

論文 接着系あと施工アンカーに使用される接着剤の物性評価手法に関する検討

佐藤 滉起*1・濱崎 仁*2・秋山 友昭*3・松沢 晃一*4

要旨：接着系あと施工アンカーに使用される接着剤の品質確認方法は、現状では、制度や指針に一貫性がなく接着剤の物性と付着性能との関係が不明である、といった問題がある。そこで、本研究では成分の異なる接着剤を用いてあと施工アンカーの付着試験および接着剤の物性に関する試験を行い、付着強度および変位・初期剛性と、接着剤の物性との関係性を調べた。その結果から、あと施工アンカーの付着性能と相関の高い接着剤の物性を把握した。また接着剤の種類により相関性の高い物性は異なることが明らかとなった。

キーワード：あと施工アンカー、接着剤、付着性能、品質基準、評価手法

1. はじめに

あと施工アンカーとは既存のコンクリート構造物に施工するアンカーであり、設備機器や付帯設備の固定等に使用されるほか、耐震補強のための補強部材の固定などの目的で広く使用されている。

あと施工アンカーを大別すると接着系、金属系の2種類があり、また接着系アンカーにはカプセル方式、注入方式の2方式がある。設備機器等の比較的軽微な固定には金属系アンカーが多く用いられ、建築物の耐震補強では、カプセル方式の接着系アンカーが多く用いられる。近年では、あと施工アンカーに長期荷重を負担させるための検討が行われ、カプセル方式と比較して埋込み長さ（付着長さ）を長く確保することが可能な注入方式の接着系アンカーが注目されている。しかしながら、注入方式で使用される接着剤の品質基準や評価方法、試験片の製作方法などは標準化されておらず、適用される制度や指針等により評価項目や方法、基準値が異なっている。

表-1に国土交通省「建築改修工事監理指針」¹⁾、日本建築学会「各種合成構造設計指針」²⁾および日本建築あと施工アンカー協会（以下、JCAAと記す）の製品認証基準に示される接着剤の品質基準を示す。なお、耐アルカリ性*はJIS K 6919に準拠し、100℃・10%Na(OH)₂水溶液に100時間浸漬した時の質量減少率を示す。評価項目については共通であるが、基準値が異なり、特に無機系の接着剤について異なっている。また、海外ではETAG³⁾やACI⁴⁾に接着剤の認証方法が定められているが、物性値に関する規定はない。

表-1に示されるような接着剤の品質基準とあと施工アンカーの付着性能との関係が明らかにされておらず、その根拠も不明確なことから、基準値の見直しや共通化のための検討ができないのが現状である。

表-1 認証および指針等に示される品質基準の例

評価項目	建築改修工事監理指針		各種合成構造設計指針		JCAA製品認証
圧縮強度 (N/mm ²)	有機系	98.0以上	有機系* ²⁾	98.0以上	98.0以上
	無機系	29.4以上	有機系注入	50.0以上	
圧縮弾性率 (N/mm ²)	9.8×10 ² 以上		9.8×10 ² 以上		9.8×10 ² 以上
引張強度 (N/mm ²)	19.6以上		19.6以上		19.6以上
曲げ強度 (N/mm ²)	有機系	29.4以上	29.4以上		29.4以上
	無機系	4.9以上			
耐アルカリ性*	10%以内		10%以内		10%以内

*100℃・10%Na(OH)₂水溶液に100時間浸漬

そこで、本研究ではあと施工アンカーの付着性能と物性の関係を明らかにするため、成分の異なる接着剤を用いてあと施工アンカーの付着試験を行った。また、同一の接着剤について品質基準に示される物性を評価する試験を行い、両者の関係を比較した。これにより、あと施工アンカーの付着性能に対し重要と考えられる接着剤の物性を明らかにし、評価手法の検討を行った。

2. あと施工アンカーに使用される接着剤

あと施工アンカーに使用される接着剤は一般に2液型のもので、成分としては主剤、硬化剤、フィラー（骨材）、その他着色剤などが含まれている。主剤とは接着剤の主成分となるもの、硬化剤は主剤と混ぜることにより接着剤を硬化させる触媒となるもの、フィラーは接着剤の施工性や経済性向上のために混入される添加物で、一般に珪砂やガラス粉などが用いられる。

