

研 究 報 告

令和 8 年 5 月 22 日

公益財団法人 前田記念工学振興財団

理 事 長 岸 利 治 殿

研究代表者

所 属 : 小山工業高等専門学校 建築学科

氏 名 : 大和 征良

研究課題名 : コンクリート強度と異形鉄筋の節形状の差異が接着系あと施工アンカーの
高温時高温履歴後の付着強度に及ぼす影響

助成金額 : 100 万円

研究実施期間 : 自 令和7年4月1日 ～ 至 令和8年3月31日

コンクリート強度と異形鉄筋の節形状の差異が 接着系あと施工アンカーの高温時高温履歴後の付着強度に及ぼす影響

Influence for Difference of Concrete Strength and Rib Dimensions on Bond Strength of
Adhesive Injection Post-Installed Rebar During Fire and After Fire

小山工業高等専門学校 准教授 大和 征良

（研究計画ないし研究手法の概略）

1. はじめに

既存鉄筋コンクリート系構造物の耐震補強において、接着系あと施工アンカーが使用されている。特に経済性や施工性に優れているこの方法は公営集合住宅の居付きのリニューアル（改修）を中心に需要が高まっている。しかしながら、接着系あと施工アンカーの火災時（高温時）の付着強度に関する研究は未だ不十分である¹⁾。また、接着系あと施工アンカーは、図1、図2に示すように、コンクリート穿孔穴のコンクリート壁面の表面凹凸や鉄筋表面の凹凸に接着剤が入り込み、硬化することで接合される。そのため、鉄筋引抜き時にその境界面に支圧力や接着力が生じ、付着力が得られると考えられている。しかしながら、火災時（高温時）において、コンクリート強度や鉄筋表面の凹凸形状の差異が、接着剤との「かみ込み」（支圧）と付着強度に与える影響についての検討は未だ十分に行われていない²⁾。

そこで本研究では、アンカー筋として、これまで比較検討を行っていなかった表面凹凸形状の異なる竹節鉄筋³⁾とねじ鉄筋⁴⁾の異なる表面形状（凹凸形状）を持つ異形鉄筋を使用し、リニューアルにおいて古い集合住宅を想定して低強度コンクリートにおける接着系あと施工アンカーの火災時（高温時）の付着強度や付着破壊性状の違いを明らかにすることを目的とする。

2. 実験概要

図3、写真1～写真3に試験体詳細および試験装置を示す。

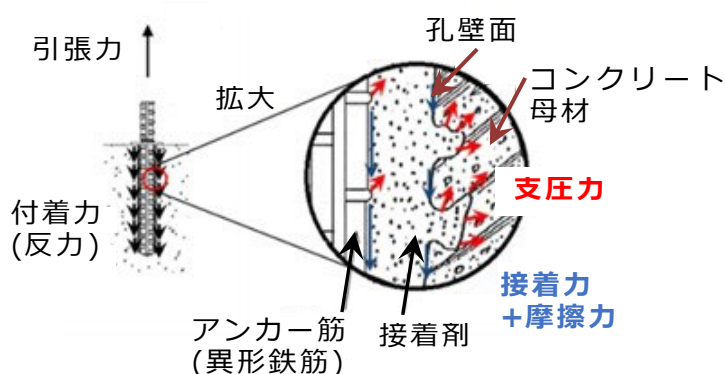


図1 付着力のメカニズムと接着部簡略断面

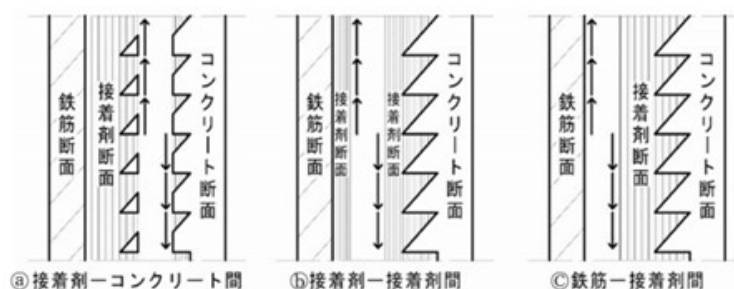


図2 接着系あと施工アンカー付着破壊性状(引張)

