

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 —低温時引抜き試験—

DEVELOPMENT OF BONDED ANCHOR WITH ACRYLIC ADHESIVE —PULL OUT TEST AT LOW TEMPERATURE—

平野 穂菜美* 橘 肇* 中本 啓介* 三輪 浩二**
Honami Hirano Hajime Tachibana Keisuke Nakamoto Kouji Miwa

弊社ではエラストマー等の国内トップメーカーであるデンカ（株）との共同開発により、アクリル樹脂系接着剤を用いた新しい接着系あと施工アンカーの開発に取り組んできた。本稿ではアクリル樹脂系接着剤の「低温下でも硬化する」性質に着目し、低温時施工における接着系あと施工アンカーとしての性能確認試験を実施したので、その結果を報告する。

キーワード：接着系あと施工アンカー、アクリル樹脂、低温時施工、引抜き試験

1. まえがき

弊社ではデンカ（株）との共同開発により、アクリル樹脂系接着剤（以下、アクリル樹脂）を用いた新しい接着系あと施工アンカーの開発に取り組み¹⁻³⁾、各種性能確認試験を実施している^{4,5)}。既往の研究より、アクリル樹脂は以下の特長を有していることがわかっている。

- ①低温下（-10℃程度）でも硬化する。
- ②粘度を高く調整しているため、注入時にパイプやシール材の設置が不要で、硬化も早い¹⁾ため工程短縮が図れる。
- ③粘度を高く調整しているため、横向きや上向きでの施工が可能。
- ④穿孔内が湿潤状態であっても、水滴が除去されれば施工が可能¹⁾。
- ⑤2液の混合率に差異が生じても強度低下の危険性が少なく、かつ専用の注入機器（写真-1）の使用による、樹脂の自動攪拌で、攪拌ミスなどの施工不良を防止できる。

従来、接着系あと施工アンカーとして一般的に使用されているエポキシ樹脂は、施工可能とされる環境温度が5℃以上であり、寒冷地等での施工には制限があった。そこでアクリル樹脂の「低温下でも硬化する」性質に着目し、寒冷地での施工可能な温度を確認することを目的とした、低温時施工における接着系あと施工アンカーの性能確認試験を実施したので、その結果を報告する。

2. アクリル樹脂の硬化時間

あと施工アンカーの引抜き試験に先立ち、低温時にお

けるアクリル樹脂本体の硬化特性を、JIS A 6024:2015「建築補修用及び建築補強用エポキシ樹脂」に準拠し、温度上昇法による計測にて確認した。硬化時間は、2液混合開始時から熱電対で材料温度を計測し、最高温度に達した時間とした³⁾。比較対象として、エポキシ樹脂系接着剤（以下、エポキシ樹脂）でも同様に試験を行った。

試験結果を図-1に示す。アクリル樹脂（冬用）は最低-10℃でも約13時間で硬化することが確認できた。エポキシ樹脂は-10℃、0℃、5℃、10℃で計測した結果、-10℃では68時間経過後も硬化しなかった。

3. 低温時引抜き試験

低温下にてアクリル樹脂によるあと施工アンカーの施工および引抜き試験を実施し、樹脂の施工性と接着性能を確認した。試験条件の設定は、接着性能を確認するため、コンクリートと樹脂もしくは樹脂とアンカーボルトの付着切れによる破壊を想定し、アンカーボルトの降伏やコンクリートのコーン破壊が先行しないよう考慮した⁶⁾。

本試験は第三者機関として（一社）日本建設機械施工協会施工技術総合研究所立会いのもと、（株）高速道路総合技術研究所（NEXCO 総研）の恒温室内にて実施した。

3.1 試験ケース

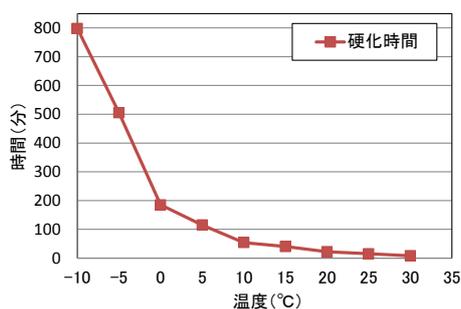
本試験では温度をパラメータとし、条件温度（-10℃～5℃間の5℃刻み）に設定した恒温室内にて、あと施工アンカーの施工、養生、および引抜き試験を実施した。アンカーを固定する樹脂は、アクリル樹脂以外に、比較と