接着剤は主剤の成分により数種に分けられる。現在多く用いられる接着剤は、エポキシ樹脂およびエポキシアクリレート（ビニルエステル）樹脂を主剤とする接着剤である。また、近年ではセメントを主剤としたセメント系接着剤も使われている。その他、アクリル樹脂、不飽和ポリエステル樹脂系接着剤などが用いられている。

*1 芝浦工業大学大学院 理工学研究科（学生会員）

*2 芝浦工業大学 建築学部建築学科 教授 博士（工学）（正会員）

*3 （株）東京ソイルリサーチ 顧問（正会員）

*4 （国研）建築研究所 材料研究グループ 主任研究員 博士（工学）（正会員）

3. 研究概要

3.1 使用した接着剤

実験に使用した接着剤には、注入方式の製品として市販されている有機系のエポキシ樹脂系接着剤（以下エポキシ系）と無機系のセメント系接着剤（以下セメント系）を用いた。エポキシ系についてはフィラーが付着強度に影響を与えると考え、市販の製品（以下製品）に含まれるフィラー量を 100%(EP100)とし、製品からフィラー量をそれぞれ 0%（フィラーなし）、50%、200%に変化させた接着剤の 4 種を用いた。なお製品に対する具体的なフィラーの割合は、著者らが提案するフィラー量推定方法⁵⁾によると質量比で約 20%である。またセメント系については製品の標準的な混練水量を 100%(C100)とし、混練水量を 80%、120%に変化させた接着剤の 3 種を用いた。

3.2 付着試験

図－1 に付着試験の試験体形状と加力装置を示す。試験体数は各水準につき 4 体とした。試験体の母材には内径 200mm、高さ 60mm 厚さ 8mm の鋼管により拘束された呼び強度 21 のレディミクストコンクリートを用いた。またアンカー筋には鋼種が SNB7 で M12 の全ねじボルトを用いた。なお、穿孔径はセメント系がφ16mm、エポキシ系がφ14mm である。アンカー筋の施工は母材打込み後 2 週間で行い、付着試験はアンカー筋施工後 1 週間で行った。

付着試験は、母材コンクリートと同径でφ25mmの開孔を持つ鉄板（支圧板）により母材を拘束した状態とし、アンカー筋に対し 1kN/s 程度の速度で载荷を行い、ロードセルおよび変位計を用いて荷重、変位を計測した。付着強度は最大荷重から式(1)により算出した。また最大荷重時の自由端変位を試験時の最大変位とした。初期剛性は建材試験センター規格 JSTM C 2101 引抜き試験による鉄筋とコンクリートとの付着強さ試験方法に示される式(2)により算出した。

$$\tau = P_{\max} / (d \cdot \pi \cdot l) \quad (1)$$

τ : 付着強度[N/mm²] d : 鉄筋径[mm]

$P_{\max}$: 最大荷重[kN] l : 付着長さ[mm]

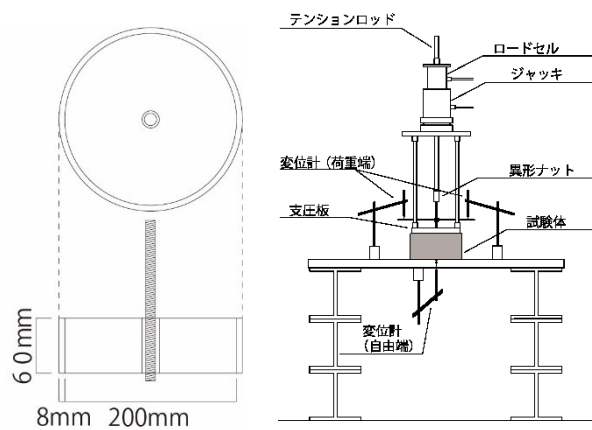
$$\tau_{0.002D} = P_{0.002D} / (d \cdot \pi \cdot l) \quad (2)$$

$\tau_{0.002D}$: 初期剛性[N/mm²]

$P_{0.002D}$: 変位が 0.002×(鉄筋径)時の荷重[kN]

