

ポリウレア樹脂によるコンクリート構造物の耐久性向上に関する基礎実験

清水建設(株) 正会員      〇久保昌史   清水建設(株) フェロー会員   興石正己  
清水建設(株) 正会員      高梨和光   三井化学産資(株) 正会員   井出一直

1. はじめに

コンクリート構造物は、建設された場所の環境条件によって劣化が進行することが知られている。このような劣化現象として、塩害、凍害などがあげられ、例えば国内の海岸部および内陸部でも凍結防止剤を多用する地域においては塩害による被害が、夜間の気温が氷点下に達し凍結融解を繰り返す地域においては、凍害による被害が多数報告されている。一方で、コンクリート構造物に表面被覆を行うことで、こうした劣化を抑制できることも知られている<sup>1)</sup>。

今回、表面被覆材料としてポリウレア樹脂を用いて、その有効性を検討するために、塩化物イオン透過試験<sup>2)</sup>および凍結融解試験を実施した。本報では、これらの検討結果について報告する。

2. 塩化物イオン透過試験<sup>2)</sup>

塩化物イオン透過試験は、図-1に示すように、厚さ1mmのポリウレア樹脂で3%の食塩水と蒸留水を分離し、20℃の環境で、一定時間放置した後の透過塩分量をイオンクロマトグラフ法で計測する。試験状況を写真-1に示す。本試験の試験期間は30日から最大120日程度であるが、30日時点で透過塩分量が少なく測定不能であったため、試験期間を300日まで延長した。

試験結果を表-1に示す。計測された塩化物イオン透過度は0.23～1.92×10<sup>-5</sup>であった。試験期間に対して塩化物イオン透過度の値に増減がみられるが、これは測定値が測定限界に近く計測誤差によるものと考えられる。

透過塩分量は一般環境のPCまたはRC構造物に対する基準値1.0×10<sup>-2</sup>の1/500以下、特に厳しい環境における基準値1.0×10<sup>-3</sup>に対しても1/50以下<sup>1)</sup>であり、十分な遮塩効果が確認された。

次に、今回の塩化物イオン浸透試験結果をもとに、フィックの拡散式を用いて、塩化物イオンの深さ方向への浸透予測を行った。

ここで、ポリウレア樹脂を透過する塩化物イオンの見かけの拡散係数の値は、試験結果から式(1)により換算する。

$$D=q_{test}/C_{test} \times t \quad \cdots \text{式(1)}$$

ここに       $D$     : 塩化物イオンの見かけの拡散係数(cm<sup>2</sup>/年)  
          $q_{test}$     : 遮塩性試験から得られる時間当たりの塩化物イオン透過量(kg/m<sup>2</sup>・年)  
          $C_{test}$     : 遮塩性試験の塩水中の塩化物イオン量(18.21kg/m<sup>3</sup>)  
          $t$         : 表面被覆材の膜厚(m)

表面被覆材の膜厚を1mmとした場合の塩化物イオン透過度と見かけの拡散係数の関係を表-2に示す。見かけの拡散係数は4.61×10<sup>-6</sup>～3.85×10<sup>-5</sup>(cm<sup>2</sup>/年)であった。以後の塩化物イオンの浸透予測では安全側を考慮して最も大きい値を採用した。