* 橋梁営業本部 橋梁技術研究室

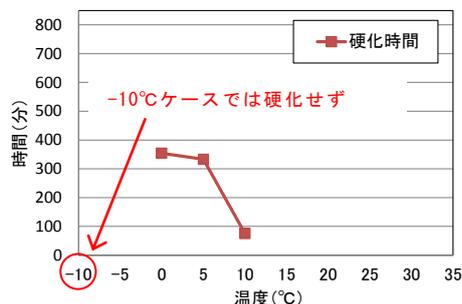
** 工事本部 橋梁工事部 工事2課



写真-1 アクリル樹脂および専用注入機器



a) アクリル樹脂（冬用）



b) エポキシ樹脂

図-1 樹脂の硬化時間

してエポキシ樹脂を使用した。本試験の条件温度における樹脂の硬化時間を表-1に示す。また、各々の樹脂の物性値を表-2に、試験ケースを表-3に示す。

3.2 試験方法

試験体の概要を図-2に示す。引抜き試験の最大荷重が樹脂の物理的性質に依存するよう、高強度のアンカーボルトを用い、埋込長を短く設定した。また支圧板を用いた拘束試験体とした。

φ300mm×200mmのコンクリート試験体の中央に、φ15mm×70mmのアンカーホールを穿孔し、M12×170mmのアンカーボルトを埋込長60mm(5d, d:アンカー径)で施工した(写真-2)。コンクリートの圧縮強度は、材齢28日強度で34.1N/mm²であった。樹脂は写真-1に示す

表-1 樹脂の温度別硬化時間

硬化時間 (時間)	温度(°C)			
	5	0	-5	-10
アクリル樹脂(冬用)	1.9	3.1	8.4	13
エポキシ樹脂	5.6	5.9	-	-

表-2 樹脂の物性値(硬化物)

	圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)	衝撃強度 (kJ/m ²)
アクリル樹脂	132	42.8	69.8	1.2
エポキシ樹脂	109	75.7	118	9.4

表-3 試験ケース

温度(°C)	-10	-5	0	5	-10	-5	0	5
樹脂	アクリル樹脂				エポキシ樹脂			

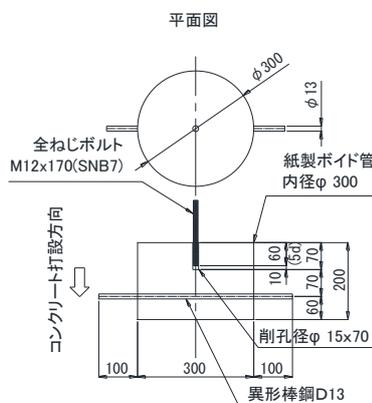


図-2 試験体概要図
断面図



写真-2 試験体（アンカー施工中）

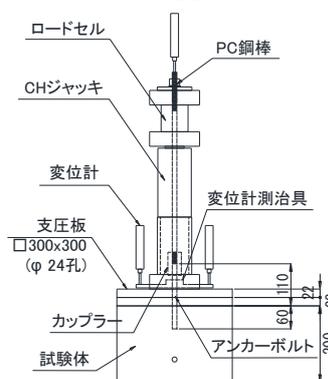


図-3 引抜き試験装置



写真-3 引抜き試験状況

専用の注入ガンを用い、手動にて注入した。養生時間は、アクリル樹脂の硬化時間を考慮し、アンカー施工から24時間後に引抜き試験を実施した。引抜き試験は図-3に示す装置を用い、センターホールジャッキに接続した手動ポンプにて、鉛直上向きに単調荷重した。荷重速度は試験精度確保のため0.1kN/s程度とし、アンカーボルトが抜き取れるまで荷重した。変位はアンカーボルト部で2点、PC鋼棒上部で1点計測した。引抜き試験状況を写真-3に示す。

3.3 試験結果

(1) 樹脂の施工

アクリル樹脂, エポキシ樹脂共に-10℃においても樹脂の凍結は確認されなかった. 両者とも手動の注入ガンにて施工することが可能であった.

(2) アンカーボルト引抜き試験

代表的な試験結果として, 0℃および-10℃での荷重-変位関係を図-4に示す. 変位はアンカーボルト部で計測した2点の平均値を用いている. 設計付着耐力は, コンクリートの平均付着強度と接着面積を乗じた値を用いた⁷⁾. 試験結果の代表値は, 引抜き試験後にコンクリートのひび割れ等がなく, 接着面で破壊したものを選定した.

