹羽亮：樹脂アンカーの支持耐力に関する実験研究，第6回コンクリート工学年次講演会論文集，pp393-396，1984