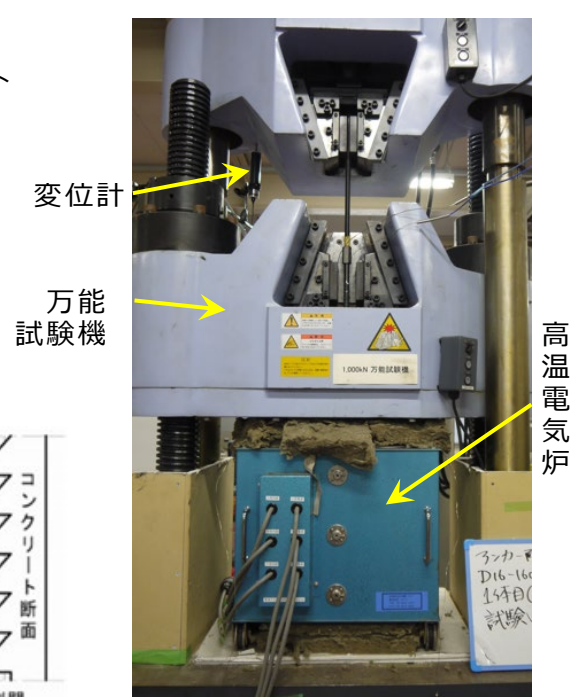


写真1 試験装置



写真 2 電気炉設置状況



写真 3 試験体

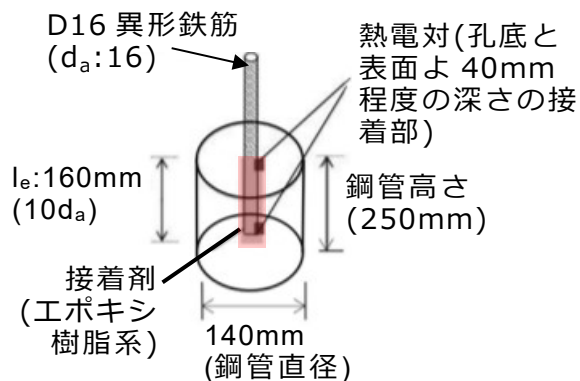


図 3 試験体詳細

2.1 試験体試験装置概要

実験では、エポキシ樹脂系接着剤を用いた試験体を作成し、異形鉄筋の異なる鉄筋の表面の凹凸形状が付着強度および付着破壊性状に与える影響を検証した。試験体は、直径 140mm、高さ 250mm の鋼管柱に低強度コンクリート（コンクリート強度： $\sigma_B = 14\text{N/mm}^2$ ）を打設し、直径 20mm・埋込み長さ $l_e:160\text{mm}$ ($10d_a$, d_a :鉄筋径) の穿孔を行った後、エポキシ樹脂系接着剤（カートリッジ型）を注入して D16 の竹節異形鉄筋（SD685）及びねじ異形鉄筋（以後ねじ鉄筋，SD685）を挿入した。熱電対は接着剤内部に図 3 のように 2 箇所設置し、データロガーにつないで実験値の平均値を取得、試験体温度をコントロールしながら測定を行った。載荷速度は毎秒約 20N/mm^2 、加熱条件は約 0.8°C/min で行った。

2.2 実験パラメータ

実験パラメータを表 1 に示す。

表 1 実験パラメータ

試験体名 ^{*1)}	鉄筋の種類 ^{*2)}	T_{a3} ^{*3)} (kN)	τ_a ^{*4)} (N/mm ²)	σ_B ^{*5)} (N/mm ²)
E1-60-7-B	竹節鉄筋 (B) (写真 4)	56.3	7.0	14.0
E2-80-5-B		40.2	5.0	
E3-100-3-B		24.2	3.0	
E4-60-7-S	ねじ鉄筋 (S) (写真 5)	56.3	7.0	
E5-80-5-S		40.2	5.0	
E6-100-3-S		24.2	3.0	

