

論文 加熱を被ったあと施工アンカーの接着および付着強度の関係

伊藤 成胤^{*1}・向井 智久^{*2}・南部 禎士^{*3}・鈴木 淳一^{*4}

要旨: 本研究では、接着系あと施工アンカーに使用する複数の接着剤に対して、多種の温度水準を設定し、接着剤の接着力試験より得られた接着強度と既報の接着系あと施工アンカーの終局付着試験より得られた付着強度の比較を実施した。その結果、100℃から250℃に対する付着強度について、使用した接着剤の内エポキシ樹脂系のみで、他接着剤と異なる強度の低下傾向を確認し、この傾向はコンクリート強度の加熱温度に対する影響によるものと考えられる。

キーワード: あと施工アンカー、接着剤、接着強度、付着強度、加熱

1. はじめに

あと施工アンカーは、既存RC造建物の補強・増築に必要な不可欠な接合要素となる。それが火災を受けた場合、各種構成材料が温度の影響により機械的性質が変化し、アンカー筋周辺の付着特性に与える影響は大きい。しかし接着剤の物性に関する研究の困難さから、それらの技術資料が十分に整備されているとは言えない状況にある。

既報¹⁾ではあと施工アンカーに作用する応力状態を簡略的に再現した試験体により、接着剤の接着性状を確認する接着試験が行われ、常温に関しては接着強度があと施工アンカーの付着強度と相関があることが確認されている。なおここで述べる接着強度は接着剤と金属の接着強度あるいは接着剤そのものの強度を指し、付着強度はコンクリートと接着剤の界面、接着剤そのものあるいは接着剤と鉄筋の界面の強度を指す。一方で、温度等の試験環境が付着特性に与える影響については検討されていない。また既報²⁾では高温加熱されたあと施工アンカーの終局付着試験により、付着強度が急激に変わる温度をおおよそ把握した上で、その温度水準をパラメータとして設定した試験を行い、付着特性の確認を行った。

そこで本報では既報²⁾の温度水準を設定し、既報¹⁾の接着力試験を実施する。その後、あと施工アンカーの付着試験結果と、接着力試験結果の比較を実施し、相関性の把握を行う。なお、本報は既報³⁾で実施した試験の試験体の内、既報²⁾で使用した接着剤に該当するものを用いた検討を行っている。

2. 接着力試験の概要

2.1. 試験体概要

接着力試験に使用した試験体の形状および寸法を図-1に表-1に接着剤の種類を示す。文献1にあるとおり、穿孔状況は高ナットにより再現され、アンカー筋は全ねじ筋で再現することで、孔内の状況やアンカー筋の形状等の影響をなくす工夫がなされている。アンカー筋にはM12の全ねじボルト(SNB7等)を使用し、ナットにはM20の高ナット(S45C等)を使用する。ねじとナットの組み合わせで、M12のねじとM20の高ナットでは、ねじの周囲に約4mmの接着剤の層ができる。接着長さは24mm(2da)(da:アンカー筋の呼び径)である。試験体は高ナットにM20全ねじボルトを取り付けた状態で接着剤をナット内に吐出し、M12ボルトを回転貫入させて固着させた。

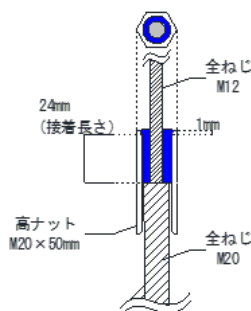


図-1 試験体概要

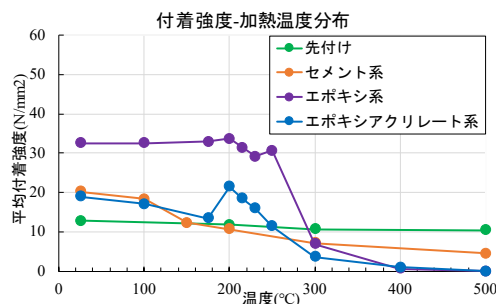
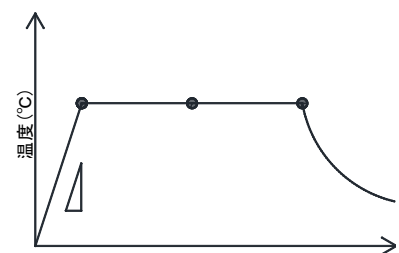
図-2 加熱温度毎の付着強度結果²⁾

