

第3章

接着系あと施工アンカーに使用される接着剤単体の物性

および品質確認試験

3-1 検討概要

3-1-1 検討目的

あと施工アンカーに使用される接着剤単体の品質確認方法は、適用される制度や技術基準等によって評価項目や評価方法、評価基準が異なるのが現状である。表 3.4.1.1 に国土交通省「建築改修工事監理指針」（以下、改修監理指針）^{3.1)}、日本建築学会「各種合成構造設計指針・同解説」^{3.2)}（以下、各種合成構造指針）および JCAA 製品認証における評価項目と評価基準を示す。

これらの品質基準については、必ずしも注入方式を想定していないこと、付着性能との関係について明らかではないことなどから、合理的な品質基準となっていないことが指摘されている。そこで本課題においては、あと施工アンカー製品の品質を確認するための検討として、評価項目および評価基準について、付着性能との相関性、評価項目間の相関性などを考慮した基準の検討のための実験を行った。また、試験片の製作方法についても、従来は標準的な方法が示されていない状況であったため、製作手順の標準化のための検討を行った。

表 3.1.1 製品認証、監理指針および各種合成構造指針における接着剤の品質基準

評価項目	試験方法	改修監理指針		各種合成構造指針		JCAA 製品認証	
圧縮強さ (N/mm ²)	JIS K 7181	有機系	98.0 以上	有機系 ^ア セル	98.0 以上	有機系*	98.0 以上
		無機系	29.4 以上	有機系注入	50.0 以上	有機系**	50.0 以上
圧縮弾性率 (N/mm ²)	JIS K 7181	9.8×10 ² 以上		9.8×10 ² 以上 (有機系のみ)		9.8×10 ² 以上 (有機系のみ)	
引張強さ (N/mm ²)	JIS K 7113	19.6 以上		19.6 以上		19.6 以上	
	JIS K 7161	(有機系のみ)		(有機系のみ)		(有機系のみ)	
曲げ強さ (N/mm ²)	JIS K 7181	有機系	29.4 以上	29.4 以上		29.4 以上	
		無機系	4.9 以上	(有機系のみ)			
耐アルカリ性***	JIS K 7171	10%以内 (有機系のみ)		10%以内 (有機系のみ)		10%以内 (有機系のみ)	

* : フィラーを含まない接着剤(ピュア樹脂)

** : フィラーを含む接着剤

*** : 100°C・10%水酸化ナトリウム水溶液に 100 時間浸漬した時の質量減少率

3-1-2 検討内容

平成 28 年度の検討では、接着剤単体の物性評価方法および評価基準に関する検討、接着剤の同一性の確認のための検討として、主に以下のような検討を行った。3.2 節～3.5 節にて検討結果を報告する。

- (1) 既往の付着試験データと製品ごとに提供される品質試験結果の関係の把握(3.2 節)
- (2) 注入工法(カートリッジ式・エポキシ樹脂)における試験片製作の標準化に関する検討
ガラス板とスペーサを用いて製作する方法を提案したが、その提案を平成 29 年度に標準化しているので、3.7 節にて報告する。
- (3) 市販の接着剤およびフィラー量を変えた樹脂による接着剤の各種物性値と付着強度の関係(3.3 節)
- (4) 燃焼試験によるフィラー量の推定方法に関する検討(3.4 節)
詳細については、文献^{3.3)}に示している。
- (5) FT-IR(赤外線分光スペクトル)による樹脂の区分(3.5 節)

平成 29 年度の検討においては、以下について検討を行い、接着剤の品質評価方法の提案を行うこととした。3.6 節～3.9 節にて検討結果を報告する。なお、3.6 節～3.9 節での検討は、芝浦工業大学と(一社)日本建築あと施工アンカー協会の共同研究として実施した成果を反映させたものである。

第3章 接着系あと施工アンカーに使用される接着剤単体の物性および品質確認試験

- (1) あと施工アンカーの拘束状態を考慮した接着性の簡易試験方法の検討(3.6節)
- (2) ラジカル反応樹脂系接着剤における試験片製作方法の検討(3.7節)
- (3) 市販の接着剤の物性評価試験，接着性試験，燃焼試験の実施(3.8節)
- (4) 上記を踏まえた品質基準値の検討(3.9節)

また、3.9節では、接着系あと施工アンカーに使用する接着剤の圧縮強さ試験方法，圧縮弾性率試験方法，接着系あと施工アンカーの接着力試験方法，燃焼試験方法および耐アルカリ試験方法の提案を行った。

3-2 付着試験結果と接着剤の品質に関する調査

3-2-1 調査方法

接着剤単体の性能評価の妥当性を検証するため、既往の付着試験データとそこで用いられた接着剤の品質に関するデータの関連性について調査した。付着試験データは、平成25年に実施されたURとJCAAの共同研究として実施された実験の結果を参照した。この結果は文献^{3,4)}などに報告されている。試験が実施された接着剤および工法は、30種類あり、有機系として、エポキシ樹脂、エポキシアクリレート樹脂、アクリル樹脂などが使用され、セメント系の接着剤も使用されている。なお、ここでの穿孔は、湿式コアを用いた穿孔である。これらの接着剤に対して、JCAAの協力により製品の品質に関するデータを収集し、付着強度と製品の品質データの関係を整理した。また、性能評価項目間での関係を整理した。

3-2-2 調査結果

調査結果の一覧を表3.2.1に示す。また、図3.2.1～図2.2.4に樹脂単体の圧縮強度、曲げ強度、引張強度、引張せん断接着強度と付着強度の関係を示す。また、図2.2.5～図2.2.7に樹脂単体の圧縮強度、曲げ強度、引張強度それぞれの関係を示す。

付着強度と圧縮強度、曲げ強度、引張強度の間には明瞭な相関関係は見られない。引張せん断接着強度と付着強度の間には、いくらかの相関があると思われるが。それでも明瞭な関係として表れているものではなく、接着剤の樹脂の種類の違いが影響しているようにも思われる。これらのデータからは付着性能を間接的に評価するための品質基準としては合理性がないことになる。

また、接着剤単体の品質基準には、あと施工アンカーに使われている材料が一定の品質があることや粗悪品などが安易に使用されることがないようにする意図もある。その場合、付着強度との直接的な関係はなくとも樹脂の特性値として良好であることが確認できればよいことになる。そういったことから、各物性値の関係について確認すると図3.2.5～図3.2.7のようになるが、例えば、引張強度と曲げ強度の間には明瞭な相関関係があり、このような場合には、複数の試験項目で確認しなくとも一つの代表的な指標により品質を確認することが可能であると思われる。

表3.2.1 付着強度と品質評価データ一覧

接着剤の種類	付着強度	圧縮強度	引張強度	曲げ強度	引張せん断 接着強度	シャルピー 衝撃強度	硬度
	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	kJ/m ²	HDD
エポキシ樹脂①	24.8	132.0	60.5	97.9	17.0	7.8	89
エポキシ樹脂②	21.1	109.0	75.7	118.0		9.4	85
エポキシ樹脂③	21.6	145.0	44.4	97.8	10.1	4.0	90
エポキシ樹脂④	25.3	77.3	30.7	65.2	23.9	7.0	85
エポキシ樹脂⑤	21.6	98.6	52.8	96.8	13.5	6.1	88
エポキシ樹脂⑥	25.6	108.0	65.0	107.0			
エポキシアクリレート樹脂①	18.6	198.6	52.0	86.4	13.2	4.8	90
エポキシアクリレート樹脂②	14.7	260.0	30.0	66.2		1.3	89
エポキシアクリレート樹脂③	17.1	142.0	31.0	51.0			
アクリル樹脂①	15.3	124.0	25.0	49.0	13.1		
セメントモルタル①	25.3	61.7		10.1			
セメントモルタル②	20.4	61.2		5.3			

3-3 接着剤の物性値評価に関する実験

3-3-1 検討概要

前述の通り、接着剤の品質基準値とあと施工アンカーの付着性能の間には明瞭な関係はないことが示されているが、一方で、接着剤の品質が一定以上のものであることを接着剤単体のレベルでも確認する必要がある。そこで、平成28年度の検討では、エポキシ系とセメント系の接着剤について、樹脂の調合を変えた接着剤を用意し、それぞれ、アンカーの付着強度試験と接着剤単体の品質評価試験を行うことにより、品質評価に必要な評価項目およびその妥当性について検討した。

3-3-2 実験計画

(1) 実験内容と使用した接着剤

実験は、あと施工アンカーの付着強度試験、接着剤単体の品質評価試験、接着性を評価するための接着強度試験を実施した。それぞれの実験の要因と水準を表3.3.1に示す。

表 3.3.1 実験に使用した接着剤の仕様

接着剤	仕様等	付着強度試験	樹脂単体性能試験	接着強度試験
エポキシ樹脂 A	樹脂のみ(ピュア)	○	○	○
	フィラー量：通常製品の1/2	○	○	○
	フィラー量：通常製品	○	○	○
	フィラー量：通常製品の2倍	○	○	○
エポキシ樹脂 B	クリープ試験等使用品		○	○
セメント系	混練水量：-20%	○	○ (曲げ, 曲げ弾性率, 引張試験除く)	○
	混練水量：標準	○	○ (曲げ, 曲げ弾性率, 引張試験除く)	○
	混練水量：+20%	○	○ (曲げ, 曲げ弾性率, 引張試験除く)	○

(2) 試験体および試験方法

付着強度試験に用いた試験体は、内径φ200mm・高さ60mmの鋼管内に打設した母材コンクリートにM12の全ねじボルトを注入方式で施工した。試験体の製作方法は、2-3-2項に示した内容と同様である。母材コンクリートは、平成28年11月24日に打ち込み、14日間養生後にアンカー筋を打設した。母材コンクリートの強度試験結果は、表2.3.2.4に示したとおりである。

実験に使用した接着剤は表3.3.1に示したものでありエポキシ樹脂Aについては、フィラーの有無および混入量を変えたものであり、JCAAの協力により特別に製造されたものである。エポキシ樹脂Bは平成27年度および28年度の実験に使用しているものである。セメント系の接着剤は混練水量を標準量および標準量に対して±20%とした水準であり、この範囲はアンカー筋の施工が可能な上下限の混練水量とされている。

付着強度試験の方法は、平成27年度に実施した方法と同じである。写真3.3.1に載荷試験装置、写真3.3.2に変位計の取付け状況を示す。

樹脂単体の試験方法は、表3.1.1に示したJISの規定に準じた。試験片は、圧縮せん断接着試験以外については、後述3-7項の試験片の作成方法に準じて製作した。試験の実施は、財団法人化学物質評価研究機構(CERI)に依頼して実施した。

樹脂の接着強度試験は、JIS K 6852(接着剤の圧縮せん断接着試験方法)に従って実施した。試験体は、接着剤をCERIに持ち込み、CERIにおいて作成した。



写真 3.3.1 載荷試験装置

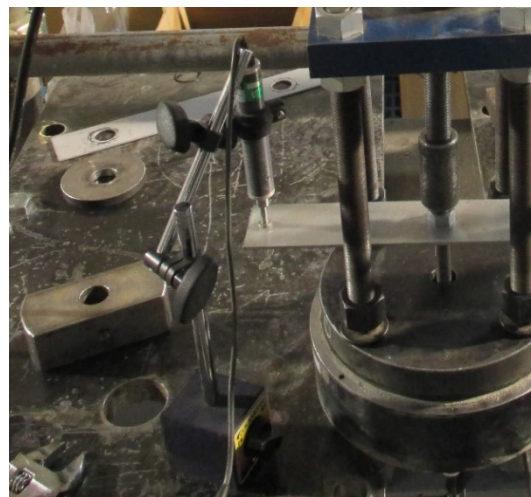


写真 3.3.2 変位計の取付け状況

3-3-3 実験結果

(1) 付着強度

付着試験の結果を表 3.3.2 に示す。また各水準の付着強度と最大荷重時の変位を図 3.3.1～図 3.3.6 に示す。なお変位は全て自由端変位である。付着強度は鉄筋側での付着面積と母材側での付着面積で求めた。それぞれの式を(3.3.1)式および(3.3.2)式に示す。

最大荷重を付着長さで除した場合の付着強度算定式(付着強度 1)

$$\tau = P_{\max} / l_e \cdot \pi \cdot d_a \quad (3.3.1) \text{式}$$

最大荷重を付着長さで除した場合の付着強度算定式(付着強度 2)

$$\tau = P_{\max} / l_e \cdot \pi \cdot D \quad (3.3.2) \text{式}$$

ここで、

τ : 付着強度 (N/mm²) d_a : 鉄筋の呼び径 (mm)
 P_{\max} : 最大荷重 (N) D : 穿孔径 (mm) l_e : 付着長さ (mm)

表 3.3.2 付着試験結果

接着剤	フィラー量/ 混練水量	平均付着 強度1	標準偏差	変動係数	平均付着 強度2	標準偏差	変動係数	平均変位	標準偏差	変動係数
	[%]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[%]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[%]	[mm]	[mm]	[%]
EP	ピュア(0)	27.81	1.68	6.05	23.27	1.48	6.36	0.89	0.06	6.61
	50	24.79	0.89	3.57	20.68	0.74	3.58	1.04	0.16	15.68
	製品(100)	26.52	1.52	5.71	22.23	1.29	5.80	1.24	0.13	10.64
	200	26.68	2.04	7.64	22.21	1.66	7.45	0.88	0.14	16.21
C	80	20.10	1.76	8.78	16.77	1.47	8.78	0.16	0.04	24.03
	製品(100)	19.28	0.71	3.67	16.09	0.59	3.67	0.16	0.01	3.94
	120	13.84	1.16	8.38	11.55	0.97	8.38	0.24	0.08	31.94

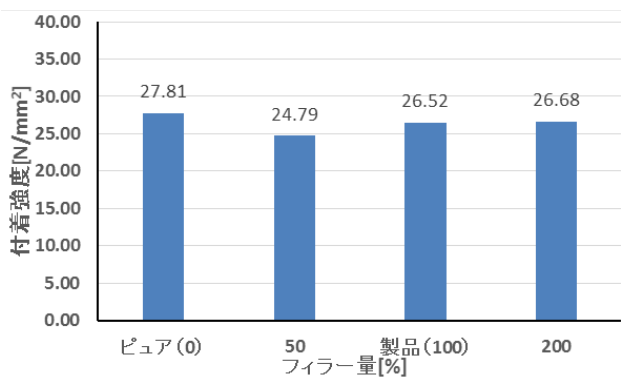


図 3.3.1 エポキシ樹脂 付着強度 1

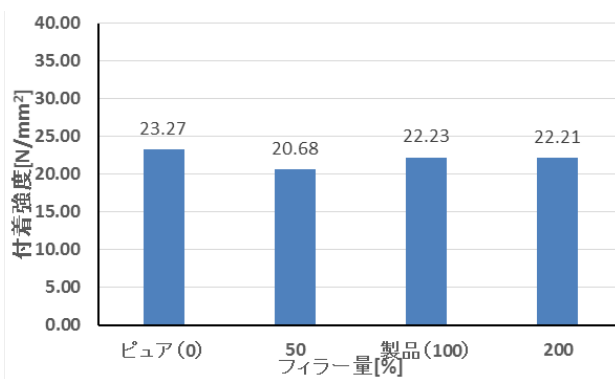


図 3.3.2 エポキシ樹脂 付着強度 2

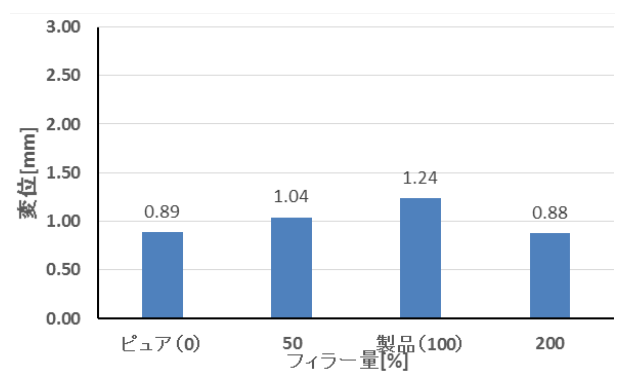


図 3.3.3 エポキシ樹脂 最大荷重時の変位

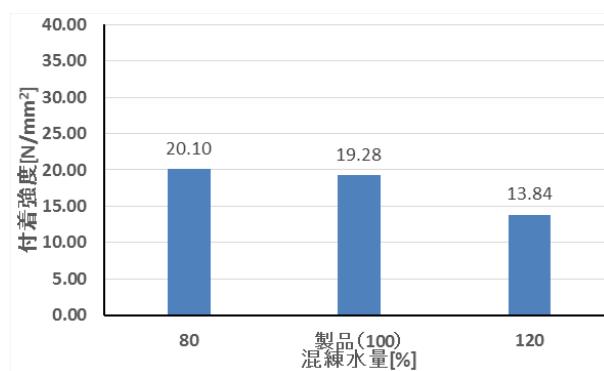


図 3.3.4 セメント系 付着強度 1

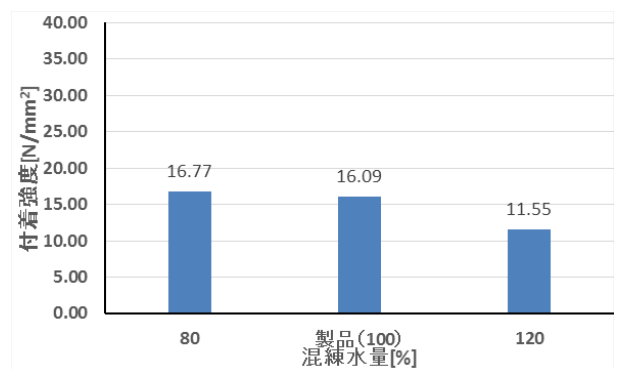


図 3.3.5 セメント系 付着強度 2

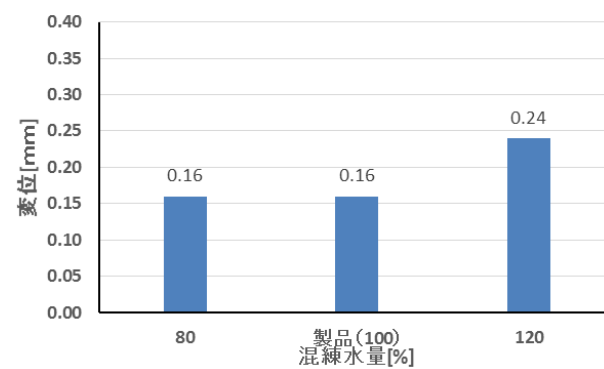


図 3.3.6 セメント系 最大荷重時の変位

エポキシ樹脂について、フィラー量と付着強度では両者にほぼ関係性がないと考えられる。最大荷重時の変位は 0%, 50%, 製品(100%)で増加している。一方で 200%ではほぼ 0%と同じ値になっている。このことから、ある点まではフィラーが増加すると最大荷重時の変位も増加すると考えられる。また付着強度のばらつきはいずれも 10%以下と非常に小さい。4水準のうち 0%以外の接着剤はカートリッジ方式で、0%のみ現場調合方式での施工であったため、0%ではばらつきが大きいと考えていたが、実際にはカートリッジ方式とほぼ変わらないことがわかった。

施工時の点としては、0%の接着剤は流動性が非常に大きく 200%では接着剤が固い。特に後者ではアンカー筋の挿入に必要な力が大きく、ハンマーで打撃を幾度も与えて無理やり打設をするような形となった。これらの問題から、あと施工アンカーに使用される接着剤のフィラーが持つ意味としては、硬化後の強度というよりは施工性の向上が大きいのではないかと思われる。ただしフィラー量と変位の関係については今後行われる試験と併せて考察を行う必要がある。

セメント系では付着強度、変位ともに混練水量 80%と 100%でほぼ変わっていない。一方で 120%で

は付着強度が 0.6 倍、変位が 1.5 倍と大きく変化している。モルタル強さ試験では一般に水セメント比と圧縮強度が負の比例関係であることを考慮すると、120%の接着剤では 100%のものより接着剤単体の圧縮強度が低くなると予想される。ばらつきは、強度については低い数値となっている。しかし変位は混練水量 80%と 120%でそれぞれ 24%、32%と非常に大きい。原因としては本来の仕様と異なる量の混練水を使用したことが考えられる。特に混練水量 80%の接着剤は調合時に十分な攪拌をできなかった可能性がある。

(2) 荷重変位曲線

図 3.3.7 にエポキシ系の各樹脂の荷重変位曲線、図 3.3.8 にセメント系の荷重変位曲線を示す。図に示したものは、各水準内で付着強度が最も平均に近いものである。

エポキシ樹脂について、荷重変位曲線は各水準内でのばらつきが比較的少ない。また降伏後はなだらかに荷重が低下する傾向となっている。一部の試験体では荷重が下がったのちに一度荷重が増加している。水準間では大きな差はみられなかった。セメント系はエポキシと比べ最大荷重後の荷重減少が速い傾向にある。エポキシ樹脂と同様に水準間での差はみられなかった。