*1) E-1-60-7-B: エポキシ樹脂系接着剤-試験体番号-付着破壊時予想温度-付着応力度-異形鉄筋種類、異形鉄筋種類；竹節鉄筋 (B)，ねじ鉄筋 (S)

*2) 異形鉄筋種類・節形状・表面凹凸形状

*3) T_{a3} : 引張荷重 (kN)

*4) τ_a : 付着応力度, $\tau_a = T_{a3} / (\pi \cdot d_a \cdot l_e)$ より算出⁵⁾

*5) σ_B : コンクリート実強度

実験は、引張荷重を載荷した状態で試験体温度を上昇させ、付着破壊時の温度を測定する方法で行った。すなわち、実際の火災時環境と似た条件下で付着破壊を再現する方法である。また、コンクリートコーン状破壊を起こさせないためのジグ（直径約 150 mm で中心部に 35 mm の空孔を有する円形鋼板）を設けて、1,000kN 油圧式万能試験機にて載荷を行った。今回の実験では、試験体を加熱している間、継続して加力している荷重が保持できなくなっただけから、その引張荷重の 80%を超えて低下したところで付着破壊とみなし、高温載荷後試験体を目視で確認して付着破壊していることを再確認する方法を採用した。アンカー筋の変位は写真 1 のように上部チャック部で計測した(この変位にはアンカー筋の伸びも含まれる)。さらに、写真 4、写真 5 に竹節鉄筋(B)とねじ鉄筋(S)の表面の凹凸形状の違いを示す。これ

は、過去の同様の一部の条件における高温加熱実験で、表面凹凸形状の比較的大きい竹節鉄筋やねじ鉄筋を使用した際の付着破壊時の温度が、表面凹凸形状の小さな高強度せん断補強筋(UHY)⁶⁾を使用するよりも相当程度高温となる結果が得られたことによる⁷⁾が、竹節鉄筋とねじ鉄筋の表面凹凸形状（節形状）をパラメータとした比較実験は行っていないため、今回実施するものである。

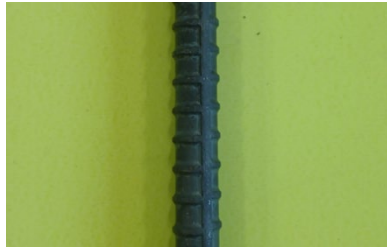


写真4 竹節鉄筋



写真5 ねじ鉄筋

（実験調査によって得られた新しい知見）

3. 実験結果と考察

表2，図4に実験結果を示す。写真5に実験後の試験体状況写真を示す。

表2 実験結果

試験体名	鉄筋の種類	T_{a3} (kN)	τ_a (N/mm ²)	付着破壊時 温度(℃)	付着破壊性状(図2)	
					上部	下部
E1-60-7-B	竹節鉄筋 (B)	56.3	7.0	59	(a)	(a)+(c)
E2-80-5-B		40.2	5.0	72	(a)	(c)
E3-100-3-B		24.2	3.0	119	(c)	(c)
E4-60-7-S	ねじ鉄筋 (S)	56.3	7.0	53	(a)	(a)
E5-80-5-S		40.2	5.0	60	(a)	(a)+(c)
E6-100-3-S		24.2	3.0	120	(a)+(c)	(c)

