

## 論文

## [1086] コンクリート用浸透剤の塩化物遮蔽効果

正会員○星野富夫（東京大学生産技術研究所）

正会員 小林一輔（東京大学生産技術研究所）

## 1. はしがき

近年、コンクリート中への水分または塩化物などの侵入を防止するための方法として、コンクリート表層部に合成高分子材料を含浸させて劣化因子の遮蔽層を形成させる方法が開発され、既に試験施工も行われている。しかし、長期にわたる暴露試験結果に基づいて塩化物の遮蔽効果を明らかにした報告は未だ公表されていない。本文は、市販の2種のコンクリート用浸透剤を適用した小型鉄筋コンクリート梁を5年間にわたり海洋飛沫帯に暴露した後、塩化物の遮蔽効果や鉄筋の腐食状態などを調べた結果をとりまとめたものである。

## 2. 実験方法

## 2.1 使用した浸透剤の性質

高級脂肪酸系とアクリルモノマー系の2種を使用した。前者は、高級脂肪酸を主体とするものであるが、組成の約70%が溶剤および希釈剤であって、比重が0.91、粘度が20~30cP、表面張力が20℃で30dyne/cm<sup>2</sup>である。後者はメタアクリル酸にエチレングリコール等を付加した反応性モノマーであり、比重は1.01、粘度が6cP、表面張力が20℃で38dyne/cm<sup>2</sup>である。

## 2.2 コンクリートの配合と使用材料

小型鉄筋コンクリート梁の作製に用いたコンクリートは、水セメント比が40%, s/aが44%であり、単位セメント量が475kg/m<sup>3</sup>というプレストレストコンクリート用の富配合のコンクリートである。セメントは、比重が3.15で粉末度3320cm<sup>2</sup>/gの普通ポルトランドセメントを用い、細骨材は川砂（比重2.64, 吸水率0.15%, F.M. 3.17）を、粗骨材は最大寸法が13mmの碎石（比重2.71, 吸水率0.47%）を使用した。これらは何れも砂岩である。鉄筋はφ10mmの異形鉄筋（高炉品）を使用した。

## 2.3 供試体の作製と浸透剤の塗布

供試体は10×10×40cmの角柱体であって、図-1に示すような位置（かぶり：2cm）に長さ36cmの鉄筋を2本埋め込んだものを用いた。浸透剤の塗布は、コンクリートを打ち込んだ後、水中養生を1週間行い、その後2日間大気中に放置した供試体に行った。比較検討のために、塗布を行わない供試体（以下、無処理供試体と称す）も作製し、暴露試験に供した。

