

## 積雪寒冷環境に暴露したひび割れ注入供試体の接着耐久性に関する一考察

(国研) 土木研究所 正会員 ○内藤 勲

(国研) 土木研究所 正会員 島多 昭典

## 1. はじめに

コンクリート構造物に生じたひび割れへの対策として、ひび割れ注入工法が以前から実施されているが、積雪寒冷地では、補修後に漏水やエフロッセンスが析出する等の事例も見られる。このような再劣化の一因として、凍害の影響によるひび割れ内部のコンクリートと注入材との接着低下等が考えられる。本研究では、ひび割れ注入を模擬した供試体を積雪寒冷環境の屋外に2年半暴露し、暴露期間中の注入材の状態確認と暴露後の曲げ試験を行い、ひび割れ注入後の接着耐久性について検討を行った。

## 2. 試験概要

## 2.1 ひび割れ注入供試体

試験に用いたひび割れ注入を模擬した供試体（以下、注入供試体）は、表-1 に示す配合の AE コンクリートで作製した 100×100×200mm の角柱供試体（28 日間水中養生）を 図-1 のように半分に切断し、自然乾燥させた後、切断面を軽くチップングしてから注入材をハケ等で塗布して切断面同士を接着させる方法（接着厚 0.5mm）で作製した。注入材の塗布面積は 100%、80%、50% の 3 ケースとし、注入材の未充填を模擬した。注入材は、表-1 に示すように、エポキシ系 3 種類、アクリル系 1 種類の樹脂系と、超微粒子セメント系 2 種類の計 6 種類を使用した。塗布作業は室温 20℃ の部屋で実施し、塗布後、樹脂系は 7 日間、セメント系は 28 日間そのまま静置して養生を行った。

## 2.2 暴露試験

暴露試験は、積雪寒冷環境の異なる 2 地域、極寒の凍害環境である北海道内陸部の陸別町と凍害塩害複合劣化が厳しい環境である北海道増毛町の海岸で実施した。供試体は横にして試験面が側面となるように設置し、陸別町は南向き、増毛町は海向き（西向き）とした。平成 24 年 11 月に暴露を開始し、暴露中の注入材の接着状態を確認するため、超音波測定を半年毎に実施した。超音波測定は、図-2 のように母体コンクリート部と注入材部を挟んで透過する方法で行い、注入材の接着状態を両者の超音波伝播速度の変化で確認した。例えば、母体コンクリート部よりも注入材部の超音波伝播速度が大きく低下すると、注入材の接着が低下したと判断する。

## 2.3 曲げ試験

暴露 2 年半後に供試体を回収し、図-3 に示す 4 点载荷の曲げ試験による供試体の割裂を行い、注入材と基盤コンクリートとの接着状態を確認する試験を実施した。接着状態の確認は、割裂面を目視し、コンクリートが割れる基盤破壊、注入材が割れる凝集破壊、及び注入材とコンクリートとの接着面から割れる界面破壊の 3 つの破壊形態に分類した。

表-1 コンクリートの配合、注入材の種類と主な諸元

| セメントの種類 | Gmax (mm) | W/C (%) | s/a (%) | 単位量 (kg/m³) |     |     |      | Slump (cm) | Air (%) |
|---------|-----------|---------|---------|-------------|-----|-----|------|------------|---------|
|         |           |         |         | W           | C   | S   | G    |            |         |
| 普通ポルト   | 20        | 55      | 47      | 154         | 280 | 890 | 1001 | 8.0        | 4.5     |

| 注入材記号             | EP1             | EP2       | EP3       | AC1       | CE1      | PC1       |
|-------------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|
| 注入材の種類            | 樹脂系(硬質系(I)低粘度形) |           |           | 超微粒子セメント系 |          |           |
|                   | エポキシ系           |           |           | アクリル系     | ポリマー無    | ポリマー有     |
| 粘度 (mPa·s)        | 570 (23℃)       | 594 (20℃) | 330 (20℃) | 300 (5℃)  | 71 (20℃) | 208 (20℃) |
| 適用温度              | 5~20℃           | 5~20℃     | -4~20℃    | -10~15℃   | 5~30℃    | 5~30℃     |
| 接着強さ (MPa) (標準条件) | 7.16            | 7.60      | 8.10      | 9.20      |          |           |
| 引張せん断接着強さ (MPa)   | 7.03            | 24.10     | 15.40     | 10.00     |          |           |