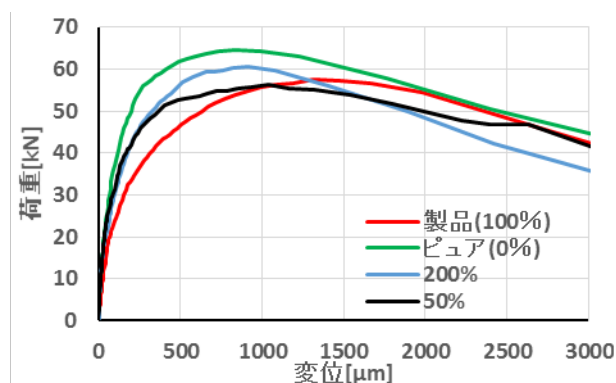


図 3.3.7 荷重変位曲線(エポキシ)

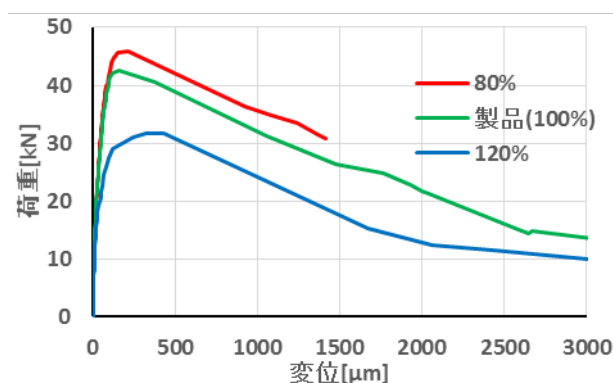


図 3.3.8 荷重変位曲線(セメント)

(3) 自由端変位 0.024 時の応力

各接着剤の初期剛性の目安として、自由端変位が 0.002D(=0.024mm)時における応力を表 3.3.3 に示す。また、図 3.3.9 および図 3.3.10 にエポキシ樹脂およびセメント系接着剤の各水準の比較を示す。

エポキシ樹脂ではフィラー量と初期剛性には関係性がないと思われる。一方で、セメント系では混練水量が多くなると初期剛性が減少していることがわかる。混練水量の多くなると水セメント比が大きくなることから、接着剤自身の強度および剛性が低下するため、付着試験時の剛性にも影響を与えていると思われる。

表 3.3.3 自由端変位 0.002D 時の応力

接着剤	フィラー量/ 混練水量	0.024強度	標準偏差	変動係数
	[%]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[%]
EP	ピュア(0)	6.96	0.34	4.82
	50	7.06	1.16	16.43
	製品(100)	6.33	1.46	23.01
	200	7.45	0.57	7.59
C	80	9.37	1.28	13.69
	製品(100)	8.78	0.73	8.27
	120	7.64	0.85	11.09

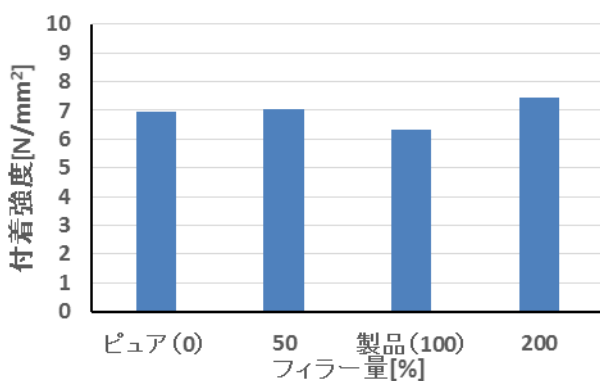


図 3.3.9 0.002D 時の応力 (エポキシ樹脂)

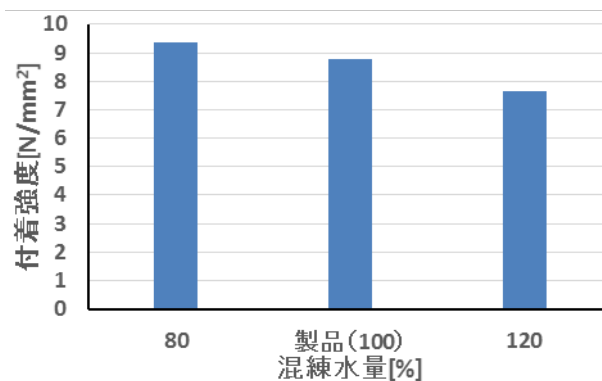


図 3.3.10 0.002D 時の応力 (セメント系)

3-3-4 樹脂単体の性能試験および接着強度試験

樹脂単体の性能試験および接着強度試験の結果については、結果のみをとりまとめて記載する。

(1) 接着強度と接着剤の物性値の関係

接着強度と、接着剤の各種物性値(圧縮強度、圧縮弾性率、引張強度、曲げ強度、曲げ弾性率、圧縮せん断接着強度)の関係について、図 3.3.11～図 3.3.16 に示す。また、エポキシ樹脂件接着剤におけるフィラー量およびセメント系における混練水量との関係を見るため、接着強度および各種物性値との比較を図 3.3.17～図 3.3.20 に示す。

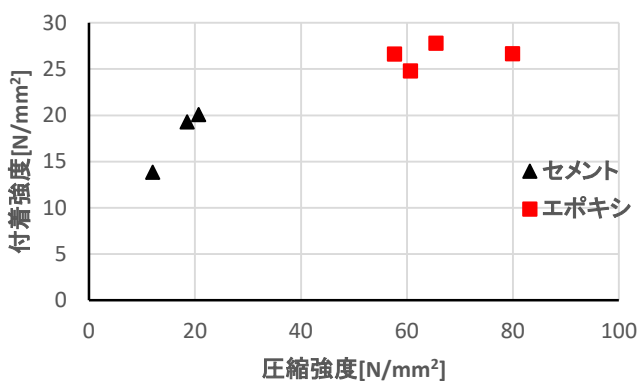


図 3.3.11 圧縮強度と接着強度の関係

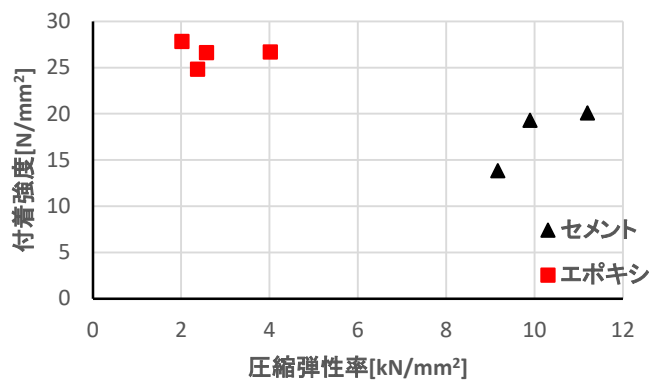


図 3.3.12 圧縮弾性率と接着強度の関係

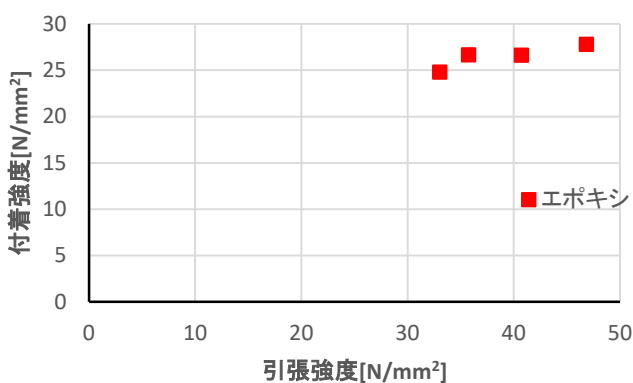


図 3.3.13 接着強度と引張強度の関係

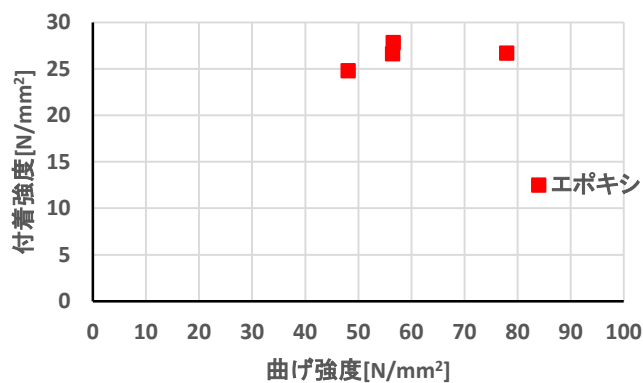


図 3.3.14 接着強度と曲げ強度の関係

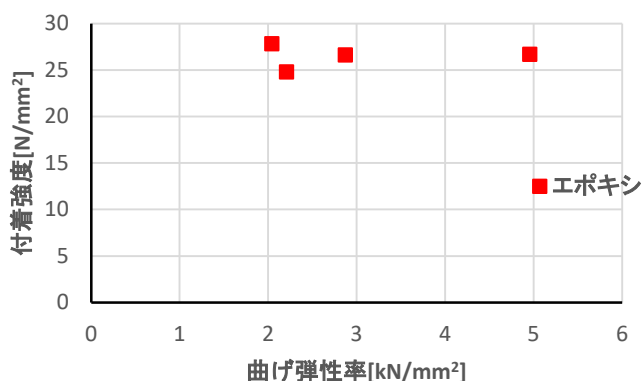


図 3.3.15 付着強度と曲げ弾性率の関係

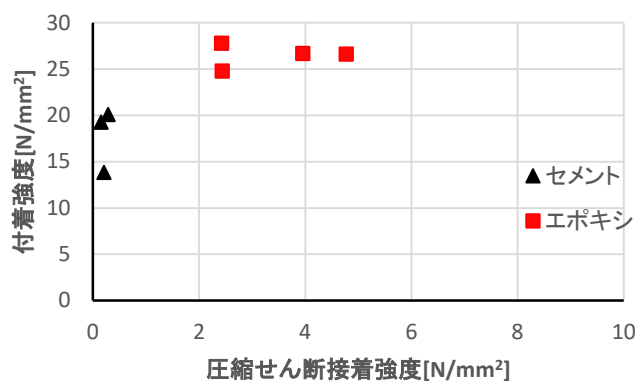


図 3.3.16 付着強度と圧縮せん断接着強度の関係

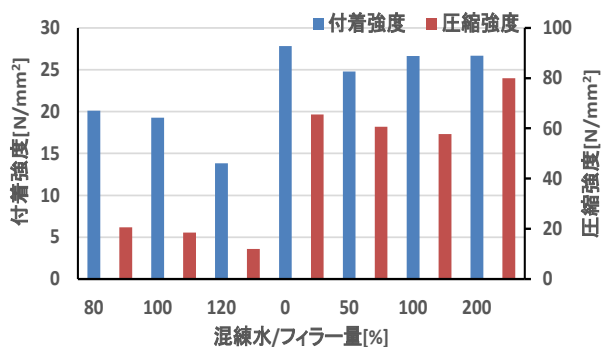


図 3.3.17 付着強度と圧縮強度の比較

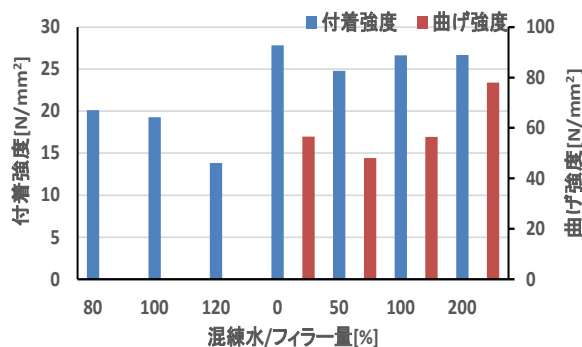


図 3.3.18 付着強度と曲げ強度の比較

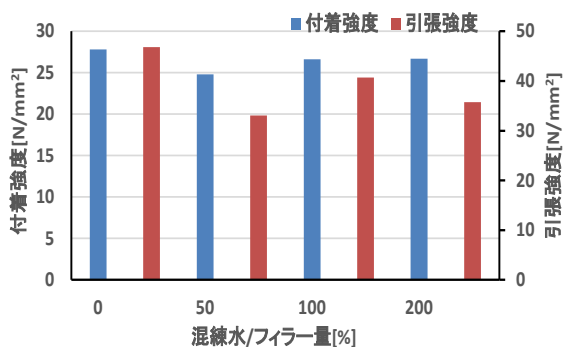


図 3.3.19 付着強度と引張強度の比較

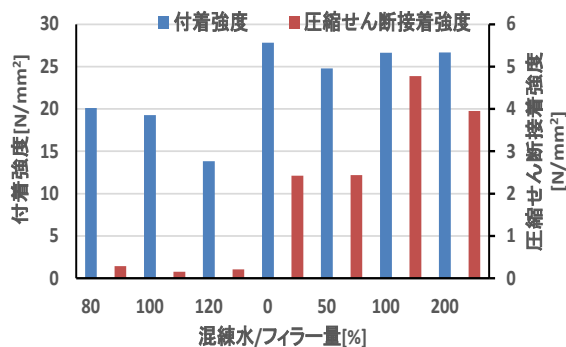


図 3.3.20 付着強度と圧縮せん断接着強度の比較

(2) 最大荷重時の変位および自由端変位 0.002D 時の応力と接着剤の物性値の関係

剛性や変形の目安となる最大荷重時の変位および自由端変位 0.002D 時の応力について、圧縮弾性率および曲げ弾性率との関係を整理する。図 3.3.21～図 3.3.24 に最大荷重時の変位および自由端変位 0.002D 時の応力と圧縮弾性率および曲げ弾性率の関係、図 3.3.25～図 3.3.28 に最大荷重時の変位および自由端変位 0.002D 時の応力と圧縮弾性率および曲げ弾性率の比較を示す。

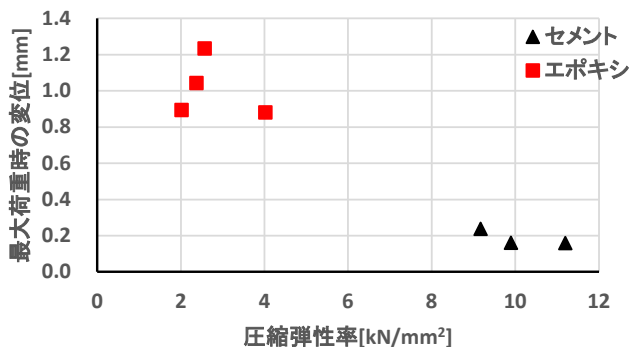


図 3.3.21 最大荷重時の変位—圧縮弾性率

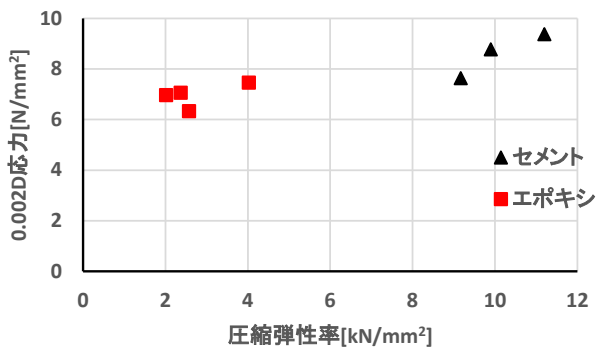


図 3.3.22 0.002D 時応力—圧縮弾性率

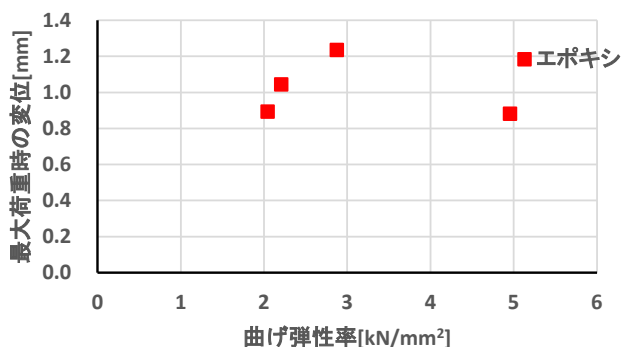


図 3.3.23 最大荷重時の変位—曲げ弾性率

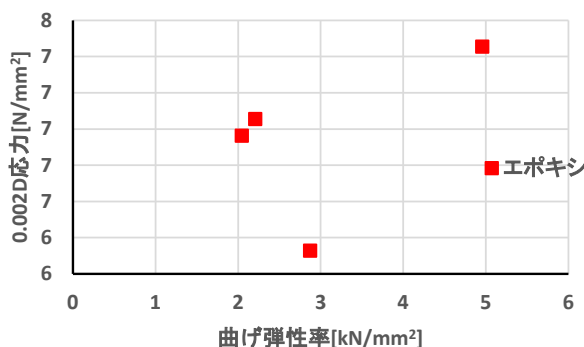


図 3.3.24 0.002D 時応力—曲げ弾性率

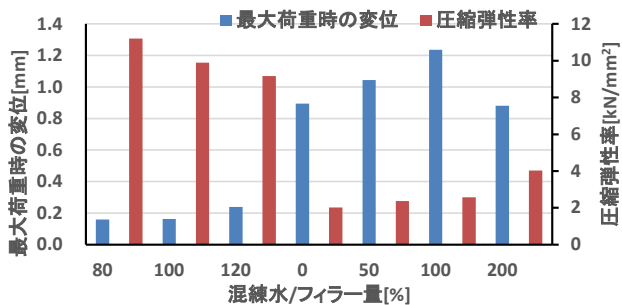


図 3.3.25 最大荷重時の変位と圧縮弾性率の比較

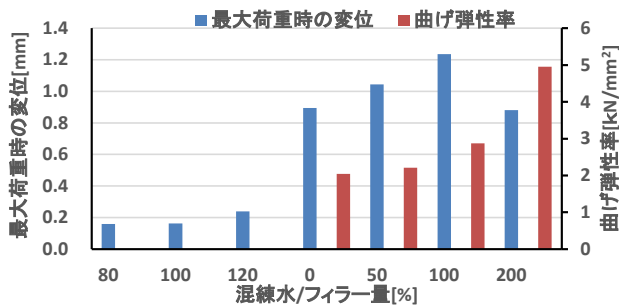


図 3.3.26 最大荷重時の変位と曲げ弾性率の比較

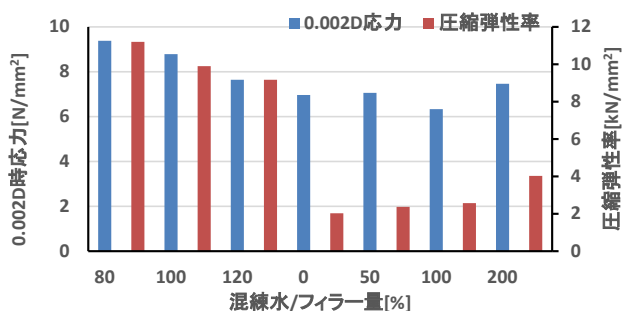


図 3.3.27 0.002D 時の応力と圧縮弾性率の比較

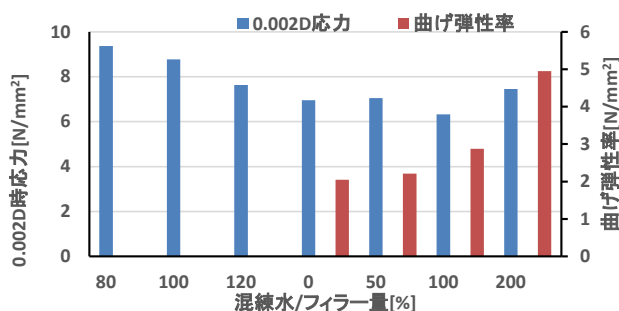


図 3.3.28 0.002D 時の応力と曲げ弾性率の比較

(3) 接着剤の物性値相互の関係

接着剤の物性値の相互の関係から、品質基準の合理化について検討する。図 3.3.29～図 3.3.37 に圧縮強度、曲げ強度、引張強度の相互の関係、圧縮強度、曲げ強度、引張強度と圧縮せん断接着強度

