

アクリル樹脂系接着剤を用いたあと施工アンカーの開発 — 温度変化をパラメータとした付着強度試験 —

DEVELOPMENT OF BONDED ANCHOR WITH ACRYLIC ADHESIVE

— ADHESION STRENGTH TEST WITH CHANGE IN TEMPERATURE AS A PARAMETER —

平野 穂菜美* 橋 肇* 三輪 浩二**
Honami Hirano Hajime Tachibana Koji Miwa

当社では、アクリル樹脂系接着剤（以下、アクリル樹脂）を用いたあと施工アンカーの開発に取り組み、アクリル樹脂の基本的な性能確認試験や、低温下におけるアンカーの引抜き強度試験など、様々な性能確認試験を実施してきた。既往の研究から、アクリル樹脂を用いたあと施工アンカーは-10℃～35℃で適用可能であることを確認しているが、施工後の温度変化が付着強度に及ぼす影響については知見が不足している。そこで、本稿ではアンカー施工時と引抜き時の温度を変化させてアンカーの引抜き試験を実施し、温度変化が付着強度に及ぼす影響について検証した結果を報告する。

キーワード：接着系あと施工アンカー、アクリル樹脂、温度変化、付着強度試験

1. はじめに

橋梁工事の現場では、RC下部工にジャッキアップ用ブラケットを設置する場合など、RC構造物に鋼部材を設置する際、接着系あと施工アンカーが広く用いられている。接着系あと施工アンカーで一般的に使用されているエポキシ樹脂系接着剤は、硬化時間が長い、5℃以下の低温下では硬化しにくいといった課題があったため、弊社ではアクリル樹脂を用いた接着系あと施工アンカーの研究開発に取り組んできた¹⁾²⁾。

アクリル樹脂はラジカル重合性樹脂¹⁾であり、一般的に速硬化性・低温硬化性に優れる特徴がある。あと施工アンカーの接着剤として、-10℃～35℃の範囲で適用可能となっており、暑中施工や寒中施工に対応している。しかし、施工後の温度変化が付着強度に及ぼす影響については知見が不足している。そこで本稿では、施工時と引抜き時の温度を変化させてアンカーの引抜き試験を実施し、温度変化が付着強度に及ぼす影響について検証した結果を報告する。

2. 試験方法

2.1 概要

接着系あと施工アンカーの施工時の温度（以下、施工温度）と引抜き試験時の温度（以下、引抜き温度）をパラメータとしたアンカーの引抜き試験を行った。試験は、当社開発品であるアクリル樹脂を用いた「NR アンカー」

と、エポキシ樹脂を用いた従来アンカーを対象として実施した。

2.2 試験ケース

表-1 に試験ケースを示す。アクリル樹脂は気温によって可使用時間を調整した夏用と冬用があるため、施工温度によって使い分けを行い、施工温度と引抜き温度をパラメータとし、①各樹脂（アクリル冬用、アクリル夏用、エポキシ）の標準適用温度で施工・引抜きしたケース、②低温施工・低温引抜きしたケース、③低温施工・高温引抜きしたケース、④高温施工、高温引抜きしたケース、⑤高温施工・低温引抜きしたケースを設定した。施工温度における低温、高温の設定値は、各樹脂の最低適用可能温度、最高適用可能温度とした。引抜き温度の低温、高温の設定値は、真冬や真夏の厳しい気象条件を想定し、-10℃と50℃とした。試験体数はアクリル樹脂で各5体、参考として試験を行うエポキシ樹脂は各3体とした。

表-1 試験ケース

ケース番号	施工温度 (℃)	引抜き温度 (℃)	接着剤		試験体数	備考
			種類	W: 冬用 S: 夏用		
a	5	5	アクリル樹脂 (NRアンカー)	W	5	①冬用標準
b	25	25		S	5	①夏用標準
c	-10	-10		W	5	②低温施工-低温引抜き
d	-10	50		W	5	③低温施工-高温引抜き
e	35	50		S	5	④高温施工-高温引抜き
f	35	-10	S	5	⑤高温施工-低温引抜き	
g	25	25	エポキシ樹脂	-	3	①標準
h	5	-10		-	3	②低温施工-低温引抜き
i	5	50		-	3	③低温施工-高温引抜き
j	35	50		-	3	④高温施工-高温引抜き
k	35	-10		-	3	⑤高温施工-低温引抜き

* 技術本部 技術研究室
**工事本部 橋梁保全事業室

2.3 試験体

図-1 に試験体図を示す。紙製のボイド管を底板に固定したものを型枠とし、 $\phi 300 \times 135 \text{mm}$ のコンクリート試験体を製作した。コンクリート種別は早強コンクリートとし、湿潤養生期間は3日間とした。また施工時期が2月であったため、シート養生にてコンクリートの初期凍害を防止した。なお、コンクリートの打設および養生は屋内で行なった。