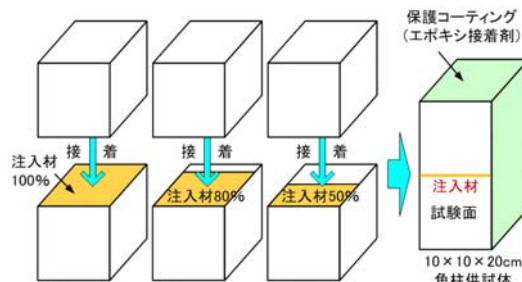


図-1 ひび割れ注入供試体

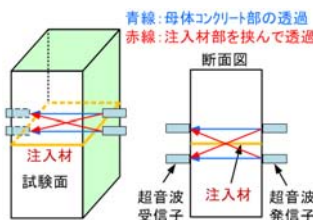


図-2 超音波測定方法

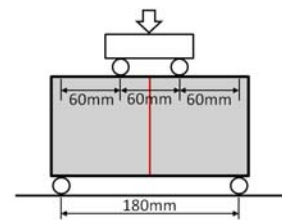


図-3 4点载荷の曲げ試験のイメージ

キーワード 積雪寒冷環境、ひび割れ注入、暴露試験、超音波測定、破壊形態

連絡先 〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34 TEL:011-841-1719 FAX:011-837-8165

それぞれの破壊形態と割裂時の曲げ強度の結果から、積雪寒冷環境が注入後の注入材や接着耐久性に及ぼす影響について検討を行った。

### 3. 試験結果

図-4 に超音波測定結果の例を示す。2 年半の暴露期間において、注入材部と母体コンクリート部との超音波伝播速度の差が若干広がっているケースもあったが、ほとんどのケースで両者の速度差に変化はあまり見られなかった。このことから、ひび割れ内部の注入材は、ひび割れ界面のコンクリートとまだ密着していると判断できる。

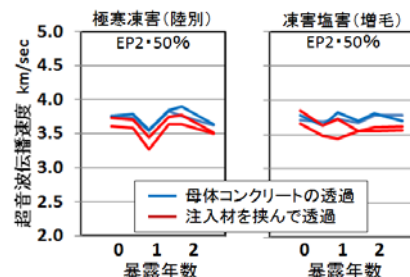


図-4 超音波測定結果の例

次に、図-5、表-2 及び、写真-2 に各ケースの最大曲げ強度、各ケースの破壊形態及び破壊状況の例を示す。上述した超音波測定結果において、注入材の接着状態に特に変化は見られなかったが、極寒の凍害環境の方が最大曲げ強度が全体的に低くなっていたことから、凍害劣化が進行していたと考えられる。樹脂系注入材は接着が強いため、基盤破壊となるのが一般的だが、充填率の低いケースを中心に、エポキシ系では極寒の凍害環境、アクリル系では凍害塩害複合環境で部分的な凝集破壊や界面破壊が生じていた。凝集破壊となった注入材は、注入材自体の品質が変化した可能性も疑われる。一方、セメント系注入材は、ポリマーなしはすべて凝集破壊、ポリマーありはすべて界面破壊となった。凝集破壊となったポリマーなしでは、充填率にかかわらず、極寒の凍害環境のほうが最大曲げ強度が低下していたため、注入材自体の凍害劣化の程度が大きかったと推測する。