3.3 物性試験

本研究では、接着剤の物性を評価する試験として圧縮試験、圧縮弾性率試験、引張試験、曲げ試験、圧縮せん断接着試験を行った。表－2 に、試験を行うに際し準拠した JIS 規格および試験速度、試験の対象を、また図－2 に、各試験片の形状と寸法を示す。前述の中で圧縮せん



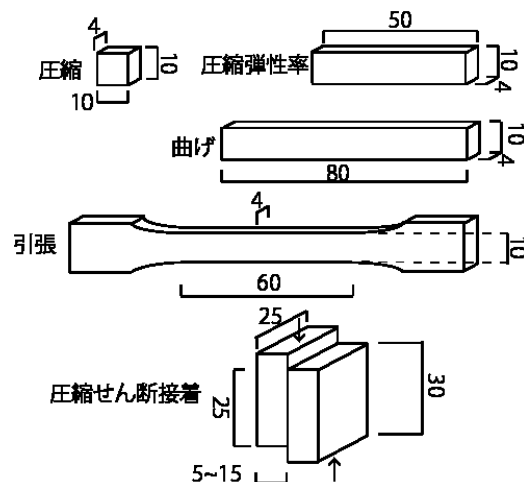
図－1 (a) 付着試験体形状と(b)加力装置

表－2 物性試験の試験項目、準拠 JIS、試験速度、対象

試験項目	準拠JIS	試験速度 [mm/min]	試験対象	
			エポキシ系	セメント系
圧縮試験	K7101	1	○	○
圧縮弾性率試験		1	○	○
引張試験	K7161-2	10	○	×
曲げ試験	K7171	2	○	○
圧縮せん断接着試験	K6852	3	○	○



写真－1 (a) 接着剤板と(b)引張試験片の例



図－2 各試験片の形状と寸法（単位：mm）

断接着試験を除く 4 項目について、試験は硬化させた板状の接着剤からそれぞれの JIS に規定される準拠した形状に切り出した試験片を用いて行った。接着剤板は塩化ビニル板とスパーサからなる型枠にカートリッジから吐出した接着剤を乗せ、上部に塩化ビニル板を被せたうえで加圧することにより成型した。写真－1 に接着剤板の例と切り出した試験片の例を示す。圧縮せん断接着試験

は未硬化の接着剤を母材となる鉄片の接着面に塗布し、2枚の鉄片を貼り合わせて試験片を作製した。また試験片数は各試験につき5片とした。

4. 実験結果と考察

4.1 付着試験結果

付着試験結果の付着強度と最大荷重時の変位、初期剛性を図-3に示す。また付着試験結果の変動係数を図-4に示す。付着強度は全体的に安定した結果が得られた。セメント系は混練水量が少ないほど付着強度が増加している。一方で、エポキシ系についてはフィラー量と付着強度の間には関係性が見られない。最大荷重時の変位に関して、変動係数は大きい、検定よりそれぞれに5%の有意差がみられた。セメント系については付着強度が上がるにつれ変位が小さくなった。これは、水量の減少により接着剤の剛性が上昇していることによると考えられる。またエポキシ系は製品として市販されているフィラー量100%の接着剤が最も高い結果となった。フィラー量0%から100%まではフィラー量が増えるにつれ変位

が伸びることから何らかの影響をフィラーが与えていると考えられるが、その要因は不明である。初期剛性は最大荷重時の変位とは逆に、セメント系では混練水量が下がるにつれ初期剛性が増加している。またエポキシ系ではフィラー量100%の接着剤が最も初期剛性が小さいが、有意な差はみられなかった。

4.2 圧縮強度および圧縮弾性率と付着強度、最大荷重時の変位および初期剛性の関係

図-5に圧縮強度と付着強度の関係を、図-6に圧縮強度と最大荷重時の変位の関係を、図-7にと圧縮強度と初期剛性の関係を示す。また図中に回帰直線と決定係数を示す。圧縮強度と付着強度について、セメント系は両者に高い相関性がみられる。安藤らの研究⁹⁾によると、セメント系接着剤に関して、アンカー材の圧縮強度が高くなるに伴い付着強度は高くなること明らかにされている。本研究では圧縮強度のばらつきが大きいものの、同様の結果を得られた。一方で、エポキシ系については相関性が明瞭でない。圧縮強度と最大荷重時の変位については、いずれの接着剤も負の相関となっており、また圧

