ひび割れ修復工の低温施工技術に関する研究

研究予算：運営費交付金
研究期間：令 4～令 6
担当チーム：耐寒材料チーム
研究担当者：三原慎弘、内藤勲、
小中隆範

【要旨】
積雪寒冷地のコンクリート構造物のひび割れ補修工事では、一般的な施工最低温度の 5℃以下での低温施工となるケースにおける材料の選定方法や施工技術は確立されておらず、不具合の発生事例がみられる。このため、温施工に適したひび割れ修復材の使用方法や新たなひび割れ修復材の適用性を含めた 5℃以下（-5℃程度まで）の低温における材料選定基準、施工管理技術等の確立が必要とされている。本研究では、低温環境下におけるひび割れ修復工事の品質向上を目的として、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を用いた注入試験による基礎的な検討を行った。
その結果、-5℃での施工でも、補修材温度を高くすることで流動性の低下を抑制することは可能であるが、樹脂系ひび割れ注入材の種類と施工時の温度条件によって注入材の粘度変化や可使時間の変化はそれぞれ異なり、注入充填率の増減はこれらの変化の組み合わせに左右されることを確認した。
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、施工性

1. はじめに

近年、老朽化したコンクリート構造物の延命化のための補修工事が盛んに実施されている。エポキシ樹脂系ひび割れ注入材を用いたひび割れ修復工法では、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、注入材の粘度が高くな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、超低粘度形のエポキシ樹脂系ひび割れ注入材、およびビニルエステル樹脂系ひび割れ注入材、低粘度形のアクリ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。補修材は、一般的な低粘度形よりも粘度が低く流動性が非常に良い、超低粘度形と呼ばれる微細な空隙にも充填可能な 3 種類と、アクリル樹脂系では低粘度形に位置づけられる 1 種類を使用した。各補修材はすべて 2 液反応タイプである。

表-1　使用した補修材の主な諸元

記号	補修材の種類		粘度 (mPa･s)	可使時間 (min)
A	エポキシ樹脂系	超低粘度形	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	アクリル樹脂系	低粘度形	300(5℃)	35(5℃)

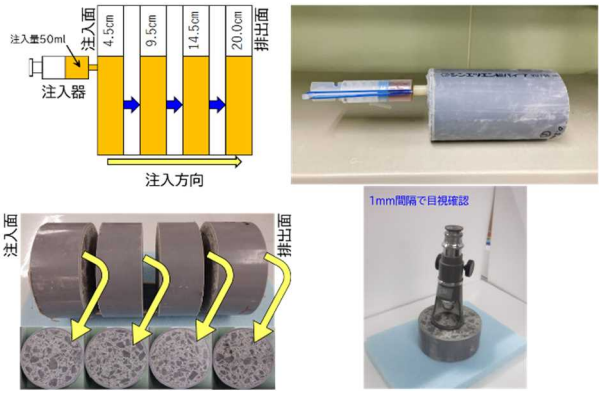

図-1　注入充填性試験概要図

実験は、ひび割れ供試体を作製し、図-1 に示すような注入充填性試験を行った。注入充填性試験では、補修材の注入時間と注入充填分布により注入充填性について評価した。

2.1　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

表-2　コンクリートの配合

セメントの種類	Gmax	W/C	s/a	単位量(kg/m3)				Slump	Air
	(mm)	(%)	(%)	W	C	S	G	(cm)	(%)
普通ポルトランド	20	55.0	45.0	155	282	845	1,040	14.0	5.0

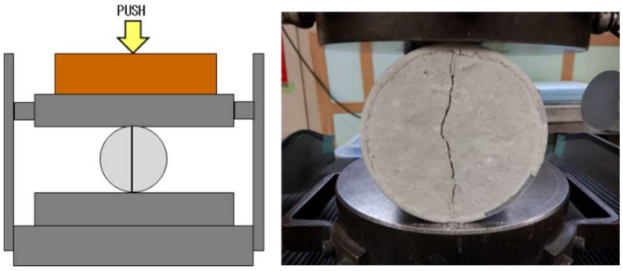

図-2　割裂引張試験の概要図

108mm×長さ 200mm の塩化ビニル管を円柱型枠として表-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、載荷重の減力後に塩化ビニル管の復元力で導入したひび割れ幅 0.2mm 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。