図-3 試験体の加熱条件

^{*1} 東京理科大学 理工学研究科 建築学専攻 大学院 (学生会員)

^{*2} 国立研究開発法人 建築研究所 構造研究グループ 主任研究員・博士 (工学) (正会員)

^{*3} 独立行政法人都市再生機構 東日本賃貸住宅本部設計部技術支援課 担当課長 (正会員)

^{*4} 国土技術政策総合研究所 建築研究部 主任研究官・博士 (工学) (非会員)

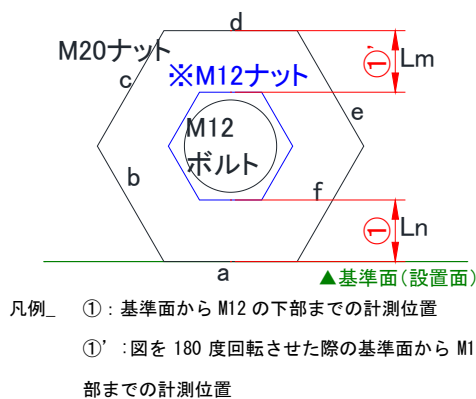


図-4 アンカー筋の軸傾斜角度計測方法

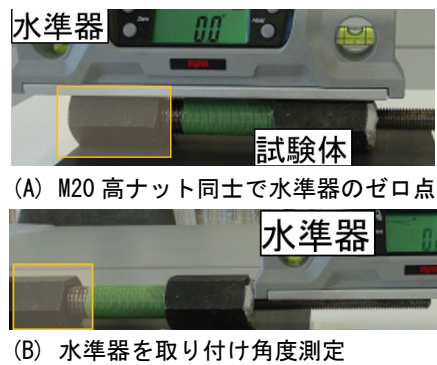


図-5 アンカー筋の軸の芯ずれ計測方法

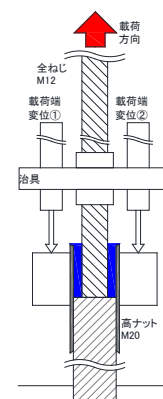


図-6 接着力試験概略図

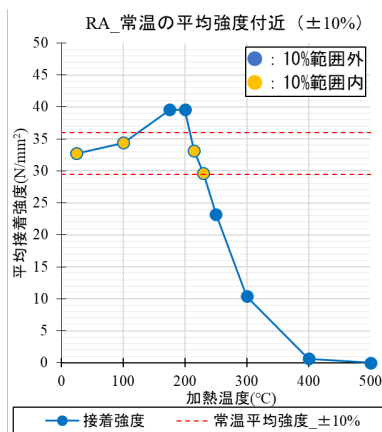


図-7 常温接着強度の 10%範囲の温度

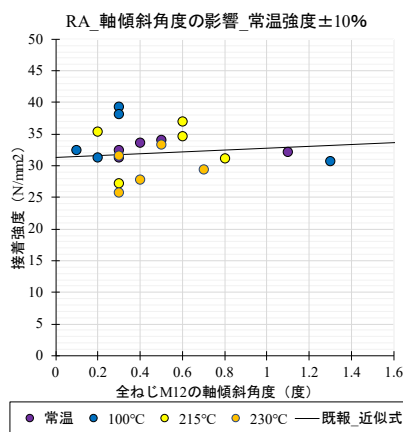


図-8 軸傾斜角影響_常温強度±10%

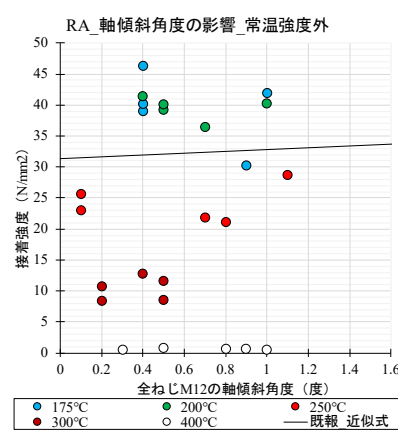


図-9 軸傾斜角影響_常温強度外

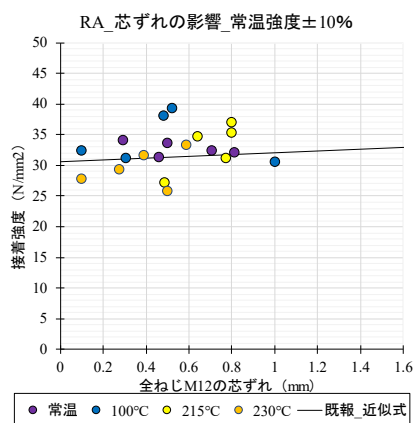


図-10 芯ずれ影響_常温強度±10%

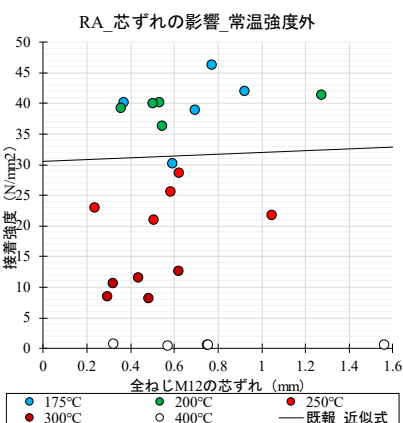


図-11 芯ずれ影響_常温強度外

表-1 試験体一覧

加熱温度 (°C)	接着剤試験体名 (各水準で試験体5体)		
	セメント (C)	エポキシ (EP)	ラジカル (RA)
常温	C_No.1-5	EP_No.1-5	RA_No.1-5
100	C_No.6-10	EP_No.6-10	RA_No.6-10
150	C_No.11-15	—	—
175	—	EP_No.11-15	RA_No.11-15
200	C_No.16-20	EP_No.16-20	RA_No.16-20
215	—	EP_No.21-25	RA_No.26-30
230	—	EP_No.26-30	RA_No.36-40
