

## 論 文

## [1082] 塗膜によるRC構造物の保護について

正会員 ○大城 武（琉球大学工学部）

正会員 谷川 伸（東亜合成化学工業研究所）

## 1. まえがき

本研究は、亜熱帯海洋性気候下の沖縄県において、海岸に隣接して設置した暴露構造物を対象に、その劣化の過程を解明することを目的としている。本暴露構造物は1984年9月に完成したもので、これまでの研究成果は参考文献1)～3)に報告している。ここでは1989年12月に行った試験を基に、過去の研究成果を加えて、5年3ヵ月間にわたる経年変化の過程を、塩分濃度分布、自然電位、腐食面積率、及び塗膜の付着力等の試験結果について記述している。

## 2. 試験概要

本試験のため、沖縄県本部町備瀬崎に図-1、写真-1に示す暴露構造物を設置している。設置位置は、沖縄本島北部の本部半島の最先端にあり、三面を海に囲まれ、常時海塩粒子の影響をうけ、強風時には直接波しづきが柱の下部にかかることがある。さらに、亜熱帯性気候の気象条件は厳しい環境条件となっている。

コンクリートは、普通ポルトランドセメントを用い、水セメント比63%，スランプ18cm,  $F_c=210$  kgf/cm<sup>2</sup>，空気量4%であり、一般的な建築用の調合である。かぶり厚は一律4cmとしているが、スラブの下面のみ3cmを採用している。また、構造物の東側半分には、コンクリート重量に換算して0.5%の塩分(NaCl)を練り混ぜ水に溶解して初期混入し、この部分を有塩部と称している。さらに海側の部分には、アクリルゴム系の塗膜を施しており、この部分を塗膜部と称している。

梁及び柱からコアを採取し、スライス及び碎破を行って試料を作り、銀イオン選択性電極を用いた電位差滴定法で可溶性塩分濃度を測定し、コンクリート重量に対する重量比(%)で表している。

自然電位の測定には銅-硫酸銅電極(CSE)を用い、また、腐食面積は腐食部分をマイラー紙にトレースし、その面積を自動面積計プラニメックスで測定し腐食面積率を計算している。

## 3. 試験結果

## 3.1 塩分濃度分布状況

梁及び柱の可溶性塩分濃度の測定結果を図-2～4に示している。無塩部の梁の塩分濃度分布を図-2に示し、暴露期間2年3ヵ月と5年3ヵ月の測定結果を比較をしている。コア採取位置は図-1に示しているが、無塩部の梁11と15が北側に位置し、最も海側に隣接した塗膜部である。また、梁12と16は南側で陸側に位置し、無塗膜部である。

