

論文 寒冷地環境におけるセメント系ひび割れ注入材の強度特性

藤本 拓也^{*1}・大沼 博志^{*2}・黒島 美男^{*3}

要旨：本研究は，コンクリート構造物に発生したひび割れの補修に用いられるセメント系注入材の強度特性に関するものであり，とくにこれまで研究がほとんど行われていない寒冷地の低温環境が注入材の接着強度に及ぼす影響を検討したものである。その結果，寒冷地の低温環境に曝された注入材の接着強度は，室温環境下よりも強度の発現が小さくなるものの，材齢 7 日以降においてはセメント系被覆材の付着性の評価基準(案)に規定された値を満足することが明らかにされた。

キーワード：セメント系注入材，流動性，圧縮強度，接着強度，寒冷地環境

1. はじめに

近年，供用期間が長期化したコンクリート構造物が増加していることや構造物の置かれる環境が厳しくなっていることから，維持管理を考えた場合，コンクリート構造物に発生したひび割れの補修はこれまで以上に重要な課題となっている。

ひび割れの補修工法は，表面被覆工法，注入工法，断面修復工法の 3 つに大別される。ひび割れ調査の結果に基づき，ひび割れの原因，進行の程度などを十分に検討し，補修の目的に最も適した補修工法が選定される¹⁾。本研究では，注入工法を対象とした。注入工法に用いられる注入材には，有機系注入材と無機系（セメント系）注入材の 2 種類があり，接着強度に優れ，微細なひび割れにも容易に注入ができるなどの理由から，従来から有機系注入材が多く使用されてきた。しかしながら，環境問題やコストダウンの観点から，現在より安価で施工も容易なセメント系注入材の使用が増加している。

有機系注入材に比べてセメント系注入材は施工や研究実績が少なく，とくに積雪寒冷地のような低温環境下における材料特性（接着性能・強度・耐久性等）に関しては，未だに十分に明

らかにされているとは言えない。本研究は，このような現状を踏まえて，とくに寒冷地の低温環境が市販の 2 種類のセメント系注入材の接着強度に及ぼす影響について検討を行ったものである。また，基本的な材料特性として注入材の流動性および圧縮強度についても記述した。

2. 実験の概要

2.1 実験に用いた材料

(1) 既設コンクリート

接着強度試験に用いた既設コンクリートは，ポリマーセメント注入材用とセメントペースト注入材用で多少異なっており，それぞれのコンクリートの配合を表 - 1 に示す。

ポリマーセメント注入材用の既設コンクリートは，スランプが 8cm，粗骨材の最大寸法が 20 mm，空気量が 4.5%であり，材齢 28 日の圧縮強度および引張強度がそれぞれ 39N/mm² および 2.9N/mm²であった。

また，セメントペースト注入材用の既設コンクリートは，スランプが 8cm，粗骨材の最大寸法が 25mm，空気量が 4.5%であり，材齢 28 日における圧縮強度および接着強度がそれぞれ 33N/mm² および 2.5N/mm²であった。なお，混和

*1 北海道大学 大学院工学研究科 北方圏環境政策工学専攻 (正会員)

*2 北海道大学 大学院工学研究科教授 北方圏環境政策工学専攻 工博 (正会員)

*3 ㈱砂子組 建設課

剤とともに AE 減水剤を使用した。

表 - 1 既設コンクリートの配合
(ポリマーセメント注入材用)

W/C [%]	s/a [%]	単位量[kg/m ³]				
		W	C	S	G	混和剤
51.0	43.8	150	295	828	1052	2.95

(セメントペースト注入材用)

W/C [%]	s/a [%]	単位量[kg/m ³]				
		W	C	S	G	混和剤
49.5	38.6	150	304	705	1145	1.24

(2) 使用注入材の成分

本研究で使用した注入材は、超微粒子セメントからなる粉体と SBR 系ラテックスからなる混和液を混ぜ合わせて使用するポリマーセメント注入材、および超微粒子セメントからなる粉体に水を混ぜ合わせて使用するセメントペースト注入材の 2 種類であり、双方とも市販されているものである。ポリマーセメント注入材の混和液および粉体の成分を表 - 2 に、セメントペースト注入材の成分を表 - 3 に示す。

表 - 2 ポリマーセメント注入材の成分
(混和液)

スチレン・ブタジエン共重合体
その他 (界面活性剤, 水等)

(粉体)

SiO ₂	29.0%
Al ₂ O ₃	13.2%
Fe ₂ O ₃	1.2%
CaO	49.2%
MgO	5.6%
SO ₃	1.2%
Ig.loss	0.3%