250	—	EP_No.31-35	RA_No.31-35
300	C_No.21-25	EP_No.36-40	RA_No.21-25
400	—	EP_No.41-45	RA_No.41-45
500	C_No.25-30	EP_No.46-50	RA_No.46-50

接着剤はセメント系、エポキシ系、ラジカル系の3種類とし、ラジカル系は既報²⁾で使用したエポキシアクリレート系と同様の接着剤である。各加熱温度の水準は表-1よりセメント系で6水準、エポキシ系で10水準、ラジカル系で10水準とし、各水準で5体の試験体を設置し、総試験体数はセメント系で30体、エポキシ系で50体、ラジカル系で50体とした。

2.2. 加熱計画

既報²⁾における加熱温度ごとの終局付着強度の試験結

果を図-2に、試験体の加熱条件を図-3に、試験体一覧を表-1に示す。加熱炉を昇温させ、炉内温度と試験体内部の温度が定常となるまで保持し、所定の温度を120分間保持し、その後は炉内で自然放冷した。加熱初期においては、試験体の強度等に影響を与えないよう温度上昇速度は3°C/min以下とした。冷却後、試験体温度が常温となったら計測を実施した。試験体は常温から300°Cの範囲で、付着強度が急激に変わる点を目安に複数の温度水準を設定した。

2.3. 試験体製作精度に関する測定概要

試験体の計測はラジカル系の試験体を対象に、加熱前に行う。試験体のアンカー筋の軸の芯ずれ計測方法を図-4に、アンカー筋の軸傾斜角度の計測方法を図-5に示す。芯ずれを計測するために図-4に示すM12ナットをM12ボルトに取り付け、試験体を基準面に置き、図-5の①及び①'に該当するM12高ナット下部と基準面をノギスにより測定する。なお、ノギスの内径用測定面の全てが、M12ナットと基準面に触れていることを目視で確かめ、M12ナットと基準面となるM20ナットの辺が平行となっていることを確認した。測定箇所はM12ナットの6面分とし、芯ずれは式(1)により算出する。

$$\Delta L = |L_n - L_m| / 2 \quad (1)$$

ここで、 ΔL ：芯ずれ(mm)、 L_n ：基準面からM12の下部までの距離(mm)、 n ：図-4に示すM20のa, b, c, d, e, f、 m ：前述nに対する対辺

