

仕上材料下のひび割れを有するコンクリート中の塩化物イオン濃度予測

徳島大学 学生会員 ○市川智也 正会員 塚越雅幸
正会員 上田隆雄

1. はじめに

コンクリート構造物の部材表面に施工される防水層は、雨水の浸入防止だけでなく、構造物と外気との接触を防ぎ、大気中に存在するコンクリートの劣化因子、特に、塩化物イオン(CI⁻)の浸透抑制効果が期待されている。しかし、コンクリートには様々な原因によりひび割れが生じる。そこで本研究では、防水層を塗布後に発生した下地ひび割れが、防水層の CI⁻の浸透抑制効果にどの程度影響を与えるのか検討した。

2. 電気泳動法による CI⁻浸透試験

2.1 供試体の作製

表 1 に示す調合にて 10φ × 高さ 5cm のモルタル円柱供試体を作製した。供試体は、3 ヶ月間水中養生し、実験室内で 1 ヶ月間気中養生した。養生後、試料として表 2 に示す通常の防水工事に用いられる市販のアクリルゴム系塗膜防水材料を 10φ の 1 面に塗布厚さがそれぞれ、0.5,1.0,2.0mm となるように施工した。なお、防水層は 20°C の空調環境下で塗布し、同条件下にて 2 週間養生した。養生後、油圧式圧縮試験機にて、割裂試験により防水層下の下地モルタルに、幅 0.5,1.0,3.0mm のひび割れを発生させた。ひび割れ固定後、側面をエポキシ樹脂でコーティングした。

2.2 実験の概要

電気泳動法により、仕上げ材の CI⁻浸透抑制効果に与える下地ひび割れの影響を検証した。試験体は図 1 に示すように、先に作製したモルタル供試体の防水層塗布面を陰極側、その裏面を陽極とし、水溶液を入れるセル(容量:10)を取り付けたものを 1 セットとした。通電時、陰極側セルには海水に相当する NaCl 水溶液(0.5mol/l)、陽極側セルにはコンクリート中の細孔溶液に相当する NaOH 水溶液(0.3mol/l)でそれぞれ満たした。これに、20V で印加し、3,7,14,21,28 日毎に、陽極側のセルから溶液を採取し、CI⁻濃度の経時変化を測定した。

2.3 実験結果

電気泳動試験の結果を図 2 に示す。防水層を施工する事で、単位時間当たりの CI⁻の透過量は大幅に低下し、防水層の高い CI⁻の浸入抑制効果が認められた。しかし下地にひび割れが発生した場合には、急激に CI⁻の透過量が増大し、ひび割れ幅の大きさに比例して CI⁻抑制効果が低下する傾向が見られた。

3. シミュレーションによる防水層下の下地ひび割れ部の CI⁻濃度分布予測

3.1 シミュレーションの概要

下地にひび割れが発生した場合、CI⁻が透過するという先の実験の結果は、ひび割れ直上の防水層が引き伸ばされる事によって、防水層の CI⁻の遮断性能が低下したためと推定される。この状態を想定し、図 3

表1 モルタル供試体の調合

| 供試体 | W/C (%) | 単位量(kg/m ³) | | | フロー (cm) | 圧縮強度 (N/mm ²) |
|------|---------|-------------------------|--------|-------|----------|---------------------------|
| | | 水*1 | セメント*2 | 細骨材*3 | | |
| モルタル | 60 | 288 | 480 | 1439 | 19.3 | 46.9 |

*1:水道水 *2:普通ポルトランドセメント(3.16g/cm³)

*3:徳島県鳴門市撫養町細砂(密度2.56g/cm³)

表2 防水層の基本的な力学的性質

| 防水層の種類 | 100%モジュラス (N/mm ²) | 破断時強度 (N/mm ²) | 破断時伸び率(%) |
|--------------|--------------------------------|----------------------------|-----------|
| アクリルゴム系塗膜防水層 | 14 | 1.8 | 250 |

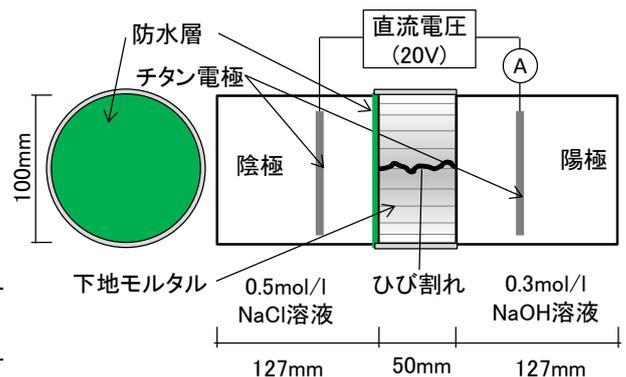


図1 電気泳動試験装置

に示すモデルを用いて、塩害環境下へ10年間暴露を想定した、下地モルタル中のCl⁻濃度予測を行った。

3.2 下地モルタル及び仕上げ材料の拡散係数

先の検討結果から、下地モルタル中及び防水層の拡散係数を求めた。なお、下地モルタル及び防水層中をCl⁻は式(1)に示すNernst-Planckの流束方程式に従って移動するものとし、差分法を用いて解いた。計算結果より下地モルタル中への拡散係数は $4.33 \times 10^{-6} \text{mm}^2/\text{sec}$ となった。また下地ひび割れが発生した場合の防水層の拡散係数を図4に示す。

$$J_{cl} = D_{cl} \left(\frac{dC(x)}{dx} - c(x) \frac{zF}{RT} \frac{d\phi(x)}{dx} \right) \quad \dots (1)$$