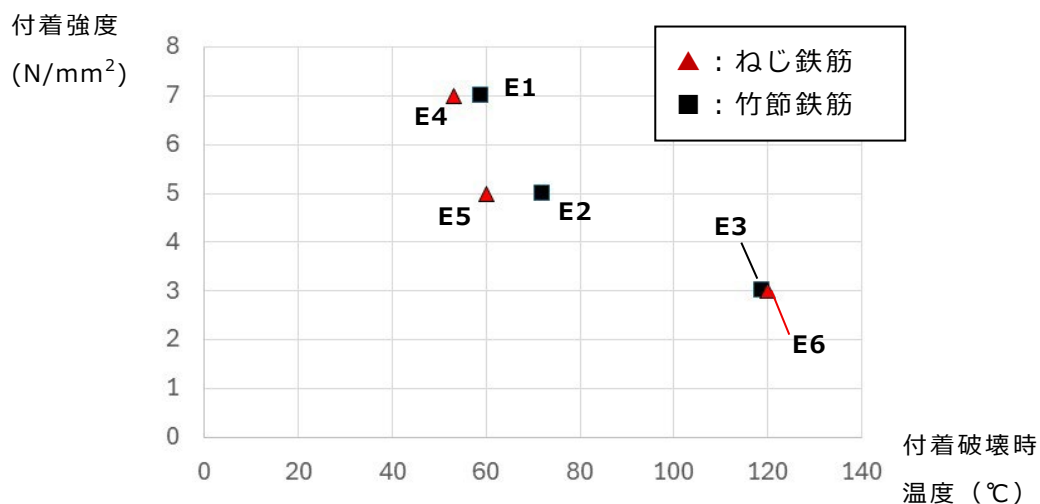


図4 実験結果（付着破壊時温度）

同条件の引張荷重で比較すると、比較的引張荷重の大きい付着強度 $\tau_a=7\text{N/mm}^2$ 及び 5N/mm^2 においては、竹節鉄筋の方がねじ鉄筋より付着破壊時の温度が高くなっている。これは、接着剤と異形鉄筋の境界部の鉄筋表面凹凸における支圧効果が、ねじ鉄筋より竹節鉄筋の方が強いことを意味している。また、比較的引張荷重の小さい付着強度 $\tau_a=3\text{N/mm}^2$ においては、両者付着破壊時の温度に差異が生じていない。これは、引張荷重（付着強度）が

