

低温環境下での樹脂系ひび割れ注入材の 施工性に関する基礎的検討

(国研)土木研究所 寒地土木研究所 耐寒材料チーム ○小中 隆範
内藤 勲
三原 慎弘

積雪寒冷地の補修工事では、エポキシ樹脂系ひび割れ注入材の最低使用温度である5℃以下でも施工が実施されており、注入材の流動性低下からひび割れに十分に充填されないことから、低温用の注入材が使用されているが、これらの施工性や充填性等は明確になっていない。本報告では、低温用の注入材の低温環境下での性状等を把握するため、ひび割れを模擬した供試体を用いた注入充填性試験による基礎的な検討を行った。

キーワード：樹脂系注入材、低温環境、ひび割れ修復工法、充填性

1. はじめに

近年、建設から50年以上経過したコンクリート構造物が増加して老朽化が進んでいることから、延命化のための補修工事も盛んに実施されている。補修対策の一つであるひび割れ修復工法では、エポキシ樹脂系ひび割れ注入材が古くから用いられており、注入材がひび割れ内部に十分に充填されることが前提となる¹⁾。しかし、積雪寒冷地の補修工事では、エポキシ樹脂系ひび割れ注入材の最低使用温度である5℃以下でも施工が実施されていることがあり、注入材の粘度が増大することによる流動性の低下により、コンクリート内部のひび割れや空隙等に浸透・充填できずに不具合が生じている²⁾。このような背景から、本研究では、低温環境下におけるひび割れ補修工事の品質向上を目的として、低温施工時の適用事例が増えている超低粘度形のエポキシ樹脂系ひび割れ注入材、および温度による硬化前の性状変化が少ないビニルエステル樹脂系ひび割れ注入材の0℃以下での注入性や充填性等を把握するため、ひび割れを模擬した供試体（以下、ひび割れ供試体）を用いた注入試験による基礎的な検討を行った。

2. 実験概要

実験に使用したひび割れ注入材（以下、補修材）の主な諸元を表-1に示す。補修材には、一般的な低粘度形よりも粘度が低い超低粘度形¹⁾と呼ばれる流動性が非常に良く、微細な空隙にも充填可能な3種類と、ビニルエステル樹脂系では中粘度形に位置づけられる1種類を使用

表-1 使用した補修材の主な諸元

補修材の種類		粘度 (mPa·s)	可使用時間 (min)
A	エポキシ樹脂系	270(5℃) 110(20℃)	40±10 (20℃)
B		150~550 (20℃)	40(10℃) 14(20℃)
C	ビニルエステル樹脂系	270(5℃)	31(5℃)
D		340(5℃)	45(5℃)

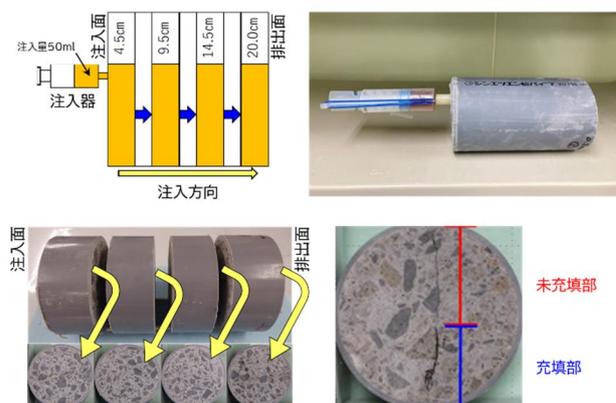


図-1 注入充填性試験概要図

した。各補修材はすべて2液反応タイプである。

実験は、ひび割れ供試体の作製後、図-1に示すような注入充填性試験を行った。注入充填性試験は、ひび割れ供試体の片面（注入面）から補修材を注入して反対側の面（背面）から排出するまでの時間を計測し、さらに、注入硬化後にひび割れ供試体を約5cm毎に4分割して、各断面のひび割れに注入された補修材の充填状態を拡大鏡による目視計測で確認した。