アクリル樹脂は0℃, -10℃共に, 設計付着耐力(26kN)を大きく上回る強度を有していた. 一方, エポキシ樹脂は, 0℃では設計付着耐力を大きく上回ったものの, -10℃では樹脂が完全に硬化せず, 荷重が増加しないままアンカーボルトが引き抜けた.

引抜き試験後の破壊形態を写真-4に示す. 引抜き試験後のアンカーボルト状況より, 破壊形態はコンクリートと樹脂の界面で付着切れが生じている「界面破壊」, 樹脂とアンカーボルトの界面で付着切れが生じている「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」, 「樹脂の未硬化」の4つに区分した.

全試験体の最大荷重-温度関係および破壊形態を図-5に示す. 温度と破壊形態の関係に着目すると, アクリル樹脂試験体において, 5℃の場合は全て界面破壊となっており, 温度が下がるにつれて混合型破壊, 凝集破壊へと変化した. エポキシ樹脂では, 5℃, 0℃で凝集破壊が見られ, -5℃以下での破壊は樹脂の未硬化によるものであった.

最大荷重に着目すると, アクリル樹脂, エポキシ樹脂共にばらつきが大きい結果となった. 最大荷重のばらつきは, 引抜き試験時に試験体コンクリートがひび割れたことが影響していると考えられる. 引抜き試験後に試験体を切断し, 断面を観察すると, 図-5の○印を付した試験体において, 内部ひび割れが確認された. 試験体切断面の状況を写真-5に示す. ひび割れが大きく, 試験体表面にまで達しているものは, 同条件の試験体の中で最大荷重が小さい傾向であった. これはコンクリート仕上げ面を支圧板側としたことで, コンクリート表面に不陸が生じ, 支圧板全面が均一に密着せず, 付着破壊よりもコンクリート内部の破壊が先行したためと考えられる. また最大荷重が比較的大きい50kN程度でも内部ひび割れが生じているものがあるが, これらの内部ひび割れは表

面まで達する大きなひび割れではないため, 最大荷重の決定要因にはならなかったと考えられる.

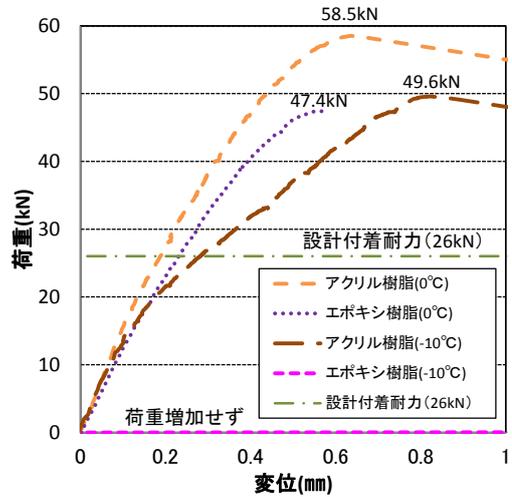


図-4 荷重-変位関係 (0℃, -10℃)