の関係、圧縮強度、曲げ強度と圧縮弾性率、曲げ弾性率の関係を示す。

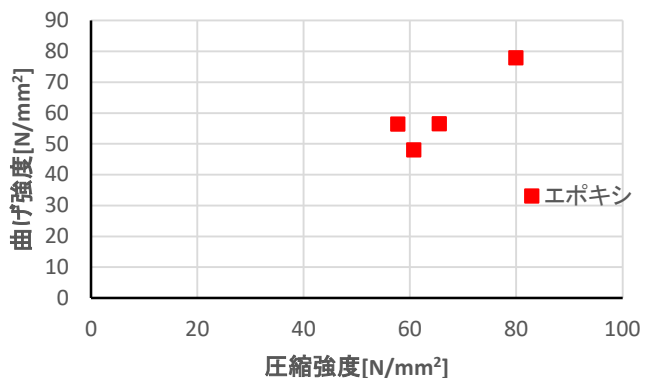


図 3.3.29 圧縮強度と曲げ強度の関係

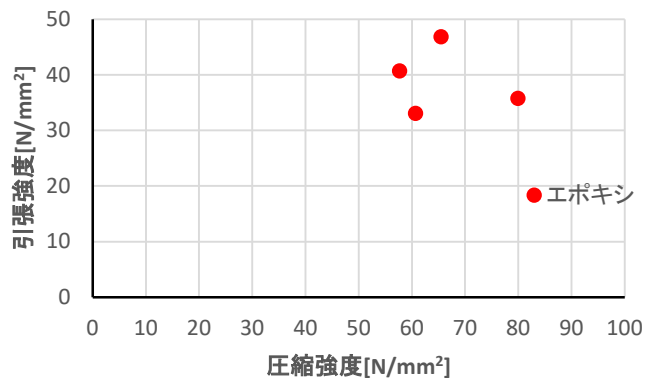


図 3.3.30 圧縮強度と引張強度の関係

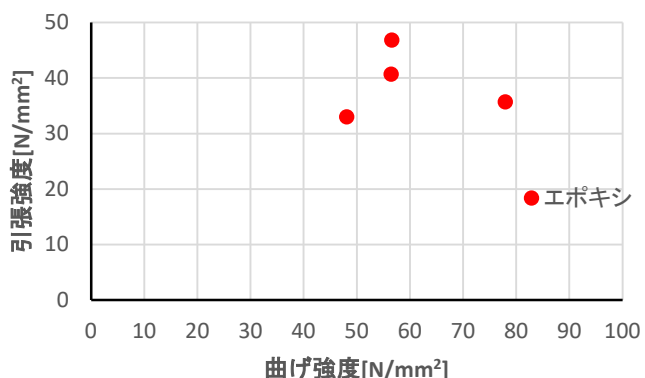


図 3.3.31 曲げ強度と引張強度の関係

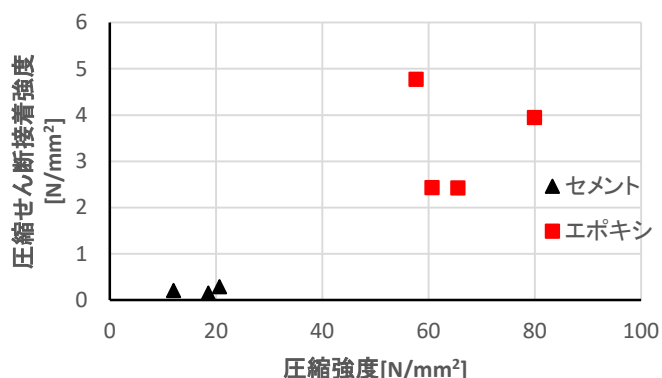


図 3.3.32 圧縮強度と圧縮せん断接着強度の関係

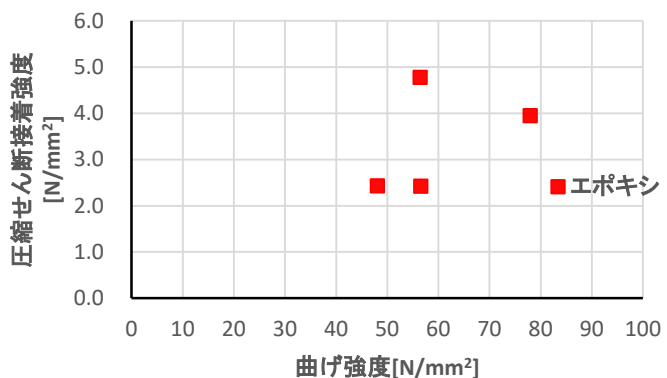


図 3.3.33 曲げ強度と圧縮せん断接着強度の関係

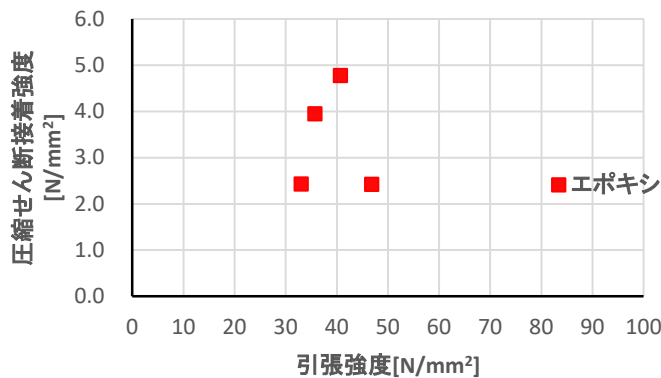


図 3.3.34 引張強度と圧縮せん断接着強度の関係

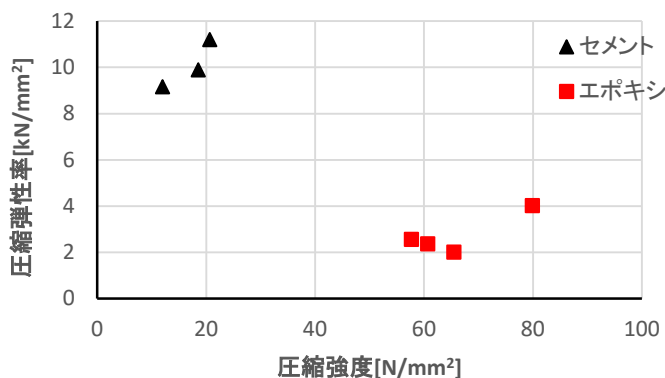


図 3.3.35 圧縮強度と圧縮弾性率の関係

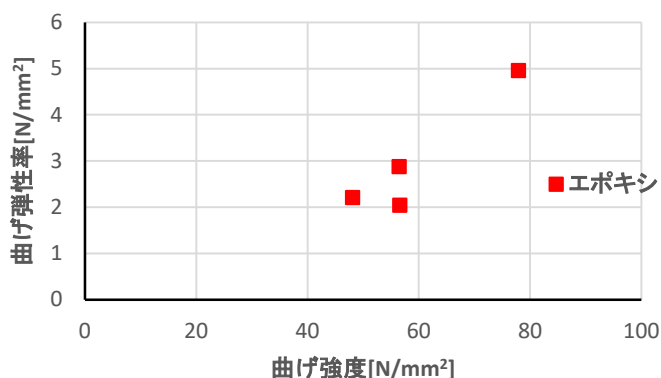


図 3.3.36 曲げ強度と曲げ弾性率の関係

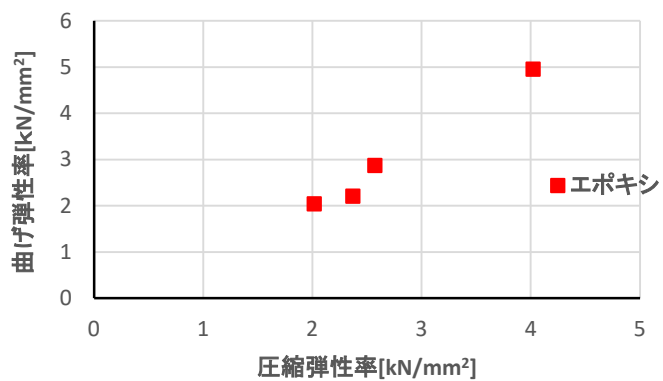


図 3.3.37 圧縮弾性率と曲げ弾性率の関係

3-4 燃焼試験によるフィラー(不燃物)量の確認試験

3-4-1 実験計画

(1) 検討項目

本検討では、接着剤に対して高温で加熱する燃焼試験によって、樹脂とフィラーの構成比および構成物の同一性を確認する方法について検討した。燃焼試験の方法に関する検討項目は以下の通りである。

- 1)試験に必要な試料の量(試料質量と質量変化率の関係)
- 2)加熱温度の標準値(加熱温度と質量変化率の関係)
- 3)加熱時間の標準値(加熱時間と質量変化率の関係)
- 4)混入物(フィラー)の種類による影響
- 5)有機系フィラー(活性炭)が混入された場合の質量変化
- 6)実製品での適用性の確認

(2) 実験に使用した接着剤

実験には2種類のエポキシ系接着剤の製品(製品Rおよび製品B)と、フィラーとして用いられることの多い、細骨材、珪砂、ガラスビーズ、粉末活性炭を組み合わせたものを試料として用いた。製品Rの成分を表3.4.1に製品Bの成分を表3.4.2に示す。製品Rにはフィラーの代替物としてセメント強さ試験用標準砂、珪砂7号、ガラスビーズ、粉末活性炭を質量比で20%(活性炭は10%)混入させる。試料の一覧と試料番号を表3.4.3に示す。なお、製品Rは前項の樹脂単体の性能確認実験に使用したフィラー量の有無およびフィラー量を変えた樹脂と同一である。

燃焼試験用の試料は、以下の手順により作製した。

- 1)塩ビ板により型枠を作製する
 - 2)接着剤を使い捨てのカップに取り出す
 - 3)取り出した接着剤に混入物を加え、手早く攪拌する
 - 4)接着剤を型枠に流し込み、板状に硬化させる
 - 5)硬化した接着剤を金槌により粉砕する
 - 6)振動粉砕機によりさらに微粉砕し、粒形2mm以下の粉末にする
- ただし2), 3)は混入物を加える場合に限る。

表 3.4.1 エポキシ樹脂接着剤製品Rに含まれる主要成分

名称	CAS
ビスフェノールA型エポキシ樹脂	25068-38-6
ビスフェノールF型エポキシ樹脂	28064-14-4
ジグリシジル・ヘキサンジオール	16096-31-4
トリメチロールプロパン・トリグリシジルエーテル	30499-70-8
メタキシレンジアミン	1477-55-0
石英	14808-60-7

表 3.4.2 エポキシ樹脂接着剤製品 B に含まれる主要成分

名称	CAS
ビスフェノールF型エポキシ樹脂	58421-55-9
シリカ	14808-60-7
	67762-90-7
酸化チタン	13463-67-7
変性脂肪族ポリアミン	非開示
1,3-ビス(アミノメチル)シクロヘキサン	2579-20-6
フェノール	108-95-2
クレゾール(混合異性体)	1319-77-3
カーボンブラック	1333-86-4

(3) 試験方法および実験の水準

試験は JIS K 0067 化学製品の減量及び残分試験方法を参考に行った。加熱条件等の一覧を表 3.4.3 に示す。また、燃焼試験を行った試料の一覧を表 3.4.4 に示す。

表 3.4.3 加熱条件一覧

検討項目	試料	目標温度	温度保持時間
1)試験に必要な試料質量	質量を変えた同一試料(接着剤 R)	650℃	2 時間
2)加熱温度と質量変化率	接着剤 R に標準砂を 20%, 40% 添加したもの	800℃まで 100℃おきに質量測定	2 時間
3)加熱後の温度保持時間と質量変化率	接着剤 R	200℃, 300℃, 400℃, 500℃	1 時間ごとに 4 時間まで
4)混入物(フィラー種類)	接着剤 R に標準砂, 珪砂, ガラスビーズ, 活性炭を各 20% 添加	650℃	2 時間
5)有機系フィラーの加熱温度と質量変化率	接着剤 R に活性炭 10% 添加したもの	200℃, 300℃, 400℃, 500℃	1 時間ごとに 4 時間まで
6)実製品での適用性の検証	接着剤 B(フィラー無し, 標準品, フィラー50%, フィラー200%)	500℃	2 時間

表 3.4.4 燃焼試験を行った試料の一覧

接着剤製品R+混入物	混入物単体	接着剤製品B(フィラー変化)
1.接着剤製品R		11.接着剤製品B
2.製品R+標準砂20%	7.標準砂	12.製品B・フィラーなし(ピュア)
3.製品R+標準砂40%		13.製品B・フィラー50%
4.製品R+珪砂20%	8.珪砂	14.製品B・フィラー200%
5.製品R+ガラスビーズ20%	9.ガラスビーズ	
6.製品R+活性炭10%	10.活性炭	

試料質量の測定は、目標温度および目標時間での加熱終了後、試料をるつぼごと取り出し、徐冷した後に試料の質量を測定した。質量変化率の算出は(3.4.1)式により行う。また、試験前の試料と試験後の試料を写真 3.4.1 および写真 3.4.2 に示す。

$$\text{質量変化率} = \frac{W_1 - W_3}{W_1 - W_2} \times 100[\%] \quad (3.4.1)\text{式}$$

ここで、

W_1 : りつぽと試料の質量

W_3 : 試験後のりつぽと試料の質量

W_2 : りつぽの質量



写真 3.4.1 加熱前の試料



写真 3.4.2 加熱後の試料

3-4-2 実験結果

(1) 試料の量と質量減少率の関係

燃焼試験に供する試料の量を 1g, 3g, 5g, 7g, 10g と変えた場合の質量変化率と標準偏差, 変動係数を表 3.4.5 に示す。それぞれの試験回数は 4 回である。

表 3.4.5 試料質量と質量変化率, 標準偏差および変動係数

試料質量[g]	質量変化率[%]	標準偏差	変動係数[%]
1	65.75	0.50	0.76
3	62.83	0.19	0.31
5	62.15	0.10	0.16
7	61.86	0.12	0.19
10	62.12	0.24	0.38

変動係数から判断すると, 試料が 3g 以上では試料質量と質量変化率には影響が少ないと考えられる。1g の場合には, はかりの精度や水分の影響が相対的に大きいと思われる。また, 試料の量が多すぎると未燃焼の試料が多くなる可能性があることから, 試料の量の目安としては 3g が適当であると考え, 以降の試験については試料質量 3g で行うこととした。

(2) 加熱温度の標準値の検討

ここでの試料は, 1.接着剤製品 R, 2.製品 R+標準砂 20%, 3.製品 R+標準砂 40%, 7.標準砂の 4 種を用いた。表 3.4.6 および図 3.4.1 に加熱温度と質量変化率の関係を示す。図 3.4.2 に標準砂の添加量と質量減少率の関係を示す。

100°Cでは質量が 1%前後で変化しており, 試料に含まれる水分が蒸発して微量の変化が起こったと考えられる。200°Cから 400°Cまでは温度が上昇するに従い質量変化率が増加している。エポキシ樹脂の主成分は耐熱性の高いものでも 150°Cが限度とされていることから 200°Cでは既に主成分の燃焼が生じていると考えられる。200°Cから 400°Cまでの変化はそれぞれの温度で燃焼する成分の違いによる差であると思われる。500°C以上の温度では, 質量変化率にほぼ変化が見られない。700°Cではりつぽを炉に入れた途端に発火する現象を生じることがあり危険性も伴うため, 加熱温度は 500°C程度を上限とすることが望ましい。

図3.4.2から分かりますとおり、標準砂の添加率に対して質量減少率は線形的に減少しており、標準砂がほぼ質量減少がないことを踏まえると、本方法により不燃残分の評価が適切にできていることが裏付けられる。

表 3.4.6 加熱温度と質量変化率

加熱温度[°C]	質量変化率[%]			
	1.製品R	製品R+砂20%	製品R+砂40%	標準砂
100	1.17	1.67	0.83	0.33
200	14.83	12.00	12.50	0.50
300	29.67	33.00	29.33	0.83
400	59.00	51.67	44.67	0.83
500	63.33	52.33	44.83	1.17
600	63.50	52.67	45.00	1.17
700	63.67	52.67	45.33	1.67
800	62.67	52.50	45.00	0.83

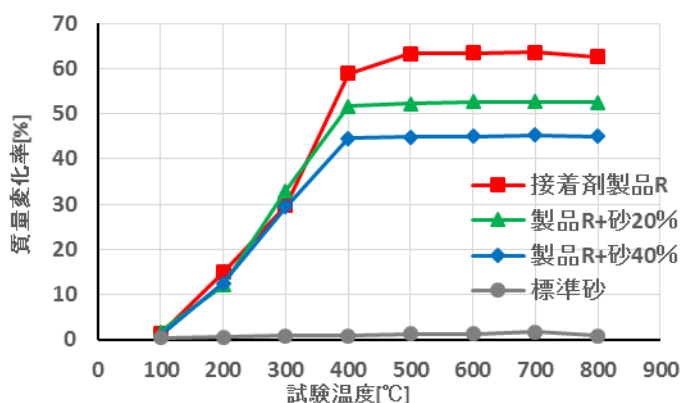


図 3.4.1 加熱温度と質量変化率の関係

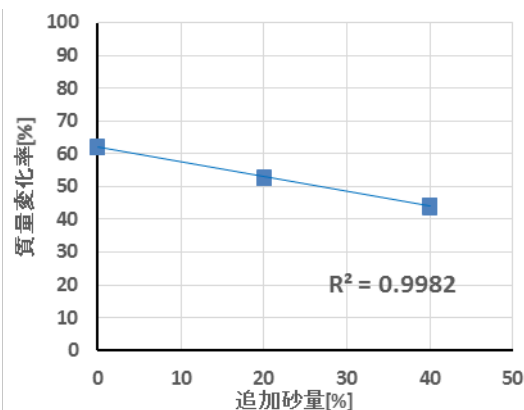


図 3.4.2 標準砂の添加率と質量減少率の関係

(3) 温度保持時間の標準値の検討

加熱後の温度保持時間によって質量減少率に違いが生じるのかを確認するため、接着剤 R に対して目標温度を 200°C、300°C、400°C、500°C とし、温度保持時間を 1 時間～4 時間まで 1 時間おきとした実験を行った。実験結果を表 3.4.7 および図 3.4.3 に示す。

これらの結果から、200°C、300°Cでの燃焼分は 400°C以降の燃焼分より少ないことがわかる。前述の加熱温度と質量変化率の関係と合わせて、本試験に使用している接着剤は図 3.4.4 に示すように 100°Cから 200°Cで燃焼する成分、200°Cから 300°Cで燃焼する成分、300°Cから 400°Cで燃焼する成分、800°C以降で燃焼する成分の 4 成分から成り立っていると思われる。また、図 3.4.5 に接着剤 B で同様の試験を行った場合の加熱温度と質量減少率を示す。

接着剤のデータやこれまでの試験から 400°Cで不燃焼の成分は石英、400°Cまでに燃焼する成分は主にエポキシ樹脂と考えられる。400°C以下の各温度での燃焼成分については不明であるが、温度域での質量減少率の違いは構成成分の違いに起因するものであるため、温度域ごとの質量減少率を評価することも接着剤の同一性の確認方法の一つとなり得ることを示している。

表 3.4.7 温度保持時間と質量変化率の関係

加熱温度[°C]	加熱時間[h]ごとの質量変化率[%]				
	0	1	2	3	4
200°C	0.00	23.67	25.67	25.67	26.00
300°C	0.00	34.17	36.00	36.33	36.50
400°C	0.00	50.83	60.50	62.17	62.50
500°C	0.00	63.00	63.33	62.83	63.50

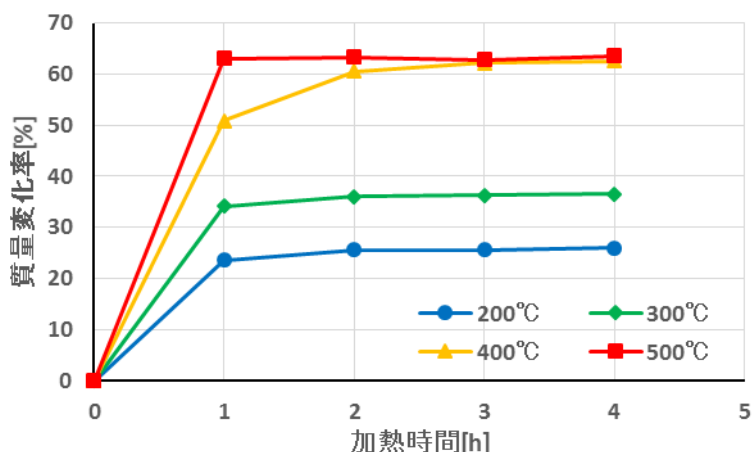


図 3.4.3 温度保持時間と質量変化率の関係

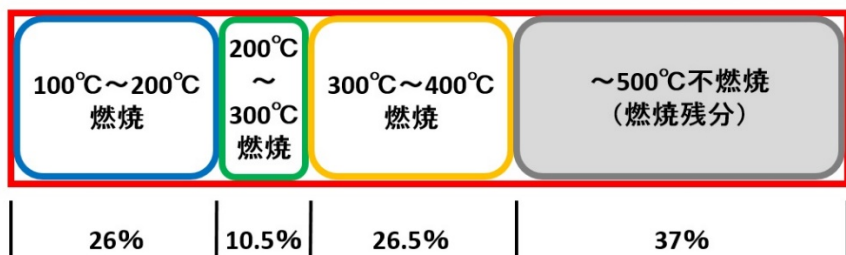


図 3.4.4 接着剤 R の各温度域での質量減少率

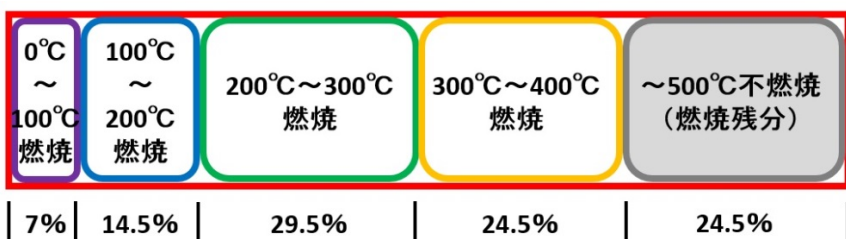


図 3.4.5 接着剤 B の各温度域での質量減少率

(4) 混入物(フィラー)の種類による影響

一般に、接着剤に使用されるフィラーには砂のほか、ガラスビーズや石英、セラミックボール、有機繊維などがある。これらを加熱した場合の質量変化率について確認する。

試料には 1.接着剤製品 R, 製品 R に 4.5.珪砂およびガラスビーズを 20%加えた接着剤, 6.活性炭を 10%加えた接着剤, 8.珪砂, 9.ガラスビーズ, 10.活性炭の計 7 種類を使用した。試験温度は 650°C, 温度保持時間は 2 時間とした