コンクリートの硬化後、コアドリルを用い、試験体の中心に $\phi 14.5 \times 60 \text{mm}$ のアンカーホールを削孔した。削孔面は、引抜き試験時の支圧板との不陸を考慮し、コンクリート打込み時の型枠面側とした。また、標準養生試験体の28日圧縮強度は、 47.5N/mm^2 であった。

アンカーボルトの仕様は、 $\text{M}12 \times 180 \text{mm}$ 、全ねじ加工、全メッキ仕様とした。本試験では、アンカー埋込み部の付着強度に着目するため、アンカーの降伏が先行しないよう高強度材質のSNB7を使用し、埋込み長はアンカー径の5倍とした。アンカーボルトの材料試験値は、降伏強度が 964N/mm^2 、引張強度が 1043N/mm^2 であった。

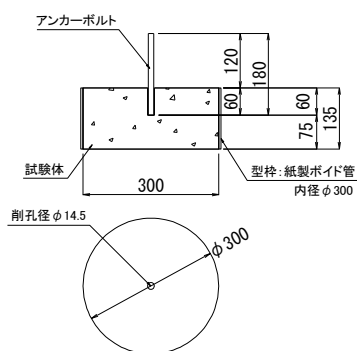


図-1 試験体図

2.4 試験手順

施工温度に設定した恒温室内にて、コンクリート試験体にアンカーボルトを定着し、24時間養生した。その後室温を引抜き温度に変化させ、更に24時間養生し、恒温室内で引抜き温度を保った状態でセンターホールジャッキにてアンカーボルトの引抜き試験を実施した。計測項目は荷重とアンカーボルトの変位とし、各ケースでの付着強度を確認した。なお、付着強度の基準値は日本建築あと施工アンカー協会の認証製品で確保されている 10N/mm^2 とした³⁾。

2.5 設計耐力

表-2 に本試験における設計耐力を示す。各設計値は、材料試験値および理論式⁴⁾を用いて算出した。①は付着強度の基準値である 10N/mm^2 から換算した設計耐力を示している。②～④において、③コンクリートのコーン破壊耐力が最も低い値となっているが、本試験では試験

表-2 設計耐力

項目	設計耐力(kN)
①接着剤の付着強度 = 10N/mm^2 (基準値) の場合の付着耐力	23
②コンクリートの付着耐力	34
③コンクリートのコーン破壊耐力	22
④アンカー筋の降伏耐力	81

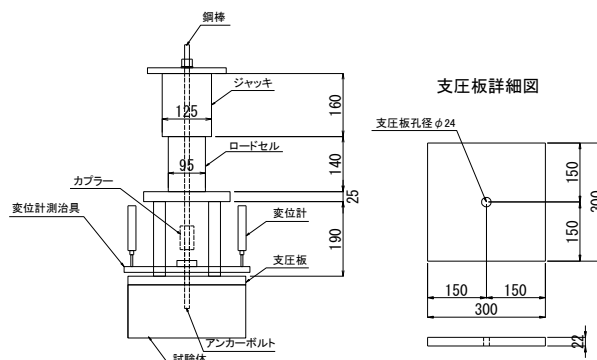


図-2 引抜き試験装置

体上に支圧板を設け、コーン破壊の先行を防いだ。よって、破壊形態はコンクリートと樹脂の界面または樹脂とアンカーボルトの界面での付着破壊を想定した。

2.6 引抜き試験

図-2 に本試験で用いた引抜き試験装置を示す。試験体上面に支圧板、架台、ロードセル、センターホールジャッキを設置し、アンカーボルトに接続した鋼棒をナットで固定した。変位計はアンカーボルト基部に2箇所、鋼棒頂点に1箇所設置した。

載荷は、手動ポンプに接続したセンターホールジャッキにて鉛直上向きの単調載荷とした。載荷速度はNCAAの提案による「あと施工アンカー試験方法」⁴⁾を参考に 3kN/s 以下とした。

3. 試験結果

表-3 に引抜き試験結果の一覧を示す。ここで示す最大荷重は、引抜き試験中にロードセルが示した最大値とした。付着強度は最大荷重をアンカーボルトの直径と埋込み長から求まる付着面積で除した値として示す。その結果、付着強度は全試験体で基準値である 10N/mm^2 以上であることが確認できた。また、変位は3箇所の変位計の計測値より、鋼棒とアンカーボルトの伸びを控除し、アンカーボルトの抜き出し量となるよう補正している。なお、ケース b-2 は計測不良が生じたため、破壊形態のみの記録とした。