表 - 3 セメントペースト注入材の成分

SiO ₂	25~30%
Al ₂ O ₃	10.4~11.5%
Fe ₂ O ₃	1.6~1.8%
CaO	45.8~48.8%
MgO	3.6~4.0%
Na ₂ O	1.4~1.6%
K ₂ O	0.2~0.4%

2.2 注入材の流動性 (フロー) 試験方法

(1) 試験目的

注入材の基本特性の一つである流動性は、流下時間によって表され、ひび割れへの追従性を把握する際の指標となるものである。しかしながら、市販の注入材の流動性に関しては、ほとんどのものが攪拌直後および 60 分後の流下時間しか明記されておらず、その間の流下時間の変化については不明な場合が多い。そのため、本試験は、注入材の流下時間が攪拌後の経過時間に及ぼす影響を把握することを目的とした。

(2) 注入材の配合

2 種類の注入材を、それぞれ以下の配合で使用した。ポリマーセメント注入材は粉体と混和液を重量比 1.0 : 0.6 で混ぜ合わせて使用した。これは、製造元が規定した通常の配合である。

セメントペースト注入材は水セメント比 (W/C) を 70% とした。セメントペースト注入材の場合、水セメント比は自由に設定できるが、本試験では注入を行う際のひび割れ追従性と強度を考慮し、70% とした。

(3) 試験条件

試験目的を踏まえた上で、ポリマーセメント注入材、セメントペースト注入材ともに、以下のような試験条件を考慮した。

- ・測定時間 : 0 分, 10 分後, 20 分後, 30 分後, 40 分後, 50 分後, 60 分後
- ・測定時の環境温度 : 室温 (20℃)
- ・測定回数 : 6 回

(4) 試験方法

試験には JA 漏斗を使用した。ポリマーセメント注入材は粉体と混和液を、セメントペースト注入材は粉体と水をそれぞれ所定の配合で混ぜ合わせ 2 分間攪拌する。その後、台で垂直に支持させておいた JA 漏斗に一度水を通し、漏斗の下方を指で押さえてから注入材を漏斗の上面まで注ぐ。上面を平らにならしてから指を離し注入材を流出させ、流出管からの流れが切れるまでの流下時間をストップウォッチで計測する。試験後、漏斗に残った注入材の質量を電子秤で計測する。この作業を 10 分おきに 60 分後まで繰り返し行った。なお、本試験では各測定時間の直前に 20 秒間の再攪拌を行った。また、6 回の試験の平均値をそれぞれの注入材の流下時間とした。

2.3 注入材の圧縮強度試験

(1) 試験目的

低温環境下における注入材の圧縮強度の試験結果はほとんど無い。また、市販されている注入材の多くは、圧縮強度として、標準養生、材齢 28 日の値しか明記しておらず、それまでの圧縮強度の経時変化は示されていない。そこで本試験では、注入材の基本特性として、低温環境および注入材の材齢が圧縮強度に及ぼす影響を把握することを目的とした。

(2) 注入材の配合

実験に用いた注入材の配合は、ポリマーセメント注入材は粉体と混和液を重量比 1.0 : 0.6 とし、セメントペースト注入材は W/C=70%として使用した。

(3) 試験条件

ポリマーセメント注入材およびセメントペースト注入材の圧縮強度試験は、以下の試験条件を考慮した。

- ・ 注入材の材齢：3 日，7 日，28 日
- ・ 養生温度：室温（20℃），外気温（5℃）
- ・ 養生条件：湿潤養生（ポリマーセメント注入材），水中養生（セメントペースト注入材）
湿潤養生は、濡れた布で供試体を覆い、プラ

スチックの容器の中に放置した状態とした。また水中養生は、供試体を完全に水に浸した状態とした。

(4) 試験方法

粉体と混和液を 2 分間攪拌した後、型枠に流し込んだ。1 日後に脱型して、各試験条件の下で養生した。養生を終えた後、圧縮試験（JIS A 1108）を行い、破壊荷重から圧縮強度を算出した。なお、供試体の寸法は $\phi 50 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ であり、各試験条件につき 3 本の供試体を作製した。

2.4 既設コンクリートとの接着強度試験

(1) 試験目的

低温環境下における注入材の接着強度に関する実験結果はほとんど無い。また、製造元のカタログでは、標準養生で注入後の材齢 28 日の接着強度しか示されていない上に、注入を行ったひび割れの状態が明記されていないという問題点がある。さらに、通常、市販の注入材の接着強度は JIS A 6024 に準じて求められる接着曲げ強さ、もしくはコンクリート板に直接注入材を塗布し、一軸引張試験によって求められる引張接着強さの 2 種類のどちらか一方、もしくは両方が示されている。しかし、これらの試験では、施工現場の不規則なひび割れに注入する状況を再現しているとは言えず、正確な接着強度が求められているとは考えにくい。