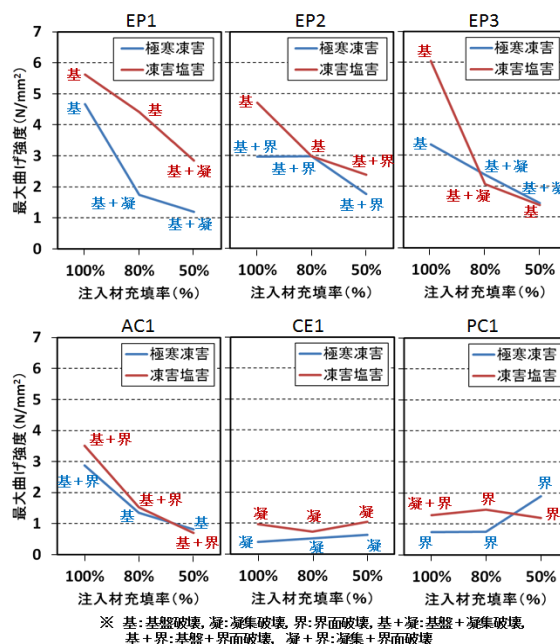


図-5 各ケースの最大曲げ強度

表-2 各ケースの破壊形態

| 暴露環境    | 極寒の凍害環境(北海道陸別町・内陸部) |         |         |         |      |      |
|---------|---------------------|---------|---------|---------|------|------|
| 注入材の充填率 | EP1                 | EP2     | EP3     | AC1     | CE1  | PC1  |
| 100%    | 基盤破壊                | 基盤+界面破壊 | 基盤破壊    | 基盤+界面破壊 | 凝集破壊 | 界面破壊 |
| 80%     | 基盤+凝集破壊             | 基盤+界面破壊 | 基盤+凝集破壊 | 基盤破壊    | 凝集破壊 | 界面破壊 |
| 50%     | 基盤+凝集破壊             | 基盤+界面破壊 | 基盤+凝集破壊 | 基盤破壊    | 凝集破壊 | 界面破壊 |

| 暴露環境    | 凍害塩害複合環境(北海道増毛町・海岸部) |         |         |         |      |         |
|---------|----------------------|---------|---------|---------|------|---------|
| 注入材の充填率 | EP1                  | EP2     | EP3     | AC1     | CE1  | PC1     |
| 100%    | 基盤破壊                 | 基盤破壊    | 基盤破壊    | 基盤+界面破壊 | 凝集破壊 | 凝集+界面破壊 |
| 80%     | 基盤破壊                 | 基盤破壊    | 基盤+凝集破壊 | 基盤+界面破壊 | 凝集破壊 | 界面破壊    |
| 50%     | 基盤+凝集破壊              | 基盤+界面破壊 | 基盤破壊    | 基盤+界面破壊 | 凝集破壊 | 界面破壊    |

### 4. まとめ

本研究では、実際の構造物では測定が難しいひび割れ注入後の接着耐久性について、模擬ひび割れ注入供試体の室内促進試験<sup>1)</sup>と暴露試験によって検証を試みている。本報告は暴露試験の暴露 2 年半の測定結果であるが、厳しい積雪寒冷環境において、ひび割れ内部の注入材自体の品質が時間と共に変化することが示唆された。本暴露試験は、同一の供試体にて継続しているため、今後、更なる暴露期間を経たひび割れ注入後の接着耐久性について検証していく予定である。

### 参考文献

- 1) 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

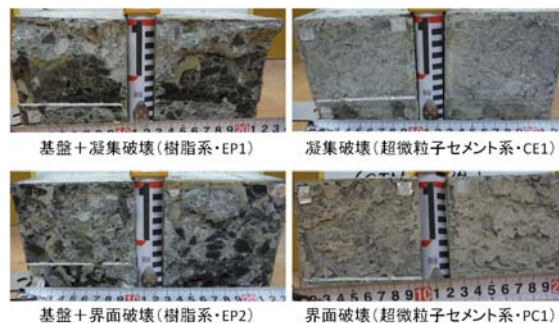


写真-2 破壊状況の例