写真-1 a) ~ c) に本試験で確認された破壊形態を示す。試験後の破壊形状から、コンクリートと樹脂の界面で破壊する界面破壊、樹脂とアンカーボルトの界面で破壊す

表-3 引抜き試験結果

試験ケース	施工温度(°C)	引抜き温度(°C)	樹脂	試験体番号	最大荷重(kN)	平均最大荷重(kN)	付着強度(N/mm ²)	平均付着強度(N/mm ²)	最大荷重時変位(mm)	最大荷重時平均変位(mm)	破壊形態	コンクリート材齢(日)
b	25°C	25°C	アクリルS:夏用	b-1	65.1	56.4	28.8	24.9	0.4243	0.31	界面破壊	78
				b-2	計測不良		計測不良		計測不良		界面破壊	
				b-3	47.9		21.2		0.2473		界面破壊	
				b-4	49.1		21.7		0.2876		界面破壊	
				b-5	63.5		28.1		0.2976		界面破壊	
e	35°C	50°C	アクリルS:夏用	e-1	48.2	50.9	21.3	22.5	0.2762	0.29	界面破壊	85
				e-2	54.2		24.0		0.3665		界面破壊	
				e-3	51.6		22.8		0.2979		界面破壊	
				e-4	44.9		19.9		0.2609		界面破壊	
				e-5	55.8		24.7		0.2692		界面破壊	
f	35°C	-10°C	アクリルS:夏用	f-1	61.9	59.0	27.4	26.1	0.3652	0.33	界面破壊	99
				f-2	61.8		27.3		0.2682		界面破壊	
				f-3	67.0		29.6		0.4652		界面破壊	
				f-4	53.8		23.8		0.2587		界面破壊	
				f-5	50.3		22.2		0.3112		界面破壊	
a	5°C	5°C	アクリルW:冬用	a-1	76.4	74.8	33.8	33.1	0.6249	0.54	凝集破壊	106
				a-2	76.5		33.8		0.6917		凝集破壊	
				a-3	75.2		33.2		0.5591		凝集破壊	
				a-4	73.6		32.5		0.3998		凝集破壊	
				a-5	72.2		31.9		0.4187		凝集破壊	
c	-10°C	-10°C	アクリルW:冬用	c-1	61.1	61.2	27.0	27.1	0.2932	0.35	混合型破壊	113
				c-2	69.2		30.6		0.4153		界面破壊	
				c-3	59.1		26.1		0.3292		混合型破壊	
				c-4	56.5		25.0		0.3234		界面破壊	
				c-5	60.2		26.6		0.3761		凝集破壊	
d	-10°C	50°C	アクリルW:冬用	d-1	41.5	48.6	18.3	21.5	0.2249	0.28	界面破壊	120
				d-2	49.3		21.8		0.3363		混合型破壊	
				d-3	51.6		22.8		0.2891		界面破壊	
				d-4	48.8		21.6		0.2369		界面破壊	
				d-5	52.0		23.0		0.3133		凝集破壊	
g	25°C	25°C	エポキシ	g-1	58.5	52.7	25.9	23.3	0.2761	0.29	界面破壊	78
				g-2	50.6		22.4		0.2389		界面破壊	
				g-3	48.9		21.6		0.3497		界面破壊	
j	35°C	50°C	エポキシ	j-1	45.2	41.8	20.0	18.5	0.3135	0.36	界面破壊	85
				j-2	39.4		17.4		0.4427		界面破壊	
				j-3	40.9		18.1		0.3235		界面破壊	
k	35°C	-10°C	エポキシ	k-1	64.6	65.2	28.6	28.8	0.3569	0.37	界面破壊	99
				k-2	71.6		31.7		0.4010		界面破壊	
				k-3	59.4		26.3		0.3654		界面破壊	
i	5°C	50°C	エポキシ	i-1	28.9	33.9	12.8	15.0	0.2114	0.21	界面破壊	120
				i-2	35.5		15.7		0.2162		界面破壊	
				i-3	37.3		16.5		0.2053		界面破壊	
h	5°C	-10°C	エポキシ	h-1	54.4	52.2	24.1	23.1	0.3028	0.34	凝集破壊	127
				h-2	48.8		21.6		0.4440		凝集破壊	
				h-3	53.3		23.6		0.2714		凝集破壊	



a) 界面破壊



b) 凝集破壊



c) 混合型破壊

写真-1 引抜き試験後の破壊形態

る凝集破壊，界面破壊と凝集破壊が混合している混合型破壊の3つに分類した。

表-3および写真-1より，破壊形態について考察する。アクリル樹脂試験体は，25℃以上で施工したケースにおいて界面破壊，5℃で施工したケースにおいて凝集破壊，-10℃で施工したケースにおいて界面破壊，凝集破壊，混合型破壊が混在した。これより施工温度が破壊形態に影響を及ぼしている可能性があることがわかったが，要因は特定できていない。また，破壊形態と付着強度，破壊形態と引抜き温度の関連性は確認できなかった。