そこで本試験では、既往の文献²⁾で行われた方法を参考に、割裂試験（JIS A 1113）から接着強度を算出する方法を用いて、低温環境、注入材の注入後の材齢およびひび割れ幅が接着強度に及ぼす影響を把握することを目的とした。

(2) 注入材の配合

実験で用いたポリマーセメント注入材は粉体と混和液を重量比 1.0 : 0.6 で混ぜ合わせたものであり、セメントペースト注入材の W/C は 70%であった。

(3) 試験条件

試験目的を満足するために、ポリマーセメン

ト注入材およびセメントペースト注入材の接着試験はともに以下の試験条件とした。

- ・注入後の注入材の材齢：3日，7日，28日
- ・養生温度：室温（20℃），外気温（5℃）
- ・ひび割れ幅：0.2 mm，0.5 mm，1.0 mm

また，養生条件は湿潤養生のみとした。

（4）試験方法

既設コンクリートには，表 - 1 のコンクリートで作製した $\phi 100 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$ の円柱供試体（材齢 28 日，水中養生）を用いた。まず，この供試体を圧縮試験機で JIS A 1113 に準じて割裂した後，二つに割れた供試体の四つ角にスペーサー（針金）をかませて人工的に各ひび割れ幅を作り，ガムテープで固定した。次に，シール材によってプラグを取り付け，一日経過してから低压注入器で注入材を注入した。その後，各試験条件の下で養生した後，再び圧縮試験機で割裂を行い，破壊荷重から接着強度を算出した。注入の模様を写真 - 1 に，注入後の割裂の模様を写真 - 2 に示す。また，この接着強度試験では各試験条件につき 3 本の供試体を使用した。



写真 - 1 注入模様



写真 - 2 注入後の割裂模様

3. 試験結果および考察

3.1 注入材のフロー試験

フロー試験の結果を図 - 1 に示す。ポリマーセメント注入材は測定開始時（0 分）から徐々に流下時間が増加していくのに対し，セメントペースト注入材は開始時から 30 分後にかけて流下時間は急激に増加し，その後の流下時間の変化は微少であることが明らかにされた。

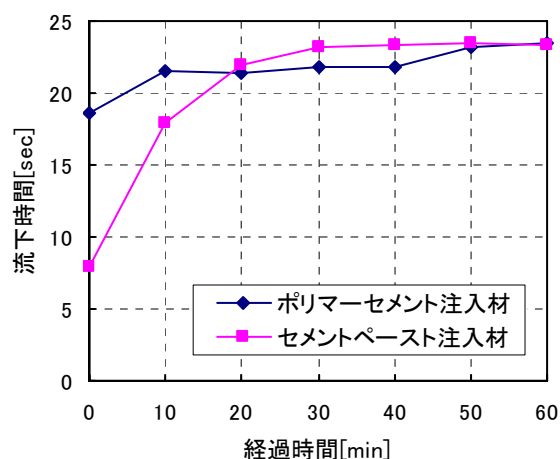


図 - 1 注入材のフロー試験結果

この原因は，ポリマーセメント注入材の場合，練り混ぜ水に含まれるポリマーがセメントの初期水和を抑制したために流動性の経時変化が小さくなったと考えられる。これに対し，セメントペースト注入材は水のみで練り混ぜるため，セメントペーストと類似の性質を持ち，練り混ぜ後 30 分までにある程度硬化が進むためである。

ちなみに，60 分後のポリマーセメント注入材およびセメントペースト注入材の流下時間は，それぞれ 23.51sec および 23.38sec であり，注入に支障はない。

3.2 注入材の圧縮強度

（1）ポリマーセメント注入材

ポリマーセメント注入材の圧縮強度試験の結果を図 - 2 に示す。注入材の圧縮強度と材齢との関係は，養生温度の違いに関わらず，材齢の増加とともに圧縮強度は増加することが分かった。また，材齢 3 日から材齢 7 日にかけて強度は大幅に増加し，その後材齢 28 日にかけては徐々に増加する傾向も両温度条件において共通に見ら

