

接着系あと施工アンカーの耐久性評価



Keywords

あと施工アンカー 押し抜き試験 アルカリ浸漬
有機注入 無期注入 不飽和ポリエステル

AK11099 日影 館 拓也
AK11122 山村 路明

1. はじめに

1.1 あと施工アンカー

コンクリートに埋込まれるアンカーボルト（アンカー）のうち、コンクリートが固まってからドリルなどで穿孔し、アンカーボルトを打ち込むものである。あと施工アンカーの種類は大きく分けて3種類あり、金属拡張アンカーと接着系アンカー、その他に分けられる。あと施工アンカーの使用箇所としては、内外装材の取付けや設備機器の取付け、既存建築物の耐震改修における補強部材の接合などに使われている。

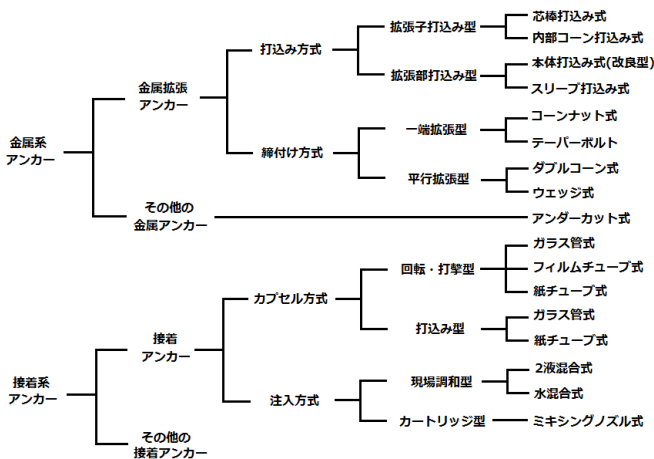


図1 あと施工アンカーの種類

1.2 研究背景

あと施工アンカーについては、建築基準法に基づく長期荷重に対する材料強度、許容応力度などが示されていない。このため、建築物において主要構造部に原則的に使用できず、耐震改修など一部のみで使用を認められている。長期許容応力度を定めるためには、クリープ変形や耐久性など、長期的な性状に対する様々な知見の蓄積が必要である。
また、平成24年12月2日に中央自動車道笹子トンネル天井板の落下事故が起きた。その原因の一つとして、接着剤に使用された樹脂がアルカリによって加水分解を生じ、接着力を低下させることが可能性として考えられている。ACI基準においても、樹脂の耐アルカリ性は評価項目の一つとなっており、長期間コンクリート中に埋設されるアンカーとしては、耐アルカリ性の評価が必要になる。

JCAA(日本あと施工アンカー協会)の製品認証基準では、耐アルカリ性の評価として、煮沸したアルカリ溶液中での樹脂単体の質量減少率によって評価が行われているが、付着力に対する直接的な評価がなされていない状況であったため、ACIで実施されている押しぬき試験(スライステスト)について導入を試みた。

2. 耐アルカリ性試験について

2.1 耐アルカリ性試験の目的

日本建築あと施工アンカー協会(JCAA)の接着系アンカーの製品認証では、現在樹脂単体の耐アルカリ性を確認しているのみである。長期的に使用するために必要な耐久性を有していることの確認と今後必要と思われる評価項目や評価方法、評価基準に関する検討を行うため、実験的検討を行う。

2.2 試験体概要

コンクリートは表1の調査でφ150mm×300mmの土木用の型枠に打設を行った。全ねじボルトは、JIS G4107高温用合金鋼ボルト材M12 SNB7を使用する。機械的性能を表2に示す。

表1 コンクリート配合表

W/C (%)	S/a (%)	単位量(kg/m³)				
		C	W	G	S	Ad
70.8	51.7	263	186	887	909	2.63

セメント[C]:普通ポルトランドセメント(密度:3.16g/cm³)
水[W]:水道水
粗骨材[G] 山砂(中目砂)
表乾密度2.64g/cm³ 絶乾密度2.61g/cm³
粗粒率2.51 細骨材[S] 石灰碎石
表乾密度2.70g/cm³
絶乾密度2.69g/cm³ 粗粒率6.59
AE減水剤[Ad]: ポゾリスNo.70
設計基準強度 20N/mm²
圧縮許容応力度 27.5N/mm²