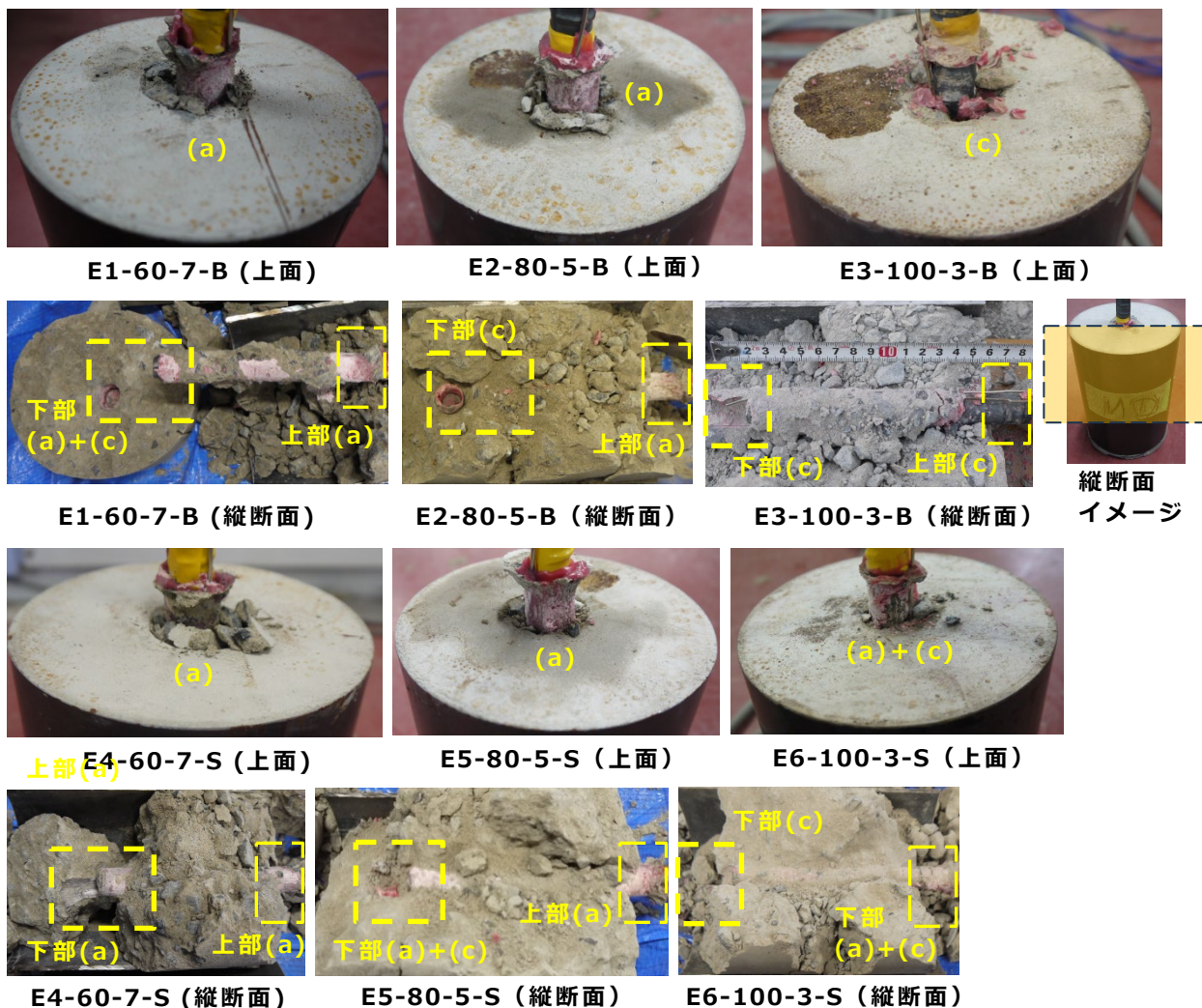


写真 5 実験後試験体付着破壊性状

小さくなると、付着破壊時の温度が高温となり、接着剤の剛性がより低下することから、付着強度 $\tau_a = 7\text{N/mm}^2$ 及び 5N/mm^2 の際に見られた接着剤と異形鉄筋の境界部の鉄筋表面凹凸における支圧効果の差異が顕著とならず、付着破壊時の温度に差異が生じないのではないかと考えられる。また、付着破壊性状の観察では、埋込み長さ上部では常温時に顕著となる付着破壊とコンクリートコーン状破壊の複合破壊の様相を示すことがあるため、埋込み長さ下部における付着破壊性状に焦点を当てると、比較的引張荷重の大きい付着強度領域である低温域から、比較的引張荷重の小さい付着強度領域である高温域に移行する上で、付着破壊性状が、「(c)コンクリートと接着剤の界面の付着破壊」から「(c)+(a)であるコンクリートと接着剤の界面の付着破壊と鉄筋と接着剤の界面の付着破壊の混合破壊」さらには「(a)の鉄筋と接着剤の界面の付着破壊」へと移行する。これは、比較的引張荷重の大きい付着強度領域である低温域では、接着剤の剛性がそれほど低下していないため常温の際に見られる「(c)コンクリートと接着剤の界面の付着破壊」と「(c)+(a)であるコンクリートと接着剤の界面の付着破壊と鉄筋と接着剤の界面の付着破壊の混合破壊」の破壊性状が見られるのに対し、比較的引張荷重の小さい付着強度領域である高温域に移行すると、接着剤の剛性が低下するため「(a)の鉄筋と接着剤の界面の付着破壊」の破壊性状がよく見られるようになるためと考えられる。しかしながら、比較的引張荷重の大きい付着強度領域である低温域における竹節鉄筋とねじ鉄筋の埋込み長さ下部の破壊性状を比較すると異なった付着破壊性状を示しており、より一層のデータの蓄積と付着破壊性状のより詳細な解析が必要であることがわかった。