軸傾斜角度は図-5に示すように、M20ボルトにM20高ナットを取り付け、図-5(A)に示すように、試験体を基準面に置き、M20高ナット同士の面を使用し、水準器のイニシャルを設定する。その後、図-5(B)に示すように、アンカー筋に水準器を載せ、軸傾斜角度の測定を実施する。なお、試験体の軸傾斜角度及び芯ずれは各々3点の計測を実施しているが、本検討では最大の角度及びずれを使用する。

2.4. 接着力試験の測定概要

図-6に本研究で検討した接着力試験の概略図を示す。载荷は、引張試験機を用いた。変位はアンカー筋(全ねじ)の接着部分に近くなるよう治具を取り付け、抜け出し変位を2点で計測した。接着強度は式(2)により算出した。

$$\tau = P_{\max} / (d_a \cdot \pi \cdot l) \quad (2)$$

ここで、 τ ：接着強度(N/mm²)、 $P_{\max}$ ：最大荷重(N)、 d_a ：全ねじ径(mm)、 l ：接着長さ(mm)

3. 実験結果

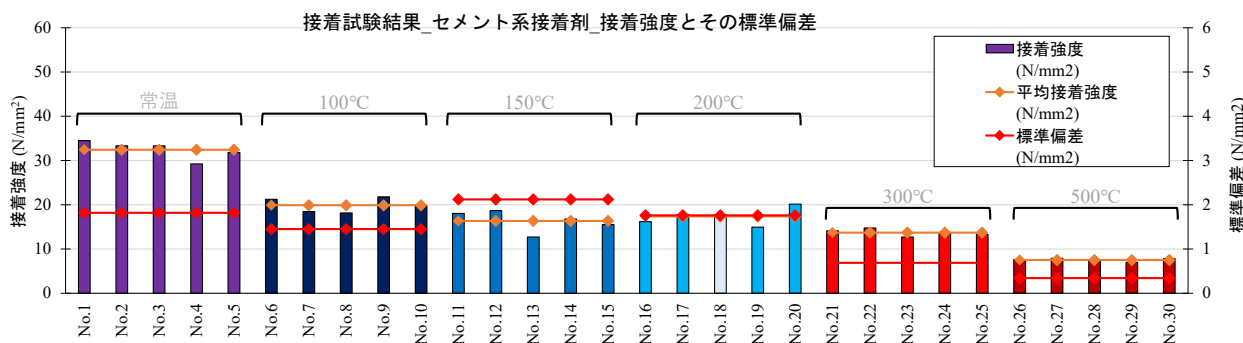
3.1. 試験体製作精度が接着強度に与える影響

本実験におけるアンカー筋の中心軸のずれ及びアンカー筋の傾斜角の試験体製作精度が接着強度に与える影響を把握する。既報¹⁾より常温の試験体においては、芯ずれが1.0mm、軸傾斜角度が1.0度程度であれば接着強度の上昇は10%程度であり、試験結果に与える影響は小さいと考えられる。そこで本論の加熱試験体のラジカル系に対し、既報²⁾と同様の傾向が得られるかについての検討を行う。接着力試験のラジカル系に関する接着強度と試験体製作精度の一部である軸傾斜角度の関係性は、加熱温度毎で接着強度にばらつきがあり、図による相関性の把握ができないために、常温の平均接着強度10%を境界とし、試験体製作精度による影響の確認を実施する。

図-7に常温5体の試験結果の平均値を基準として、温度毎5体の試験結果の平均値が基準の10%以内のずれで納まる温度を特定したものを、図-8及び図-10並びに図-9及び図-11に10%以内のずれで納まる温度とそれ以外にグルーピングし、横軸(パラメータ)に傾斜軸(図-8及び図-9)と芯ずれ量(図-10及び図-11)を選んでプロットしたものを示す。本検討の当該範囲に分布したのは100℃、215℃、230℃であった。図-8から図-11に記載した線形近似式は、既報¹⁾より読み取ったものを示している。図-8及び図-10より、常温の平均接着強度10%内に含まれる加熱温度の接着強度は、既報¹⁾の線形近似式に概ね一致していることを確認できる。一方の図-9及び図-11の10%を超える場合は、接着強度のばらつきにより、既報¹⁾の線形近似式と一致を確認できない。以上の検討結果より、常温の平均接着強度と10%以上異なる結果となった加熱温度を除き、既報¹⁾と同様な傾向となることを確認した。よって、常温時の平均接着強度と同程度の強度を有する試験体においては、常温同様、ずれが1mm、軸傾斜角度が1度程度であれば試験体製作精度が試験に与える影響は小さいと考えられる。