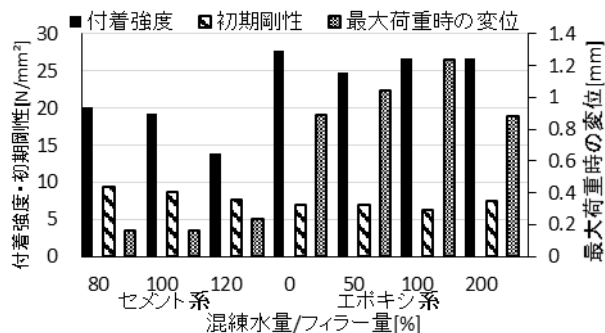


図-3 付着強度と最大荷重時の変位、初期剛性

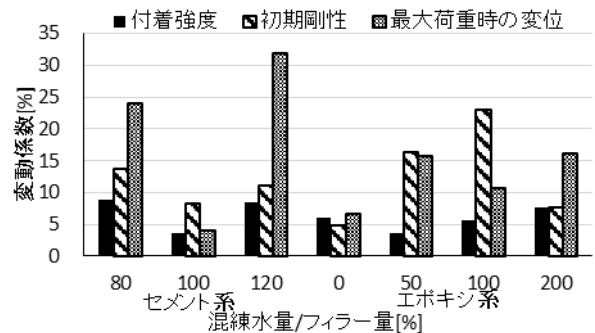


図-4 付着試験結果の変動係数

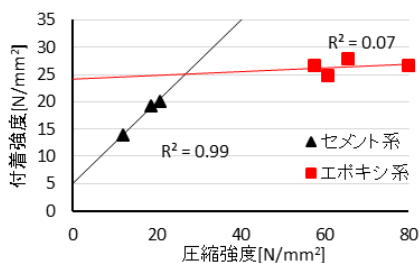


図-5 圧縮強度と付着強度の関係

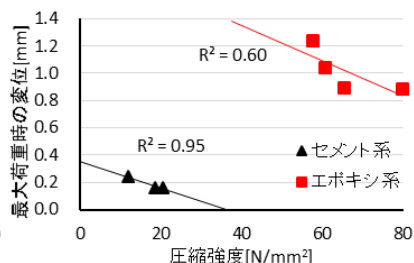


図-6 圧縮強度と最大荷重時の変位の関係

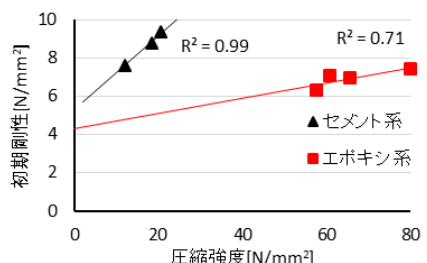


図-7 圧縮強度と初期剛性の関係

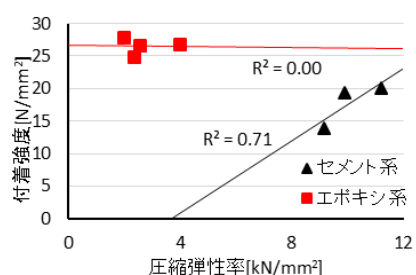


図-8 圧縮弾性率と付着強度の関係

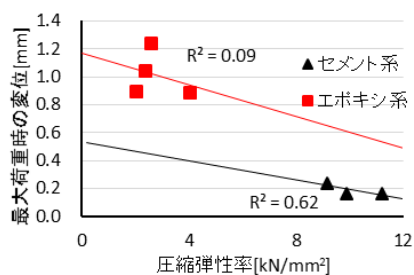


図-9 圧縮弾性率と最大荷重時の変位の関係

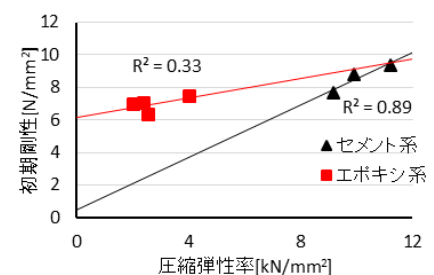


図-10 圧縮弾性率と初期剛性の関係

縮強度と初期剛性については、いずれの接着剤とも正の相関がみられた。

図-8 に圧縮弾性率と付着強度の関係を、図-9 に圧縮弾性率と最大荷重時の変位の関係を、図-10 に圧縮弾性率と初期剛性の関係を示す。セメント系については圧縮強度と同様に圧縮弾性率と付着強度に相関がみられ、また初期剛性とも強い相関がみられた。一方で、エポキシ系についてはいずれも明瞭な相関はみられなかった。