塗布の方法は、それぞれの浸透剤について3種の方法で行った。すなわち、実際のコンクリート構造物の施工条件を考慮して図-2に示すように、供試体の6

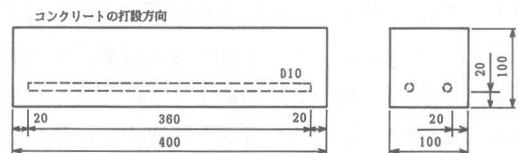


図-1 暴露供試体の形状と寸法（単位mm）

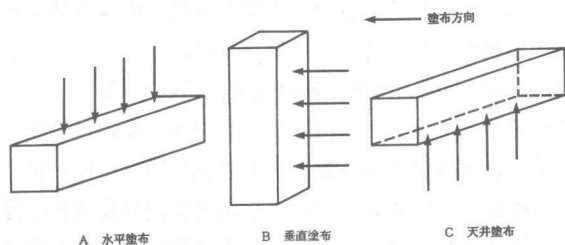


図-2 浸透剤の塗布方法

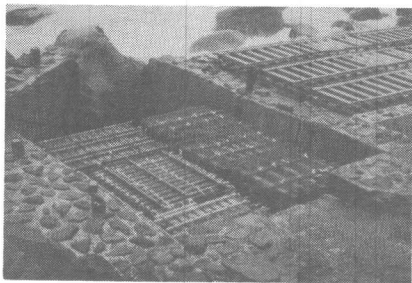


写真-1 暴露試験場

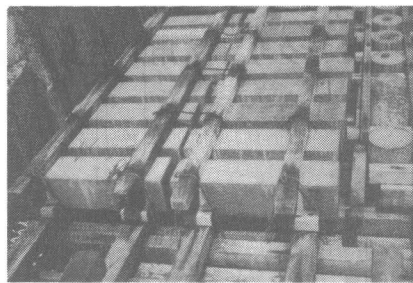


写真-2 暴露中の供試体

つの各面をそれぞれ水平にして上部から塗布する方法（以下、水平塗布と称す）、6つの面をそれぞれ鉛直とした状態で塗布する方法（以下、垂直塗布と称す）、6つの面をそれぞれ水平にして下部から塗布する方法（以下、天井塗布と称す）である。塗布の回数は、高級脂肪酸系の浸透剤での水平塗布方法では1回、垂直塗布および天井塗布では2回行った。また、アクリルモノマー系の浸透剤では何れの塗布方法の場合にも塗布回数は2回とし、フッ素化樹脂系の撥水剤の上塗りを行った。これらの塗布は各メーカーの技術者が行った。

#### 2.4 海洋暴露試験

塗布を終了して1週間後に、伊豆の東海岸における海洋飛沫帯に設置された海洋暴露試験場において暴露を開始した。この場所は満潮時には波で洗われ、干潮時にも海水飛沫を受けるきわめて厳しい腐食環境下であって、JCI-SC7「コンクリート供試体の暴露試験場の環境区分に関する基準」における環境区分Aに該当する環境であって（写真-1）、供試体は最高潮位から約20cm程度の位置に写真-2に示すように固定したものである。5年間の海洋暴露を行った後研究室に運び込み、浸透剤の塩化物遮蔽効果を調べるための一連の試験を実施した。暴露3年時点でも観察を行ったが、無処理の供試体をはじめ何れの含浸処理を施した供試体においても鉄筋の腐食は、全く認められなかった。

#### 2.5 塩化物の浸透状況と鉄筋腐食の試験方法

供試体中への塩化物の浸透状況を調べるために、図-3に示すような部分から試料を切り出し図-4に示すような全断面についてのEPMAによる塩素の面分析を行った。また、塩化物の分析は、化学分析によっても調べた。化学分析の試料は、EPMAの試料採取位置付近から図-5に示すように切り出したものを振動ミルで微粉碎した後、JCI基準案

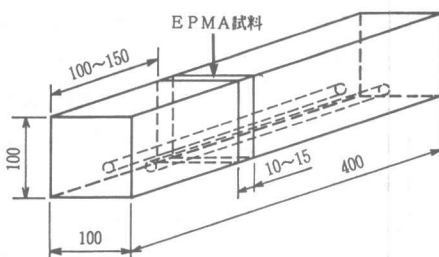


図-3 EPMA試料の切り出し (単位mm)

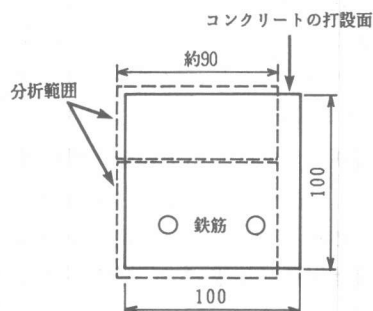


図-4 EPMAによる面分析の範囲 (単位mm)

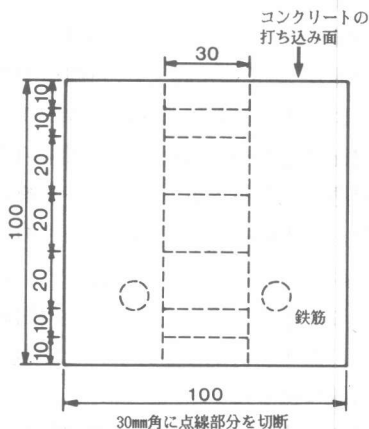


図-5 塩分分析試料の採取方法 (単位mm)

「硬化コンクリート中に含まれる塩分の分析方法」に規定されている電位差滴定によって全塩素量を測定したものである。

鉄筋の腐食状況は、供試体を割裂し鉄筋の腐食位置をスケッチするとともに鉄筋の腐食部分をトレースし、画像解析装置によって腐食面積を測定し、腐食面積率を求めた。この際の基準となる鉄筋長は、中心部分の 30 cm とした。