実験結果を表 3.4.8 および表 3.4.9 に、また混入物ごとの質量変化率を図 3.4.6 に、混入物単体の

質量変化率を図3.4.7に示す。珪砂およびガラスビーズについてはモルタル試験用標準砂とほぼ同様の結果となった。また混入物単体ではほぼ質量が変化していない。よってこれらをフィラーとした接着剤については強熱減量試験によりフィラー量変化を測定できると考えられる。粉末活性炭については単体で加熱した場合に90%弱が減量しており、活性炭を10%加えた接着剤では製品と比べ変化率が4.5%大きくなっている。フィラーに有機物を使用している接着剤は650℃で試験を行った場合は接着剤の樹脂とフィラーの両者が燃焼する可能性があるため、この場合は加熱温度を変化させて樹脂とフィラーを分けることができる点を見つけ出す必要がある。

表3.4.8 フィラー種類と質量変化率

水準	試験前[g]	試験後[g]	変化量[g]	平均変化量	変化率[%]	平均変化率
接着剤製品R	10.00	3.78	6.22	6.23	62.20	62.30
	10.00	3.76	6.24		62.40	
製品R+標準砂20%	10.00	4.73	5.27	5.29	52.70	52.85
	10.00	4.70	5.30		53.00	
製品R+珪砂20%	3.00	1.42	1.58	1.57	52.67	52.33
	3.00	1.44	1.56		52.00	
製品R+ガラスビーズ20%	3.00	1.43	1.57	1.55	52.33	51.50
	3.00	1.48	1.52		50.67	
製品R+活性炭10%	3.00	1.00	2.00	2.01	66.67	66.83
	3.00	0.99	2.01		67.00	

表3.4.9 混入物単体の強熱減量試験結果

水準	試験前[g]	試験後[g]	変化量[g]	平均変化量	変化率[%]	平均変化率
標準砂	10.00	9.96	0.04	0.03	0.40	0.30
	10.00	9.98	0.02		0.20	
珪砂	3.00	2.94	0.06	0.05	2.00	1.67
	3.00	2.96	0.04		1.33	
ガラスビーズ	3.00	2.99	0.01	0.01	0.33	0.33
	3.00	2.99	0.01		0.33	
活性炭	3.00	0.37	2.63	2.63	87.67	87.67
	3.00	0.37	2.63		87.67	

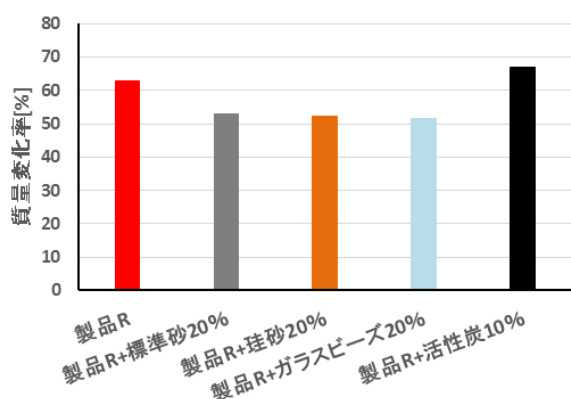


図3.4.6 各接着剤の質量変化率

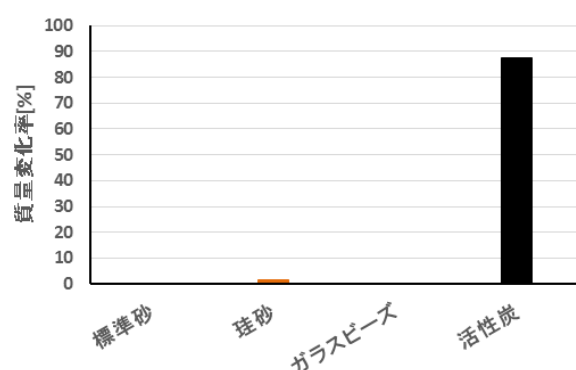


図3.4.7 各混入物の質量変化率

(5) 有機系フィラー(活性炭)が混入された場合の影響

前述のように、活性炭のような有機系のフィラーが使用された場合には、質量変化はその影響を受けるため、燃焼温度と温度保持時間の関係について確認した。試験温度は200~500℃とし、温度保持

時間は1～4時間とした。試料には10.活性炭，6.製品Rに活性炭を10%加えた接着剤を使用した。

実験結果を表3.4.10に、加熱時間および加熱温度と質量変化率の関係を図3.4.8に示す。また前述の接着剤製品の加熱時間および加熱温度と質量変化率の試験結果より、フィラーの質量を除き、樹脂の変化率のみとした場合の質量変化率を図3.4.9に示す。また、接着剤Rに活性炭を10%加えたものを200～500℃の各温度で各2時間温度保持した場合の比較を表3.4.11および図3.4.10に示す。

500℃では両者ともに100%燃焼している。また400℃でもエポキシ樹脂は全燃焼，活性炭も試験時間を伸ばすことで全て燃焼すると思われる。よって400，500℃では活性炭とエポキシ樹脂の違いを見ることができない。本検討では、接着剤の構成成分とその構成比をすべて明らかにすることが目的ではないので、400℃の燃焼温度で温度保持時間を変えた場合に質量変化があるようであれば、有機系のフィラーが使用されていると推測し、温度保持時間を長くすることで、安定した結果が得られると推測される。また、図3.4.8のような関係を得ておくことで、接着剤の同一性の目安とすることも可能になるとと思われる。

表 3.4.10 活性炭が混入された場合の加熱温度と質量変化率

加熱温度[℃]	加熱時間[h]ごとの質量変化率[%]				
	0	1	2	3	4
200℃	0.00	4.00	4.00	4.50	4.67
300℃	0.00	18.67	19.00	19.00	19.00
400℃	0.00	24.83	43.50	59.83	72.33
500℃	0.00	59.83	85.83	100.33	100.83

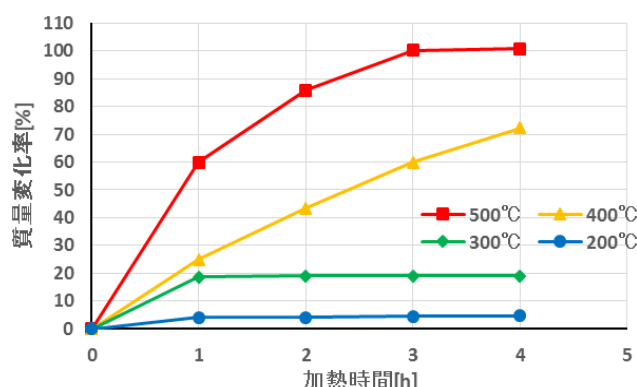


図 3.4.8 活性炭の加熱時間および加熱温度ごとの質量変化率

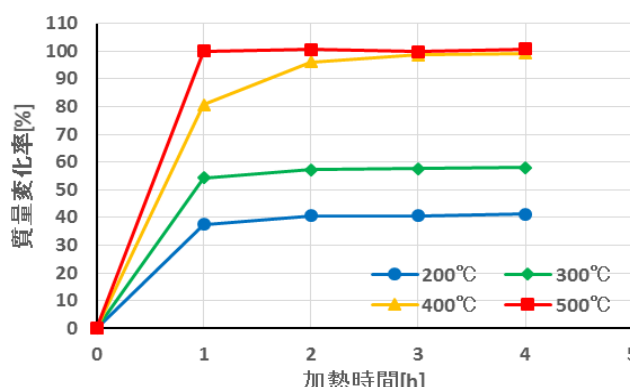


図 3.4.9 接着剤製品Rに使用された樹脂のみの加熱時間および加熱温度ごとの質量変化率

表 3.4.11 接着剤製品R および活性炭を10%加えた接着剤の質量変化率

加熱温度[℃]	質量変化率[%]	
	接着剤製品R	製品R+活性炭10%
200	40.74	20.09
300	57.14	40.18
400	96.03	81.62
500	100.53	100.46

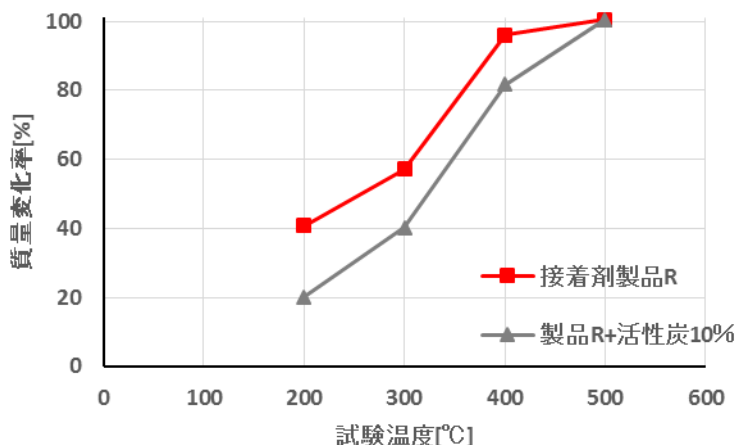


図 3.4.10 活性炭を 10%加えた場合の試験温度と質量変化率の関係

(6) 有機系フィラー(活性炭)が混入された場合の影響

実製品レベルでのフィラー混入量の違いを評価が可能かを検証するため、製品 B とフィラーの有無、フィラー量を変えた接着剤について燃焼試験を行った。これまでの検討から、試料の量は 3g、加熱温度を 100°C から 500°C とし、温度保持時間を 1 時間～3 時間まで 1 時間ごとに測定した。

加熱温度が 500°C での実験結果を表 3.4.12 と図 3.4.11 に示す。接着剤製品 B に含まれるフィラーは接着剤の約 20% であることがわかった。またフィラー量と質量変化率がほぼ線形になっており、フィラー量の違いを評価できていることが確認される。

また、表 3.4.13 と図 3.4.12 に接着剤製品 B の各温度での減量率を示す。また、図 3.4.4 と図 3.4.5 がこの結果を百分率で表したものとなる。400°C で主成分が燃焼していることは接着剤 R と同じであるが、100°C から 400°C までの減量率はそれぞれ異なっていることがわかる。この、温度ごと減量率は接着剤の構成物と構成比の目安とできるため、これを用いて接着剤に含まれる成分の同一性を見ることができると考えられる。

表 3.4.12 接着剤製品 B とフィラー量の異なる接着剤，試験結果

製品Bに対する フィラー量[%]	質量変化率[%]	
	2h	3h
0(ピュア)	100.00	100.17
50	85.50	85.33
100(製品A)	75.83	75.67
200	60.33	60.33

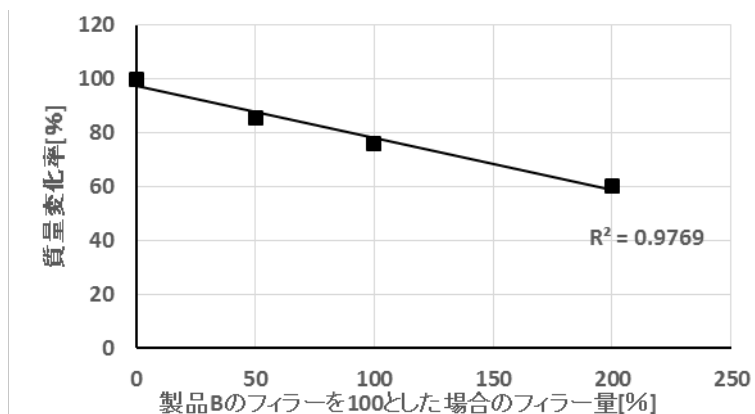


図 3.4.11 製品 B のフィラー量と 500°C での質量変化率の関係

表 3.4.13 接着剤 B, 試験温度および時間と質量変化率の関係

時間[h]		質量変化率[%]			
		0	1	2	3
温度[°C]	100	0	4.67	6.33	7.33
	200	0	21.67	21.67	21.67
	300	0	47.00	50.00	51.00
	400	0	64.00	73.00	74.83
	500	0	73.00	75.83	75.67

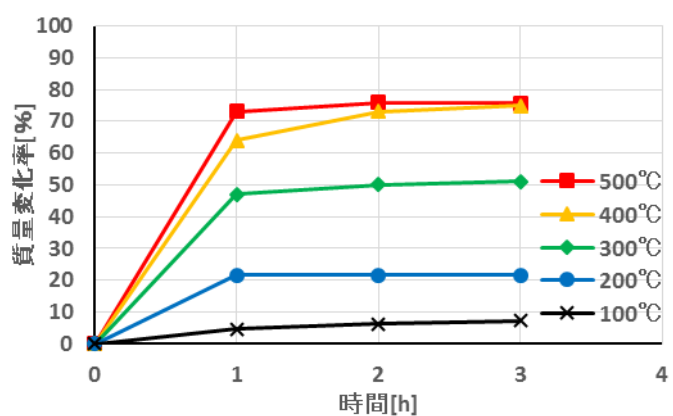


図 3.4.12 接着剤 B の加熱時間と質量変化率の関係

3-5 FT-IR(赤外線分光スペクトル)による樹脂の区分

3-5-1 検討概要

接着剤に使用される樹脂には、主にエポキシ樹脂、エポキシアクリレート(ビニルエステル)樹脂、不飽和ポリエステル樹脂、アクリル樹脂などがある。一般的には注入方式にはエポキシ樹脂が、カプセル方式にはエポキシアクリレート樹脂や不飽和ポリエステル樹脂が使われることが多いが、それ以外の樹脂が使用されている製品も存在する。また、同じ主剤が同じ樹脂系であっても製品によってその内容は異なり、さらに同じ製品でも硬化速度の違いなどによって樹脂が異なるため、接着剤の製品の同一性を確認するためには、樹脂の違いを特定する必要がある。

この樹脂の分子主成分や分子構造の違いを評価する手法として FT-IR(赤外スペクトル)法が用いられる。樹脂を透過(あるいは)反射した赤外線のスペクトル(吸収スペクトルあるいは反射スペクトル)が、分子構造によって異なることを利用して、樹脂の特定を行う手法である。

平成 28 年度においては、接着剤に使用される樹脂の同一性の確認のための FT-IR 法の適用性を確認するための検討として、いくつかの樹脂およびフィラーなどについて、FT-IR を測定し適用の可能性について検討した。

なお、測定結果およびその結果から得られた知見について、現段階の情報のみで記載することは不適切であり、将来的に評価を行う場合に支障を来す可能性もあるため、ここでは、結果のみを示し、考察等については記述しないこととした。

3-5-2 実験計画

(1)測定方法

測定機器には島津製作所社製のフーリエ変換赤外線分光光度計(FT-IR)を使用した。分析試料を約

1mm厚の亚克力板で挟み込み外枠を接着，標本とする。これを試験機に設置し透過スペクトルを測定する。また亚克力板のみで作成した空の標本で測定を行い，結果を減算することで試料のみのスペクトルとする。測定波長は1/4000[cm]～1/400[cm]とする。測定精度は20(ある範囲で20点を測定し得られたスペクトルの平均を表示する)とし，各試料について2度の測定を行う。

(2)測定試料

試料にはエポキシ樹脂系接着剤製品B，エポキシ樹脂系接着剤Rを基本として，主剤と硬化剤，フィラーのみ，フィラーを添加したものなどを用いた。今回の実験に使用した試料の一覧を表3.5.1に示す。

表 3.5.1 FT-IR 測定を行った試料

製品	樹脂単体	フィラーのみ	接着剤+フィラー
接着剤製品B	接着剤B(樹脂のみ)	珪砂	接着剤R+珪砂20%
接着剤製品R	接着剤R(主剤のみ)	ガラス粉	接着剤R+ガラス粉20%
	接着剤R(硬化剤のみ)	活性炭	接着剤R+活性炭10%

3-5-3 測定結果

(1)樹脂の構成(主剤+硬化剤)とスペクトルの関係

図3.5.1～図3.5.4に接着剤製品Rおよび主剤と硬化剤，主剤+硬化剤の赤外線スペクトルを示す。ただし図3.5.2については，加算を行うため透過率が最大の波長をもとにスペクトルを縮小させている。

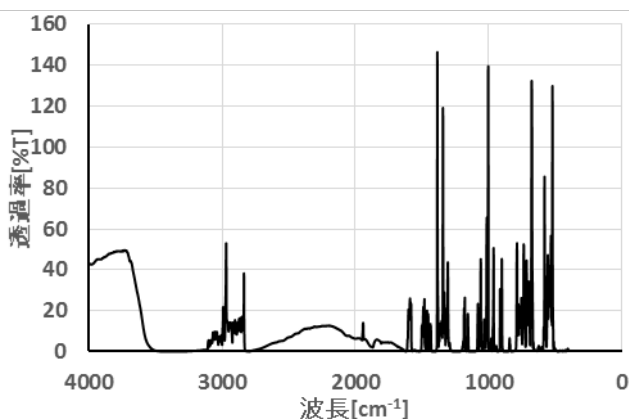


図 3.5.1 接着剤製品Rのスペクトル

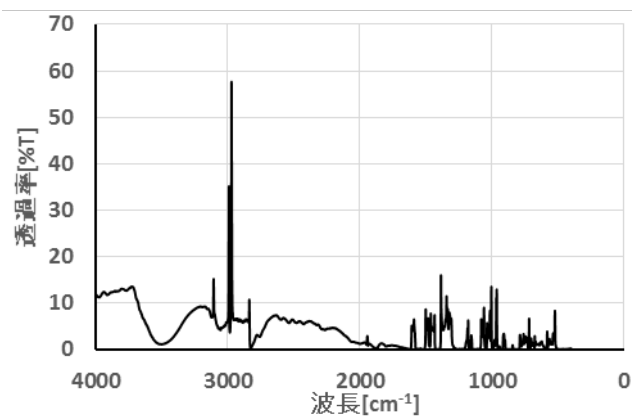


図 3.5.2 接着剤R・主剤のスペクトル

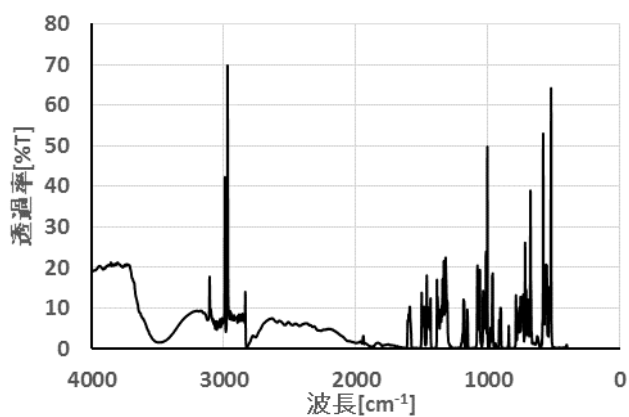


図 3.5.3 接着剤R・硬化剤のスペクトル

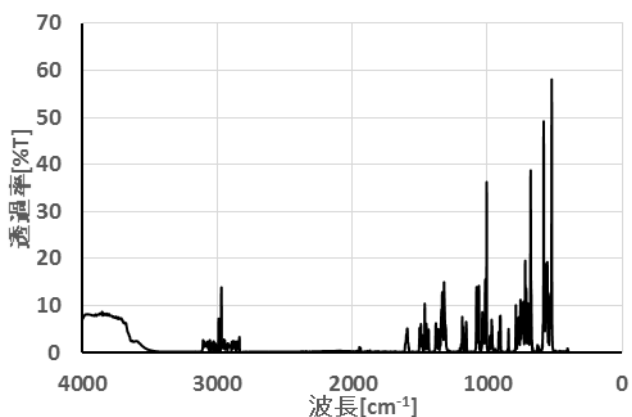


図 3.5.4 接着剤R・主剤+硬化剤のスペクトル

(2) フィラーが混入した場合のスペクトルの違い

珪砂，ガラスビーズ，活性炭入りの接着剤および単体のスペクトルを図3.5.5～図3.5.10に示す。またフィラーを混入させた接着剤からフィラー単体を減算したスペクトルを図3.5.11～図3.5.13に示す。