表2 SNB7の機械的性能

ボルト材の 記号	径(mm)	耐力	引張強さ	伸び	絞り
		(N/mm ²)	(N/mm ²)	(%)	(%)
SNB7	63mm以下	725以下	860以上	16以上	50以上
	63mmを超え100mm 以下	665以下	800以上	16以上	50以上
	100mmを超え120mm 以下	520以下	690以上	18以上	50以上

接着剤は①有機注入型(ラジカル反応型)、②有機注入型(エポキシ樹脂)、③無機注入型(セメント系)、④不飽和ポリエステル(硬質)注入型、⑤不飽和ポリエステル(軟質)注入型の5種類を使用し製造所の仕様・手順を遵守して施工する。各接着剤の特徴は以下のとおりである。

① エポキシ樹脂

高分子材料の中で、硬化収縮が小さく、金属、プラスチック、木材、ガラス、コンクリートなど、広範囲の材料に対して接着性に優れ、耐水性、耐アルカリ性、耐弱酸性、耐溶剤性に優れる。

② セメント系

臭気やVOCガスの発生が無く、有機物質によるシックハウス等の恐れがなく、無機系アンカーなので、硬化後はコンクリートと一体化。短時間で硬化し、躯体同等の強度を発揮する。セメントを主材としているため引火の恐れがなく、また孔部が湿潤状態でも施工が可能であるという利点がある。

③ 不飽和ポリエステル

エポキシ樹脂と比較して、硬化収縮が大きく、耐水性、耐酸性には優れるが、耐アルカリ性は低い。

2.3 試験体の作成

1) 150mm×300mmのコンクリート試験体の打設

試験体作成と実験に関してはACI 355.4-11を参考にし、次の手順で行う。

- ① 表1の調合で粗骨材、細骨材、セメント、水を計量する。
- ② コンクリートミキサーを使用して①の材料を混ぜ合わせる。
- ③ 150mm×300mmの土木用型枠に詰めて4週間養生を行い乾燥させる。

2) アンカー筋打設

① コンクリート試験体の墨だし

150mm×300mmの円柱型コンクリート試験体の中心であるアンカー筋の施工ポイントに墨だしをする。

② コンクリート試験体の穿孔

コンクリート試験体をドリルの振動で移動しないようしっかり固定し、墨だした部分を穿孔径16mm、穿孔長280mmに垂直に穿孔する。

③ 孔内清掃

ブラシなどで内壁に付着している切粉を落とし、掃除機を使用して、孔内に切粉が残留しないよう清掃する。

④ コンクリート試験体の穿孔部分の計測

穿孔径・穿孔長が適切であるかをメジャー・ノギスで計測し確認する。

⑤ 接着剤注入

主剤と硬化剤(主剤の1.5%~2.0%)の2種類の液体を調査させて、接着剤を作成し、孔底側より空気を巻き込まないように注意して注入する。

⑥ アンカー筋埋込

アンカー筋のネジ部分に接着剤が十分に付着するように、回しながら押し込む。

⑦ 硬化養生

接着剤が硬化するまで2週間アンカー筋が動かないように楔を使用して固定する。

3) 押し抜き試験体作成

- ① コンクリートカッターを使用して厚さ30mm±3mmに切断する。

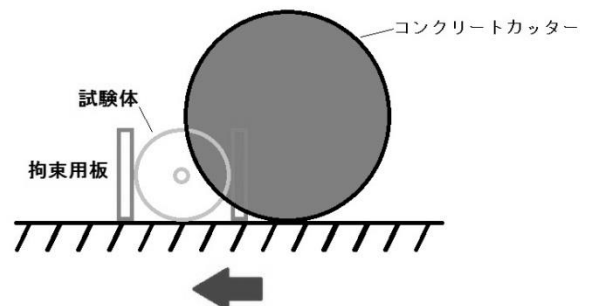


図2 コンクリートカッター断面図

4) 押し抜き試験体の仕様

各試験条件の試験体個数を以下の表3に示す

表3 各試験体の個数

接着剤種類	試験体記号	気中	耐アルカリ			耐アルカリ(60℃)		
			500時間	1000時間	1500時間	500時間	1000時間	1500時間
①有機系注入型 エポキシ	EI Fc18	12	12	12	12	13	13	13
	EI Fc36	5	4	4	4	5	5	4
②有機系注入型 ランカル	RI Fc18	3	3	3	3	4	4	4
	RI Fc36	3	3	3	3	4	4	4
③無機系注入型	II Fc36	5	4	4	4	5	5	5
④不飽和ポリエステル(軟質)	PIs	6	4	4	4	4	3	4
④不飽和ポリエステル(硬質)	PIh	5	4	4	4	5	5	5