(1) ひび割れ供試体の作製

ひび割れ供試体は、山本らの研究³⁾を参考に、内径108mm×長さ200mmの塩化ビニル管を型枠として表-2に示す配合のコンクリートを打設し、脱型せずに28日間水中養生した後、割裂引張試験によって0.2mm幅のひび割れを導入して作製した(図-2)。なお、導入したひび割れ幅0.2mmは、載荷重の減力後に塩化ビニル管の復元力でひび割れ幅が閉口しないように0.2mm厚のアルミ箔をひび割れの両端に挟むことでひび割れ幅を確保した。

表-2 コンクリートの配合

セメントの種類	Gmax (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単位置量(kg/m ³)				Slump (cm)	Air (%)
				W	C	S	G		
普通ポルトランド	20	55.0	45.0	155	282	845	1,040	14.0	5.0

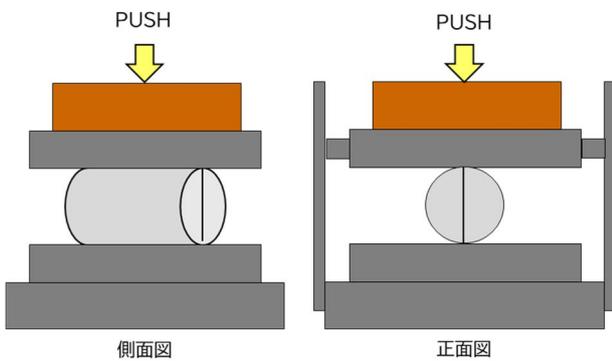


図-2 割裂引張試験の概要図

(2) 注入充填性試験

注入充填性試験は、作製したひび割れ供試体に表-1で示した4種類の補修材で実施した。表-3に試験ケースを示す。補修材A、B、Cは、補修材温度が-5℃、0℃、5℃の3水準、環境温度(室温)と供試体温度が-5℃と0℃の2水準とした。補修材Dは、補修材温度が0℃と5℃の2水準、環境温度(室温)と供試体温度は0℃の1水準とした。各補修材は2液混合前から各水準の温度に設定して混合し、各試験ケース1供試体で注入試験を実施した。注入方法はひび割れ供試体のひび割れを縦にした状態で側面上方から注入する方法とし、貫通ひび割れを想定して背面は開放した状態で実施した。注入器はゴムの伸縮により自動低圧注入するシリンダー型を使用し、注入器に入れる注入前の補修材の注入量は50mLとした。なお、注入充填性試験は0℃以下の室温で実施するため、注入器の座金やシール材を接着する準備作業は、低温作業では接着力の低下が予想されることから、本試験時の剥が

れ防止のために予め20℃の環境で行った。

各補修材の流動性を評価するため、注入開始から補修材が背面に排出するまでの時間(以下、注入時間)と注入量を測定した。次に、注入した補修材がひび割れ内部に充填された割合(以下、注入充填率)を測定するため、注入終了後の供試体を補修材の硬化が安定する1週間静置・養生し、注入面から5cm毎に輪切りに3箇所切断した。各切断面と背面の計4断面におけるひび割れに充填されている補修材を1mm単位で計測して断面毎の注入充填率を求めた。これらの結果から各試験ケースにおける注入充填分布を作成し、注入時間の結果と合わせて各補修材の注入充填性について評価した。

表-3 注入充填性試験の試験ケース

試験ケース				試験条件			ひび割れ幅(mm)
A	B	C	D	実験開始時の温度(℃)			
				補修材温度	環境温度(室温)	供試体温度	
A-5-5	B-5-5	C-5-5	-	-5℃	-5℃	-5℃	0.2
A+5-5	B+5-5	C+5-5	-	5℃	5℃	5℃	0.2
A0.0	B0.0	C0.0	D0.0	0℃	0℃	0℃	0.2
A+5.0	B+5.0	C+5.0	D+5.0	5℃	5℃	5℃	0.2

3. 実験結果・考察

表-4に注入充填性試験における各試験ケースでの注入時間と注入量を示す。注入時間の記載がない試験ケースは、注入開始から2日以上経過しても排出されずに注入が停止したと判断した。注入量は注入前(50mL)から、注入後(背面排出時もしくは注入停止後)の注入器内の残量を差し引いた量を示している。

