

ひび割れ注入工法の低温における充填性と耐凍害性

内藤 勲・島多昭典

1. はじめに

コンクリートのひび割れ修復は古くから行われているが、土木構造物における修復材料や修復方法の選定、及び施工管理方法に明確な基準はなく、これまで、修復材料や修復工法の単体の性能と実績を主とした対策が実施されてきた。しかし、修復後の耐用年数や修復効果の検証は難しく、ひび割れ修復後に早期に漏水等の再発が生じる等、期待した性能が発揮されていない再劣化事例も見られる。

本報告では、ひび割れ注入工法に焦点を当て、特に品質が低下し易い低温環境における注入性能や充填性能、及び耐久性を把握するため、積雪寒冷地の実構造物における注入後の充填確認調査、低温における室内注入試験、及び注入後の耐凍害性に関する室内試験と屋外暴露試験を行った結果を報告する。

2. 積雪寒冷地におけるひび割れ注入工法の充填性に関する現地調査

ひび割れ注入工法（以下「注入工法」という。）の現在の主流は、0.4MPa以下の低い圧力で注入する自動低圧注入である。この方法は、注入圧力によるひび割れの拡大等の軽減や注入作業が比較的容易等の長所がある。また、注入材は、エポキシ樹脂等の有機系注入材とセメントベースの無機系注入材が使われている。しかし、ひび割れ注入後の状況について、十分な検証データは得られていない。そこで、注入施工後のひび割れ充填状況を把握するため、実際の橋梁補修工事で自動低圧注入工法が実施されたひび割れからコアを採取し、表面から深さ10cmまでの注入材の充填状態を調査した結果、図-1に示すように、部分的に未充填となっている事例も多いことを確認した。なお、コア採取は注入日から約1ヶ月後に実施した。このような未充填となった要因として、事前調査や補修設計（工法や材料の選定）、若しくは施工時の配慮不足等が考えられる。前者に関しては、例えば注入材の選定において、実績や経

済性等の理由で定型的な選定をしているケースも多く、適切な選定であったか疑問が残る。後者については、注入器やシールからの注入漏れ、不適切な注入順序等もあるが、図-1から、冬期に施工するほど充填率が低いケースが増える傾向も見られ、施工時の温度環境、特に、低温の影響が考えられる。注入工法に限らず、コンクリートの修復工法が一般に5℃未満の低温での施工に注意を要するのは、修復材自体が常温時と同様の施工性や品質を低温時に得られ難いことにある。例えば、注入材には一般用と冬用に分かれた製品もあり、氷点下でも硬化する製品もあるが、注入材は一般に低温になるほど硬化時間が増加するため、冬用は硬化時間が短い性質のものが多く、低温での施工性や品質を向上させた製品ではない。

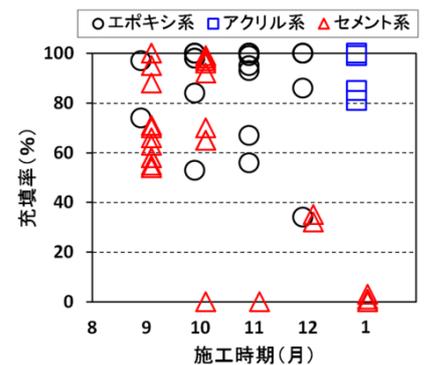


図-1 現地充填状態調査

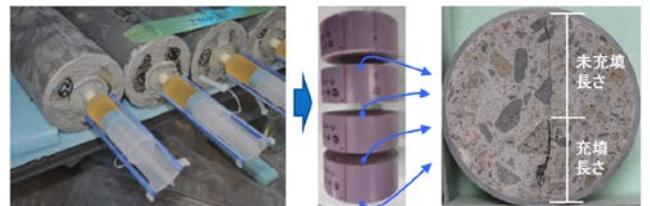


図-2 注入試験体と充填性の確認

3. 試験体を用いた室内試験

3.1 室内注入試験

3.1.1 試験概要

室内注入試験は、図-2に示すように、内径10cm×長さ20cmの塩ビ管を型枠代わりとした供試体を割裂して模擬ひび割れ試験体を作製し、注入時の温度条件を常温（20℃）と低温（0℃，5℃）の3ケースにおいて自動低圧注入を行い、注入材の流動性と充填性の比較を行った。表-1にコンクリートの配合、注入材の種類及び試験ケースを示す。なお、低温の