4.3 曲げ強度および曲げ弾性率と付着強度、最大荷重時の変位および初期剛性の関係

図-11 に曲げ強度と付着強度の関係を、図-12 に曲げ強度と最大荷重時の変位の関係を、図-13 に曲げ強度と初期剛性の関係を示す。また図-14 に曲げ弾性率と付着強度の関係を、図-15 に曲げ弾性率と最大荷重時の変位の関係を、図-16 に曲げ弾性率と初期剛性の関係を示す。曲げ強度、曲げ弾性率ともにセメント系についてはいずれも相関性が見られた。特に曲げ弾性率については、付着強度および初期剛性と高い相関を示した。一方で、エポキシ系についてはいずれの関係についても相

関性が見られなかった。

4.4 引張強度と付着強度、最大荷重時の変位および初期剛性の関係

図-17 に引張強度と付着強度の関係を、図-18 に引張強度と最大荷重時の変位の関係を、図-19 に引張強度と初期剛性の関係を示す。本試験では、エポキシ系は引張強度と付着強度に比較的高い相関がみられたものの、引張強度に対する付着強度の変化が小さく、指標として適切とはいえない。また、引張強度と最大荷重時の変位および初期剛性との相関はみられなかった。

図-20 にエポキシ系の引張試験結果を示す。この結果

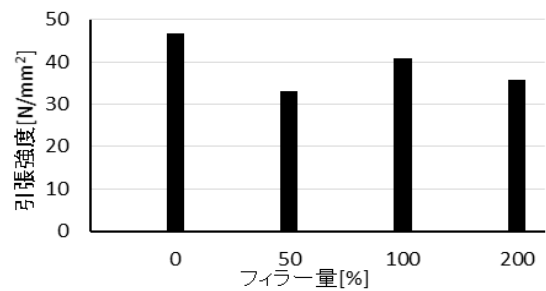


図-20 エポキシ系の引張試験結果

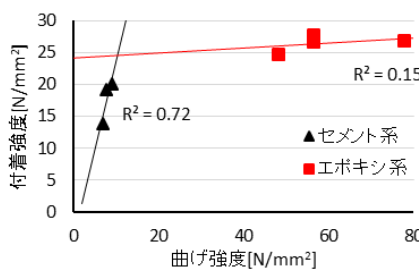


図-11 曲げ強度と付着強度の関係

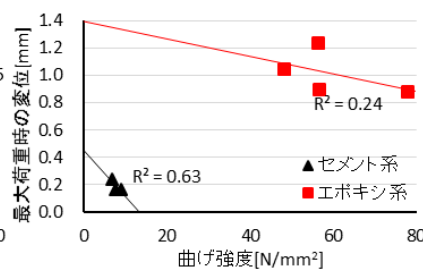


図-12 曲げ強度と最大荷重時の変位の関係

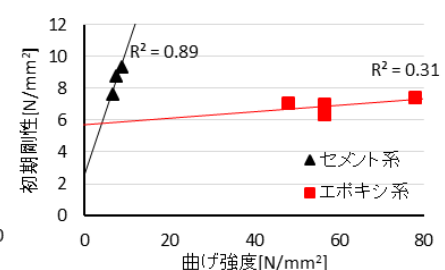


図-13 曲げ強度と初期剛性の関係

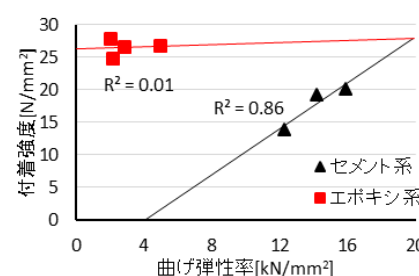


図-14 曲げ弾性率と付着強度の関係

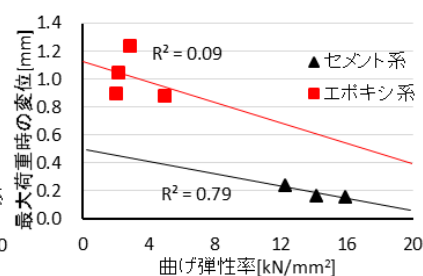


図-15 曲げ弾性率と最大荷重時の変位の関係

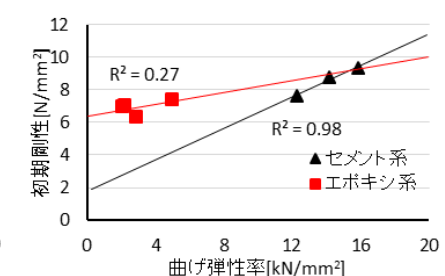


図-16 曲げ弾性率と初期剛性の関係

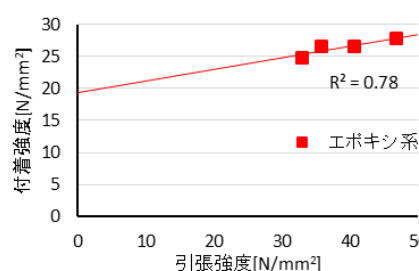