塗膜部の梁15の表面近くの塩分濃度は

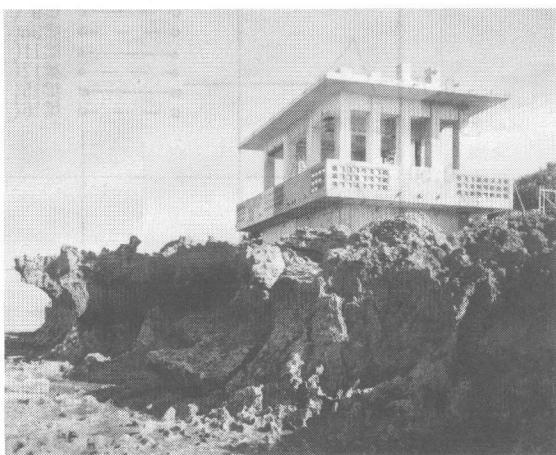


写真-1 暴露構造物の外観

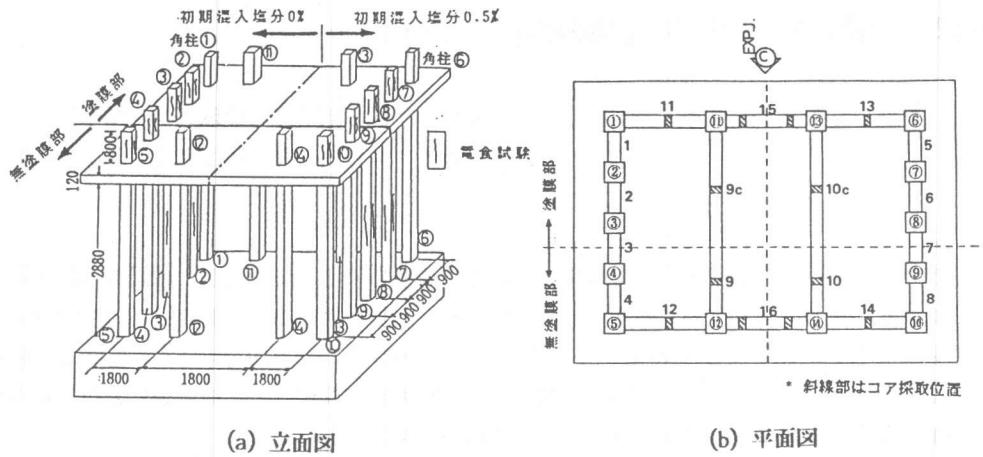


図-1 構造物の寸法諸元及び要因

塗膜施工前の3ヵ月間に侵入したもので、3年経過後の梁11の塩分濃度は表面近くで減少し、内部深く浸透している。このことから塩分濃度の平均化の傾向を示唆している。無塗膜部の梁16と12の比較は、海側（北面）及び陸側面（南面）共に塩分濃度の増加を示しているが、特に海側面において著しいことがわかる。このことは外部環境の影響を強く表している。また、塗膜及び無塗膜部の梁11と12の塩分濃度を比較すると絶対量で大きな差があり、塗膜による遮塩効果を確認することができる。

南北方向の無塗膜部の梁9及び9Cから東西に各々1本のコアを採取し、試験結果を塗膜及び無塗膜部について図-2に示している。無塗膜部の梁9は、東面が西面の塩分濃度より大きくなっている。これらの結果から、塩分濃度は北（海側）、東（海側）、西（海側）、南（陸側）の順に少なくなっており、外的塩分環境との対応が表れている。

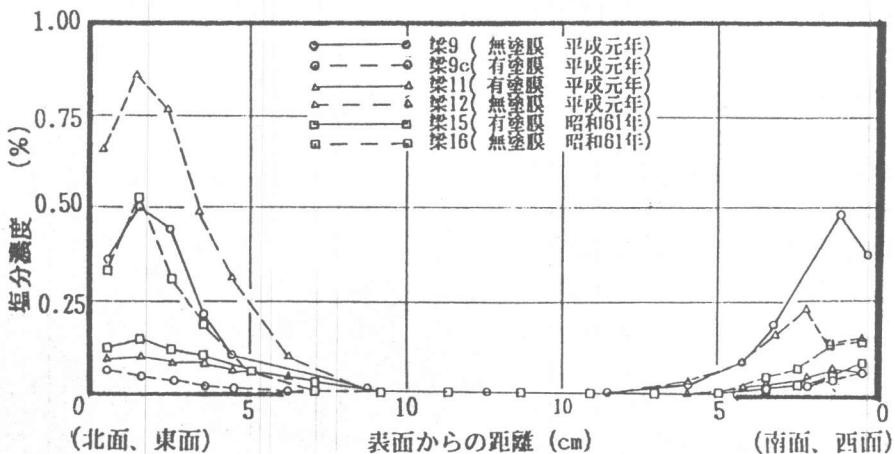


図-2 塩分濃度分布図（無塗膜部）

有塩部の梁の塩分濃度を図-3に示している。無塗膜部の梁14と16を比較すると、3年経過に伴って海側（北面）及び陸側面（南面）共に外部から著しい塩分浸透が表れている。南北方向の無塗膜部の梁10の塩分濃度分布は、無塩無塗膜部の場合と同様に、東面が西面よりも大きく、東側で海塩粒子の付着が大きいことを表している。

塗膜部の梁13と15の比較では、外部からの塩分供給が塗膜施工後に阻止されているため、表面近くで塩分濃度の増加は見られない。しかし、内部塩分が表面へ移動する現象のため、表面近くで増加する傾向にある。この様に、有塩部については塗膜及び無塗膜部共に表面近くで塩分濃度の増加があり、このことが鉄筋腐食の主要因となり腐食はさけられない。

無塩部の柱の塩分濃度の経時変化を、塗膜及び無塗膜部について図-4に示している。無塗膜部の柱は、暴露期間5年3ヶ月の柱4(1-3面)及び柱12(2-4面)、4年3ヶ月の角柱12を同図に示している。これらの柱では、北及び東に面する1面及び2面の塩分濃度が他に比較して大きくなっている。塗