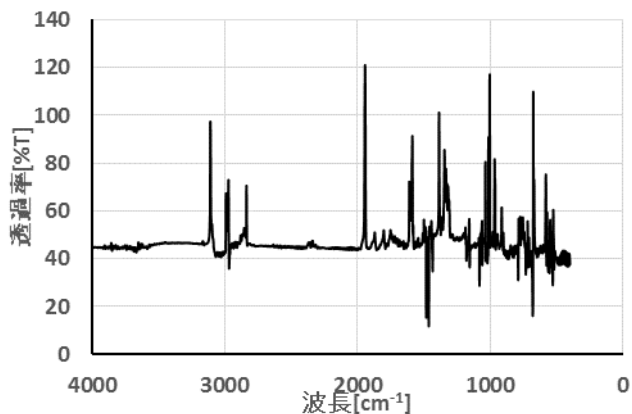


図 3.5.5 接着剤 R+珪砂 20%のスペクトル

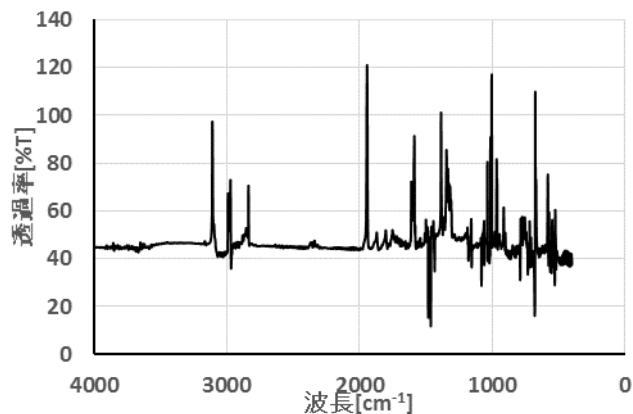


図 3.5.6 珪砂のスペクトル

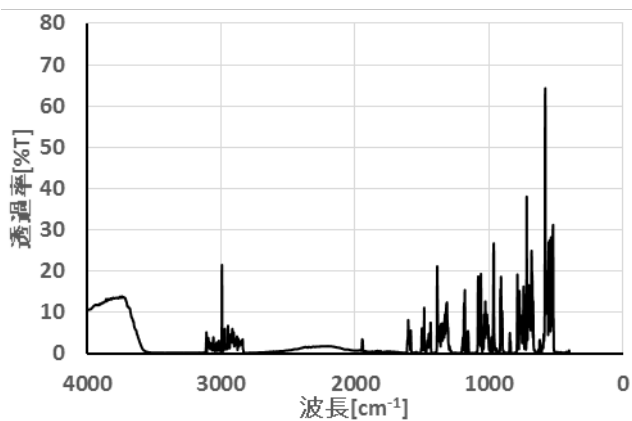


図 3.5.7 接着剤 R+ガラスビーズ 20%のスペクトル

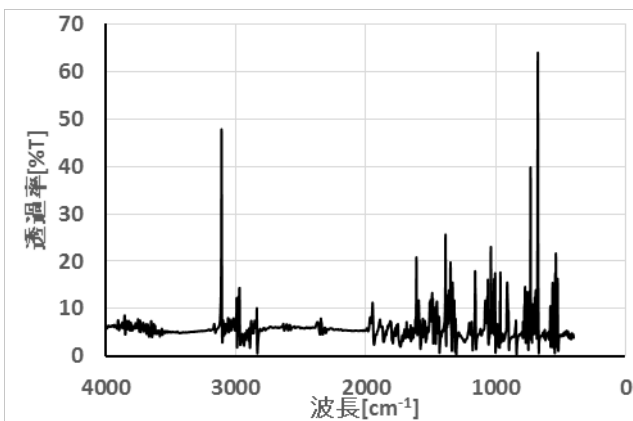


図 3.5.8 ガラスビーズのスペクトル

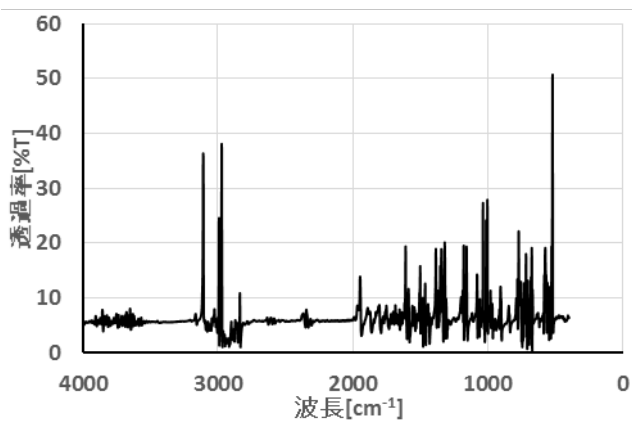


図 3.5.9 接着剤 R+活性炭 10%のスペクトル

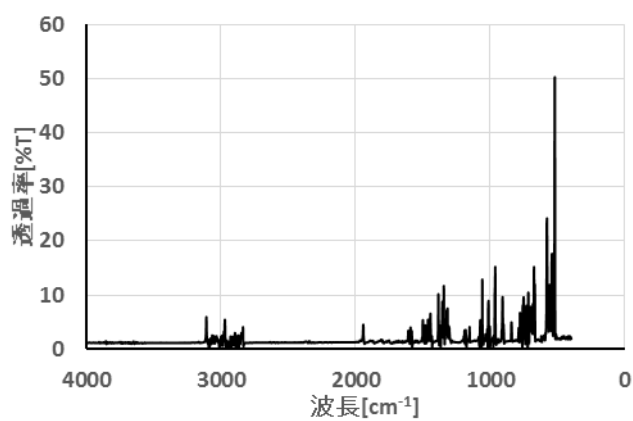


図 3.5.10 活性炭のスペクトル

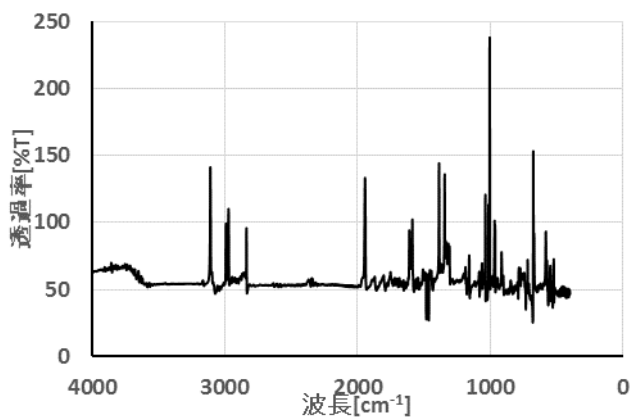


図 3.5.11 珪砂入り接着剤の減算スペクトル

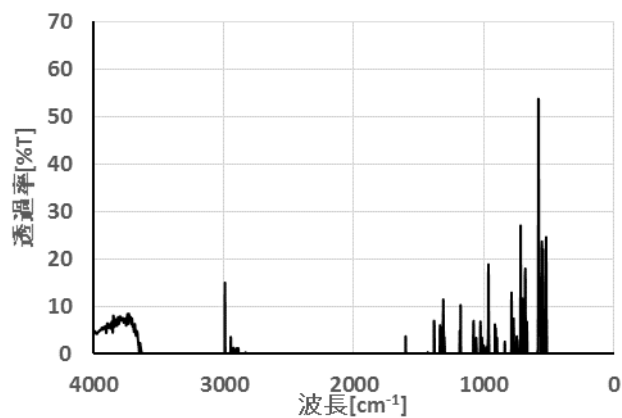


図 3.5.12 ガラスビーズ入り接着剤の減算スペクトル

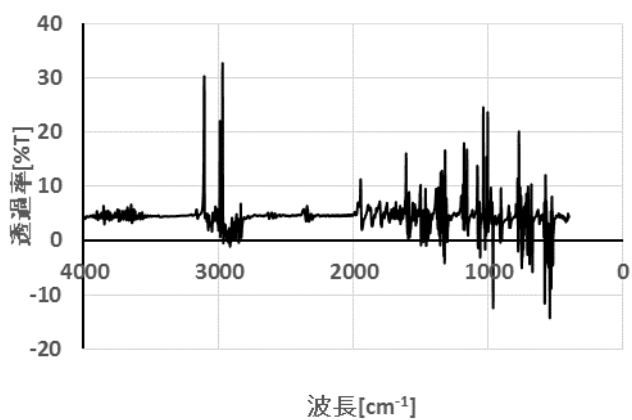


図 3.5.13 活性炭入り接着剤の減算スペクトル

(3) 減算スペクトルによる混入物の特定の可否

接着剤製品 B および接着剤 B(ピュア樹脂)の赤外スペクトルを図 3.5.14 および図 3.5.15 に示す。また図 3.5.14 から図 3.5.15 のスペクトルを減算した結果を図 3.5.16 に示す。

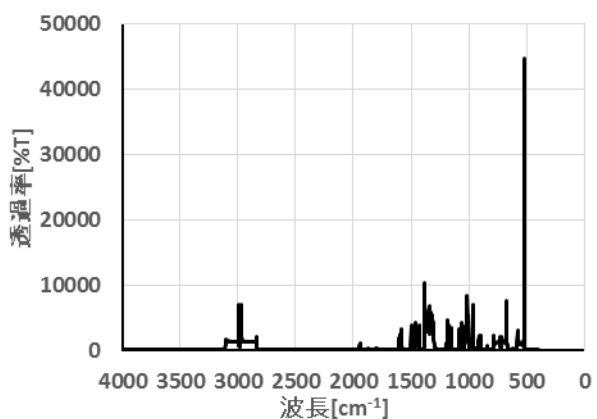


図 3.5.14 接着剤製品 B のスペクトル

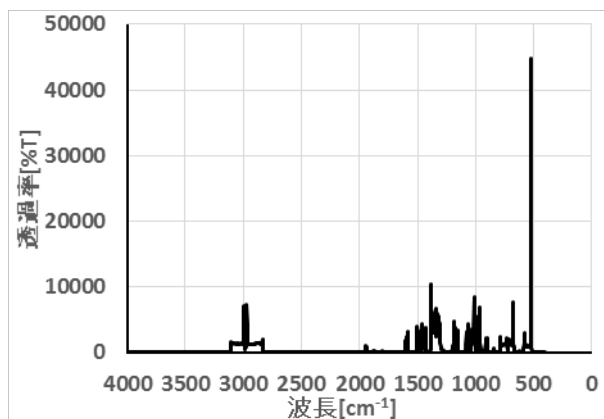


図 3.5.15 接着剤製品 B(ピュア樹脂)のスペクトル

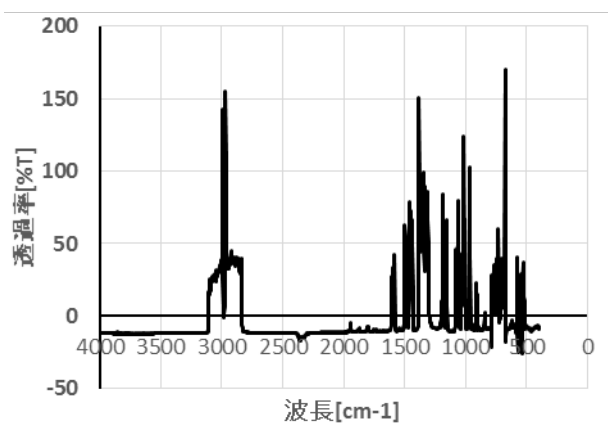


図 3.5.16 接着剤製品 B からピュア樹脂のスペクトルの減算スペクトル

3-6 接着系あと施工アンカーの拘束状態を考慮した接着性の簡易試験方法の検討

3-6-1 検討概要

平成28年度の検討においては、接着性の評価として、圧縮せん断接着試験(JIS K 6850)を実施したが、付着強度との相関性は確認されないこと、セメント系の接着剤では試験の実施が難しいことなどが明らかとなった。その理由としては、引張せん断接着性試験では、被着体が拘束を受けないため単純に被着体と接着剤の接着性のみの評価になっていたことなどが考えられる。

そこで、平成29年度の検討では、あと施工アンカーが穿孔された孔内で周囲の拘束を受ける状態を想定した接着性の試験を検討した。また、できるだけ簡易で被着体のばらつきの影響などを受けにくい方法であることも考慮した。

3-6-2 試験方法の検討

図3.6.1に本課題で検討した接着性試験の概略図、図3.6.2に試験体の形状および寸法を示す。また、写真3.6.1に実施状況の写真を示す。穿孔状況は高ナットにより再現し、アンカー筋は全ねじ筋で再現することにより、孔内の状況やアンカー筋の形状等の影響をなくすことを考えた。

アンカー筋は、M12で材質がS45Cを用いた。高ナットの寸法は呼び径をM16とM20とし、材質はS45Cとした。ねじおよび高ナットの材質は、降伏や破断が生じないようにするため、S45CあるいはSNB7が適当である。ねじとナットの組み合わせで、M12のねじとM16の高ナットでは、ねじの周囲に約1mmの接着剤の層ができることになる。M20の高ナットとの組み合わせでは、約3mmの接着剤の層ができることになる。

付着長さは24mm($2d_a$)とした。これはねじの降伏と接着強度の関係から決まる長さであり、試験体の安定性を考慮すると可能な範囲で長くすることが望ましい。

試験体の製作は、写真3.6.2に示すような製作治具を製作し、高ナットの中央にアンカー筋がセットされるようにし、必要量の接着剤を注入した。アンカー筋の底面および高ナットとの境界部にはテープを巻き絶縁した。

荷荷は、引張試験機(島津製作所製インストロン型万能試験機・荷荷容量50kN)を用い、荷荷速度 $0.55\text{ N/mm}^2\cdot\text{s}$ (500N/s)として荷重制御で荷荷した。変位はアンカー筋(全ねじ)にできるだけ接着部分に近くなるように治具を取り付け、マグネットスタンドを高ナットに取り付け、動ひずみ計を介してアンカー筋の抜け出し変位を計測した。

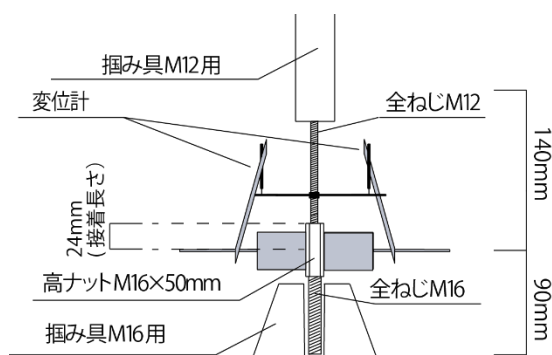


図3.6.1 接着力試験の概要図

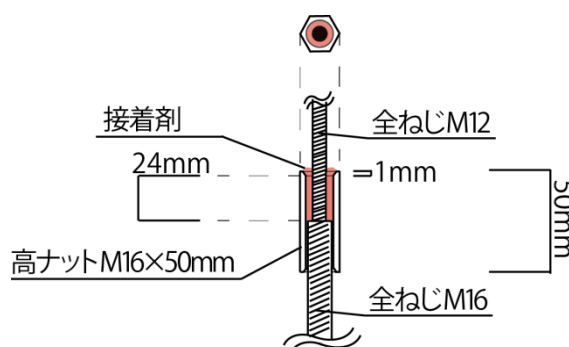


図3.6.2 接着力試験の試験体形状・寸法

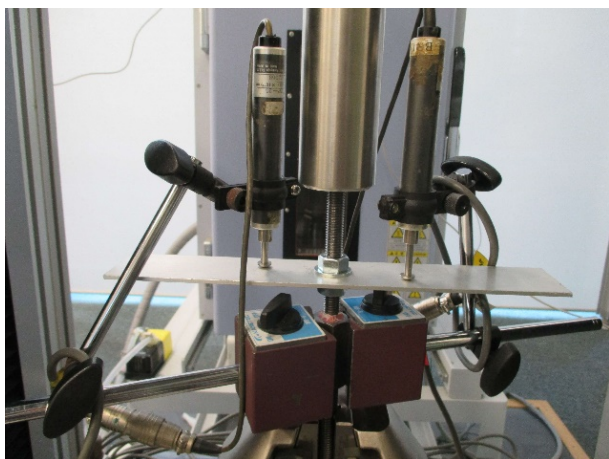


写真 3.6.1 接着力試験の状況



写真 3.6.2 試験体製作状況

3-7 試験片の製作方法の標準化

試験片の製作方法については、平成 28 年度においてエポキシ樹脂系の接着剤に対して、塩ビ板を用いた製作方法を提案し、均一な厚さの樹脂板を製作できること、樹脂板が型枠に接着されないこと、表面を平滑にできることを確認した。その手順を以下に示す。ここでは、カートリッジタイプの製品のノズルから吐出された樹脂をそのままの状態の評価することを主眼としており、真空脱気による樹脂中の気泡の除去等を行っていない。

- (1) 塩化ビニル板を用いて型枠を作成する(写真 3.7.1)
- (2) 接着剤を型枠に流し込む、空気が入り込まないようにノズルを動かす(写真 3.7.2)
- (3) 上部に塩ビ板を乗せ、押さえつける(写真 3.7.3)
- (4) 表面の気泡を逃がすようにしながら接着剤を広げる(写真 3.7.4)
- (5) 鉄板などを載せて均等に圧が加わるようにし、さらに重石を載せる(写真 3.7.5)
- (6) 接着剤が硬化するまで放置する
- (7) 型枠から硬化した樹脂の板を取り外す(写真 3.7.6)

ラジカル反応系樹脂の接着剤については、一般的に硬化が早く硬化時の発熱量も大きくなることを考慮した。製作手順は、エポキシ樹脂系と同様の方法で製作が可能であったが、塩ビ板をガラス板に変更することで熱容量と剛性を確保することで同様に製作が可能になった。ガラス板によって製作された樹脂板を写真 3.7.7 に示す。また、樹脂の各種物性試験に供するためには、樹脂板から試験片に加工する必要がある、加工には卓上の切断機を用いた。製作した試験片の例を写真 3.7.8 に示す。試験片の加工にあたっては、当該 JIS に規定される公差の範囲で加工する必要がある。推奨試験片の寸法は、圧縮強さが長さ $10 \pm 0.2\text{mm}$ 、幅 $10 \pm 0.2\text{mm}$ 、厚さ $4 \pm 0.2\text{mm}$ の角柱形、圧縮弾性率が長さ $50 \pm 2\text{mm}$ 、幅 $10 \pm 0.2\text{mm}$ 、厚さ $4 \pm 0.2\text{mm}$ の角柱形とされており、試験時に座屈のないような寸法とされている。今回の樹脂板の製作および切断による方法によって、この規定での試験片の製作が可能となった。また、JIS には平行度の規定はないが、切断時の平行度にも留意する必要がある、切断時に平行度を保つための治具を用意するなどの工夫をするとよいと思われる。また、この方法は注入式アンカーのカートリッジタイプの製品(フィラー等が混入されているもの)を対象としているため、現場調査タイプなどでは気泡が多く含まれることになり、このような試験片の製作方法としては適切ではないと思われる。