各試験体条件の詳細について

① 気中

乾燥状態 (23±4.5℃、50±5%RH) で保管する。



写真1 気中

② 常温でのアルカリ浸漬

アルカリ性水溶液 (KOH、pH13.2±0.2) を作成し、その中に試験体を浸漬する。逐一アルカリ溶液の濃度を調整し、試験体をそれぞれ500時間、1000時間、1500時間に分けて曝露する。



写真2 アルカリ浸漬

③ 60℃でのアルカリ浸漬

アルカリ性水溶液 (KOH、pH13.2±0.2) を作成し、その中に試験体を浸漬した状態で500時間、1000時間、1500時間に分けて60℃に調節されたチャンバー内にて曝露する。なお、チャンバー内の温度は日本建築あと施工アンカー協会 (JCAA) の接着系あと施工アンカー評価認証内容による固着後環境条件を参考に60℃とした。



写真3 60℃アルカリ浸漬

2.2.3 押し抜き試験方法

押し抜き試験の方法を以下に示す

①試験体を拘束具にはめ、30N・mの力で締める。

②100 t 圧縮試験機に補助板 (穴径25mm)、拘束した試験体、押し抜き棒、変位計測用プレート、変位計、ロードセル、磁石ガイドを設置する。また、変位計を設置する際、あらかじめ10mmほど押し込んでから注意して設置する。

③加力し、鉄筋部分を押し抜く。なお今年新たに用意した試験体のコンクリート強度については試験体の圧縮試験を行い計測する。



写真4 実験器具設置

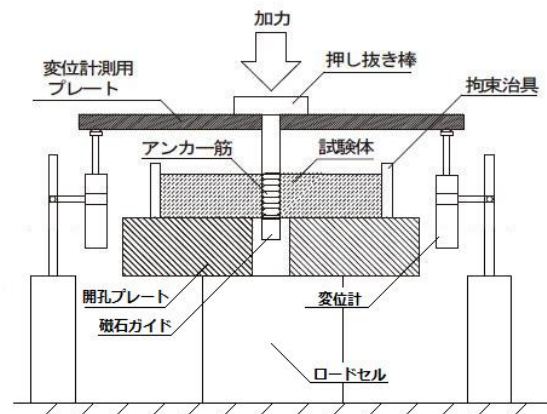


図3 実験器具設置 断面図

2.3 実験結果

実験で得られた結果を以下の表4に示す

表4 実験結果

接着剤種類	試験体記号	試験条件	最大荷重平均(kN)	付着応力度平均(N/mm ²)	標準偏差	
①有機系注入型エポキシ	EI FC18	気中	22.16	21.45	11.07	
		常温浸漬	500時間	12.07	11.82	3.26
			1000時間	17.20	16.55	3.05
			1500時間	14.94	14.39	3.42
		60°C浸漬	500時間	13.23	12.68	1.79
			1000時間	14.12	13.93	3.11
	1500時間		13.48	13.32	2.56	
	EI FC36	気中	15.12	15.08	4.57	
		常温浸漬	500時間	17.79	17.15	1.51
			1000時間	14.86	14.24	6.48
			1500時間	16.06	15.33	5.18
		60°C浸漬	500時間	16.32	15.64	1.94
			1000時間	15.24	14.51	2.31
	1500時間		15.32	14.95	2.08	
②有機系注入型ラジカル	RI FC18	気中	11.85	11.19	3.09	
		常温浸漬	500時間	14.33	13.65	3.04
			1000時間	14.42	14.40	4.39
			1500時間	14.13	13.81	2.07
		60°C浸漬	500時間	14.99	14.36	3.60
			1000時間	11.88	11.98	2.59
	1500時間		14.81	14.27	1.70	
	RI FC36	気中	12.48	12.08	4.47	
		常温浸漬	500時間	16.28	15.74	4.64
			1000時間	14.65	14.43	1.27
			1500時間	24.95	24.18	1.39
		60°C浸漬	500時間	16.03	15.30	3.92
			1000時間	15.85	15.26	4.10
	1500時間		20.98	22.74	10.43	
③無機系注入型	II FC36	気中	11.85	11.45	3.45	
		常温浸漬	500時間	13.25	12.81	2.81
			1000時間	16.60	15.59	1.36
			1500時間	15.95	14.97	4.16
		60°C浸漬	500時間	15.26	15.06	6.46
			1000時間	14.77	14.42	9.26
1500時間	12.55		12.01	1.66		
④不飽和ポリエステル(軟質)	PIs	気中	1.55	1.527	0.49	
		常温浸漬	500時間	0.73	0.709	0.66
			1000時間	0.48	0.472	0.36
			1500時間	1.13	1.109	0.78
		60°C浸漬	500時間	0.88	0.868	0.16
			1000時間	1.22	1.233	0.70
1500時間	1.36		1.356	0.63		
④不飽和ポリエステル(硬質)	PIh	気中	8.52	8.33	2.29	
		常温浸漬	500時間	6.65	6.55	2.72
			1000時間	4.76	4.76	1.38
			1500時間	7.46	7.45	2.67
		60°C浸漬	500時間	3.58	3.60	1.69
			1000時間	2.64	2.74	1.54
1500時間	3.64		3.58	2.22		