図-17 引張強度と付着強度の関係

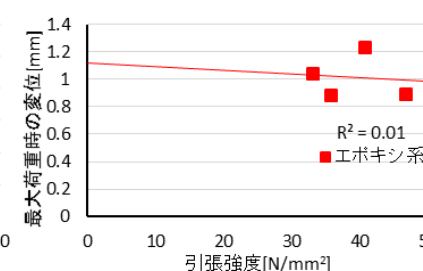


図-18 引張強度と最大荷重時の変位の関係

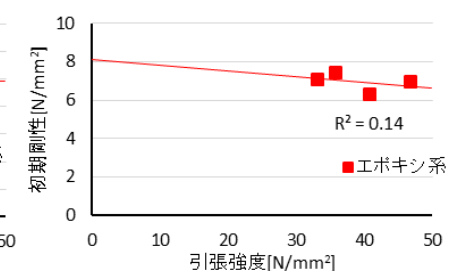


図-19 引張強度と初期剛性の関係

から、接着剤はフィラーが 0% のとき、つまりピュアな樹脂であるときに最も引張強度が高くなることがわかった。またフィラー量と引張強度の間に関係はみられなかった。

4.5 圧縮せん断接着強度と付着強度、最大荷重時の変位および初期剛性の関係

図-21 に圧縮せん断接着強度と付着強度の関係、図-22 に圧縮せん断接着強度と変位の関係を、図-23 に圧縮せん断接着強度と初期剛性の関係を示す。エポキシ系、セメント系とも相関性は確認されなかった。原因としては、試験時の接着剤の拘束状態が異なることが考えられる。またエポキシ系について、各種合成構造設計指針・同解説³⁾では、あと施工アンカーの定着はコンクリート穿孔面とアンカーに食い込み硬化した接着剤のせん断抵抗に依存する、とあるが、接着剤単体のせん断接着強度は必ずしも前述のせん断抵抗性と同義でないと考えられる。ただし、本実験では鉄を母材とした圧縮せん断力のみを測定しているため、他のせん断接着力や試験母材をコンクリートに変えた場合の圧縮せん断接着力がア

ンカーにおいてのせん断抵抗と相関を持つ可能性が考えられる。また、一般にセメント系接着剤における定着とは、いわゆる投錨効果や膨張材により膨張したセメントによる摩擦力によると考えられており、化学的接着という概念が薄いため、いずれの水準でもほぼ 0N/mm^2 となったと考えられる。

4.6 圧縮強度と曲げ強度および圧縮弾性率と曲げ弾性率の関係

前項までから、圧縮強度および曲げ強度、また圧縮弾性率および曲げ弾性率と付着強度、最大荷重時の変位および初期剛性は類似した結果となることがわかった。ここで、図-24 に圧縮強度と曲げ強度の関係を、また図-25 に圧縮弾性率と曲げ弾性率の関係を示す。図より、どちらも高い相関を持っていることがわかる。このことから、接着剤を評価する場合は圧縮強度と曲げ強度のうちでどちらか片方の試験を試験するのみでよく、両者を試験する必要性は薄いと考えられる。また弾性率についても同様といえる。