3.2. 各温度に対する接着強度

図-12、13及び図-14に各接着剤種類の接着力試験の接着強度結果を示す。エポキシ系の試験体EP_No.37及



凡例_■：最大荷重を万能試験機目盛りで観察した値 (C_No. 18)

図-12 セメント系接着剤の接着力試験試験結果

び EP_No.39～No.50 (合計 13 体) 及びラジカル系の試験
体 RA_No.46～RA_No.50 (合計 5 体) に関しては、加熱

試験後に引抜が確認されたため、接着強度を 0 とした。
また、C_No.18(200℃)については、データロガーによる

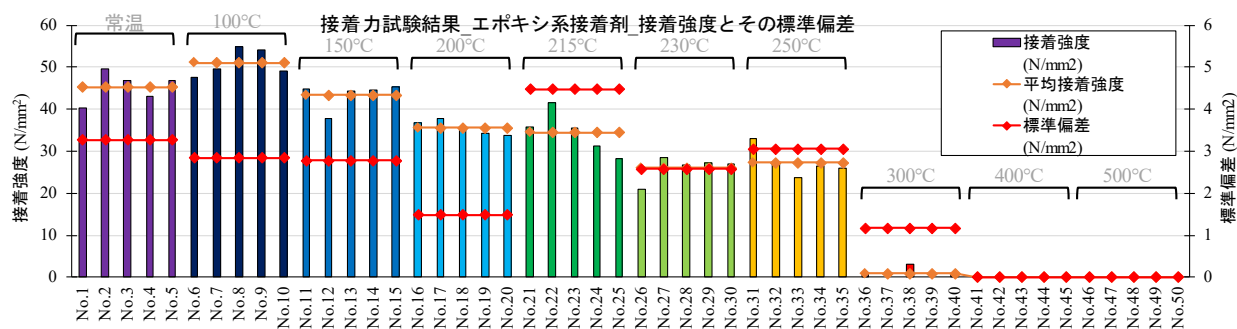


図-13 エポキシ系接着剤の接着力試験試験結果

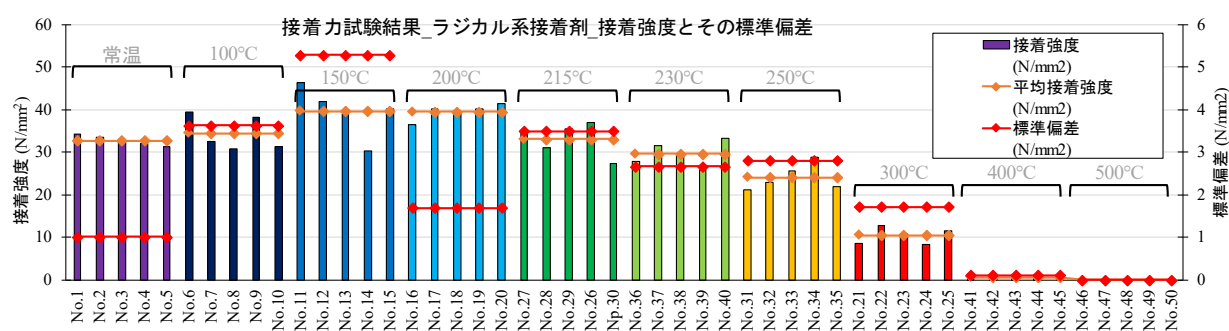
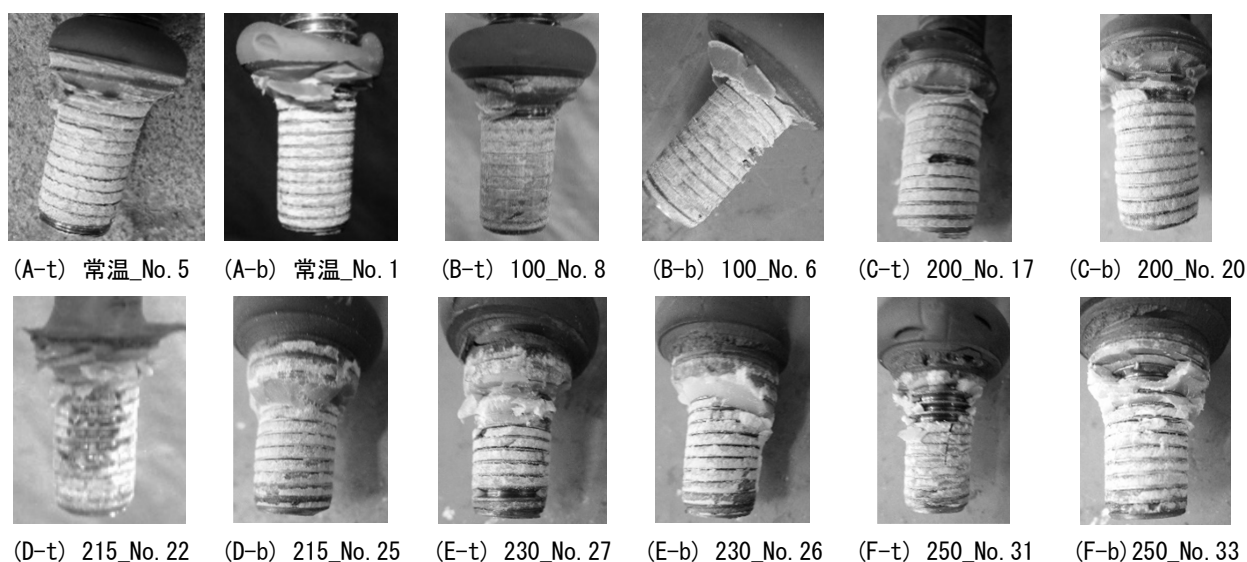