2.4 考察

2.4.1 付着強度について

① 有機系注入型エポキシ

試験体 EI FC18 について

すべての試験条件において気中よりも、付着応力度は減少した。

全体としては 500 時間の付着応力度平均が一番低くなる結果となった。

傾向としては浸漬時間に比例して最大荷重が減少していた。また 60°C加熱の場合は常温に比べてより大きく荷重が減少した。

また 1000 時間の試験体には数多くひびが見られたが、ほかの試験条件と比べて特に試験結果に影響はなかったように感じられた。

試験体 EI FC36 について

すべての試験条件において付着応力度、最大荷重ともに有意な差は見られなかった。

② 有機系注入型ラジカル

試験体 RI FC18 について

すべての試験条件において付着応力度、最大荷重ともに気中よりも大きくなっている。

試験体 RI FC36 について

気中に比べて、そのほかの試験条件では付着応力度が上昇している結果となった。

最大荷重は 1500 時間加熱の時に一番高い値が計測された。

③ 無機注入型

気中に比べて、そのほかの試験条件では最大荷重に大きな変化はなかったが付着応力度が上昇する結果となった。これは無機注入型接着剤の主剤がセメントであり、アルカリの影響で強度があがる可能性があるよってアルカリに浸漬した試験条件ではアルカリの影響を受け、強度が上がったと考えられる

また 1000 時間加熱では付着応力度に大きなばらつきが生じた。これは II-24 の試験体の最大荷重が 3.3KN と非常に小さな値を計測したためである。

原因としては、押し抜き試験をおこなうまえに鉄筋部分に大きな荷重がかかったためだと思われる。

④ 不飽和ポリエステル(軟質)

アルカリ 500 時間と 1000 時間では気中に比べて付着応力度が大きく低下している。

また気中に比べてそのほかの条件では最大荷重平均、付着応力度平均ともに減少している。

⑤ 不飽和ポリエステル(硬質)

気中にくらべてほかの試験条件では、浸漬時間に比例して付着応力度が低下している。

また 60℃加熱の試験体は常温浸漬時よりも付着応力度、最大荷重とも大きく減少している。

2.4.2 押し抜き部分の形状について

写真5のような押し抜き部分をコーン型と呼ぶ。

EI-1(写真5左側)は押し抜き部分の下部に多量のコンクリートが付着しているが、EI-83(写真5右側)と比較すると、EI-83のアンカー筋にはほとんどコンクリートが付着していない。これは最大荷重が高いときは試験体のコンクリート部分で破断しているが、アルカリ浸漬を行った試験体では接着剤の付着力の低下が起きたためだと考えられる。

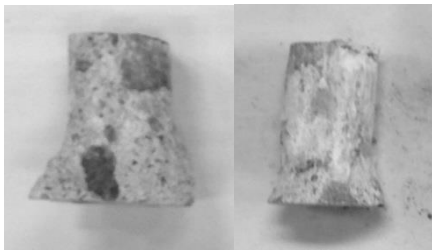


写真5 コーン型

写真6のような押し抜き部分をキャンディ型と呼ぶ。

これは接着剤がアルカリ浸漬によって劣化を起こし、コンクリートにしっかりと付着していない。そのため接着剤部分で破断し、押しぬいたアンカー筋がこのような形状になる。

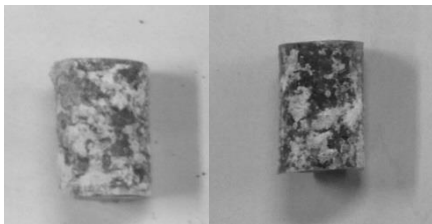


写真6 キャンディ型

2.4.3 昨年度との比較

今年使用したEI、RI、IIの3種の試験体は昨年施工したものを使用しており、約1年の期間が過ぎているので、その影響について調査した。結果として、RI、IIの試験体は明確に最大荷重と付着応力度の低下が確認でき、接着剤が劣化したものと考えられる。また、EIは最大荷重と付着応力度が増加しており、それに対して標準偏差も増えているので、切断方法の違いなどの原因が試験体に影響を与え昨年度より高く値が計測されてしまったものだと考えられる。