## 2.6 重量測定

暴露環境下における含浸剤の劣化の程度を調べる為の一つとして、暴露開始前と暴露終了時点での重量の測定を行った。

## 3. 結果と考察

5 年間の海洋暴露期間を通じて、以上の供試体は含浸処理の有無に拘らず重量変化はほとんど認められなかった。写真-3～5 は、無処理および垂直塗布方法で処理を行った供試体の断面における塩素の分布状態を、EPMMA による面分析によって調べた結果である。塩素の X 線強度はそれぞれの写真の右側に示すように、黒から白までを 16 段階の濃淡に分けて示しており、黒→白の順に元素濃度が高くなっていることを意味している。写真-3 の無処理供試体での塩素は、ほとんど中心部近くまで浸透しているのに対して、写真-4 および写真-5 の含浸処理を行った供試体では塩素の浸透が相対的に少なく、含浸処理の効果が認められる。しかし、写真-4 および写真-5 の下半部のマッピング像からも明らかなように、塩素は鉄筋付近まで到達しており、含浸処理を行

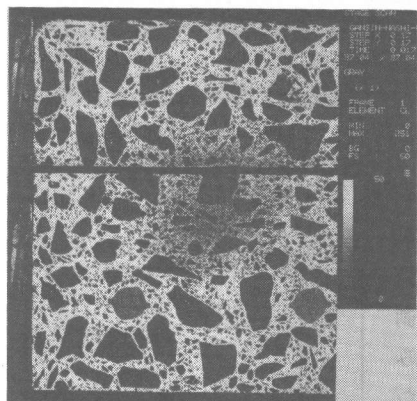


写真-3 無処理供試体の断面における塩素の浸透状態

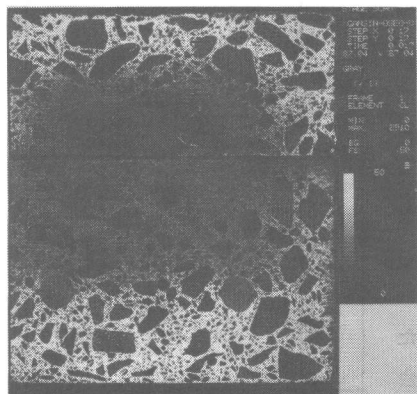


写真-4 高級脂肪酸系の浸透剤を垂直塗布方法によって含浸させたコンクリート断面における塩素の浸透状態

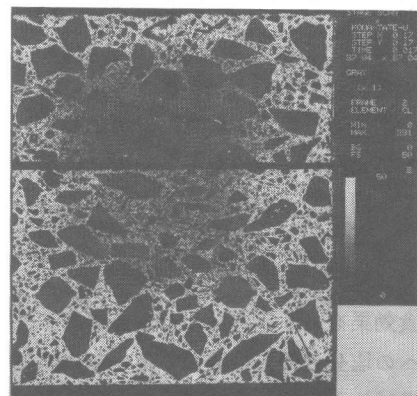


写真-5 アクリルモノマー系の浸透剤を垂直塗布方法によって含浸させたコンクリート断面における塩素の浸透状態

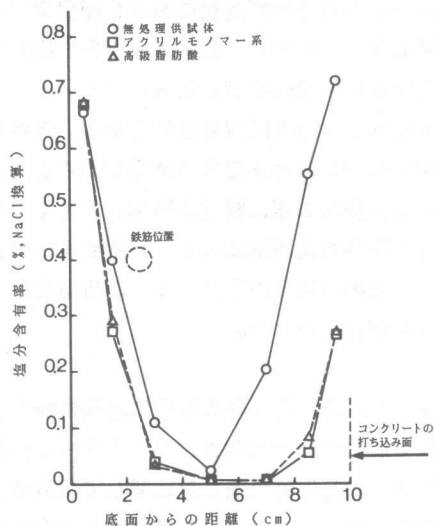
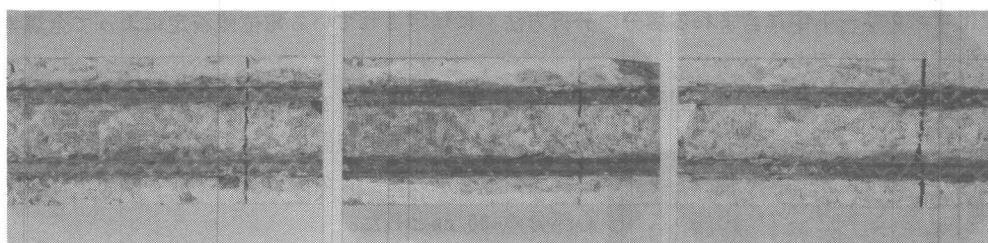