図-14 ラジカル系接着剤の接着力試験試験結果



(A-t) 常温-1 (A-b) 常温_No. 4 (B-t) 100_No. 9 (B-b) 100_No. 7 (C-t) 150_No. 13 (C-b) 150_No. 15

図-15 セメント系接着剤の最大耐力における各温度の最大強度及び最小強度の破壊性状



(A-t) 常温_No. 5 (A-b) 常温_No. 1 (B-t) 100_No. 8 (B-b) 100_No. 6 (C-t) 200_No. 17 (C-b) 200_No. 20
(D-t) 215_No. 22 (D-b) 215_No. 25 (E-t) 230_No. 27 (E-b) 230_No. 26 (F-t) 250_No. 31 (F-b) 250_No. 33

図-16 エポキシ系接着剤の最大耐力における各温度の最大強度及び最小強度の破壊性状

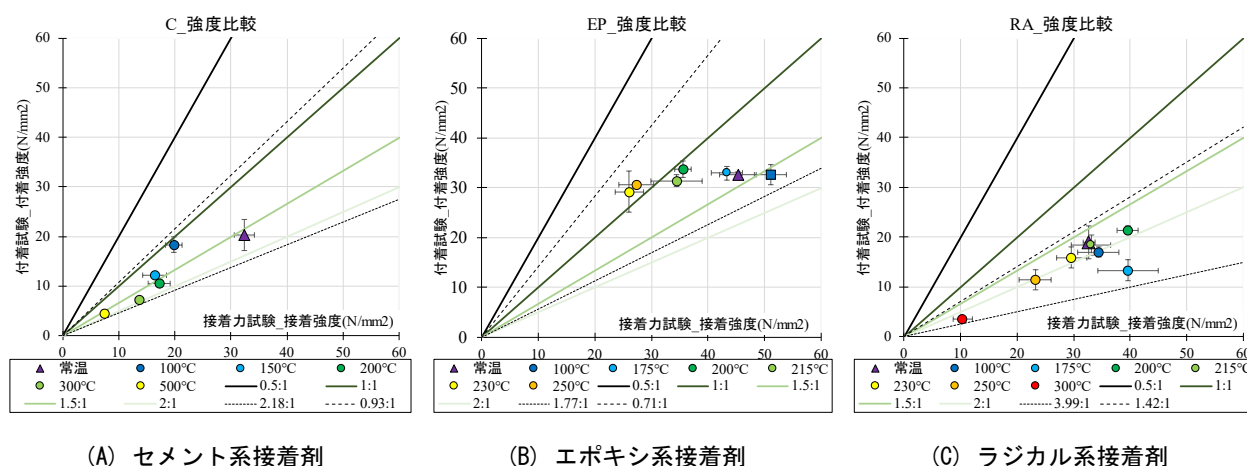
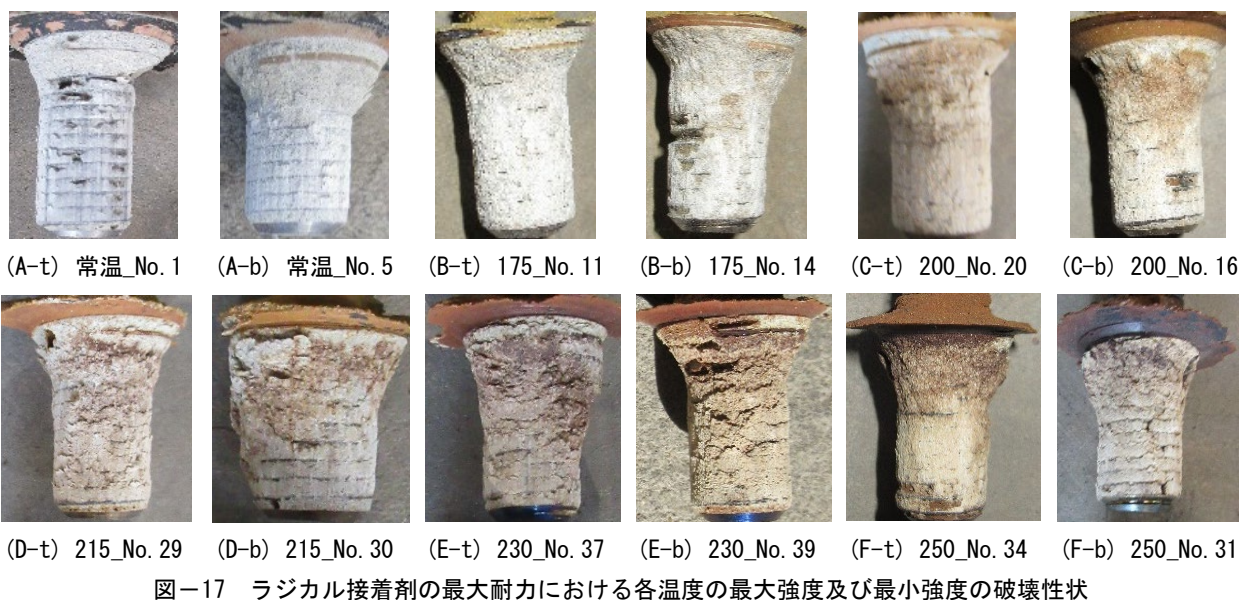


図-18 接着剤ごとの接着強度と付着強度の関係

表-2 常温の付着強度を1とした時の接着強度

接着剤	対象加熱温度：常温		
	上限値	下限値	平均値
	接着強度：付着強度	接着強度：付着強度	接着強度：付着強度
セメント系	1.99:1	1.31:1	1.60:1
エポキシ系	1.52:1	1.27:1	1.39:1
ラジカル系	2.15:1	1.42:1	1.72:1

記録が欠損したため、最大荷重を万能試験機目盛りで観察した 16.05kN として算定した結果を図-12 に示した。いずれの接着強度も、セメント系では 200℃、エポキシ系では 100℃及び 250℃並びにラジカル系では 100℃～200℃の各温度を除き、加熱温度の上昇とともに、接着強度が低下していることを確認できる。

図-15, 16 及び図-17 では、各接着剤種類の最大耐力における一部の各温度の内の最大強度及び最小強度の破

壊性状を示す。図タイトルにある t はある温度で最大耐力となった試験体を、図番の b はある温度で最小耐力となった試験体を指す。なお、図-16 のみグレースケールの画像とする。いずれの接着剤についても、上記の t と b での目視で確認できる破壊性状と耐力との明確な相関性は確認できない。