表-4 注入時間と注入量

補修材の種類	補修材温度	-5℃	5℃	0℃	5℃
	環境温度(室温)	-5℃	-5℃	0℃	0℃
	供試体温度	-5℃	-5℃	0℃	0℃
A	注入時間(t)	0:45	0:28	0:13	0:33
	注入前(mL)	50	50	50	50
	注入後(mL)	38	36	37	40
	注入量(mL)	12	14	13	10
B	注入時間(t)	-	-	-	2:10
	注入前(mL)	50	50	50	50
	注入後(mL)	47	41	40	38
	注入量(mL)	3	9	10	12
C	注入時間(t)	0:03	0:02	0:01	0:01
	注入前(mL)	50	50	50	50
	注入後(mL)	36	34	33	35
	注入量(mL)	14	16	17	15
D	注入時間(t)	-	-	0:01	0:03
	注入前(mL)	-	-	50	50
	注入後(mL)	-	-	30	34
	注入量(mL)	-	-	20	16

排出された各試験ケースの注入量は10~20mLであったことから、ひび割れ内部を流動した補修材は14mL程度であったと推測する。

(1) 注入硬化後の充填状況

図-3は、注入充填性試験の各試験ケースにおいて、注入面から深さ4.5cm、9.5cm、14.5cm、20.0cmの測定4断面における補修材の注入充填率を示す。また、図-4は、各試験ケースの注入充填率の結果から求めた充填分布（充填・未充填）を示す。燈色着色部は補修材が充填されている範囲、それ以外は未充填範囲である。

エポキシ樹脂系の補修材Aは、全試験ケースで背面から排出しており、各断面の注入充填率は高く、注入量の差も少ない。注入充填分布からもほぼ均一に充填されていることが確認できる。これは低温環境で粘度が増加して流動性は低下したが、長い可使用時間で硬化による停滞がなくゆっくりと拡散して確実に充填されたと判断できる。ただし、充填までに非常に時間がかかる。

同じくエポキシ樹脂系の補修材Bは、補修材温度が5°CのB+5_0では排出があり、注入充填分布でもほぼ均一に充填されている。しかし、他の3ケースでは途中で硬化して排出しなかった。0°CのB0_0では、背面まで一部到達しているが、深さ14.5cm辺りで硬化が進み停止したと思われる。供試体温度が-5°CのB-5_-5とB+5_-5の2ケースでは、粘度の増大が影響して早々に停滞し、その後硬化したと推測する。補修材Bは可使用時間が短い速硬型の補修材であるため、補修材Aとは異なり、硬化の速さが影響して充填不良が生じてしまったと考えられる。

一方、ビニルエステル樹脂系の補修材Cは、全試験ケースが短い時間で排出しているが、注入充填率は高くなく、注入充填分布をみると補修材温度が5°CのC+5_0を除いて、縦ひび割れの上部和下部に補修材が充填されていない状態であった。特に、深さ方向に行くにしたがって下部方向に補修材が流下している傾向がみられる。これは、割裂載荷で導入した縦ひび割れは中間部よりも上部と下部のほうがひび割れ幅は若干狭くなっているため、粘度の増大に伴って上下部の狭いひび割れには補修材が拡散されず、ひび割れ幅の広い箇所には流下しながら進んだためと推察する。

同じく中粘度形のビニルエステル樹脂系の補修材Dは、環境温度0°Cの試験ケースだけであるが、全て短い時間で排出しており、注入充填率は比較的高くなっていることから低温注入に有効であると言える。しかし、ここでも注入充填分布では、縦ひび割れの上下部に多少の未充填が見られることから、高い流動性がひび割れ内部の補修材の拡散に影響が生じていると推察できる。また、一般に樹脂系の接着剤は粘度が低いと粘着性も低いため、低温でも流動性が非常に良い補修材CとDは粘着が弱い可能性もあり、それが拡散に影響した可能性もある。