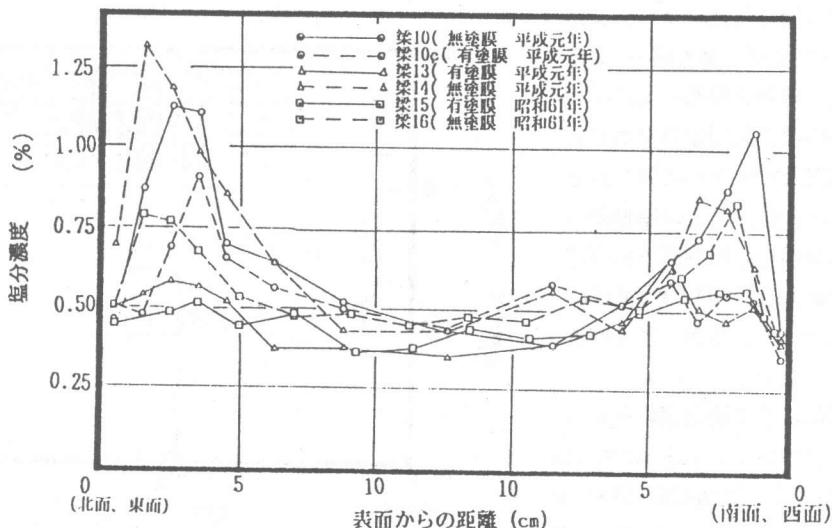


図-3 塩分濃度分布図（有塩部）

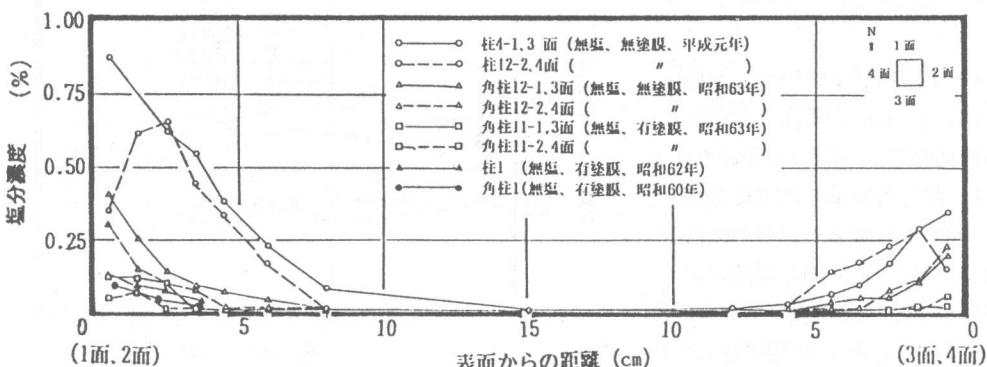


図-4 塩分濃度分布図（無塩部）

膜部の柱は、4年3ヶ月時の角柱11(1-3面, 2-4面)、3年3ヶ月の柱1、及び1年3ヶ月時の角柱1(1面)を示している。これらを比較すると、3年の期間においても塗膜の遮塞性のため塩分濃度は増加していない。また、角柱11には、面ごとの差が表れてなく、外部からの塩分浸透量の少ないことがわかる。ここで、表面近くの塩分濃度は、梁の場合と同様に、塗膜施工以前の3ヶ月間に浸透した塩分と考えられる。これらの分布状況から塗膜による遮塞性の効果が明らかになっている。

有塩部の柱の塩分濃度の測定も行っている。無塗膜部の場合、外部からの塩分侵入の量は大きく、表面近くで1%に達している。また、分布状況は図-3の梁の場合と同様である。ここでは、塗膜及び無塗膜部のいずれの場合も、梁の場合と同様に表面への内部塩分の移動の現象が表れている。

### 3.2 自然電位測定結果

自然電位測定結果を、1984年12月（初期値）から5年間の経時変化として図5～7に示している。

無塩部の梁11と12について、初期値と5年経過後の値を図-5に示している。無塗膜部の梁11は、海側と陸側面の初期値の平均に対して、両面共に実質的に同じ値を表している。しかし、無塗無塗膜部の梁12の場合、海側面では初期値の平均に対し5年間で平均100mVと卑へ移行しているが、陸側面では移行が少ない。