4. 接着力試験結果と終局付着強度試験結果の関係

既報¹⁾は、各温度水準で3体の試験体を使用し、加熱後に冷却した試験体に対して、付着破壊が起きることを目的として試験体の上に支圧板を設置し、終局付着試験を実施した。その結果、エポキシ系接着剤は他接着剤に比べると、200度程度までの付着強度の低下は緩やかであり、250～300度までに急激に付着強度が低下した(図-2参照)。図-18に各温度での接着強度と付着強度の関係を示し、各接着剤の接着強度と既報²⁾の付着強度の下限値及び上限値比率並びに、両強度のエラーバーの値は標準偏差の値を載せる。なお、載荷前より接着剤性能が著しく失われ、強度が1.0N/mm²以下となった試験体(エポキシ系は300℃、400℃及び500℃、ラジカル系では400℃及び500℃)を除いた。表-2に常温の付着強度を1.0としたときの常温の接着強度の比率を示す。既報¹⁾で引用されている既報⁴⁾では、本論と同様な接着力試験を、セメント系は1種、エポキシ系及びラジカル系は各2種の常温試験体に対して、一方で、これらの接着剤を使用した常温のあと施工アンカー試験体に対して付着試験が実施されている。その結果として、付着強度と接着強度の比の下限は1:1.5程度であったことから、評価対象の接着剤が付着強度の1.5倍程度を評価基準とすることが示されている。図-18及び表-2より、いずれの接着剤も上限値及び下限値は1.5倍の範囲内に含まれ、平均値は常温付着強度の概ね1.5倍を常温接着強度の値が示す。よって、既報⁴⁾と本論の常温は概ね同様の傾向が確認できると判断した。接着剤種類での比較を行うと、セメント系とラジカル系は両強度に比例の関係性を確認されることから、両者の付着強度は、接着剤と鉄筋界面ないしは接着剤そのものの破壊が発生したものと推測される。一方で、エポキシ系接着剤の強度関係は前述の接着剤と異なる傾向が見られ、温度上昇とともに接着剤強度のみが低下した。あと施工アンカーのエポキシ系の付着強度は、常温から250℃付近で接着剤とコンクリートの界面の強度に依存して破壊が発生したと推測される。

5. まとめ

本研究では、近年提案されている試験方法を用いて、高温加熱されたあと施工アンカーに用いられる接着剤の接着強度を求め、それと同じく高温加熱されたあと施工アンカーの付着強度の比較を行い、以下の知見を得た。

(1) 加熱を被った試験体の接着強度が常温の試験体の接着強度に対して10%以内に含まれている場合、アンカー筋の軸傾斜角度が1度程度、芯ずれが1mm程度であれば、既報¹⁾と得られた結果と同様の傾向が得られており、製作精度が接着強度に与える影響が常温と同程度であることを確認した。

(2) 本実験の常温試験体の接着強度は常温付着強度の概ね1.5倍となり、既報¹⁾の評価基準と同様な傾向を示した。

(3) 接着強度及び付着強度関係で全接着剤の内、エポキシ系のみで異なる劣化傾向を示し、100℃から250℃付近で接着剤とコンクリートの界面の強度に依存して破壊が発生したと考えられる。

参考文献

- 1) 佐藤滉起，秋山友昭，濱崎仁：接着系あと施工アンカーに使用される接着剤の品質評価試験に関する検討，日本建築学会構造系論文集，第84巻，第759号，pp.587-595，2019.5
- 2) 向井智久，南部禎士，毎田悠承，鈴木裕士，鈴木淳一，松沢晃一，伊藤成胤：高温加熱を被った鉄筋等の付着特性 その3 異なる接着剤を用いた場合の試験結果，日本建築学会大会北海道支部，pp.341-342，2019.9
- 3) 兼吉孝征，宋昌錫，鎌田晃輔，寺崎慎一，飯沼雅光，水上剛，伊藤勇次，向井智久，南部禎士，鈴木淳一，松沢晃一，伊藤成胤：加熱温度毎のあと施工アンカーに使用する接着剤の接着性能に関する実験，日本建築学会大会梗概，pp.121-122，2020.9
- 4) 佐藤滉起，秋山友昭，隈澤文俊，濱崎仁，塩原等，榊田佳寛，福山洋，棚野博之，松沢晃一，向井智久，寺崎慎一，沼田卓也：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18 接着剤の物性評価に関する検討 (2)，日本建築学会大会梗概，pp.157-158，2018.7

謝辞

本研究は、国立研究開発法人建築研究所の研究課題「共同住宅の躯体改修においてあと施工アンカーを用いた部材の構造性能に関する研究」として実施した。実験は建築研究所の実験施設において実施された。関係各位のご支援に対して謝意を表します。