表5 昨年度との結果比較

接着剤種類	試験体記号	試験条件	最大荷重平均(kN)	付着応力度平均(N/mm ²)	標準偏差	
①有機系注入型エポキシ	EI	去年	気中	17.18	14.26	3.78
			1000時間	16.15	13.78	1.96
		今年	気中	18.64	18.27	7.82
			1000時間	16.03	15.4	4.77
②有機系注入型ラジカル	RI	去年	気中	25.01	19.55	2.88
			1000時間	21.43	19.14	3.74
		今年	気中	12.17	11.64	3.78
			1000時間	14.54	14.42	2.83
③無機系注入型	II	去年	気中	17.13	14.38	3.80
			1000時間	21.45	18.97	7.28
		今年	気中	11.85	11.45	3.45
			1000時間	16.6	15.59	1.36

各試験体の付着応力度平均の指数近似線及び標準偏差を表したグラフを以下に示す。これを用いて各試験体ごとの計測結果から傾向を考察する。

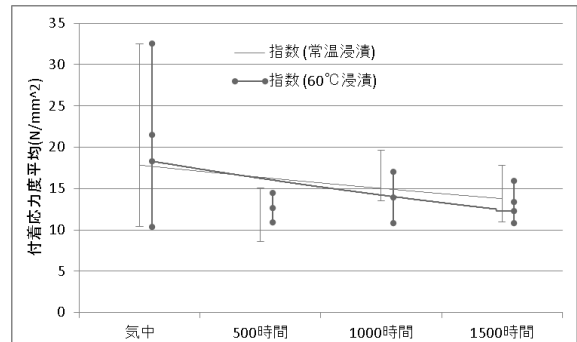


図4 付着応力度平均指数近似
FC18 EI

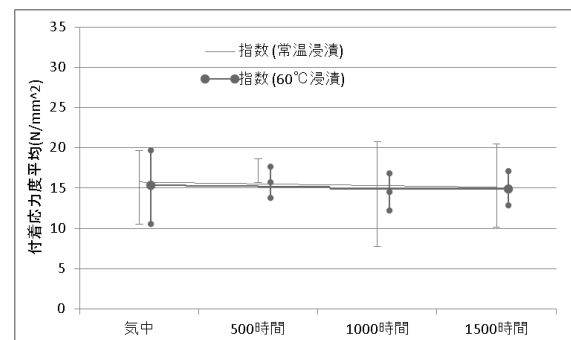


図5 付着応力度平均指数近似
FC36 EI

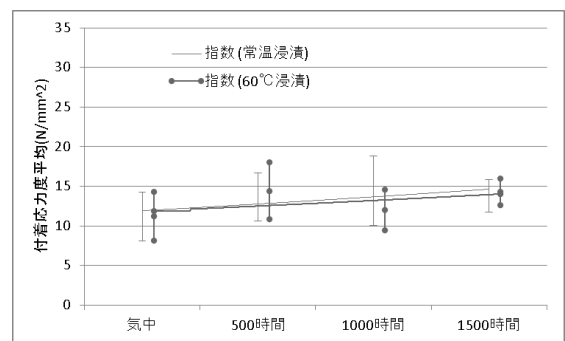


図6 付着応力度平均指数近似
FC18 RI

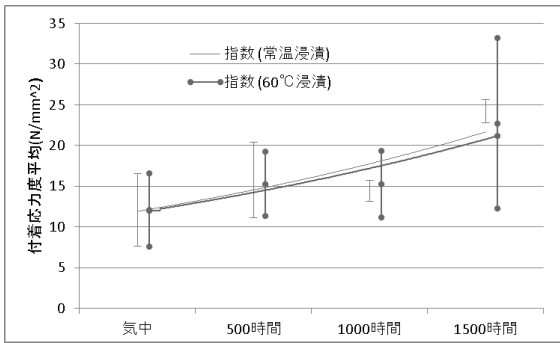


図7 付着応力度平均指数近似
FC36RI

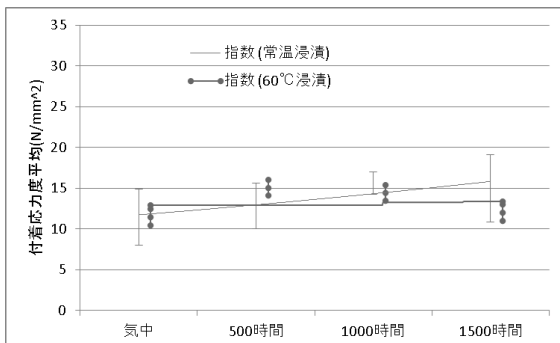


図8 付着応力度平均指数近似
FC36II

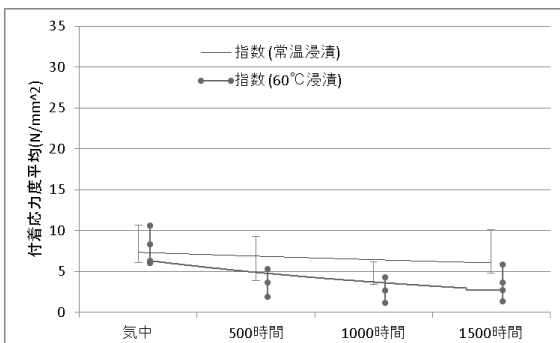


図9付着応力度平均指数近似
PIh

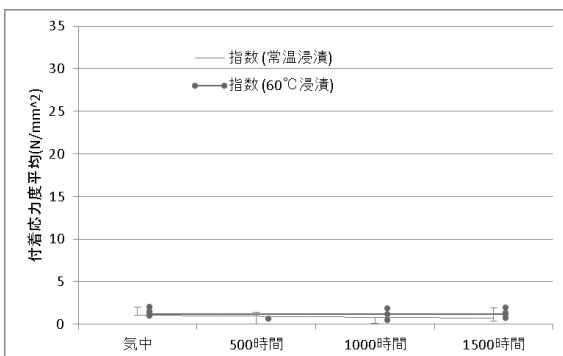


図10 付着応力度平均指数近似
PIs

2.5 まとめ

考察した結果を以下の表6に示す。

表6 実験結果まとめ

接着剤の種類	試験体記号	耐アルカリ性	60°Cでの耐アルカリ性