2.2　注入充填性試験

注入充填性試験は、表-1 で示した 4 種類の補修材をひび割れ供試体に注入して実施した。表-3 に試験ケースを示す。試験を実施する環境温度（室温）と供試体温度は-5℃と 0℃の 2 水準、補修材の温度は、-5℃、0℃、5℃、20℃の 4 水準とした。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た。各ケース 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が、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低下が予想されるため、本試験時の剥がれ防止のために予め 20℃の環境で行った。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、注入された補修材がひび割れ内部に充填している割合（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まで 1 週間静置・養生し、注入面から約 5cm 毎に輪切りに 3 箇所

表-3　注入充填性試験の試験ケース

試験条件				補修材の種類			
実験開始時の温度(℃)			ひび割れ幅(mm)	A	B	C	D
環境温度(室　温)	供試体温　度	補修材温　度					
-5℃		-5℃	0.2	A-5.-5	B-5.-5	C-5.-5	D-5.-5
		5℃	0.2	A-5.5	B-5.5	C-5.5	D-5.5
		20℃	0.2	A-5.20	B-5.20	C-5.20	D-5.20
0℃		0℃	0.2	A0.0	B0.0	C0.0	D0.0
		5℃	0.2	A0.5	B0.5	C0.5	D0.5
		20℃	0.2	A0.20	B0.20	C0.20	D0.20

表-4　注入時間と注入量

補修材の種類	環境温度(室温)	-5℃			0℃		
	供試体温度						
	補修材温度	-5℃	5℃	20℃	0℃	5℃	20℃
A	注入時間(t)	0:30	0:28	0:02	0:13	0:33	0:04
	注入前(mL)	50	50	50	50	50	50
	注入後(mL)	39	36	34	37	40	36
	注入量(mL)	11	14	16	13	10	14
B	注入時間(t)	—	—	0:56	0:02	2:10	0:17
	注入前(mL)	50	50	50	50	50	50
	注入後(mL)	37	41	32	28	38	37
	注入量(mL)	13	9	18	22	12	13
C	注入時間(t)	0:03	0:03	0:01	0:01	0:01	0:02
	注入前(mL)	50	50	50	50	50	50
	注入後(mL)	34	36	32	33	35	37
	注入量(mL)	16	14	18	17	15	13
D	注入時間(t)	0:26	—	0:02	0:01	0:01	0:03
	注入前(mL)	50	50	50	50	50	50
	注入後(mL)	38	44	35	34	32	36
	注入量(mL)	12	6	15	16	18	14

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、拡大鏡による目視計測により 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。

3. 実験結果・考察

表-4 に注入充填性試験における各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。排出したケースの注入量は 10～22mL であることから、ひび割れ内部を流動した補修材は 15mL 程度であったと推測する。

3.1　注入硬化後の充填状況

図-3 は、注入充填性試験の各ケースにおいて、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、各ケースの注入充填率の結果から求めた充填分布（充填・非充填）を示す。燈色着色部は補修材が充填されている箇所、それ以外は非充填箇所である。