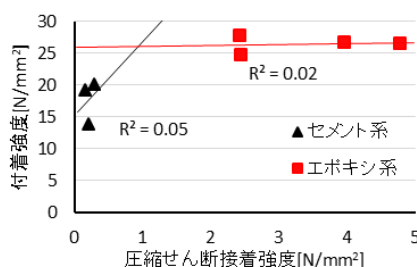


図-21 圧縮せん断接着強度と付着強度の関係

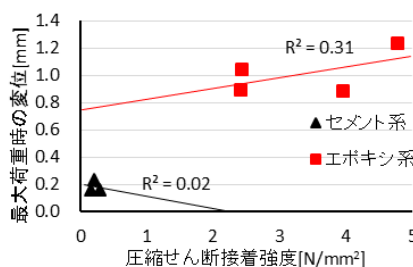


図-22 圧縮せん断接着強度と最大荷重時の変位の関係

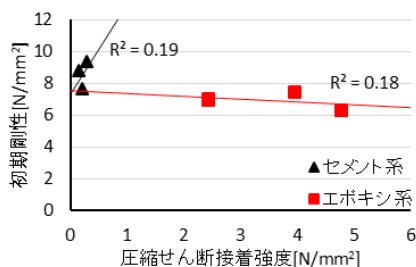


図-23 圧縮せん断接着強度と初期剛性の関係

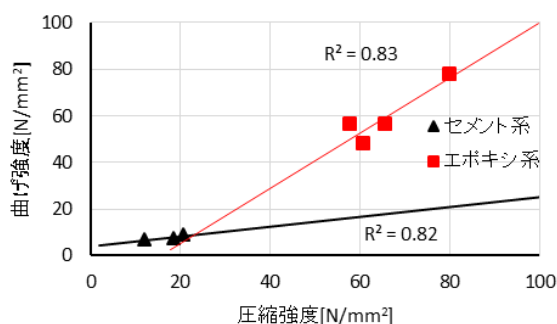


図-24 圧縮強度と曲げ強度の関係

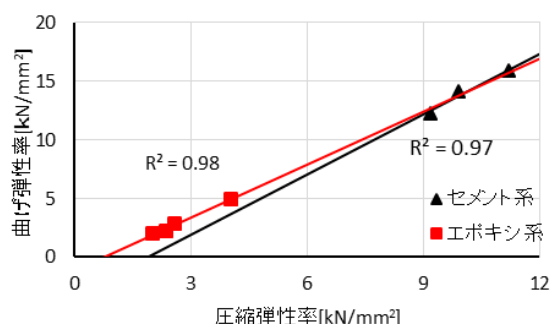


図-25 圧縮弾性率と曲げ弾性率の関係

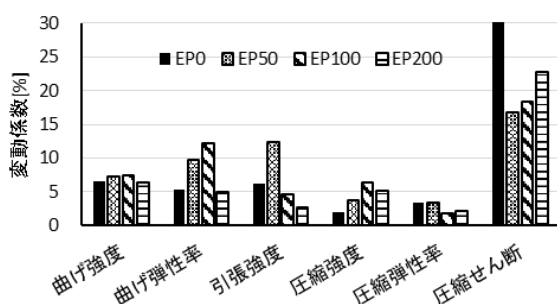


図-26 試験結果のばらつき (エポキシ系)

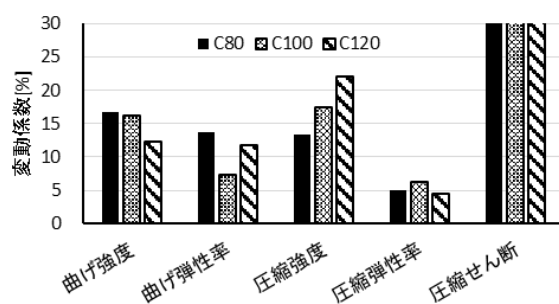


図-27 試験結果のばらつき (セメント系)