表-1 コンクリートの配合、注入材の種類、試験ケース

| コンクリート配合 | セメントの種類 | Gmax (mm) | W/C (%) | s/a (%) | スランプ (cm) | 空気量 (%) |
|------------|------------|------------|--|-----------|-----------|---------|
| AE | 普通ポルト | 20 | 55 | 47 | 8 | 4.5 |
| 注入材の種類 | 有機系 | | 無機系 | | | |
| | エポキシ系 | アクリル系 | セメント系(超微粒子) | | | |
| | 硬質系(I)低粘度形 | | ポリマーあり | ポリマーなし | | |
| 粘度 (mPa·s) | 594 (20°C) | 300 (15°C) | 208 (20°C) | 71 (20°C) | | |
| 試験ケース | 施工時の温度条件 | | ①施工温度20°C・試験体20°C ②施工温度20°C・試験体0°C ③施工温度5°C・試験体5°C | | | |

設定に際し、施工温度は一般に5°C以上で実施されるため最低温度を5°Cとし、試験体温度は凍結する0°Cと施工最低温度5°Cの2ケースとした。注入材の練混ぜはすべて常温(20°C)で実施し、注入方向は試験体を横にした縦ひび割れへの側面注入とした。流動性は試験体の背面から注入材が排出する時間を測定し、充填性は注入固化後(注入後30日)に5cm毎に試験体を切断して、切断面のひび割れに充填された注入材の充填率を測定した。

3.1.2 流動性の試験結果

図-3に流動性に関する試験結果を示す。すべての注入材において、常温よりも低温の試験体に注入したほうが試験体背面から注入材が排出するまでの時間が非常に大きくなった。特に有機系注入材は、低温では粘性が増大し可使時間が長くなる性質のため、注入材がひび割れを通過する間に試験体の低温で冷やされて流動性が低下し、ひび割れ内部を通常よりもゆっくりと流動したと考えられる。ただし、アクリル系は可使時間が短いため、途中で硬化して注入が停止したケースもあった。

無機系注入材は粘性が非常に低いため、有機系注入材と比べると排出時間は極端に短い。有機系注入材と同様に低温のほうが排出時間は長くなり、流動性が低下したと言える。なお、低温0°Cの試験体において、ひび割れ内部で注入材が凍結して途中で注入が停止したケースもあった。

3.1.3 充填性の試験結果

図-4に充填性の試験結果を示す。途中で注入が停止したケースも含め、低温の試験体では充填率が低くなる傾向が見られた。これは、前項で述べたとおり、試験体の低温の影響で注入材の流動性が低下し、ひび割れ内部で部分的に注入材が停滞・凍結したことで未充填が発生したと推測する。なお、試験体20°Cでもセメント系の充填率が60%程度と低く