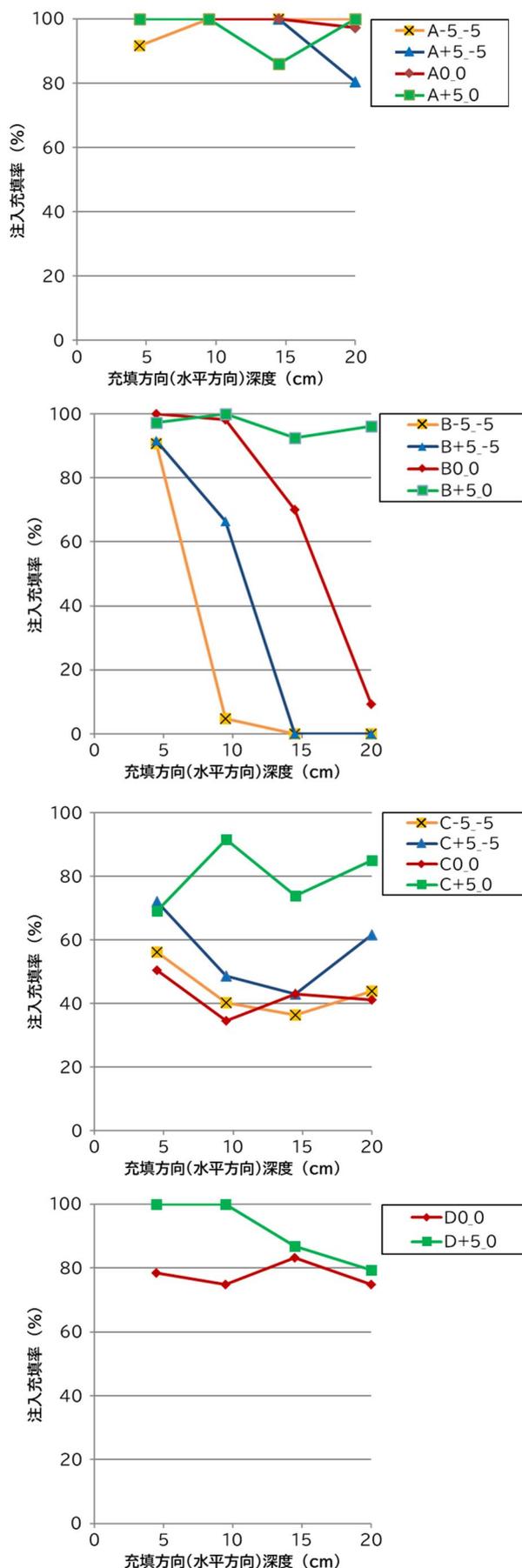
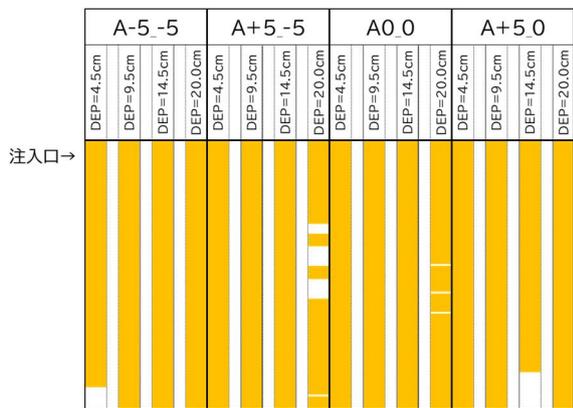
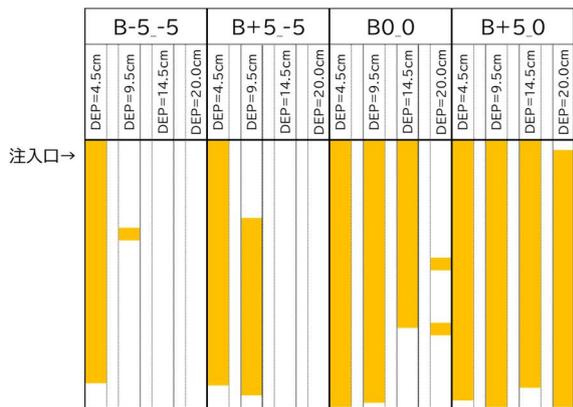