れた。

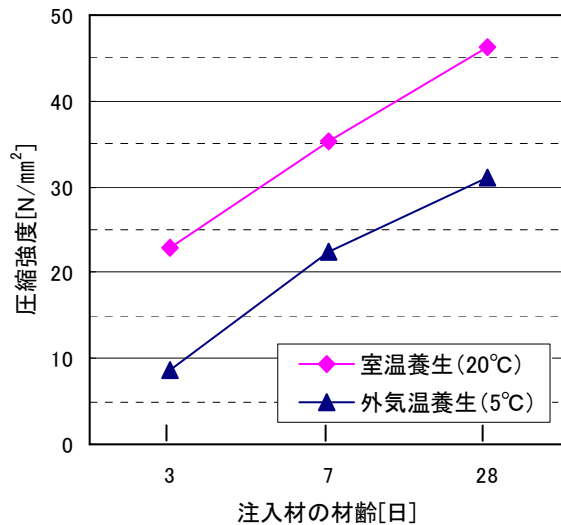


図 - 2 ポリマーセメント注入材の
圧縮強度試験結果 (P/C=60%)

養生温度は注入材の圧縮強度に大きな影響を及ぼし、すべての材齢において室温養生の方が外気温養生よりも高い圧縮強度を示した。また、材齢 3 日、7 日および 28 日における外気温養生の圧縮強度は、室温養生の場合のそれぞれ 38%、64%および 67%であった。

(2) セメントペースト注入材

セメントペースト注入材の圧縮強度試験の結果を図 - 3 に示す。注入材の圧縮強度と材齢との関係は、養生温度の違いに関わらず、材齢の増加とともに圧縮強度は増加することが分かった。また、ポリマーセメント注入材と同様に、材齢 3 日から材齢 7 日にかけて強度は大きく増加し、その後材齢 28 日にかけては徐々に増加する傾向も両温度条件において共通に見られた。ただし、セメントペースト注入材に関しては、外気温養生の方がより顕著にその傾向が現われた。

養生温度は注入材の圧縮強度に大きな影響を及ぼし、すべての材齢において室温養生の方が外気温養生よりも高い圧縮強度を示した。また、材齢 3 日、7 日および 28 日における外気温養生の圧縮強度は、室温養生の場合のそれぞれ 56%、79%および 71%であった。

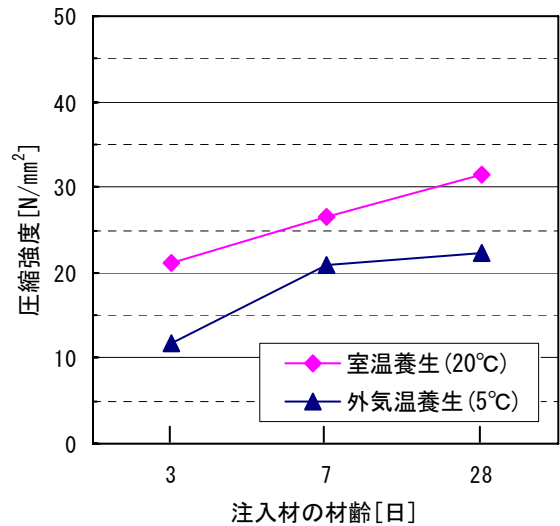


図 - 3 セメントペースト注入材の
圧縮強度試験結果
(W/C=70%)

3.3 既設コンクリートとの接着強度試験

ポリマーセメント注入材およびセメントペースト注入材の既設コンクリートとの接着強度と、材齢、養生温度およびひび割れ幅の関係をそれぞれ図 - 4 および図 - 5 に示す。

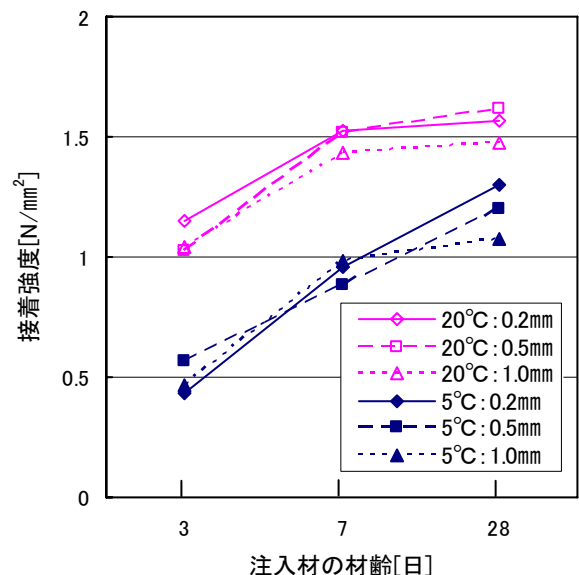


図 - 4 既設コンクリートとの接着強度試験結果
(ポリマーセメント注入材, P/C=60%)