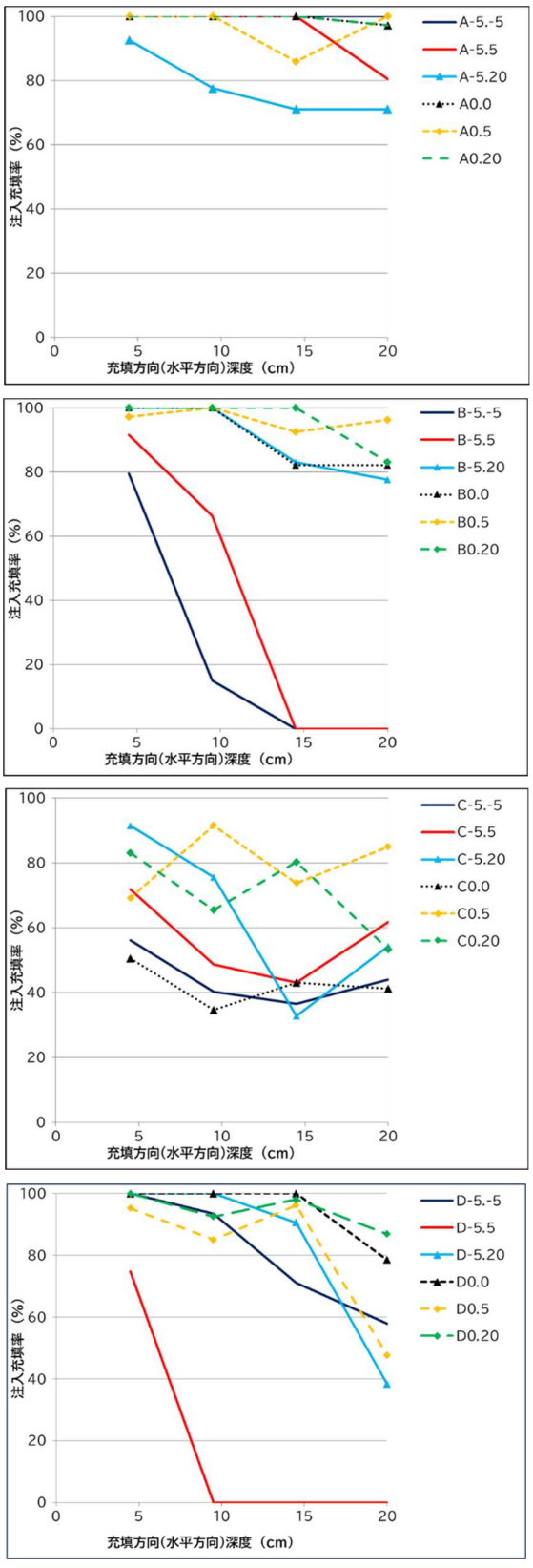

図-3　各試験ケースの補修材の注入充填率

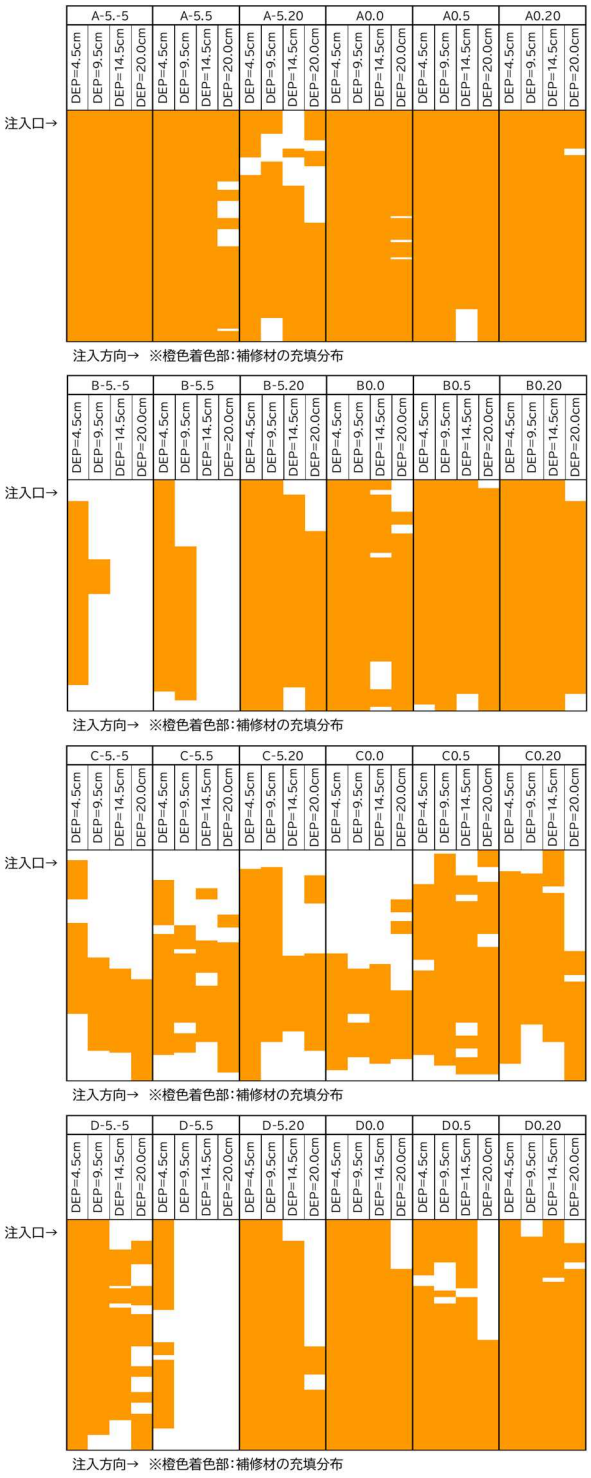

図-4　各試験ケースの補修材の注入充填分布

エポキシ樹脂系の補修材Aは、全ケースで背面から排出しており、注入量の差も少ない。A-5.20 では補修材温度と環境温度の差が大きく、他のケースに比べ粘度が増加し流動性は低下したと考えられるが注入充填率は高い。その他のケースも低温によって流動性は低下したが、可使時間の増加によって停滞せずにゆっくりと拡散して確実に充填されたと考えられる。