図-6 コンクリート中への塩分の浸透

った供試体中の鉄筋腐食が始まっていることを示唆している。この時点では、含浸処理が海洋環境下においてコンクリート中の鉄筋の塩分腐食を十分に防止する効果があるとは考えられない。図-6 は、



(a) 無処理供試体

(b) アクリルモノマー系  
垂直塗布

(c) 高級脂肪酸系  
垂直塗布

写真-6 暴露供試体中の鉄筋の腐食状態（海洋暴露5年）

各々写真-3～5に該当する部分の塩素濃度の化学分析結果である。この図をみるとEPMAによる面分析結果と良く対応していることがわかり、無処理供試体では鉄筋のかぶり側を上面にして暴露したにも拘らず、コンクリートの打ち込み面方向からの塩化物の浸透が鉄筋のかぶり側方向（以下、かぶり側と称す）よりも大きくしかも深部まで塩化物の浸透が認められる。一方、含浸塗布の処理を施したもののかぶり側からの塩化物の浸透は、何れの浸透剤を用いた場合にも同様な傾向を示し、無処理供試体の場合に近い値を示すとともに、鉄筋位置では腐食の発生に十分な塩化物の浸透が認められた。また、含浸処理の場合の打ち込み面方向からの塩化物の浸透が抑制されているのは、この種の含浸剤は比較的ポーラスなコンクリートにおいては浸透効果が良好であることから、この場合にもその傾向が現れたものと思われる。

写真-6は、無処理供試体と水平塗布の含浸処理を施した供試体中の鉄筋の腐食状況を示したものである。何れの場合にも腐食が認められ、これらの腐食状態を腐食面積率で表したものが図-7である。この図は、供試体より取り出した2本の鉄筋の腐食面積率の平均値を示したものであって、無処理の供試体の場合には2本の供試体の結果である。何れの供試体においても腐食が認められ含浸剤の種類別にみると、アクリルモノマー系の場合には、水平塗布→垂直塗布→天井塗布の順に腐食面積率が大きくなり、塗布方法による防食効果が認められる。一方、高級脂肪酸系の含浸剤による、水平塗布の場合の腐食面積率の値が著しく大きな値を示しているが、この塗布の場合のみメーカーが自信を持って一回の塗布を行ったものであるが、結果として防食効果が損なわれた。

#### 4. 結び

市販のコンクリート用浸透剤2種の塩化物遮蔽性能と防食効果を、5年間にわたる海洋飛沫帯における暴露試験を通じて調べた結果、コンクリート内部への塩分の侵入に関しては一応の効果は認められるものの、鉄筋近傍の塩分量に関しては無処理供試体と比較して差異が認められず、実際の海洋環境下におけるコンクリート構造物の防食の観点から考え、これらでは、長期にわたってコンクリート中への塩化物の浸透を防止することが期待できないと言える。

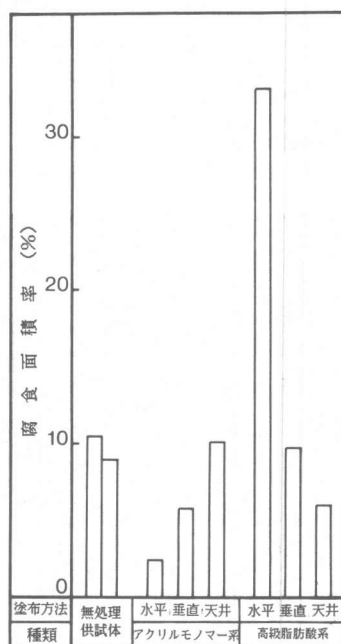


図-7 鉄筋の腐食面積率  
（海洋暴露5年）