(1) ポリマーセメント注入材

注入材の材齢と接着強度の関係は、すべての養生温度、ひび割れ幅において注入材の材齢が増すとともに、接着強度は増加した。さらに、

すべての養生温度およびひび割れ幅で、材齢 7 日から材齢 28 日における接着強度の増加は、材齢 3 日から材齢 7 日より小さいことが明らかにされた。

注入材の養生温度と接着強度の関係は、すべてのひび割れ幅、材齢において室温養生が外気温養生を上回った。また、ひび割れ幅は接着強度に依存しないと仮定すると、材齢 3 日、7 日および 28 日の外気温養生の平均的な接着強度はそれぞれ室温養生の 46%、63%および 77%の値を示した。

ひび割れ幅と接着強度の関係から、両者の間にはほとんど依存性がないことが示された。しかしながら、材齢 28 日におけるひび割れ幅 1.0 mmの接着強度は他のひび割れ幅よりもわずかに減少傾向にあることが示された。これは、ひび割れ幅 1.0 mmの場合、凝集破壊を生じた供試体が見られたため、界面破壊を生じた 0.2 mmおよび 0.5mmに比べ若干低い強度を示したものと考えられる。³⁾

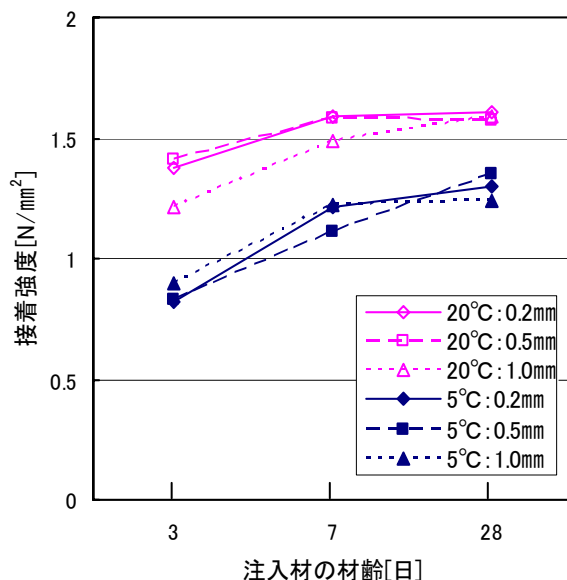


図 - 5 既設コンクリートとの接着強度試験結果
(セメントペースト注入材, W/C=70%)

(2) セメントペースト注入材

接着強度に及ぼす注入材の材齢の影響は、すべての養生温度、ひび割れ幅において、材齢 7 日までは著しい接着強度の増加を示すが、その

後、材齢 28 日までの間はほとんど強度増加しないという結果が得られた。

外気温養生の接着強度はすべての材齢、ひび割れ幅において室温養生よりも低い値を示し、材齢 28 日では室温養生の 75%~80%の値であることが分かった。

また、養生温度が同一の場合には、セメントペースト注入材の接着強度はひび割れ幅の影響を受けないことが示された。

4. まとめ

- 1) 圧縮強度試験および既設コンクリートとの接着強度試験の結果から、低温環境下におけるセメント系注入材の圧縮強度および接着強度は室温環境に比べて低い値を示した。
- 2) 低温環境下においては、材齢 3 日から材齢 28 日にかけての各強度の増加率が、室温環境に比較して大きいという結果が得られた。すなわち、低温環境においてセメント系注入材の強度の発現は遅くなるということが示された。
- 3) 既往の文献⁴⁾で提案されたセメント系被覆材の付着性の評価基準（案）では、標準形の付着性を 1.0 N/mm^2 以上としている。接着強度試験の結果から、すべてのひび割れ幅および両温度条件における材齢 7 日以降の接着強度は、この評価基準を満足していることが分かった。

参考文献

- 1) (社)日本コンクリート工学協会：コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針, pp.85, 2003
- 2) 飯坂武男, 鷺見高典, 梅原秀哲：無機系補修材料の注入材に関する基礎的研究, 土木学会論文集, No.599, V - 40, pp.49-57, 1998.8
- 3) 加藤利美, 飯坂武男, 梅原秀哲, 吉田弥智：無機系ひびわれ注入材料の基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, No.1220, pp.1263-1268, 1990
- 4) 杉山隆文：表面被覆工法の特徴, セメント・コンクリート, No.713, pp.27-32, 2006.6