①有機系注入型 エポキシ	EI Fc18	劣化は確認されない	劣化は確認されない
	Fc36	劣化は確認されない	劣化は確認されない
②有機系注入型 ラジカル	Ri Fc18	劣化は確認されない	劣化は確認されない
	Fc36	劣化は確認されない	劣化は確認されない
③無機系注入型	II Fc36	劣化は確認されない	劣化は確認されない
④不飽和ポリエステル(軟質)	PIs	劣化は確認されない	劣化は確認されない
⑤不飽和ポリエステル(硬質)	PIh	劣化している	劣化している

エポキシ注入型はFc18、Fc36どちらも劣化は確認されなかった。

ラジカル注入型はFc18、Fc36及び無機系注入型の試験体はアルカリの影響によって強度がやや上昇する傾向が見られた。

不飽和ポリエステルは硬質では劣化が見られ、軟質では劣化は確認されなかったが、最大荷重及び付着応力度は他の接着剤と比較して非常に低い値が計測される結果となった。

今年度新しく行った60°C浸漬ではエポキシ注入型や不飽和ポリエステル(硬質)は常温のアルカリ浸漬に比べて大きく劣化した結果となったが、ラジカル注入型や無機系注入型や不飽和ポリエステル(軟質)では荷重や付着応力度は増減しておらず有意な差は得られなかった。

参考文献

- 1) 制度的・技術的側面からみた建築ストック活用促進のための研究 www.kenken.go.jp/japanese/research/lecture/h25/pdf/K2.pdf
- 2) あと施工アンカー・連続繊維補強設計・施工指針 www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/anchor/060707sisin.pdf
- 3) 不飽和ポリエステル http://www.tukigata.co.jp/concrete/material/organic_system/unaturated_polyester_resin.html
- 4) ACI355.4-11(Qualification of Post-installed Adhesive Anchors in Concrete and commentary)
- 5) あと施工アンカー 設計と施工 技術書院 1990