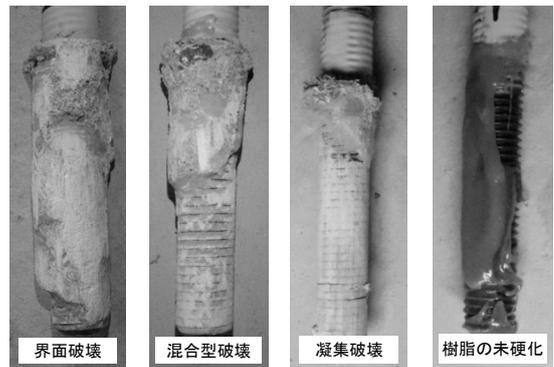


写真-4 破壊形態分類

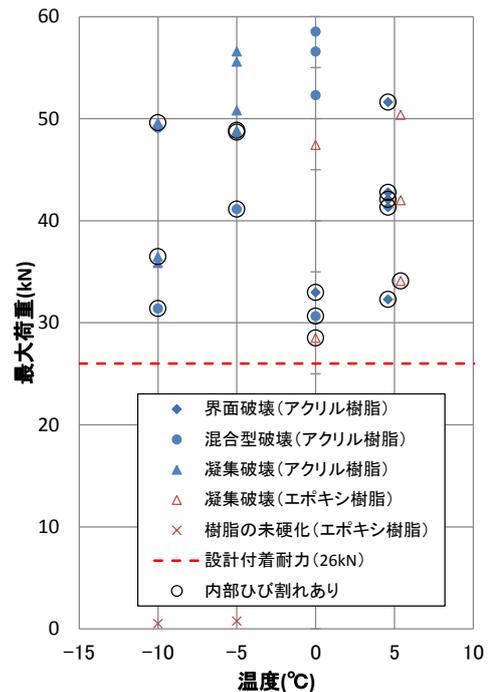


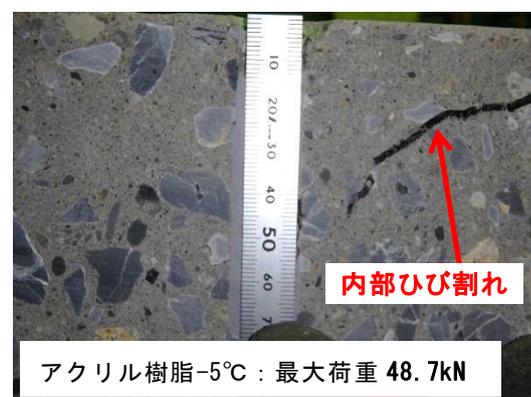
図-5 最大荷重-温度関係および破壊形態



a) 内部ひび割れなし



b) 内部ひび割れあり (最大荷重 30.6kN)



c) 内部ひび割れあり (最大荷重 48.7kN)

写真-5 試験体切断面状況例(引張試験後)

4. まとめ

低温時施工を想定し、 -10°C ～ 5°C に保たれた恒温室内で、あと施工アンカーの施工、養生および引抜き試験を実施し、破壊形態毎に荷重強度を分析した。以下に本試験で得られた結果を示す。

- ・アクリル樹脂は全試験体で設計値(26kN)以上の耐力を有していた。
- ・エポキシ樹脂は -5°C 以下では硬化せず、強度を発現し

なかった。

- ・引抜き試験の最大荷重は、コンクリートが先行破壊したものがあつたため、ばらつきが大きくなったと考えられる。

以上のことから、アクリル樹脂を用いたあと施工アンカーは、 -10°C においても材齢 24 時間以内に樹脂が硬化し、設計値以上の耐力を有しており、低温時施工への適用が可能であることが確認できた。

5. 今後の研究課題と開発

今後は、更なるアクリル樹脂の信頼性追求のため、長期持続荷重試験の実施を予定している。その他に、施工実績に伴う改良も検討中である。また、本技術を補修・保全工事等に有効活用するため、抜取らないアンカー(NR アンカー⁵⁾)の NETIS 登録を申請し、現在審査中である。抜取り可能なアンカー(R アンカー⁵⁾)についても、申請の準備を進めている。

参考文献

- 1) 吉岡夏樹, 三輪浩二, 中本啓介, 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ボルトの性能確認試験, 土木学会第 68 回年次学術講演会, CS3-022, pp.43-44, 平成 25 年 9 月
- 2) 岑山友紀, 三輪浩二, 橘肇, 中本啓介, 藤間誠司: アクリル樹脂系接着剤を用いたあと施工アンカーについて, 第 28 回信頼性シンポジウム講演論文集, pp.59-62, 平成 26 年 12 月
- 3) 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
- 4) 龍和宏, 白井康之, 小川久志, 山野修: 腐食損傷が生じた耐候性鋼橋の緊急補修工事, 橋梁と基礎, 第 50 巻, 第 7 号, pp.11-16, 平成 28 年 7 月
- 5) 三輪浩二, 岑山友紀: アクリル樹脂接着剤を用いたあと施工アンカーの開発—NR アンカー・R アンカー—, 駒井ハルテック技報 Vol.4 2014, 平成 26 年 12 月
- 6) 井口重信, 水野光一朗, 門真太郎: 接着系あと施工アンカーの静的引抜き試験, 土木学会第 69 回年次学術講演会, V-180, pp.359-360, 平成 26 年 9 月
- 7) 株式会社建築技術: あと施工アンカー設計・施工読本—初歩から応用まで—, pp.77-78, 平成 23 年 1 月