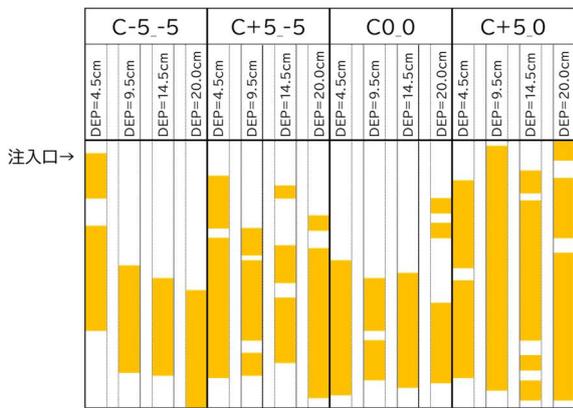
図-3 各試験ケースの補修材の注入充填率



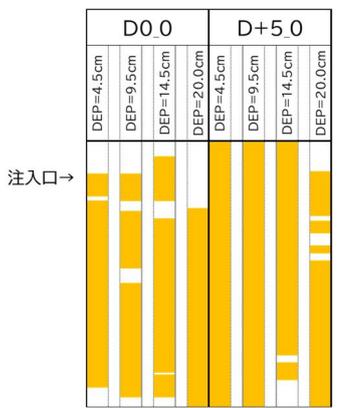
注入方向→ ※橙色着色部:補修材の充填分布



注入方向→ ※橙色着色部:補修材の充填分布



注入方向→ ※橙色着色部:補修材の充填分布



注入方向→ ※橙色着色部:補修材の充填分布

図-4 各試験ケースの補修材の注入充填分布

4. まとめ

本研究では、超低粘度形のエポキシ樹脂系およびビニルエステル樹脂系のひび割れ注入材における0°C以下の注入性や充填性等を把握するため、ひび割れ供試体を用いた注入充填性試験による基礎的な検討を行った。

以下に本研究で得られた知見を記す。

- 1) エポキシ樹脂系の補修材Aは、低温によって粘度は低下するが硬化も遅くなるため、0°C以下でも途中で停滞せずにゆっくりと確実に充填された。低温注入に有効だが充填完了までに非常に時間がかかる。
- 2) エポキシ樹脂系の補修材Bは、低温による粘度の増大と可使時間が速い影響で停滞・硬化し、充填不良が生じた。
- 3) ビニルエステル樹脂系の補修材Cは、低温でも非常に流動性が良いため、少ない時間で充填するが、ひび割れ内部で拡散せずに流下しながら進んだことで縦ひび割れの上下部に未充填が生じた。
- 4) 中粘度形のビニルエステル樹脂系の補修材Dは、環境温度0°Cでは少ない時間で充填して注入充填率も高いことから、環境温度0°Cでの低温注入に有効であった。

今回、低温でも硬化前の性状変化が少ない補修材Cの環境温度-5°Cの注入充填率は想定より低かったが、環境温度0°Cでは補修材CとDの注入充填率は高い結果となった。本試験ケースにおける、補修材CとDの2液混合割合は環境温度5°Cの標準割合であるが、ビニルエステル樹脂系注入材の粘度と可使時間は硬化剤の添加量で決まり、混合割合を変えても硬化不良にならない。そのため、粘度と可使時間を調整することで施工品質が向上する可能性があり、0°Cもしくは-5°Cに適合するように硬化剤の添加量を変えることで注入充填率の向上が期待できることが示唆された。今後、これらを検討していく予定である。

参考文献

- 1) 国立研究開発法人土木研究所：コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル 2022 年版, IVひび割れ修復工法編, 土木研究所資料, 第 4433 号, 2022. 12
- 2) 内藤勲, 島多昭典, 三原慎弘：施工時の低温環境がひび割れ注入工法の注入充填性に及ぼす影響, コンクリート構造物の補修, 補強アップグレード論文報告集, 第 14 巻, pp. 303-308, 2014.
- 3) 山本昌宏, 谷村成, 藤井隆史, 安藤尚, 綾野克紀：微細なひび割れを持つコンクリート試験体の作製方法とそれを用いたひび割れ補修材の性能確認試験方法に関する研究, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, 第 12 巻, pp. 467-472, 2012. 11