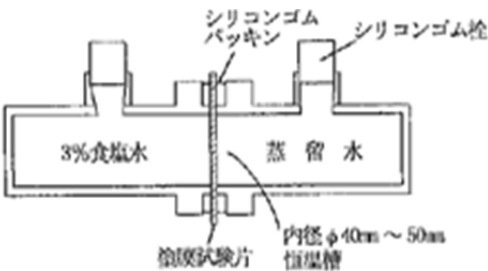


図-1 塩化物イオン浸透試験概要

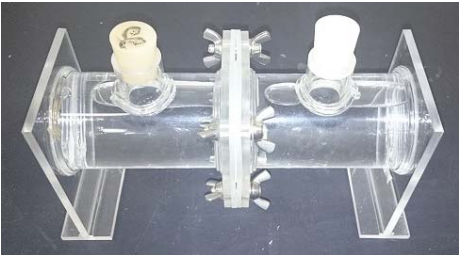


写真-1 塩化物イオン浸透試験状況

表-1 塩化物イオン浸透試験結果

| 試験期間<br>(日) | 塩化物イオン透過度<br>(mg/cm <sup>2</sup> ・日) | 塩化物イオン濃度<br>(mg/l) |
|-------------|--------------------------------------|--------------------|
| 30          | ND                                   | ND                 |
| 90          | 1.47 × 10 <sup>-5</sup>              | 0.13               |
| 120         | 1.01 × 10 <sup>-5</sup>              | 0.12               |
| 270         | 1.92 × 10 <sup>-5</sup>              | 0.51               |
| 300         | 0.23 × 10 <sup>-5</sup>              | 0.07               |

表-2 塩化物イオン透過度と見かけの拡散係数

| 試験期間<br>(日) | $q_{test}$ 塩化物イオン透過度<br>(mg/cm <sup>2</sup> ・日) | $t$ 膜厚<br>(m) | $D$ 見かけの拡散<br>係数(cm <sup>2</sup> /年) |
|-------------|-------------------------------------------------|---------------|--------------------------------------|
| 90          | 1.47 × 10 <sup>-5</sup>                         | 0.001         | 2.95 × 10 <sup>-5</sup>              |
| 120         | 1.01 × 10 <sup>-5</sup>                         | 0.001         | 2.02 × 10 <sup>-5</sup>              |
| 270         | 1.92 × 10 <sup>-5</sup>                         | 0.001         | 3.85 × 10 <sup>-5</sup>              |
| 300         | 0.23 × 10 <sup>-5</sup>                         | 0.001         | 4.61 × 10 <sup>-6</sup>              |

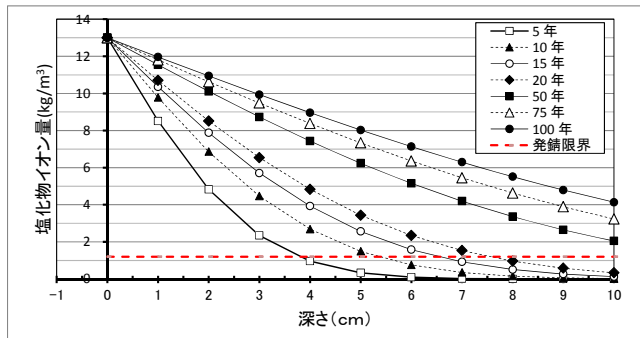


図-2 塩化物イオン浸透曲線

図-2は、コンクリート表面の塩化物イオン量 $C_s$ を飛沫帯の $13\text{kg/m}^3$ 、普通セメント、水セメント比 $W/C$ を50%とした場合の算定結果である。図-2より、かぶり50mmの位置においては10年程度で鉄筋発錆限界値 $1.2\text{kg/m}^3$ に到達することが確認された。

一方、図-3は、ポリウレア樹脂1mmで表面被覆した場合である。図-3に示すように100年程度で $1.2\text{kg/m}^3$ となっており、塩害に対する耐久性を大幅に向上することが可能であることが判明した。

### 3. 凍結融解試験

水セメント比 $W/C$ を60%としたAEコンクリート試験体に対してポリウレア樹脂で被覆したもの、被覆していないものそれぞれについて、JIS A 1148に準じたコンクリートの凍結融解試験を実施した。凍結融解試験相対動弾性係数計測状況を写真-2に示す。

試験サイクルは通常300サイクルの1.6倍である480サイクルとした。これは、実際に凍害地域で使用されることの多いAEコンクリートに対して、表面被覆による効果が長期的にどの程度あるかを確認したためである。