4. まとめと今後の課題

本実験的研究では、接着系(エポキシ樹脂系)注入方式あと施工アンカーの火災時(高温時)の載荷加熱実験を、低強度コンクリートの試験体で、竹節鉄筋とねじ鉄筋の表面凹凸形状(節形状)をパラメータとして検証を行った。比較的引張荷重の大きい付着強度 $\tau_a=7\text{N/mm}^2$ 及び 5N/mm^2 においては、竹節鉄筋の方がねじ鉄筋より付着破壊時の温度が高くなっている、接着剤と異形鉄筋の境界部の鉄筋表面凹凸における支圧効果が、ねじ鉄筋より竹節鉄筋の方が大きいことがわかった。また、比較的引張荷重の小さい付着強度 $\tau_a=3\text{N/mm}^2$ においては、付着破壊時の温度が高温となり接着剤の剛性がより低下することから、接着剤と異形鉄筋の境界部の鉄筋表面凹凸における支圧効果の差異が顕著とならず、付着破壊時の温度に差異が生じなかったのではないかと考えられる。さらに、引張荷重の大きい付着強度領域である低温域から、引張荷重の小さい付着強度領域である高温域に移行する上で、付着破壊性状が、「コンクリートと接着剤の界面:(c)」から「コンクリートと接着剤の界面と鉄筋と接着剤の界面の混合破壊:(c)+(a)」さらには「鉄筋と接着剤の界面:(a)」へと移行する。これは、低温域では接着剤の剛性がそれほど低下していないため、常温の際に見られる「(c)」や「(c)+(a)」の付着破壊性状が見られるのに対し、高温域に移行すると、接着剤の剛性が低下するため「(a)」の付着破壊性状がよく見られるようになるためと考えられる。しかしながら、引張荷重の大きい付着強度領域である低温域において、竹節鉄筋とねじ鉄筋の埋込み長さ下部の破壊性状を比較すると異なった付着破壊性状を示しており、より一層のデータの蓄積と付着破壊性状の解析が必要であることがわかった。今回は高温時(火災時)のみ検証であったが、今後は、コンクリート強度と異形鉄筋凹凸形状(節形状)の組み合わせによるパラメータを追加して高温時(火災時)に加え高温履歴後(火災後)の検証も行うと共に、有限要素法(FEM)による熱伝導応力解析を行い、部材接合の実物大架構の載荷加熱実験を計画し、評価法・設計法の提案を検討していきたいと考えている。

5. 参考文献

- 1) 大和征良, 池田憲一: エポキシ樹脂系注入方式接着系あと施工アンカーの火災時及び火災後の付着破壊強度に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集, Vol. 80, pp. 1803-1809, 2015
- 2) 大和征良: 接着系注入方式あと施工アンカーの火災時の付着強度に関する実験的研究, 日本地震工学会論文集, 第25巻, 第4号(特集号), pp.155-163, 2025
- 3) 公益社団法人 日本鉄筋継手協会: <https://jrji.jp/> (参照 2023-4-1)
- 4) 東京鉄鋼株式会社: ネジテツコン(高張力ネジ節棒鋼), <https://www.tokyotekko.co.jp/ja/index.html> (参照 2023-4-1)
- 5) (一財)日本建築防災協会: 2017年改訂版 既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準・耐震改修設計指針・同解説, 2022
- 6) 株式会社コーテックス: UHY フープ, 高強度せん断補強筋, <http://kotecs.co.jp/introduction/uhyhoop/> (参照 2023-8-29)
- 7) 大和征良: 高温時における接着系あと施工アンカーの付着強度と付着破壊性状に及ぼす鉄筋表面形状の影響, 日本地震工学会年次大会, D2 構造物 3, D-2-6, 20250379, 2025

(発表論文)

特になし。