ここで、 J_{cl} : 流束 (mol/cm²/s)、 D_{cl} : 拡散係数 (cm²/s)、 C : Cl⁻ (mol/cm³)、 z : イオン価、 F : ファラデー定数(C/mol)、 R : 気体定数 (J/K/mol)、 T : 温度 (K)、 ϕ : 電位 (V)

3.3 予測結果

暴露期間10年中の下地モルタル中のCl⁻の浸透予測を行った結果を図5に示す。防水層のCl⁻抑制効果は高く、既往の実験結果が示すように防水層の一般的な寿命となるおよそ10年間程度であれば鉄筋の発錆限界(1.2kg/m³)に達しておらずCl⁻の浸入を抑制し、塩害対策に有用であると言える。しかし、下地にひび割れが発生すると数年で鉄筋の発錆限界に達すると予想された。

4. 結論

健全なコンクリートの部分においては、防水層は高いCl⁻の浸入抑制効果を有するものの、下地にひび割れが発生した場合、下地ひび割れ幅に比例してCl⁻の浸入抑制効果が低下する。このため、一般部に比べ、下地ひび割れ近傍部では、塩害による鉄筋腐食が早期に進行する危険性がある。

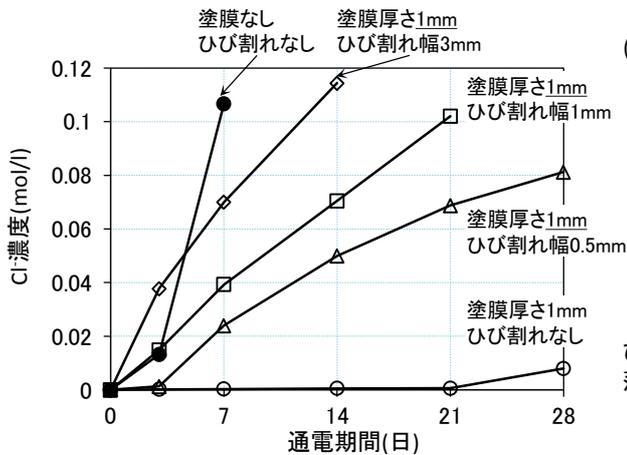


図2 陽極側のCl⁻濃度の経時変化の測定結果

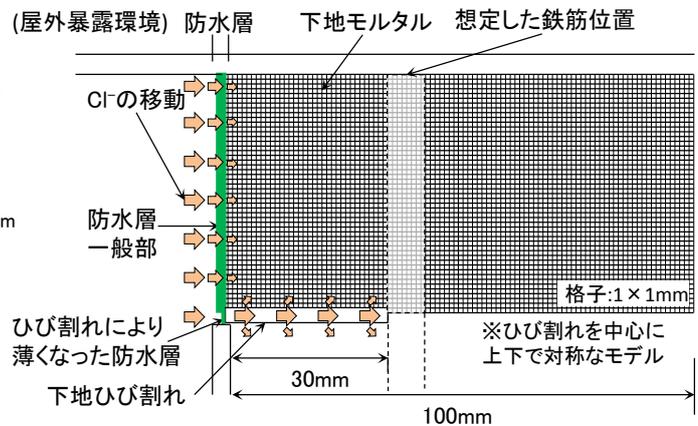


図3 Cl⁻浸入シミュレーションモデル図

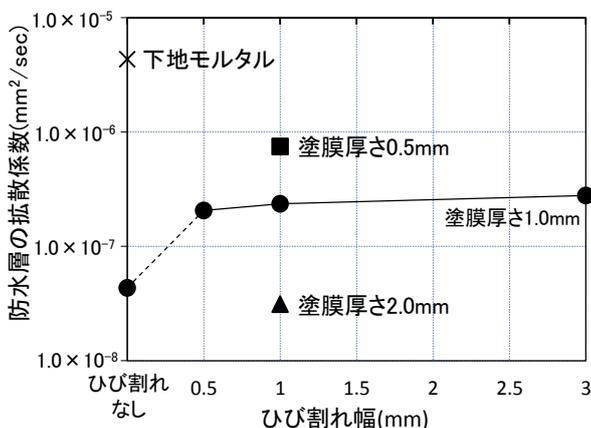


図4 防水層の拡散係数

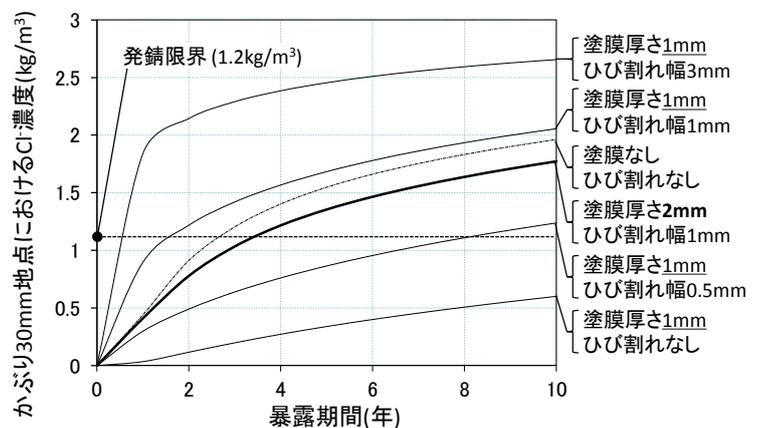


図5 仕上材のCl⁻浸透抑制効果に及ぼす下地ひび割れの影響