無塗膜部の柱の測定値の平均の経時変化について、無塩部の柱4の結果を図-6に、有塩部の柱10を図-7に示している。無塩部の柱4に表れている様に、平均値は経時に卑へ移行している。これに対応して腐食環境が悪化していることを表している。

有塩部の柱10について、初期値で-400～-450mVの範囲に分布し、3年経過時では-450～-500mVの値となり、経時的な電位の変化はない。この傾向は有塩部の代表的な性状を表している。鉄筋の発錆によるクラックが1年後に現れており、3年経過時で最大3mmの幅に達していた。この時点できぶりのコンクリートを除去し、鉄筋に防錆剤を塗

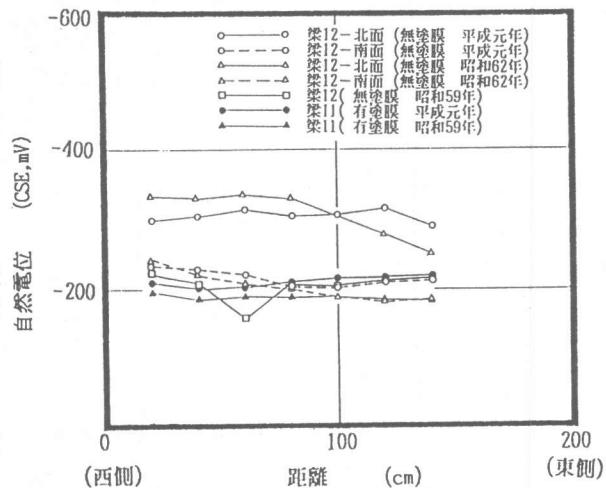


図-5 自然電位の経年変化（無塩部梁11,12）

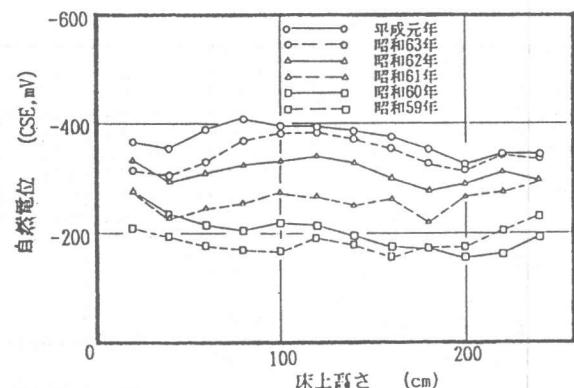


図-6 自然電位の経年変化（無塩無塗膜柱4）

布し、ポリマーセメントグラウト剤を圧力注入したプレパクトコンクリートで断面修復を行っている。その結果、4年後の自然電位は-200mV前後まで貴に移行し、5年後では前年より40mVとわずかに卑に移行している。修復後に自然電位が貴へ移行する傾向は無塩部の柱5についても表れている。柱5については、3年経過時に柱の一部をプレパクトコンクリートで補修を行っているが、補修前に-350mVに移行していた自然電位は、補修後には-180mVと貴に移行しており補修の効果が表れている。

### 3.3 腐食面積率

鉄筋の腐食面積率を梁及び柱について求め、図-8に示している。図中の無塗膜部の梁は、軽微な点錆だけが発生し、腐食面積の測定は不可能で0%となっている。南北方向の無塗膜部の梁は、東側面に28%の腐食面積率、西側面は0%である。無塗膜部の梁については、北側の海側面に25%の腐食面積率が表れているが、陸側面には腐食は認められない。この腐食の傾向は塩分濃度及び自然電位の分布状況とも対応している。

有塗膜部の梁は、全体的に腐食が進行しており、塗膜部で60~70%を示し、無塗膜部では86%の腐食面積率となっている。この腐食に起因するクラックは、無塗膜部で最大幅5mmに達しているのに対し、塗膜部では最大幅1mmと小さなものである。この様に、塗膜の効果は腐食面積よりも腐食量に大きく表れている。

柱についてもかぶりを除去し、腐食面積率を求めている<sup>3)</sup>。無塗膜部の柱1、角柱11の腐食面積率は、無塗膜部の柱5、角柱12に比較して小さく、塗膜による遮塩効果を明かに示している。この傾向は有塗膜部の角柱6及び角柱13についても表れている。