4.7 試験結果のばらつきに関する検討

図-26 にエポキシ系の試験結果の変動係数を、図-27 にセメント系の試験結果の変動係数を示す。試験のばらつきは、エポキシ系、セメント系ともに圧縮弾性率が最も小さい結果となった。またエポキシ系は曲げ強度、引張強度、圧縮強度も比較的ばらつきが小さい。一方でセメント系は圧縮強度、曲げ強度のばらつきが比較的大きい。原因としては、試験片が小さいことが考えられる。セメント系の接着剤について試験を行う場合は、例えば $\phi 50 \times 100\text{mm}$ のモルタル供試体で行うなど、試験片寸法を変えてばらつきが少なくなるよう再試験を行う必要が、本研究の結果を再確認する意味も含めてあると考えられる。また、圧縮せん断接着試験はどちらの接着剤も非常にばらつきが大きく、ばらつきの観点からも試験方法について別途の検討が必要と思われる。

5. まとめ

成分の異なる接着剤を用いたあと施工アンカーの付着試験および接着剤の物性に関する試験を行った結果、以下のような知見が得られた。

- (1)セメント系の接着剤を用いたアンカーの付着強度は混練水量の影響を受ける、またエポキシ系のフィラー量は付着強度に影響を与えない。
- (2)セメント系は圧縮強度と付着強度に相関が、またエポキシ系は付着強度と引張強度に相関がみられた、ただしエポキシ系は引張強度に対する付着強度の変動が小さい。
- (3)セメント系について、最大荷重時の変位は圧縮強度と高い相関を示した、また初期剛性は圧縮強度、圧縮弾性率、曲げ強度および曲げ弾性率と高い相関を示した
- (4)エポキシ系について、最大荷重時の変位および初期剛性は圧縮強度と相関がみられ、引張強度や曲げ強度との相関はみられなかった。
- (5)セメント系、エポキシ系について、圧縮強度と曲げ強度および圧縮弾性率と曲げ弾性率がそれぞれ高い相関を持つことから、接着剤の物性を評価する場合に圧縮強度と曲げ強度はどちらかを評価すればよいと考えられる。
- (6)付着強度と圧縮せん断接着強度に相関はみられなかった、その理由としては、接着剤の拘束状態が異なる、あと施工アンカーの付着のシステムが圧縮せん断接着試験で測定される接着のシステムと異なる、といったことが考えられる。また試験のばらつきも大きい。

(7)ばらつきはエポキシ系、セメント系ともに圧縮弾性率が最も小さい結果となった、またエポキシ系は圧縮強度、曲げ強度、引張強度も比較的小さい、一方でセメント系は曲げ強度や圧縮強度のばらつきが比較的大きい、原因としては本研究で適用した試験規格の試験片が小さいことが考えられる。本研究では既往の研究と同様の結果を得られたことから試験結果に問題はないと考えられるが、結果の確認のためにも再試験が必要である。

本研究では、あと施工アンカーに使用される接着剤について、付着性能と物性の相関性を検討した。結果としては、セメント系は圧縮強度や圧縮弾性率に関係があると考えられ、またエポキシ系は引張強度との相関がみられた。ただし、エポキシ系については付着強度の振れ幅が小さく、関係性についても疑問が残る。今後の課題としては、エポキシ系については付着強度が十分に異なる接着剤を用いて物性試験を行い、付着強度との関係性を明瞭にする必要がある。セメント系については、圧縮強度、圧縮弾性率について試験片の形状を変えて安定した試験を行う必要がある。また接着性の評価については、1面のせん断接着でなく拘束状態などを考慮した接着力を評価する試験が必要と考えられる。

参考文献

- 1) 建築保全センター：建築改修工事監理指針，pp.151, 2016.12
- 2) 日本建築学会：各種合成構造設計指針・同解説，pp.222, 2012.5
- 3) EOTA：ETAG 001 Guideline for European Technical Approval of Metal Anchors for Use in Concrete Part five: BONDED ANCHORS，Apr.2013
- 4) American Concrete Institute：Qualification of Post-installed Adhesive Anchors in Concrete and Commentary，355.4-11，Aug.2011
- 5) 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会梗概集(中国),pp353-354, 2017.7
- 6) 安藤重裕，中野克彦，渡辺一弘：超速硬セメント系注入式あと施工アンカーの環境および施工条件が付着強度に及ぼす影響に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文集，vol.35, No.2, pp.535-540, 2013.6