同じくエポキシ樹脂系の補修材Bは、環境温度が-5℃の B-5.-5、B-5.5 では排出がなく、粘度の増加が影響して停滞し、硬化したと考えられる。しかし補修材

温度が 20℃の B-5.20 では、補修材温度が高いことにより粘度の増加と流動性の低下が抑制され、可使時間が増加したことで停滞せずに充填されて注入充填率が高くなったと考えられる。環境温度が 0℃では全てのケースで排出しており、注入充填率も高い。これは粘度変化が少なく流動性が低下しなかったためと考えられる。

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℃の C0.5、20℃の C0.20 を除いて、縦ひび割れの上部と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のひび割れ幅は中間部よりも上部と下部のほうが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流下しながら進んだためと推察する。深さ 14.5cm 付近で硬化による粘度増加で充填率が上昇する傾向が見られたが、流動性が良いためにひび割れ内部を流下したと思われる。なお、C0.20 は粘度の増加なく排出して注入充填率が徐々に低下する傾向であった。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 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。

アクリル樹脂系の補修材 D は、D-5.5 以外のケースは背面から排出した。補修材 D は低温でも硬化が速いことから、D0.5、D-5.20、D-5.-5 では、深さ 14.5cm 以降に硬化が進んで停滞したため注入充填率が低くなっている。一方、環境温度が 0℃の D0.0、D0.20 では、硬化による停滞がなかったために比較的高い注入充填率となった。環境温度が 0℃から-5℃に下がるだけで注入充填率が大きく低下することを確認できた。

4. まとめ

本研究では、超低粘度形のエポキシ樹脂系ひび割れ注入材、ビニルエステル樹脂系ひび割れ注入材および低粘度形のアクリル樹脂系ひび割れ注入材の 5℃以下での注入性や充填性等を把握するための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）エポキシ樹脂系注入材は、低温によって粘度は増加するが硬化も遅くなるため、流動性が大きく低下して充填不良が生じる可能性が高い。しかし、0℃以下でも途中で停滞せずにゆっくりと確実に充填される種類もあった。ただし、充填完了までに非常に時間がかかることから、ひび割れの範囲が大きい場合には未充填になる可能性がある。

2）ビニルエステル樹脂系注入材は、低温でも非常に流動性が良いため、短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。粘度変化があると充填が拡散して注入充填率が増加する場合があるが、補修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る。

3）アクリル樹脂系注入材は、低温でも流動性が良く、短い時間で充填するが、補修材温度が高い場合に可使時間が長くなることで硬化が遅くなり、流下する傾向があった。

今回の実験結果において、0℃以下での施工では、補修材の粘性と可使時間の関係性が注入性と充填性に大きく影響し、超低粘度形でも低温だと粘度が非常に大きくなって未充填が生じる可能性があること、および、流動性が良い超低粘度形でも補修材の拡散が進まずに未充填が生じる可能性があることを確認した。

また、-5℃での施工でも、補修材温度を高くすることで流動性の低下を抑制することは可能であるが、樹脂系注入材の種類や施工時の温度条件によって、注入材の粘度変化や可使時間の変化はそれぞれ異なり、注入充填率の増減はこれらの組み合わせに左右されることを確認した。

今後は広いひび割れ幅（1.0mm 以下）において、低温環境下での補修材の注入性と充填性に関する検討を継続する予定である。

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塡性に及ぼす影響、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、2014.10
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

RESEARCH ON LOW-TEMPERATURE CONSTRUCTION TECHNIQUES FOR CRACK REPAIR

Research Period: FY2022-2024
Research Team: Materials Research Team, Cold-Region Maintenance Engineering Research Group
Author: MIHARA Norihiro
NAITOH Isao
KONAKA Takanori

Abstract: On a crack repair work in the snowy and cold regions, there are no established methods to select proper materials or construction techniques at the low-temperature such as 5°C or below, the lowest work temperature. Against the background, it is necessary to establish the methods for using crack repair materials suitable for low-temperature work, the material selection standards and construction management techniques for low temperatures such as 5°C or below (to approx. -5°C) including and the applicability of new crack repair materials. In this study, basic considerations were conducted by injection tests using test pieces simulating cracks to find the injectability and filling properties of resin-based crack injection materials at 0°C or below to aim to improve the quality of crack repair work in low-temperature environments.

As a result, it was confirmed that even in work at -5°C, it is possible to prevent a decrease in fluidity by increasing the material temperature, but the injection filling rate varies dependently on the combination of the changes in viscosity and usable time of the injection material which differ in the type of resin-based crack injection material and the temperature conditions during work.

Keywords: Resin-based injection material, Low temperature environment, Crack repair method, Filling property, Workability.