写真 3.7.1 樹脂板製作用型枠

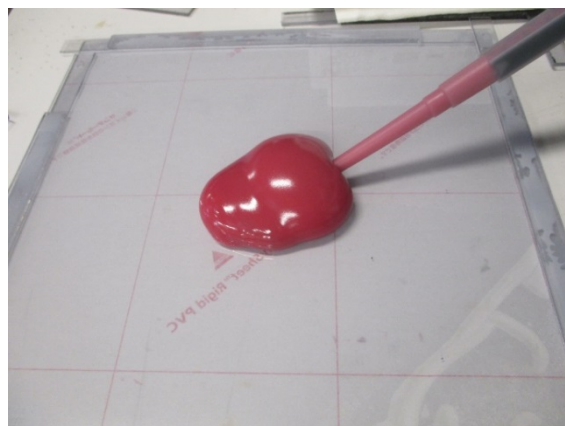


写真 3.7.2 樹脂の流し込み

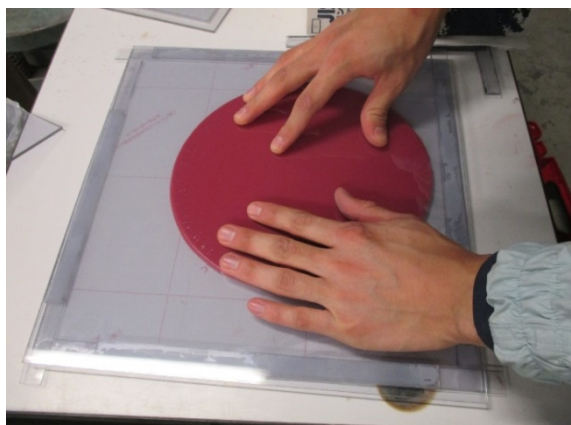


写真 3.7.3 樹脂の押さえと延ばし

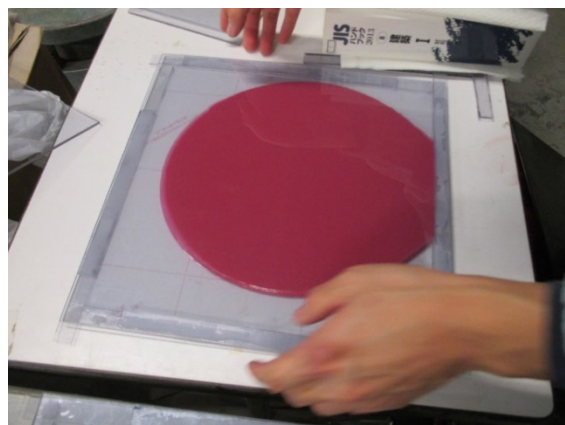


写真 3.7.4 樹脂を延ばし広げた状態

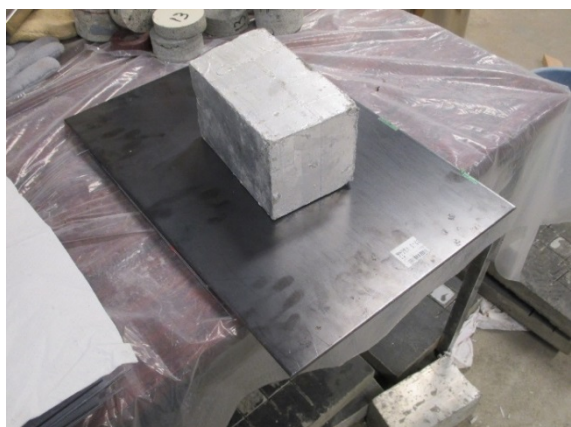


写真 3.7.5 重石による固定と硬化



写真 3.7.6 型枠の離型

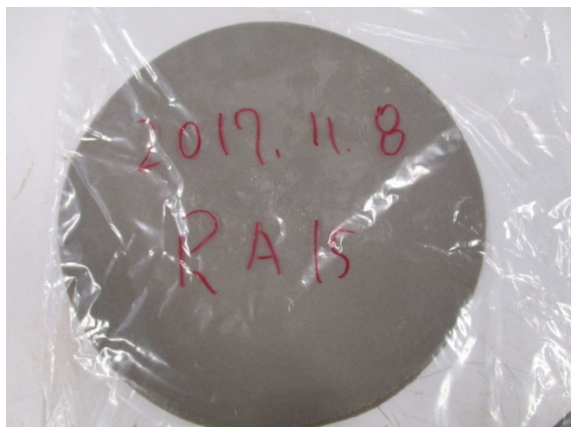


写真 3.7.7 ラジカル反応系樹脂接着剤による樹脂板

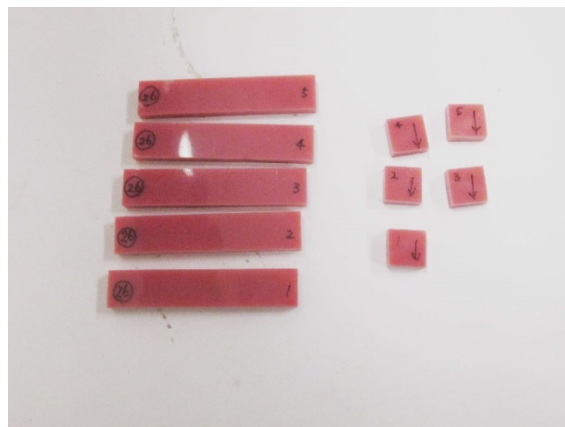


写真 3.7.8 樹脂板より切断加工した試験片の例

3-8 市販の製品の物性評価試験

3-8-1 試験概要

平成29年度の検討では、市販のあと施工アンカー製品に使用されている接着剤に対して評価試験を行い、試験方法の妥当性、評価基準の設定等のための基礎資料とすることための検討を行った。試験の対象とした接着剤は以下のとおりである。なお、エポキシ樹脂系のうち1製品(EP15)については、カートリッジタイプではなく、現場調合タイプの接着剤である。

- ・ラジカル反応樹脂系接着剤 : 8社 15製品(記号: RA1~RA16)
- ・エポキシ樹脂系接着剤 : 10社 15製品(記号: EP1~EP15)
- ・セメント系接着剤 : 3社 3製品(C1~C3)

評価項目および評価方法を表3.8.1に示す。評価項目は、平成28年度の検討結果を踏まえ、極力少ない項目で樹脂の品質を評価できる項目に絞った。また、他の基準等で実施されていない拘束状態を考慮した接着性試験(3-6項に記載)を加えた。評価方法は、樹脂系(ラジカル反応樹脂系、エポキシ樹脂計)とセメント系に分け、それぞれ適切な方法で評価することとした。

試験に供した試験片は、樹脂系については前項に示した方法で製作し、セメント系については、JIS A 1132(コンクリートの強度試験用供試体の作り方)を参考にして製作した。

接着剤単体の性能と付着強度との関係性について考察するため、一部の試験体については、付着強度試験を行った。付着強度試験は、異形鉄筋(D13)および全ねじ(M12)をアンカー筋として、付着長さ $5d_a$ の試験体を用いて行った。試験方法は、2-4節に示した方法とした。

表 3.8.1 接着剤の試験項目・試験方法

評価項目	評価方法	
	樹脂系	セメント系
圧縮強さ	JIS K 7181	JIS A 1108
圧縮弾性率	JIS K 7181	実施せず
接着強さ	拘束接着力試験(3-4-2項参照)	
フィラー量(不燃残分)	500℃・2時間加熱後質量測定(H28年度報告書参照)	

3-8-2 圧縮強度および圧縮弾性率

図3.8.1にラジカル反応樹脂系接着剤の圧縮強さ、図3.8.2に同じく圧縮弾性率、図3.8.3にエポキシ樹脂系接着剤の圧縮強さ、図3.8.4に同じく圧縮弾性率の試験結果を示す。図中に黄色で示した試験体は、付着強度試験をあわせて実施した試験体である。

圧縮強さの基準値は、基準によって異なるが、フィラーを含まないピュア樹脂の場合は98.0 N/mm²以上、フィラーを含んだ場合でその半分程度以上とされている。また無機系を分けた場合は、国交省監理指針で29.4 N/mm²以上、建築学会の各種合成構造指針で50 N/mm²以上とされている。また、圧縮弾性率については、いずれの基準でも980 N/mm²とされている。

今回の試験結果から、圧縮強さは、概ね50~100 N/mm²の範囲にあるが、エポキシ樹脂系ではEP12のみがそれを下回る結果となった。ラジカル系ではRA15のみが下回っている。これらについては圧縮弾性率も相対的に小さい結果となっており、試験片の製作に問題があった可能性も含めて検証が必要であるが、品質基準としては、50 N/mm²程度が妥当な範囲であると思われる。なお、EP15はピュア樹脂であり、品質基準値としては98 N/mm²以上となるが、現場調合タイプであり、試験片の製作時に気泡を巻き込んだことで強度が小さくなったと推測される。

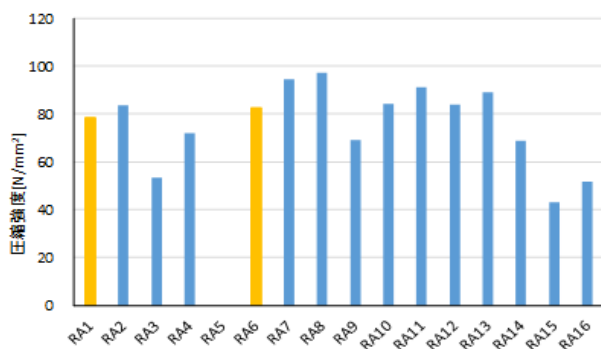


図 3.8.1 圧縮強さ試験結果(ラジカル系)

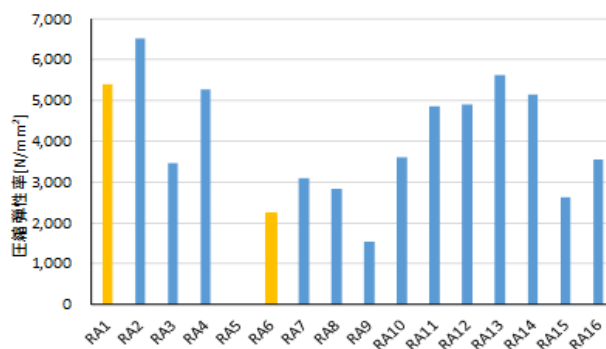


図 3.8.2 圧縮弾性率試験結果(ラジカル系)

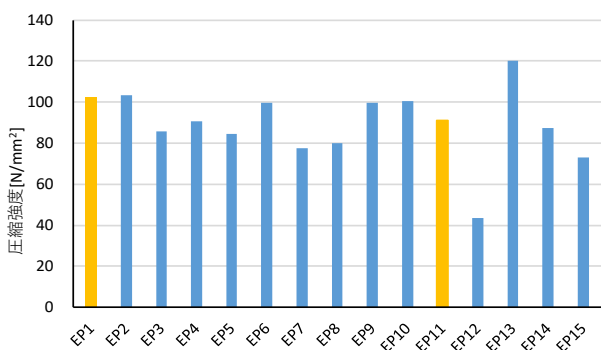


図 3.8.3 圧縮強さ試験結果(エポキシ系)

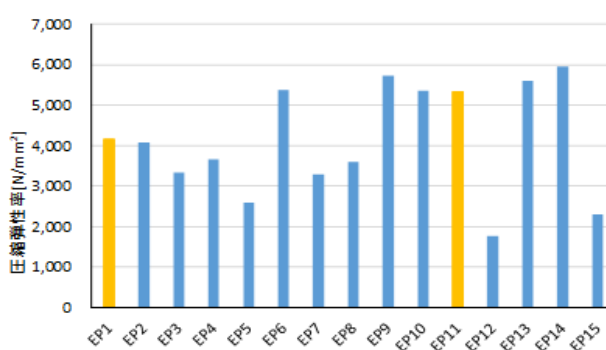


図 3.8.4 圧縮弾性率試験結果(エポキシ系)

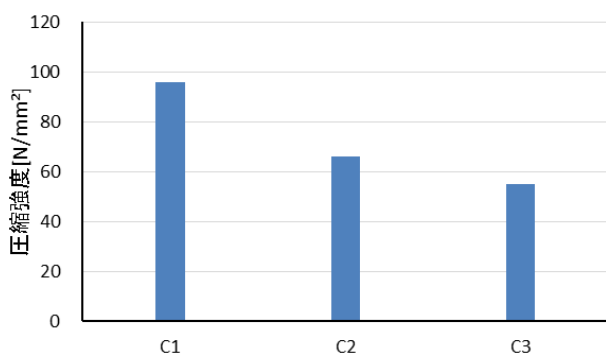


図 3.8.5 圧縮強さ試験結果(セメント系)

圧縮弾性率については、いずれの試験体も 980 N/mm²を上回っている。圧縮強さ試験で基準を下回ったものも圧縮弾性率では基準を上回る結果となり、平均的な値も 3,000 N/mm²程度にあるため、基準値を大きめに修正してもよいと思われる。

接着剤の圧縮強度および圧縮弾性率と付着強度の関係を図 3.8.6 および図 3.8.7 に示す。圧縮強さと付着強度の間には一応の相関関係が見られるが、付着強度を担保するための基準とはなり得ないと考えられる。

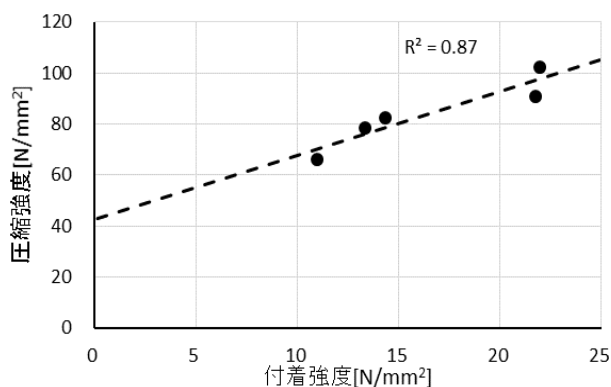


図 3.8.6 圧縮強さと付着強度の関係

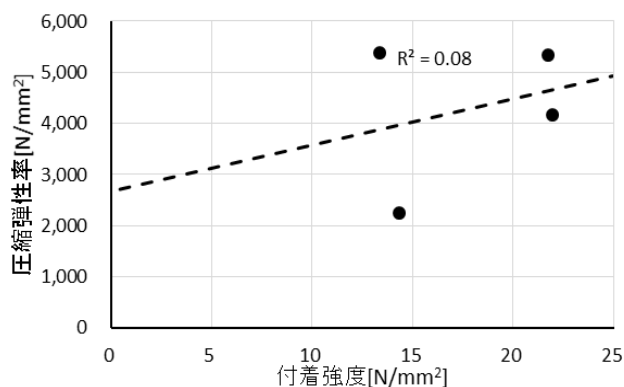


図 3.8.7 圧縮弾性率と付着強度の関係

3-8-3 接着力試験

(1) 接着力試験方法について

接着力試験は、あと施工アンカーに作用する応力状態に近い状態で接着性を評価できること、被着体の形状や状態の影響をできるだけ受けにくいこと、できるだけ簡易な方法となることなどを考慮して試験方法を検討した。

試験結果の例として図 3.8.8 (EP15) および図 3.8.9 (EP2) に応力-変位曲線の例を示す。多くの接着剤については、EP15 のように比較的安定した値が得られたが、EP2 のように試験結果が大きくばらつく場合があった。その理由として、ボルトとナットの隙間が小さい(約 1 mm) ことによる接着剤の充填不良が考えられたため、ナットの寸法を M20 とし約 3 mm の隙間のある状態で試験を行った。図 3.8.10 に EP15 を図 3.8.11 に EP2 の結果を示す。また、M16 と M20 の両方の試験を行った試験体の付着強度と変動係数の比較を図 3.8.12、図 3.8.13 に示す。

EP15 のようにフィラーが入っていない場合やその粒子が小さい場合には試験結果のばらつきも小さく良好な結果が得られる。しかし、接着剤によっては試験体によってばらつきが生じる場合がある。その原因として、フィラーの粒子が接着剤の充填性を阻害していることが考えられた。そのため M20 のナットを用いて試験を行った。M16 の場合は、ボルトとナットの間の隙間は約 1 mm であり、M20 の場合は約 3 mm となる。実際の穿孔径とアンカー筋径の隙間は約 1 mm である。

M20 のナットを用いた場合、ばらつきは全体的に小さくなり安定した結果が得られる。EP2 のように充填性を阻害していたと思われる試験体については、接着強度の平均値が大きくなり変動係数は小さくなる。充填性が阻害されていないと思われる試験体では、接着強度の平均値は若干小さくなり、変動係数には大きい差異は見られない。これは、接着剤層の厚みが大きくなることにより接着剤のコーン破壊で壊れる部分が大きくなり、実際の付着長さが小さくなることによると推測される。したがって、試験方法としては、安定した結果が得られ、安全側の値となる M20 のナットを用いることとした。

また、試験後の破断面を写真 3.8.1 に示す。破断面は、付着部分の上部でわずかにコーン状の破壊があり、それ以外の部分はボルトと接着剤界面のせん断破壊であった。試験を行ったすべての試験体において同様の破断面であった。

このほか、付着長さについて検討を行った。今回の実験では、加力装置の載荷容量の関係から付着長さを 24 mm ($2d_a$) としたが、安定した結果を得るためには、ボルトの降伏を生じない範囲でできるだけ付着長さを長くした方がよい。そのための付着長さの上限について検討した。

一般的に高強度のねじ鋼として使用される SNB7 (JIS G 4107 に規定) の耐力(降伏点)が 725 N/mm²

第3章 接着系あと施工アンカーに使用される接着剤単体の物性および品質確認試験

以上とされており、M12ねじでの降伏荷重は61.1kNとなる。今回の実験では接着強度が50N/mm²程度近い接着剤もあるため、接着強度の上限値を50N/mm²とした場合、M12・SNB7の降伏荷重に相当する付着長さは32.4mmとなる。したがって、付着長さは最大で30mm(2.5d_a)程度までとなる。

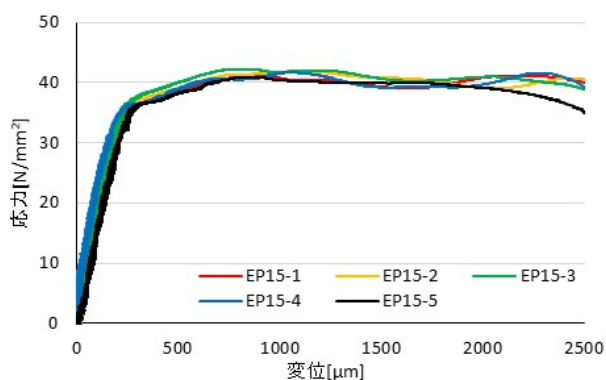


図 3.8.8 接着力試験における応力-変位曲線 (EP15・M16 ナット)

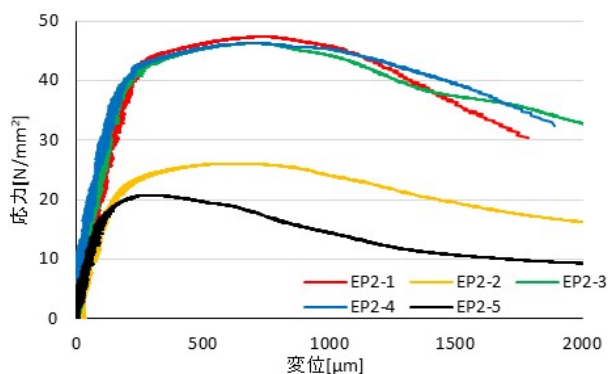


図 3.8.9 接着力試験における応力-変位曲線 (EP2・M16 ナット)

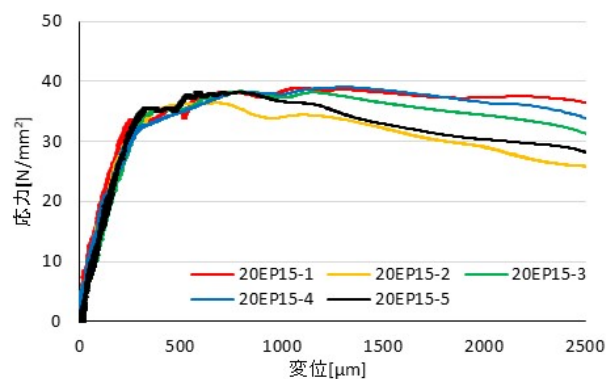


図 3.8.10 接着力試験における応力-変位曲線 (EP15・M20 ナット)

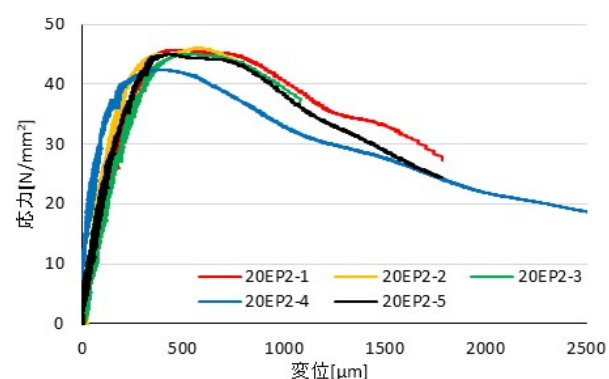


図 3.8.11 接着力試験における応力-変位曲線 (EP2・M20 ナット)

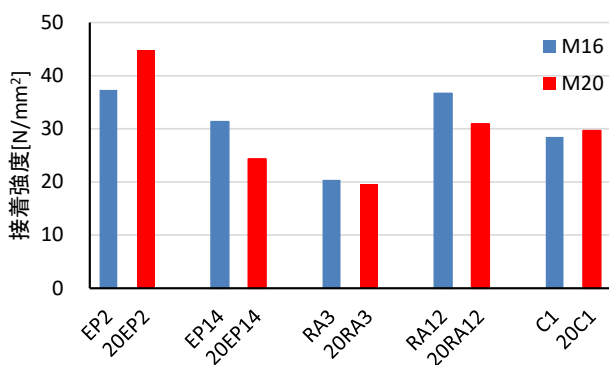


図 3.8.12 M16 と M20 ナットの接着強度の比較

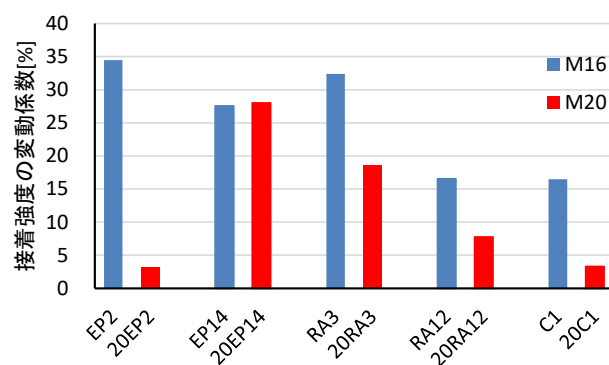


図 3.8.13 M16 と M20 ナットの変動係数の比較



写真 3.8.1 接着力試験における破断面の例

(2)接着力試験の結果および基準値の検討

図 3.8.14 にラジカル反応樹脂系接着剤, 図 3.8.15 にエポキシ樹脂系接着剤, 図 3.8.16 にセメント系接着剤の接着力試験結果を示す。いずれも M16 ナットを用いた場合の結果である。また, 図 3.8.17 に接着剤の圧縮強さと接着力の関係を示す。接着力は, エポキシ系では安定して 30 N/mm²以上の値が得られているが, ラジカル系では概ね 20~40 N/mm²の間にあり接着剤ごとのばらつきが大きい。セメント系はすべて 30 N/mm²以下である。セメント系接着剤の付着のメカニズムは, 拘束による効果, 凹凸へのメカニカルな接着のほか, セメントの水和が考えられるが, 被着体が鋼材の場合にはセメント粒子同士の結合が弱まることも考えられる。圧縮強さととの関係は, ばらつきはあるもののおおよその線形関係が見られる。