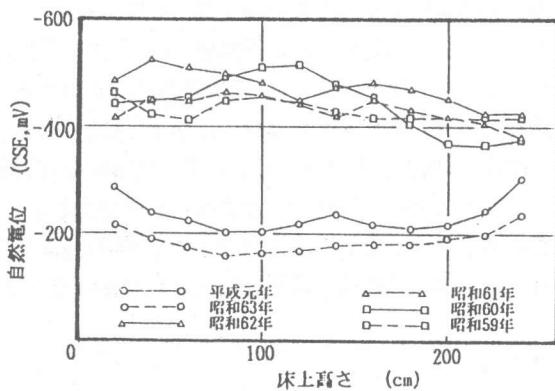


図-7 自然電位の経年変化（有塩無塗膜柱10）

	無塗膜部			有塗膜部		
有塗膜	1	0 %	11	70 %	6	N ↑
無塗膜	5	25 %	12	86 %	10	
	0 %	0 %	0 %	60 %	86 %	
	0 %	28 %	0 %	60 %	86 %	
	0 %	0 %	0 %	70 %	86 %	

図-8 梁の腐食面積率

### 3.4 付着力測定結果

塗膜の軸体に対する付着力の経年変化を調べるために、柱及び梁の14箇所の位置で付着力試験を行っている。その測定結果は、平均値 $17\text{kgf}/\text{cm}^2$ 、最低 $12\text{kgf}/\text{cm}^2$ となっており、JIS A 6910の規定値 $7\text{kgf}/\text{cm}^2$ を大きく上まわり、5年経過後においても付着力に低下が無いことが認められた。

使用したアクリルゴム系塗膜材の化学組成は、2エチルヘキシルアクリレートを主成分（ゴム組成中の90重量%以上を占める）とし、弹性塗膜中のゴム量は54重量%で、他の46重量%は無機系骨材より構成されており、可塑剤を含まないものである。

塗膜の耐久性は、厳しい塩害環境下での5年暴露後も弹性は指触により十分感じられ、ふくれ、剝がれ、ワレ等の外観的な異常も認められず良好であった。

## 4.まとめ

(1) 無塩塗膜部では、5年3ヶ月の暴露期間においても塩分濃度に増加はなく、塗膜の遮塩性が立証できる。また、塗膜施工前の浸透塩分量は施工後平均化される傾向にある。無塩無塗膜部は、外部環境に対応して浸透塩分量が多く、特に海側面においては著しい。このことは、鉄筋コンクリート構造物の耐久性設計において、遮塩対策の必要性を示唆している。

有塩塗膜部では、外部からの塩分の侵入は阻止されているが、内部の初期混入塩分が表面方向へ移動する現象が見られ、表面近くで塩分濃度が増加している。また、有塩無塗膜部においては、海側面の塩分濃度が1%にも達し、内部への浸透も著しい。さらに、内部塩分の表面への移動現象も加わり、高濃度の塩分がかぶり部に集中している。このことが鉄筋腐食の主原因となっている。

(2) 梁及び柱の自然電位は、無塩塗膜部では経年に大きな変化は認められないが、無塩無塗膜部においては卑に移行している。有塩部は初期値で $-400\text{mV}$ ～ $-500\text{mV}$ になり、その後は大きく変化しない。これらの自然電位の測定結果は鉄筋の腐食面積率と対応し、非破壊試験法としての有効性を示している。

(3) 柱の補修後では、有塩及び無塩部共に自然電位は貴へ移行し、腐食環境の向上がみられる。

(4) 本試験で用いているアクリルゴム系の塗膜は、腐食要因の塩分、水及び酸素等の侵入を阻止する効果を示し、腐食面積率が減少している。これらのことから塗膜による鉄筋コンクリート構造物の保護効果を確認できる。

## 参考文献

- 1) 大城 武、他3名：コンクリート中への塩素イオンの浸透に関する実験的及び解析的研究、コンクリート工学年次論文報告集 9-1、1987、PP369～PP374.
- 2) 大城 武、他2名：鉄筋コンクリート構造物の暴露実験、コンクリート工学年次論文報告集 10-2、1988、PP547～PP552.
- 3) 大城 武、谷川 伸：塩害による鋼材腐食に関する暴露実験、コンクリート工学年次論文報告集 11-1、1989、PP569～PP574.