4. 温度と付着強度の関係

図-3 に引抜き温度と付着強度の関係を示す。図-3 a) は施工温度が低温のケース，図-3 b) は施工温度が高温のケースを示す。施工温度が低温，高温に関わらず，50℃の高温で引抜いたケースより，-10℃の低温で引抜いたケースの方が付着強度は高い傾向であった。また，この傾向はアクリル樹脂，エポキシ樹脂共に見られた。

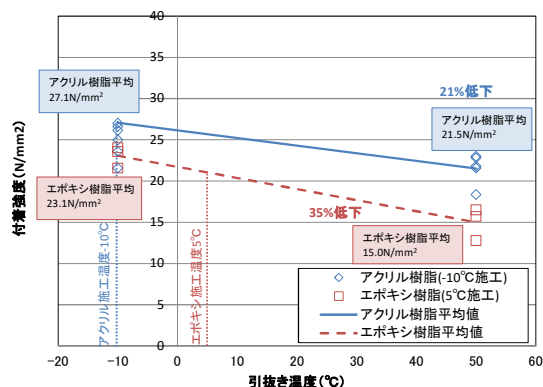
5. まとめ

接着系あと施工アンカーにおいて，施工後の温度変化による付着強度への影響を確認するため，施工温度および引抜き温度をパラメータとしたアンカーの引抜き試験を実施した結果，以下のことが確認できた。

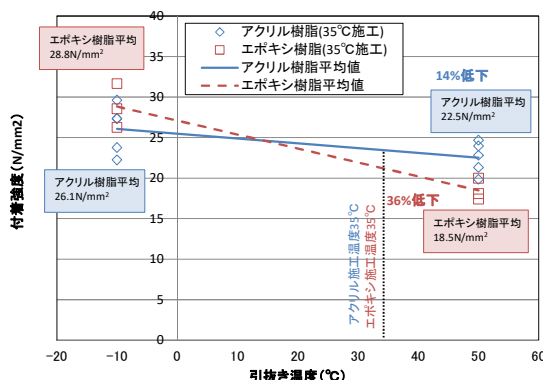
- ・本試験で実施した条件では，全試験体で付着強度が基準値である 10N/mm²以上であることが確認できた。
- ・引抜き温度が付着強度に及ぼす影響について，施工温度（低温：5℃，-10℃，高温：50℃），樹脂の種類（アクリル樹脂，エポキシ樹脂）に関わらず，引抜き温度が 50℃の場合に比べ-10℃の方が付着強度は高くなった。アクリル樹脂のケースで引抜き温度が-10℃と50℃での付着強度の差は，-10℃施工時で21%，35℃施工時で14%であった。
- ・アクリル樹脂のケースは，施工温度が破壊形態に影響を及ぼしている可能性があることがわかったが，試験体数が少ないため，関連性を裏付けるには更なる検討が必要である。

6. おわりに

本研究ではアクリル樹脂を用いた接着系あと施工アンカーの様々な性能確認試験を実施し，製品化され，現場での適用も徐々に増加している。今回の検証のように，今後も継続して最新の知見を収集し，必要に応じた性能確認試験を実施していく。



a) 施工温度をアクリル-10℃，エポキシ5℃の低温とした試験体の比較



b) 施工温度をアクリル，エポキシ共に35℃の高温とした試験体の比較

図-3 引抜き温度が付着強度に及ぼす影響

参考文献

- 1) 岑山友紀，平野穂菜美，三輪浩二，橘肇，中本啓介，藤間誠司：接着系あと施工アンカーに用いるアクリル樹脂系接着剤について，材料，第65巻，第5号，pp.397-402，平成28年5月
- 2) 平野穂菜美，橘肇，三輪浩二，藤間誠司：アクリル樹脂を用いた接着系あと施工アンカーの開発 低温時施工を想定した性能確認試験，第2回北陸橋梁保全会議報文，A-11，平成28年10月
- 3) 日本建築あと施工アンカー技術委員会，あと施工アンカー設計委員会：あと施工アンカー設計指針（案）・同解説，p19，平成17年5月
- 4) 広沢雅也，松崎育弘：あと施工アンカー設計・施工読本—初歩から応用まで—，建築技術，pp.76-79，p225，平成3年12月