ここで, 接着力試験による品質基準を検討するため, 付着強度と接着強度の関係を示す。図 3.8.18 に異形鉄筋, 図 3.8.19 に全ねじ筋を用いた場合の関係を示す。図中には, 付着強度と接着強度の比が 1:1, 1:1.5 および 1:2 となる線を追記している。

接着強度と付着強度の間には一定の相関関係があり, 同じ接着剤では接着強度の方が大きい値になっている。その比は異形鉄筋の場合には 1:1.5 以上である。全ねじの場合には付着強度が大きくなるため 1:1~1:2 の範囲にある。本課題では, 異形鉄筋との関係を確認すればよいことから, 接着力強度の基準は必要となる付着強度に対して 1.5 倍程度の基準値にしておけばよいということになる。したがって, 付着強度の基準値を 10 N/mm²とする場合は接着強度を 15 N/mm²以上, 付着強度の基準値を 15 N/mm²とする場合は接着強度を 22.5 N/mm²以上とすればよい。

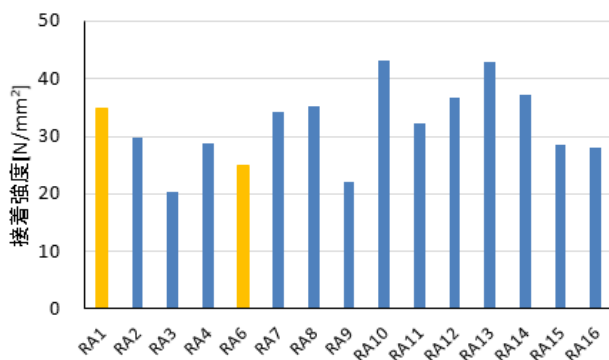


図 3.8.14 接着力試験結果(ラジカル系)

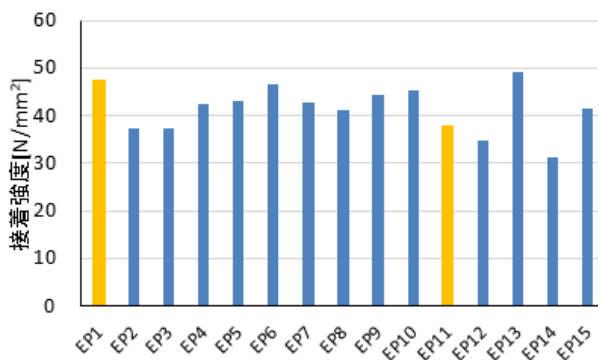


図 3.8.15 接着力試験結果(エポキシ系)

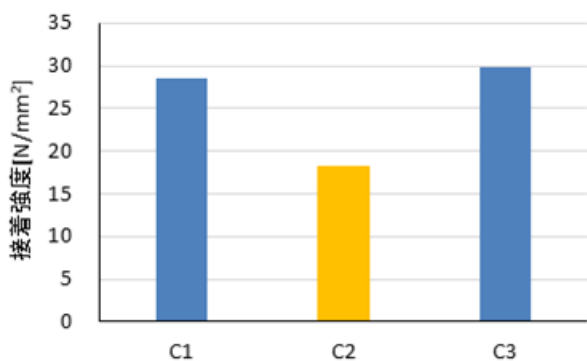


図 3.8.16 接着力試験結果(セメント系)

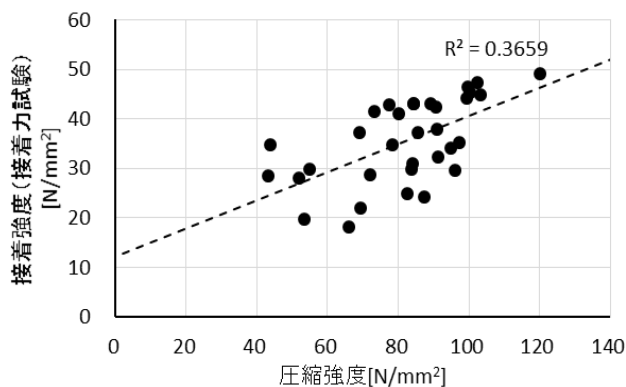


図 3.8.17 圧縮強さと接着力の関係

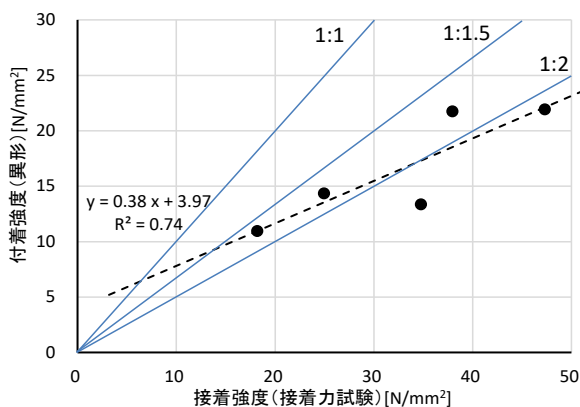


図 3.8.18 付着強度と接着強度の関係 (異形鉄筋)

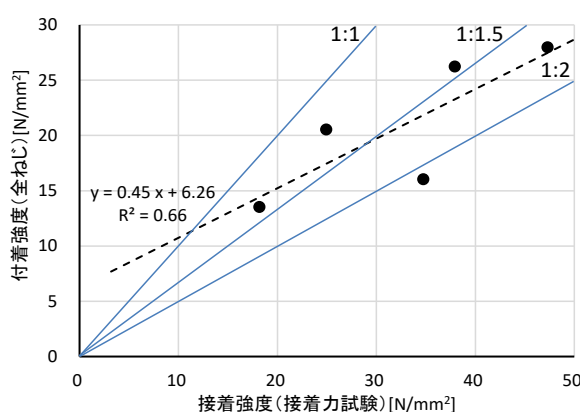


図 3.8.19 付着強度と接着強度の関係 (全ねじ)

図 3.8.20 および図 3.8.21 にラジカル反応樹脂系およびエポキシ樹脂系接着剤の圧縮弾性率と接着力試験における初期剛性(0.002D 時の応力)との関係を示す。ここでは、圧縮強さと初期剛性間に明瞭な関係は見られない。接着力試験による初期剛性に算出に当たって、試験体のなじみ等による変位の影響によると思われる。

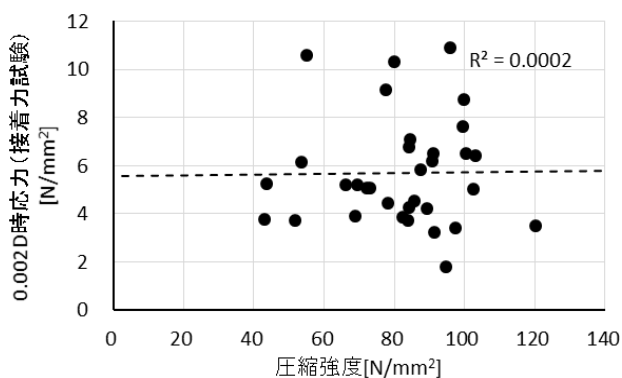


図 3.8.20 圧縮強度と初期剛性の関係図 (ラジカル反応樹脂系)

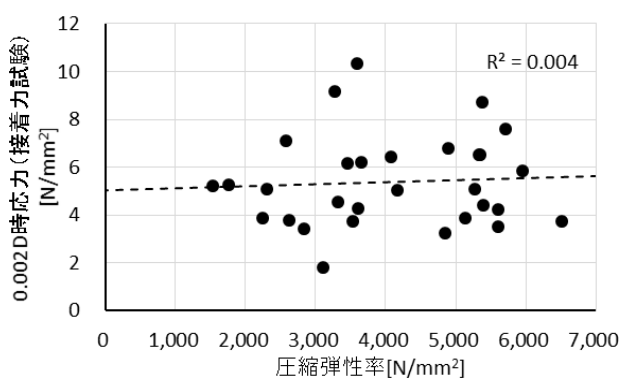


図 3.8.21 圧縮強度と初期剛性の関係 (エポキシ樹脂系)

3-8-4 燃焼試験

図 3.8.22 にラジカル反応樹脂系接着剤の燃焼試験の結果、図 3.8.23 にエポキシ樹脂系接着剤の燃焼試験の結果を示す。燃焼試験では、接着剤成分が燃焼してしまうため、減少率が概ね接着剤成分の量を表すことになる。また、不燃残分はフィラーなどの無機系の成分となるが、フィラーに繊維などの有機系の材料が含まれている場合は減少率に含まれることになる。

ラジカル系では接着剤ごとの違いが少なく、1 材料を除き減少率は概ね 30~40%の範囲にある。エポキシ系は材料ごとの違いが大きく全体的に減少率も大きい。EP15 はピュア樹脂であるため、ほぼ 100%の減少率となっている。

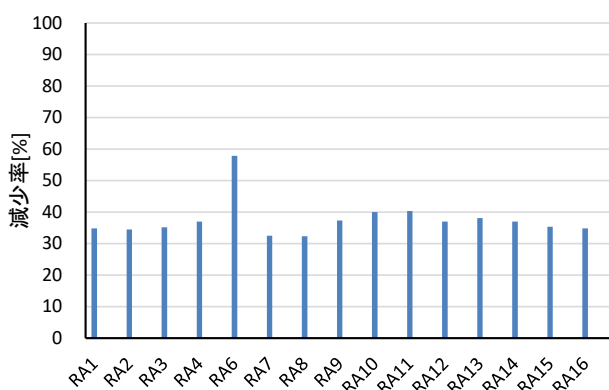


図 3.8.22 燃焼試験の結果(ラジカル系)

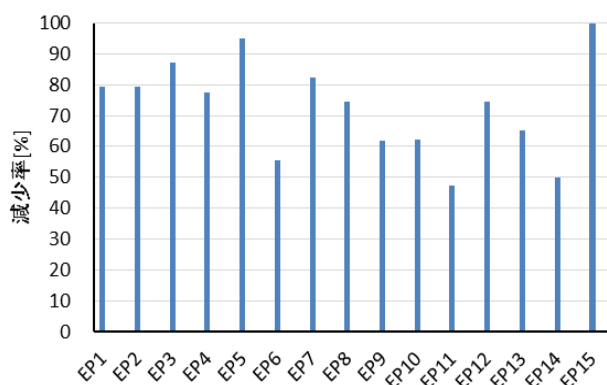


図 3.8.23 燃焼試験の結果(エポキシ系)

3-9 樹脂の評価方法案の提案

3-9-1 評価項目および評価基準

接着系あと施工アンカーに使用する接着剤の品質評価のための評価項目および評価基準案を、表 3.9.1 に示す。評価項目および評価基準は、本課題において検討した結果を踏まえたものである。耐アルカリ性試験については、従来より JCAA の製品認証試験で実施されていたものであり、文献^{3.8)}においてもその有効性が確認されていることから、JCAA の製品認証試験を踏襲したものとした。

表 3.9.1 接着系あと施工アンカーに使用する接着剤の品質評価項目および評価基準案

評価項目	接着剤の種類	試験方法	評価基準
圧縮強さ	有機系(フィラーを含まない場合)	JIS K 7181	98.0 N/mm ² 以上
	有機系(フィラーを含む場合)		50.0 N/mm ² 以上
	無機系	JIS A 1108	29.4 N/mm ² 以上
圧縮弾性率	有機系	JIS K 7181	9.8×10 ² N/mm ² 以上
接着強さ	有機系・無機系	接着力試験	基準付着強度の 1.5 倍以上
不燃残分率	有機系	燃焼試験	製造者の申請値の ±5%以内であること
耐アルカリ性	有機系	JIS K 6919	質量減少率*10%以下 アルカリ浸漬後の試料に ひび割れや欠損がないこと

* : 100℃・10%水酸化ナトリウム水溶液に 100 時間浸漬した時の質量減少率

3-9-2 圧縮強さおよび圧縮弾性率試験

以下、接着系あと施工アンカーに使用する接着剤の圧縮強さ試験、圧縮弾性率試験の試験方法(案)を示す。目次立ては、報告書とは独立している。

接着系あと施工アンカーに使用する接着剤の圧縮強さおよび圧縮弾性率試験方法(案)・同解説

(1) 総則

1) 目的

本試験方法案は、接着系あと施工アンカー製品に使用する接着剤の圧縮強さおよび圧縮弾性率の試験を行うためのものである。

2) 適用範囲

本試験方法は、接着系あと施工アンカーのうち、有機系および無機系の注入方式・カートリッジタイプのあと施工アンカー製品に使用される接着剤を対象とする。また、本試験方法案に規定する試験体および試験方法について、同等の評価結果が得られることが確認された場合にはこれによることができる。

3) 試験実施者および申請者

本試験方法案により試験を行う者(試験実施者)は、樹脂およびセメント系材料の強度試験を適切に実施でき、かつ第三者的な立場で試験を実施し、その結果を報告できる者でなければならない。申請者は、あと施工アンカー製品の製造者もしくはそのあと施工アンカーを用いて工事を行う者またはその代理者とする。

[解説]

1,2) 本試験方法で試験の対象となる接着剤は、カートリッジタイプのあと施工アンカー製品として、ミキシングノズルより吐出された接着剤を対象としている。したがって、カプセル方式のあと施工アンカー製品は対象としていない。また、本試験方法案に規定した方法は、前項の目的に照らして適切な評価を行うための一例となる試験方法であり、試験体の条件や試験装置、試験方法などについて、本試験方法案と同等の評価結果が得られることが確認された場合には、それらの方法によることができる。

3) 本試験方法の試験実施者は、他の試験と同様に評価試験を適切に実施できる者を指す。試験実施者の例として、下記の条件を満たす第三者機関とする。

- ・ ISO/IEC 17025 (JIS Q 17025) に基づく試験所認定を受けた試験機関、国際 MRA 対応認定を受けた国外の試験機関あるいはそれらと同等の機関などで、申請者との利益相反を生じる関係にならないこと
- ・ JIS K 7181 (有機系) あるいは JIS A 1108 および JIS A 1149 (無機系) の試験の実施に必要な試験装置および測定装置を有し、それらの精度が確認されていること
- ・ 試験報告書の記載事項に対する責任を担保できること

また、ここでの申請者については、あと施工アンカー製品の製造者のほか、当該あと施工アンカーを使用して改修工事を行う場合の建物の所有者、設計者、施工者などが想定される。

(2) 試験体

1) 共通事項

試験体の製作は、試験実施者が行うか、もしくは試験実施者立ち会いのもとで申請者が行う。試験体の製作時の環境は $20 \pm 5^\circ\text{C}$ の室内とする。試験体の数量は 5 体とする。

2) 有機系接着剤

あと施工アンカー製品のカートリッジから吐出された接着剤について、厚さ 4 mm の板状の樹脂板を製作し、製作された樹脂板より所定の寸法の角柱形の試験体に切断加工する。試験体の寸法を表 1 に示す。樹脂板製作後の試験体の養生期間は、申請者が定める硬化に必要な時間以上 14 日以内とし、 $20 \pm 5^\circ\text{C}$ の室内に静置する。

表 1 試験体の寸法

試験項目	長さ (mm)	幅 (mm)	高さ (mm)
圧縮強さ	10 ± 0.2	10 ± 0.2	4 ± 0.2
圧縮弾性率	50 ± 2	10 ± 0.2	4 ± 0.2

3) 無機系接着剤

あと施工アンカー製品のカートリッジから吐出された接着剤について、直径 50 mm、高さ 100 mm の円柱型枠に打ち込み、十分に締め固めを行って供試体を製作する。打ち込み後試験実施までの養生期間は 14 日とし、 $20 \pm 5^\circ\text{C}$ の室内において封かん養生とする。

〔解説〕

2) 有機系接着剤はミキシングノズルから吐出された状態の接着剤を脱気等の処理を行わずに試験片を切り出すための樹脂板を製作する。作成手順は下記による。

- ① 塩化ビニル板(エポキシ樹脂系)もしくはガラス板(ラジカル反応樹脂系)と厚さを一定に保持するスペーサを用いて型枠を作成する
- ② 接着剤を型枠に流し込む、空気が入り込まないようにノズルを動かす
- ③ 上部に塩化ビニル板(ガラス板)を乗せ、押さえる
- ④ 表面の気泡を逃がすように塩化ビニル板(ガラス板)を斜めに押さえしながら接着剤を広げる
- ⑤ 鉄板などを載せて均等に圧が加わるようにし、さらに重しを載せる
- ⑥ 接着剤が硬化するまで放置する
- ⑦ 型枠から硬化した樹脂の板を取り外す

3) 無機系接着剤は、ミキシングノズルを型枠底面から徐々に引き上げながら注入し、気泡の混入を避けるようにするとよい。また、テーブルバイブレータ等を使用して十分に締め固めを行う。

(3) 試験

1) 圧縮強さ試験

有機系接着剤の圧縮強さ試験は、JIS K 7181 による。

無機系接着剤の圧縮強さ試験は、JIS A 1108 による。

2) 圧縮弾性率試験

有機系接着剤の圧縮弾性率試験は、JIS K 7181 による。

無機系接着剤の圧縮弾性率試験は、JIS A 1149 による。

〔解説〕

1,2) 試験の実施は、本文に示す JIS による。無機系接着剤の試験では、試験体の寸法が JIS の規定とは異なるが、試験の手順は JIS に従って実施する。

(4) 報告

試験結果は、以下の項目について報告する。

- 1) 試験実施者に関する事項(試験担当者の氏名・所属)
- 2) 試験実施日程に関する事項(試験体製作日, 試験実施日)
- 3) 試験の対象とした製品に関する事項(申請者, 製品名, ロット番号)
- 4) 圧縮強さ試験結果(各試験体の圧縮強さ, 平均値)
- 5) 圧縮弾性率試験の試験結果(各試験体の圧縮弾性率, 平均値)
- 6) その他試験に関する特記事項

3-9-3 接着力試験方法の提案

以下、接着系あと施工アンカーの接着力の試験方法(案)を示す。目次立ては、報告書とは独立している。

接着系あと施工アンカーに使用する接着剤の接着力試験方法(案)・同解説

(1) 総則

1) 目的

本試験方法案は、接着系あと施工アンカー製品に使用する接着剤の接着力を求めるための接着力試験について規定するものである。

2) 適用範囲

本試験方法は、接着系あと施工アンカーのうち、有機系および無機系の注入方式・カートリッジタイプのあと施工アンカー製品に使用される接着剤を対象とする。また、本試験方法案に規定する試験体および試験方法について、同等の評価結果が得られることが確認された場合にはこれによることができる。

3) 試験実施者および申請者

本試験方法案により試験を行う者(試験実施者)は、本試験を適切に実施でき、かつ第三者的な立場で試験を実施し、その結果を報告できる者でなければならない。申請者は、あと施工アンカー製品の製造者もしくはそのあと施工アンカーを用いて工事を行う者またはその代理者とする。

[解説]

1,2) 本試験方法で試験の対象となる接着剤は、カートリッジタイプのあと施工アンカー製品として、ミキシングノズルより吐出された接着剤を対象としている。したがって、カプセル方式のあと施工アンカー製品は対象としていない。また、本試験方法案に規定した方法は、前項の目的に照らして適切な評価を行うための一例となる試験方法であり、試験体の条件や試験装置、試験方法などについて、本試験方法案と同等の評価結果が得られることが確認された場合には、それらの方法によることができる。

3) 本試験方法の試験実施者は、他の試験と同様に評価試験を適切に実施できる者を指す。試験実施者の例として、下記の条件を満たす第三者機関とする。

- ・ ISO/IEC 17025 (JIS Q 17025) に基づく試験所認定を受けた試験機関、国際 MRA 対応認定を受けた国外の試験機関あるいはそれらと同等の機関などで、申請者との利益相反を生じる関係にならないこと
- ・ 試験の実施に必要な試験装置および測定装置(引張強度試験機等)を有し、それらの精度が確認されていること
- ・ 試験報告書の記載事項に対する責任を担保できること

また、ここでの申請者については、あと施工アンカー製品の製造者のほか、当該あと施工アンカーを使用して改修工事を行う場合の建物の所有者、設計者、施工者などが想定される。

(2) 試験体

1) 試験体の製作

試験体の製作は、試験実施者が行うか、もしくは試験実施者立ち会いのもとで申請者が行う。試験

体の製作時の環境は $20 \pm 5^\circ\text{C}$ の室内とする。試験体の数量は 5 体を標準とする。

2) 試験体の形状および寸法

試験体は、M20 の高ナット内に接着剤を充填し、M12 全ねじボルトを挿入したものとする。試験体の形状および寸法を図 1 に示す。接着部分の長さは、24 mm～30 mm の範囲とし、ナットの片側に挿入した長さ調整用ボルトにより接着部分の長さを調整する。ボルトはナット内の中央に垂直に挿入し、ボルトの底面および接着長さ以外の部分を絶縁する。M12 ボルトと高ナットの中心位置のずれ（芯ずれ）は、各方向に対して 0.5 mm 以内とする。また、
は ± 0.5 度以内とする。