試験後の試験体表面状況を写真-3に、凍結融解サイクルと相対動弾性係数の関係を図-4に、質量減少率の関係を図-5に示す。

被覆した試験体は表面および被覆除去後のコンクリート表面に変色、剥離、膨れ等の劣化は見られず、相対動弾性係数や質量の低下も見られなかった。

被覆していない試験体は表面にスケリングがみられ、相対動弾性係数が11%低下し、質量減少率は2.4%であった。

ポリウレア樹脂の表面被覆によって、外部からの水分浸入を阻止しコンクリート中の含水率を少なく保つことになり、凍害に対して抵抗性を有することが認められた。

### 4. おわりに

本検討によるポリウレア樹脂の耐久性に関する知見を述べる。

- 1) 塩化物イオン透過度は、 $0.23 \sim 1.92 \times 10^{-5}(\text{mg}/\text{cm}^2 \cdot \text{日})$ であり、特に厳しい環境における基準値に対しても1/50以下であった。
- 2) 表面被覆した試験体は凍結融解試験後も劣化は見られなかった。
- 3) ポリウレア樹脂で表面被覆することにより、塩害や凍害に対する抵抗性を大幅に向上できることが確認された。

#### 【参考文献】

- 1) 土木学会：表面保護工法 設計施工指針（案），コンクリートライブラリー119
- 2) 日本道路協会：道路橋の塩害対策指針(案)・同解説，1984

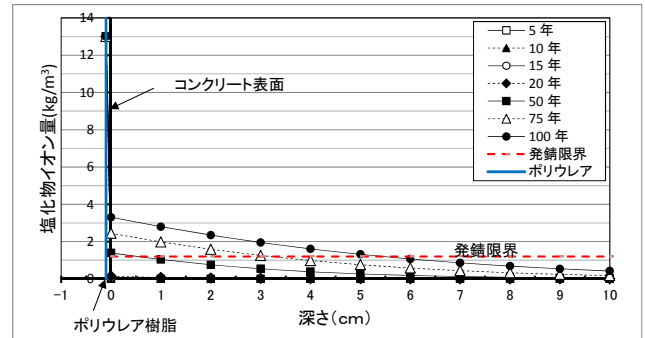


図-3 塩化物イオン浸透曲線（表面被覆1mm）



写真-2 凍結融解試験相対動弾性係数計測状況

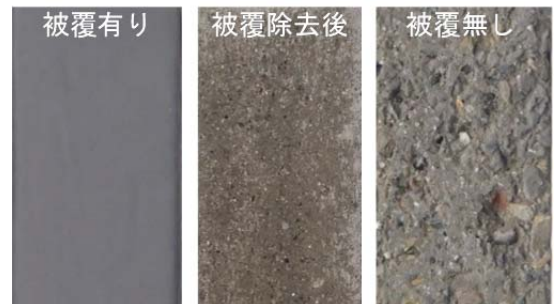


写真-3 試験後の試験体表面状況

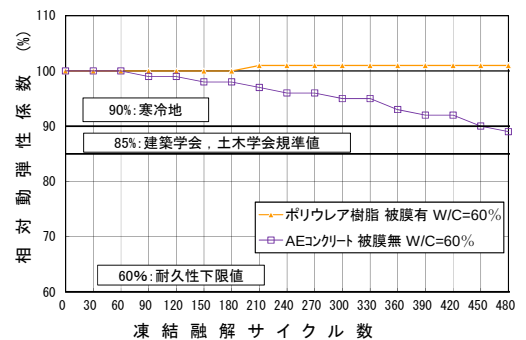


図-4 凍結融解サイクルと相対動弾性係数

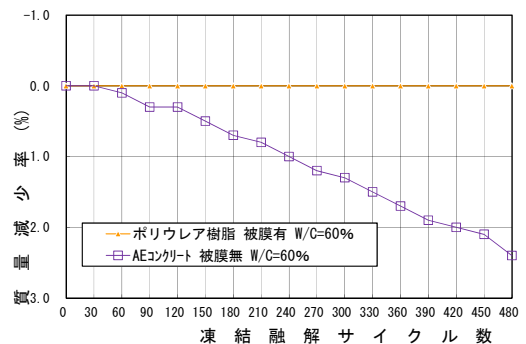


図-5 凍結融解サイクルと質量減少率