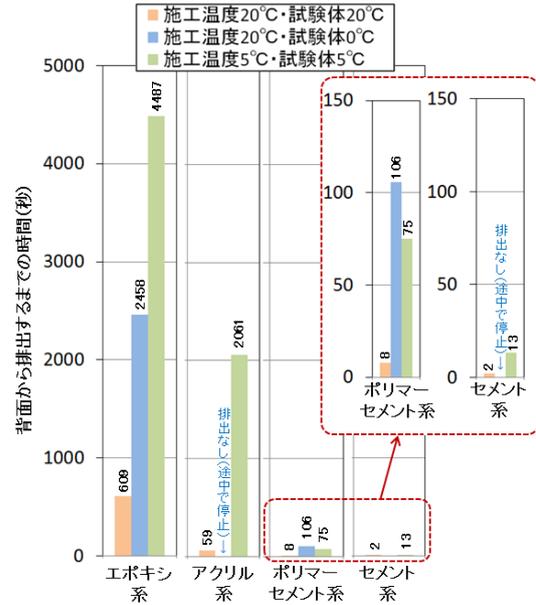


図-3 流動性の試験結果

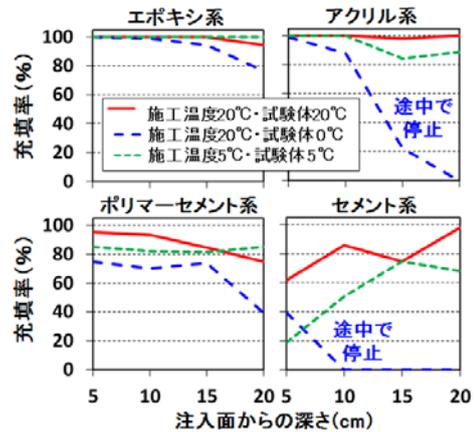


図-4 充填性の試験結果

なったが、これは、試験体の排出面をシールせずにひび割れを開放して注入したため、流動性が非常に良いセメント系の注入材はひび割れ内で流下し、ひび割れ上部に行き渡らなかったためである。

以上の結果から、注入工法の冬期施工においては、注入する躯体コンクリートの温度管理が非常に重要であり、防寒囲いによって躯体コンクリートの温度を上昇させることは勿論のこと、注入時間が遅延することを考慮した作業工程を組むことが、施工時の不具合防止に繋がると考える。

3.2 耐久性試験

3.2.1 試験概要

注入後のコンクリートの低温環境下での耐久性について、模擬注入試験体を用いた凍結融解促進試験と屋外暴露試験による検証を行った。模擬注入試験体は、図-5に示すように、注入材の充填率100%の角柱試験体10×10×40cmと、注入材の充填率

100%と50%の2ケースの角柱試験体10×10×20cmを作製した。試験体のコンクリートは、表-2に示す配合で水中養生28日、凍害劣化に強いAEコンクリート（以下「AE」という。）と、凍害劣化が生じ易いAE剤無添加のコンクリート（以下「non-AE」という。）の2種類とした。注入材は、前項の注入試験で使用したエポキシ系とポリマーセメント系の2種類とした。なお、試験体の一面から給水させる条件とするため、給水面以外はエポキシ樹脂接着剤で保護コーティングを施した。

3.2.2 凍結融解促進試験

凍結融解促進試験は、JIS A 1148（A法）に準拠した水中凍結融解試験とRILEMに準拠した一面凍結融解のCIF/CDF試験を行った。なお、CIF/CDF試験は、給水面を下面にして一面を水（淡水もしくは塩水）に浸漬した状態で凍結融解を繰り返し、表面をスケーリング劣化させる試験方法である。凍結融解回数は、水中凍結融解試験は300サイクル、CIF/CDF試験はスケーリングの許容値（0.15g/cm²以下）の規定サイクルである28サイクル²⁾とした。ひび割れ内部の注入材の耐久性の評価は、図-6³⁾に示す超音波測定方法によって、所定のサイクル毎に

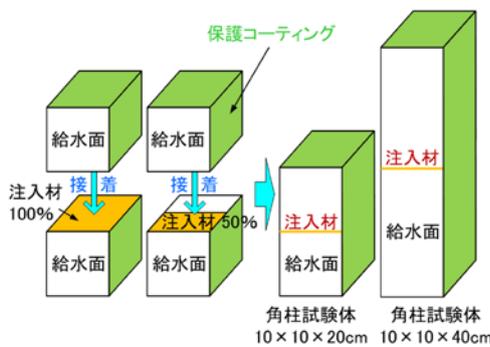


図-5 模擬注入試験体

表-2 コンクリートの配合

| コンクリート配合 | セメントの種類 | Gmax(mm) | W/C (%) | s/a (%) | スランプ (cm) | 空気量 (%) |
|----------|---------|----------|---------|---------|-----------|---------|
| AE | 普通ポルト | 20 | 55 | 47 | 8 | 4.5 |
| non-AE | | | 45 | 43 | 8 | 2.2 |