3) 試験体の材質

ボルトおよびナットの材質は接着強度に対して十分な降伏強度を有するものを用いることとする。

4) 試験体の養生

試験体の養生は、申請者が定める硬化時間以上の期間とし、 $20 \pm 5^\circ\text{C}$ の室内に静置する。

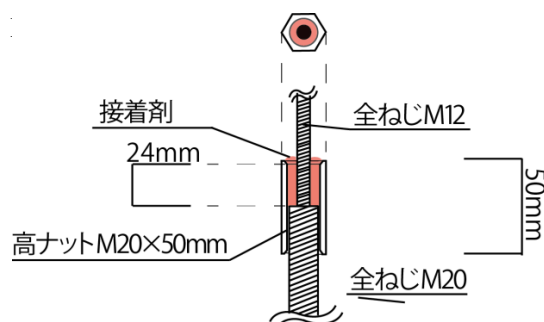


図 1 試験体の形状および寸法

[解説]

1～4) 試験片の製作では、ボルトをナットの中央に軸のずれがなく、高ナットの角度のずれがないように挿入することが重要である。作成用の治具として、解図 1 に示すような治具を用いるとよい。接着強度が確認できるようねじの材質は十分高い強度を選定する必要がある。例えば M12 ボルトにおいては JIS G 4107 に規定される SNB7、高ナットや長さ調整用ボルトについては JIS G 4051 に規定される S45C 等がそれらに該当すると考えてよい。

M12 ボルトの挿入時、長さ調整用ボルト（M20 ボルト）との間に骨材が入り込み場合の処置については、M12 全ねじボルトをハンマー等で叩いて骨材を砕く等が考えられるが、試験体精度が損なわれないよう留意する必要がある。



解図 1 接着試験体製作用治具の例

(3) 試験方法

1) 試験装置

試験に用いる荷重装置には、荷重制御が可能な引張試験機を使用し、その荷重容量は100 kN以上とする。

2) 試験体の設置

図2を参考に、引張試験機に試験体を設置する。試験体は、上下のねじをチャック等で固定し、端部をユニバーサルジョイント等とし、曲げや偏心力がかからないようにする。ボルトの抜け出し量を確認するための変位計は、高ナットに変位計を固定し、ボルトに取り付けた治具により測定する。

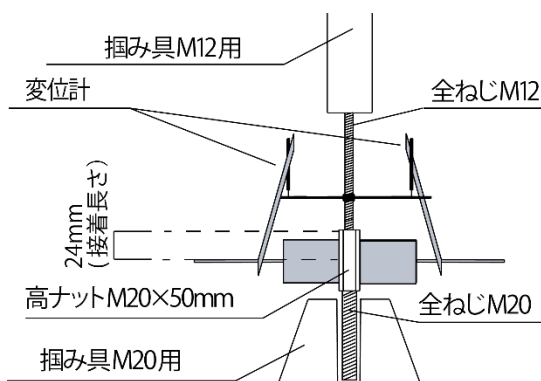


図2 試験体の設置状況

3) 荷重および計測

荷重速度を 0.5 ± 0.1 kN/secとし、試験体に引張力を荷重する。荷重中の荷重荷重および抜け出し変位を少なくとも1秒につき1回以上の間隔で測定する。荷重は、最大荷重を示した後荷重が10%以上低下するまで継続する。荷重中は、荷重荷重および抜け出し変位を確認し、ボルトの降伏や破断を生じないように留意する。

[解説]

1～3) 試験体への荷重は、偏心を生じないようにユニバーサルジョイント等を用い、チャックあるいはねじにより固定する。解図2に試験状況を示す。

3) 荷重中は、できるだけ短い間隔で測定・記録を行う。動ひずみ計を用いて、荷重及び変位を動的に記録することも有効である。荷重中は最大荷重を示した後に変位が急激に伸びる場合があるため、常に荷重と変位を確認し、ボルトの破断や引き抜けが起こらないように注意する。



解図2 接着力試験の実施状況

(4) 試験結果の整理

1) 接着強度の計算

接着強度 τ_b は(1)式により求める

$$\tau_b = \frac{F_b}{12\pi \cdot l_b} \dots\dots\dots (1) \text{式}$$

ここで、 τ_b : 接着強さ (N/mm²)
 F_b : 接着力試験における最大荷重 (N)
 l_b : 接着部分の長さ (mm)

2) 平均接着強度の計算

接着強度の平均値 τ_{b_ave} を (2) 式により求める。

$$\tau_{b_ave} = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_{bi}}{n} \dots\dots\dots (2) \text{式}$$

ここで、 τ_{b_ave} : 平均接着強度 (N/mm²)
 τ_{bi} : i 個目の試験体の接着強度 (N/mm²)
 n : 試験体の個数 (=5)

(5) 報告

試験結果は、以下の項目について報告する。

- 1) 試験実施者に関する事項 (試験担当者の氏名・所属)
- 2) 試験実施日程に関する事項 (試料製作日, 試験実施日)
- 3) 試験の対象とした製品に関する事項 (申請者, 製品名, ロット番号)
- 4) 試験体ごとの接着強度および平均の接着強度, 試験体ごとの荷重-変位曲線
- 5) その他試験に関する特記事項

3-9-4 燃焼試験方法の提案

以下、接着系あと施工アンカーに使用する接着剤の燃焼試験方法(案)を示す。目次立ては、報告書とは独立している。

接着系あと施工アンカーに使用する接着剤の燃焼試験方法(案)・同解説

(1) 総則

1) 目的

本試験方法案は、接着系あと施工アンカー製品に使用する接着剤の不燃残分を求めるための燃焼試験について規定するものである。

2) 適用範囲

本試験方法は、接着系あと施工アンカーのうち、有機系の注入方式・カートリッジタイプのあと施工アンカー製品に使用される接着剤を対象とする。また、本試験方法案に規定する試験体および試験方法について、同等の評価結果が得られることが確認された場合にはこれによることができる。

3) 試験実施者および申請者

本試験方法案により試験を行う者(試験実施者)は、樹脂系材料の燃焼試験を適切に実施でき、かつ第三者的な立場で試験を実施し、その結果を報告できる者でなければならない。申請者は、あと施工アンカー製品の製造者もしくはそのあと施工アンカーを用いて工事を行う者またはその代理者とする。

[解説]

1,2) 本試験方法は、あと施工アンカーに使用される接着剤中のフィラーの量などを推定し、接着剤の同一性の確認のために行う試験である。したがって、本試験で得られる値は、製品認証等において、申請者より申請し、実際にあと施工アンカーが使用される場合に、必要に応じてその値と確認するために実施する。本試験は無機系接着剤には適用しない。また、本試験方法案に規定した方法は、前項の目的に照らして適切な評価を行うための一例となる試験方法であり、試験体の条件や試験装置、試験方法などについて、本試験方法案と同等の評価結果が得られることが確認された場合には、それらの方法によることができる。

3) 本試験の試験実施者は、他の試験と同様に評価試験を適切に実施できる者を指す。試験実施者の例として、下記の条件を満たす第三者機関とする。

- ・ ISO/IEC 17025 (JIS Q 17025) に基づく試験所認定を受けた試験機関、国際 MRA 対応認定を受けた国外の試験機関あるいはそれらと同等の機関などで、申請者との利益相反を生じる関係にならないこと
- ・ 試験の実施に必要な試験装置および測定装置(電気炉等)を有し、それらの精度が確認されていること
- ・ 試験報告書の記載事項に対する責任を担保できること

また、ここでの申請者については、あと施工アンカー製品の製造者のほか、当該あと施工アンカーを使用して改修工事を行う場合の建物の所有者、設計者、施工者などが想定される。

(2) 試料

1) 試料

試料の製作は、試験実施者もしくは試験実施者立ち会いのもとで申請者が行う。試料の製作時の環境は $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ の室内とする。試料の製作量は 30 g 以上とし、圧縮強さ試験および圧縮弾性率試験の試験片のために製作した樹脂板を使用するとよい。

2) 試料の製作方法

あと施工アンカー製品のカートリッジから吐出された接着剤について、適当な形状で養生し硬化させたのち、10 g 以上を採取し、粉砕して粒径 1.2 mm 以下にしたものを試料とする。接着剤の養生期間は、申請者が定める硬化に必要な時間以上とし、 $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ の室内に静置する。

3) 試料数量

試料数量は 3 体を標準とする。

〔解説〕

- 1) 試験体は他の物性試験と同一であることが望ましい。したがって、圧縮試験等を行う際に製作した樹脂板から必要な量を切り出して使用するとよい。
- 2) 粉砕は、ディスクミル等の試料温度が上昇する粉砕装置を用いず、ハンマー等で粗粉砕した後、乳鉢等を使用して粉砕するとよい。粒径の目安は、目開き 1.2 mm のふるいを全通することを確認すればよい。また、試料のムラをなくすため、樹脂板から採取した試料の全量を粉砕し、粉砕した粉末は容器に入れて攪拌しておく。

(3) 試験方法

1) 試験装置

試験装置には、温度の調節および保持が可能な電気炉(マッフル炉)を用いる。電気炉の温度調節精度は $\pm 3.0^{\circ}\text{C}$ 、温度分布精度は $\pm 5.0^{\circ}\text{C}$ 、温度上昇速度は常温～ 500°C を 30 分以内で昇温できるものとする。

2) 操作

a. 試験の準備

あらかじめ 105°C 以上の温度で加熱乾燥させたるつぼまたは蒸発皿の質量をはかっておく。その後るつぼまたは蒸発皿に試料を 0.01 g の精度で 3 g 程度はかりとる。1 回の試験につき、試料数は 3 とする。

b. 試料の加熱

常温とした電気炉にるつぼまたは蒸発皿を入れ、 $100^{\circ}\text{C}/10\text{min}$ の速度で 500°C まで炉内温度を上昇させる。 500°C 到達後、2 時間保持する。加熱終了後、 100°C 程度となるまで炉内で徐冷する。

c. 測定

徐冷したるつぼまたは蒸発皿を取り出し、その質量を 0.01 g の精度で測定する。

〔解説〕

- 1) 試験装置は、所定の温度制御精度を有する電気炉を用いる。試験では、燃焼時にガスを発生するため、排気装置を有した電気炉が望ましい。
- 2) 測定方法は、JIS K 0067(化学製品の減量および残分試験方法)を参考にしたものである。 500°C で 2 時間加熱することにより、接着剤の有機系の成分は完全に燃焼し、無機系のフィラー等が燃え残ることが確認されている。加熱後の試料は、大気中で冷却すると吸湿して質量が変化するため、燃焼後の炉内で徐冷するか、デシケータ等を用いて試料が吸湿しないようにしなければならない。

ない。

(4) 試験結果の整理

1) 不燃残分率の算出

試料ごとの不燃残分率は(1)式によって算出する。3体の不燃残分率の平均を求め、小数点以下1けたに丸める。この時、3体の不燃残分率の偏差(平均値からの差)が3%を超える場合は、再試験を行う。

$$A = \left(1 - \frac{W_1 - W_2}{W_1 - W_3}\right) \times 100 \quad \dots\dots\dots (1) \text{式}$$

ここで、A : 不燃残分率(%)

W₁ : 加熱前の試料と、るつぼまたは蒸発皿の質量(g)

W₂ : 加熱後の試料と、るつぼまたは蒸発皿の質量(g)

W₃ : るつぼまたは蒸発皿の質量(g)

[解説]

1) 不燃残分率は、接着剤に含まれる不燃性の成分の割合を示すため、これがフィラー等の樹脂以外の成分を表す。ただし、活性炭等の有機成分がフィラーとして使用されている場合は、不燃残分には含まれないので、同一性の確認のためには、同条件で実施した試験結果で比較しなければならない。また、試験結果のばらつきは、3g程度の試料があれば偏差は1%程度以内に収まることが確認されている。そのため、3%の偏差があった場合には試料の均質性や試験の手順に問題があるとして、再試験を行うこととした。

(5) 報告

試験結果は、以下の項目について報告する。

- 1) 試験実施者に関する事項(試験担当者の氏名・所属)
- 2) 試験実施日程に関する事項(試料製作日、試験実施日)
- 3) 試験の対象とした製品に関する事項(申請者、製品名、ロット番号)
- 4) 試料ごとの不燃残分率および不燃残分率の平均
- 5) その他試験に関する特記事項

3-9-5 耐アルカリ試験方法の提案

以下、接着系あと施工アンカーに使用する接着剤の耐アルカリ性試験方法(案)を示す。目次立ては、報告書とは独立している。

接着系あと施工アンカーに使用する接着剤の耐アルカリ性試験方法(案)・同解説

(1)総則

1) 目的

本試験方法案は、接着系あと施工アンカー製品に使用する接着剤の耐アルカリ性を評価するための耐アルカリ性試験について規定するものである。

2) 適用範囲

本試験方法は、接着系あと施工アンカーのうち、有機系の注入方式・カートリッジタイプのあと施工アンカー製品に使用される接着剤を対象とする。また、本試験方法案に規定する試験体および試験方法について、同等の評価結果が得られることが確認された場合にはこれによることができる。

3) 試験実施者および申請者

本試験方法案により試験を行う者(試験実施者)は、樹脂系材料の化学分析等の試験を適切に実施でき、かつ第三者的な立場で試験を実施し、その結果を報告できる者でなければならない。申請者は、あと施工アンカー製品の製造者もしくはそのあと施工アンカーを用いて工事を行う者またはその代理者とする。

[解説]

1,2) 本試験方法は、接着剤の耐アルカリ性を評価するための試験方法であり、コンクリート中のような高アルカリ環境下での接着剤の耐久性を確認するための試験である。耐アルカリ試験は、アルカリ浸漬した試験体の押し抜き試験による方法も提案されているが、ここでは、従来より実施されているアルカリ環境下での質量減少率によって評価する試験を適用した。接着剤の劣化と質量減少率の関係は既往の研究により確認されている。耐アルカリ試験の試験方法は、JIS K 6919(繊維強化プラスチック用液状不飽和ポリエステル樹脂)において、詳細な規定があり、本試験方法では、原則としてそれに従うこととした。また、本試験方法案に規定した方法は、前項の目的に照らして適切な評価を行うための一例となる試験方法であり、試験体の条件や試験装置、試験方法などについて、本試験方法案と同等の評価結果が得られることが確認された場合には、それらの方法によることができる。

3) 本試験の試験実施者は、他の試験と同様に評価試験を適切に実施できる者を指す。試験実施者の例として、下記の条件を満たす第三者機関とする。

- ・ ISO/IEC 17025(JIS Q 17025)に基づく試験所認定を受けた試験機関、国際 MRA 対応認定を受けた国外の試験機関あるいはそれらと同等の機関などで、申請者との利益相反を生じる関係にならないこと
- ・ 試験の実施に必要な試験装置を有し、それらの精度が確認されていること
- ・ 試験報告書の記載事項に対する責任を担保できること

また、ここでの申請者については、あと施工アンカー製品の製造者のほか、当該あと施工アンカーを使用して改修工事を行う場合の建物の所有者、設計者、施工者などが想定される。

(2) 試料

1) 試料

試料の製作は、試験実施者が行うか、もしくは試験実施者立ち会いのもとで申請者が行う。試料の製作時の環境は $20 \pm 5^\circ\text{C}$ の室内とする。

2) 試料の形状、寸法

試料の形状および寸法は、長さ約 75 mm、幅約 25 mm、厚さ 3 ± 0.2 mm とする。

3) 試料の製作方法

試料の製作方法は、JIS K 6919 の 5.2.3 試験片の作り方による。ただし、試料に用いる接着剤はあと施工アンカー製品のカートリッジから吐出されたものとする。試料の養生期間は、申請者が定める硬化に必要な時間以上とし、 $20 \pm 5^\circ\text{C}$ の室内に静置する。

4) 試料数量

試料数量は 3 体を標準とする。

[解説]

1～4) 試料については、JIS K 6919 の規定を標準として製作するが、カートリッジから吐出されたものを試験片とする点が異なる。また、圧縮強さ試験等の試料製作に使用した樹脂板とは厚さが異なるため、同様の方法で厚さ 3 mm のスペーサにより樹脂板を製作し、所定の寸法に切り出して加工するとよい。

(3) 試験方法

1) 試料質量の測定

試験前の試料の質量を 0.01 g の精度で測定する。

2) アルカリ浸漬および乾燥

容量約 1 L の丸底フラスコの中に 10% の水酸化ナトリウム溶液約 500 ml を入れ、貫流冷却装置をつけて加熱する。水酸化ナトリウム溶液が沸騰し始めたら直ちに試料を静かに入れ、さらに加熱を続ける。煮沸中は、試験片が互いに接触しないようにしなければならない。溶液中で 100 時間煮沸した後、試料を取り出して流水中で水洗し、乾燥した清浄なガーゼなどで拭いてから、 100°C の空気浴中で 2 時間乾燥する。

3) 浸漬後の試料の観察

試料を目視で観察し、ひび割れや欠損の有無を調べる。

4) 浸漬後の試料の質量の測定

乾燥後の試料の質量を 0.01 g の精度で測定する。

[解説]

1～4) アルカリ煮沸の方法も JIS K 6919 の規定に従う。試料の観察では、浸漬前後の比較を行うため、浸漬前後の外観を写真として記録・保存しておく。浸漬後の観察では、ひび割れや欠損が生じていないかを目視で確認できる範囲で確認する。

(4) 試験結果の整理

1) 質量減少率の整理

試料ごとの質量減少率は(1)式によって算出する。3体の質量減少率の平均を求める。

$$W_{al} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad \dots\dots\dots (1) \text{式}$$

ここで、 W_{al} : 質量減少率(%)
 W_1 : アルカリ浸漬前の試料質量(g)
 W_2 : アルカリ浸漬後の試料質量(g)

2) 試料の観察結果の整理

試料の観察結果から、試料3体のうち2体以上にひび割れまたは欠損が無ければ、ひび割れや欠損がないと判断する。

(5) 報告

試験結果は、以下の項目について報告する。

- 1) 試験実施者に関する事項(試験担当者の氏名・所属)
- 2) 試験実施日程に関する事項(試料製作日, 試験実施日)
- 3) 試験の対象とした製品に関する事項(申請者, 製品名, ロット番号)
- 4) 試料ごとの質量測定結果および質量減少率, 質量減少率の平均
- 5) 試料の観察結果(写真および観察結果の報告)
- 6) その他試験に関する特記事項

3-10 まとめ

3.1 節では、あと施工アンカーに使用される接着剤単体の品質確認方法は、適用される制度や技術基準等によって評価項目や評価方法、評価基準が異なること、これらの品質基準については、必ずしも注入方式を想定していないこと、付着性能との関係について明らかではないことなどから、合理的な品質基準となっていないという本課題の背景を述べた。

3.2 節～3.5 節では、平成 28 年度に実施された、接着剤単体の物性評価方法および評価基準に関する検討、接着剤の同一性の確認のための検討結果を報告した。3.2 節では、既往の付着試験データと製品ごとに提供される品質試験結果に関する調査、3.3 節では、市販の接着剤およびフィラー量を変えた樹脂による接着剤の各種物性値と付着強度の関係、3.4 節では、燃焼試験によるフィラー量の推定方法に関する検討、3.5 節では、FT-IR(赤外線分光スペクトル)による樹脂の区分について検討結果を報告した。

3.6 節～3.9 節では、平成 29 年度の検討結果を報告し、それを踏まえた接着剤の品質評価方法を提案した。3.6 節では、あと施工アンカーの拘束状態を考慮した接着性の簡易試験方法の検討、3.7 節では、ラジカル反応樹脂系接着剤における試験片製作方法の検討、3.8 節では、市販の接着剤の物性評価試験、接着性試験、燃焼試験の実施、3.9 節では、それらを踏まえた品質基準値の検討の結果を報告した。また、3.9 節では、接着系あと施工アンカーに使用する接着剤の圧縮強さ試験方法、圧縮弾性率試験方法、接着系あと施工アンカーの接着力試験方法、燃焼試験方法および耐アルカリ試験方法の提案を行った。

参考文献

- 3.1) 国土交通省大臣官房官庁営繕部監修：建築改修工事管理指針(下巻)平成 28 年版，建築保全センター，2016.12
- 3.2) 日本建築学会：各種合成構造設計指針・同解説，2010.11
- 3.3) 佐藤滉起ほか：接着系あと施工アンカーを用いた部材の構造特性評価に関する研究 その 10 燃焼試験による接着剤成分の確認方法に関する検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，構造Ⅳ，pp.353-354，2017.9
- 3.4) 有木克良ほか：静充填型あと施工アンカーの実用化に関する研究：その 4 予備付着実験結果の検討・今後の実験の留意点，日本建築学会大会学術講演梗概集，C-2，pp.699-700，2014.9