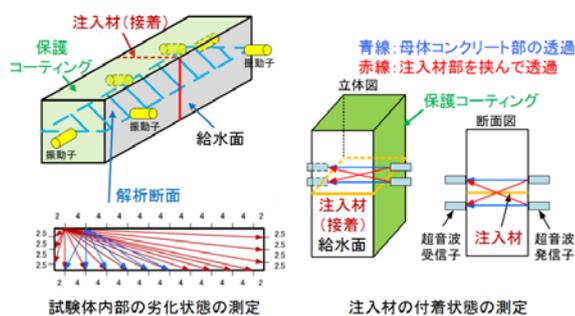


図-6 超音波測定方法

超音波測定を実施し、試験体内部の劣化状態とひび割れ内部の注入材の付着状態を確認した。

3.2.3 屋外暴露試験

屋外暴露試験は、実際の環境における注入後の耐久性を評価するため、non-AEの模擬注入試験体（角柱試験体10×10×20cm）を凍害と塩害が複合する厳しい環境である北海道増毛町の海岸線に設置し、設置から半年毎に超音波を測定した暴露2年間の結果について、室内試験結果との比較を行った。

3.2.4 試験結果

図-7³⁾に、non-AEの角柱試験体10×10×40cmの水中凍結融解試験における超音波伝播速度分布を示す。凍結融解サイクルが進むと、試験体の中心、すなわち注入材が接着したひび割れ部付近から超音波伝播速度（以下、速度）が低下し始め、その後拡大している。これは、試験体が水で飽和した状態で凍結融解作用を受けると、注入材とコンクリートとの付着が低下し、部分的に剥離が生じて再劣化することを意味する。図-8に各凍結融解促進試験と屋外暴露試験における超音波による注入材の付着状態の測定結果を示す。注入材部を挟んで超音波が透過した速度（赤線）がコンクリート部を透過した速度（青線）よりも低下した場合、注入材との付着が低下したと判断する。表面劣化が生じたCIF/CDF試験と、外見上の劣化はほとんど生じていない屋外暴露試験では、速度の相違はほとんどみられなかった。しかし、水中凍結融解試験では、充填率50%の試験体において注入材とコンクリートとの付着低下が多く見られ、ひび割れ部で剥落するケースもあった。本試験体は注入材を接着させて作製しているため、接着性能の異なる有機系と無機系とで差が見られたが、注入材の種類に関係なく、厳しい環境条件では注入材の付着が低下し易いことがわかった。このことか

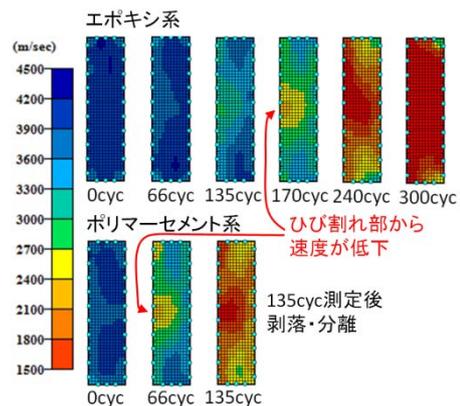


図-7 水中凍結融解試験における超音波伝播速度分布

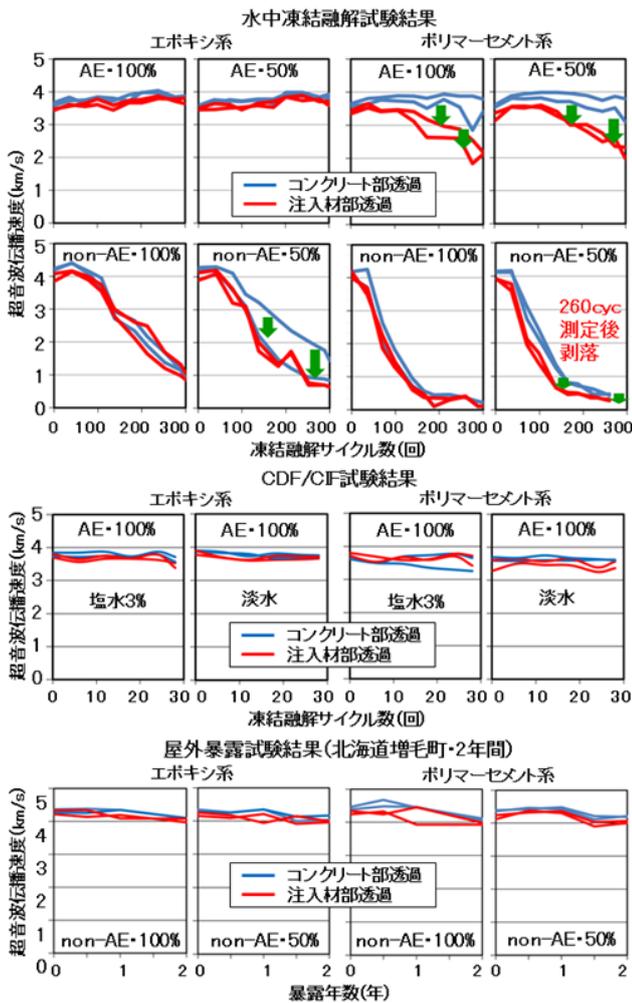


図-8 超音波測定による注入材の付着状態

ら、凍結融解が作用する寒冷地域において、ひび割れ注入後でもコンクリートに水分供給が多くなる箇所では、接着力の低い注入材の適用や注入材の未充填が生じると再劣化が発生する可能性が高いことが明らかとなった。

4. まとめ

以上の結果から、積雪寒冷地における注入工法の施工時の留意点や耐久性について、以下の知見を得た。

- (1) 冬期施工では、躯体コンクリートの温度管理が重要であり、コンクリートの低温によって、注入材の流動性が低下して未充填が生じ易い。したがって、防寒囲い等によりひび割れ注入施工時の温度上昇に努めるとともに注入が遅延することを考慮した工程管理が必要である。
- (2) 表面からの凍害劣化では、ひび割れ内部の注入材にほとんど影響しないが、コンクリートが水で飽

和した状態で凍結融解作用を受けると注入材の付着は低下する。したがって、水分供給が多いひび割れに注入する際に、接着力の低い注入材を使用した場合や未充填が生じた場合には、再劣化が発生する可能性が高い。

本研究は、コンクリートの補修対策技術に関して、先端材料資源研究センター (iMaRRC) と寒地土木研究所耐寒材料チームとで分担して研究を実施し、本報告の各試験は、共同研究「コンクリートのひび割れ注入・充填後の品質評価及び耐久性等に関する研究」において実施したものである。今後、屋外暴露試験の継続測定による中長期的な耐久性の検証を行っていく予定である。

謝 辞

現地調査及び各試験にあたり、国土交通省北海道開発局の各関係者及び共同研究者の日本シーカ株式会社、コニシ株式会社、日本国土開発株式会社、デンカ株式会社、日鉄住金セメント株式会社、三菱マテリアル株式会社の各関係者に多大なるご協力を頂いた。ここに記して深甚な謝意を表する。

参考文献

- 1) 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
- 2) Jochen Stark、Bernd Wichit (訳：太田利隆、下林清一、佐伯昇)：コンクリートの耐久性第2版、社団法人セメント協会、pp.200～202、2003.8
- 3) 内藤勲、田口史雄、島多昭典：ひび割れ注入工法の現状調査と凍結融解作用が注入後の耐久性に及ぼす影響、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13巻、pp.517～522、2013.11

内藤 勲



土木研究所寒地土木研究所
寒地保全技術研究グループ
耐寒材料チーム 主任研究員
Isao NAITOH

島多昭典



土木研究所寒地土木研究所
寒地保全技術研究グループ
耐寒材料チーム 上席研究員、
先端材料資源研究センター(併任)
Akinori SHIMATA