

## 第22回インターガルバ国際会議論文集(その4)

### (7) コンクリート構造物中の 亜鉛めっき鉄筋のモニタリング スペインの事例

C Alonso, I Martinez and J Fullea (Eduardo Torroja 建築科学協会, スペイン)  
および V Ibarra (Generalitat Valenciana スペイン公共建物協会, スペイン)

翻訳: 鉛亜鉛需要開発センター

#### (要約)

コンクリート構造物に対する耐久性が高まるにつれ、業界は、構成材、コンクリート、あるいは、建築システムの革新的技術の開発に挑戦してきた。耐用年数のより正確な予測を可能にする評価方法、および、より耐久性のある構造物も必要とされている。

コンクリート構造物の設計におけるこのニューウェーブは、機械的必要条件ばかりでなく、耐久性に対しても、防食に対する有望な方法としての溶融亜鉛めっき鉄筋の機会を提供する。30年以上の好ましい結果の実績はあるけれども、施主および使用者の両者が溶融亜鉛めっき鉄筋を使用することについての信頼を保証する集中的な活動が必要である。

充実が必要なひとつの側面は、溶融亜鉛めっき鉄筋を使用して建設された既存の構造物の腐食性能における現場実績の普及とそれに対する信頼である。溶融亜鉛めっき鉄筋を使用している構造物に対して、定期的に追跡調査はされておらず、いくつかのモニタリング方法があるけれども、公表された情報はおもに、目視観察、鉄筋位置での塩化物含有量、および、いくつかのケースでは、残

存している溶融亜鉛めっき被膜の冶金学的分析のような要因の解析に焦点を合わせている。しかし、現場での溶融亜鉛めっき鉄筋の腐食性能モニタリングに関する情報が不足している

本論文では、スペイン、バレンシアの海洋環境に位置する2つの構造物中の溶融亜鉛めっき鉄筋の現場での腐食モニタリングについて報告する。水素発生期間、溶融亜鉛めっき鋼の不動態化、および、腐食性能について、現場での非破壊、電気化学的テクニック、および、それら構造物中の特定の場所に位置するセンサーを使用して周期的に解析する。腐食電位の連続的モニタリングもいくつかのケースについておこなう。

#### (溶融亜鉛めっき鉄筋)

鉄筋コンクリートは、相対的に低コストであり、多様な構造物への適用に適したエンジニアリング特性、また、異なる複雑な形状への適合することがシンプルなため、建設にもっとも広範に使用されている材料である。しかし、鉄筋の腐食は、コンクリート構造物の耐久性を減少させている最も一般的な理由である。

鉄筋の耐久性については、その必要条件が増しつつあり、標準規格、および、建築法で考慮され

つつある。特に、EN-206〔1〕では、暴露環境に関連して、すべての等級のコンクリートに対して組成の範囲と相当する性能について規定している。さらに、耐久性コンクリートは、水：セメント比（ $w:c$ ）に関する最小値、最小のコンクリートカバー、および、最少量のセメントのものでなければならない。合わせて、すべてが $R_{ck}$ （圧縮強度）として測定される機械的要件を満たさなければならない。

EN-206では、多くの建物の通常の耐久性に関して、良好なコンクリート品質は満足いくものであると述べている。このことは、環境の過酷さに応じて、適正な $w:c$ 比と最小コンクリートカバーの選択が必要なることを意味している。約50年の耐用年数に対しては、 $w:c=0.45$ が推奨される。合わせて、炭酸化、および／あるいは、海洋環境あるいは凍結防止塩からの塩化物の浸透によって引き起こされる鉄筋の腐食を避けるために、約20-50mmのコンクリートカバーが推奨される。

大変苛酷な環境における、より長期の耐用年数に関しては、低 $w:c$ 比（ $<0.45$ ）やコンクリートカバーを厚くしても十分ではなく、暴露中に起きる収縮や熱膨張によって引き起こされる微小割れ、あるいは、静的、動的応力のような他の要因が関連してくる。これらのケースでは、長期間の耐久性は、厚いコンクリートカバーの構造物に関してさえ、達成することは困難である。付け加えると、すべての構造上の幾何学が、他の機械的要件を犠牲にすることなく、そのような大変な深さまでコンクリートカバーを厚くする技術的可能性を提供するとは限らない。

そのような状況の中で、苛酷な環境に暴露されたコンクリート構造物への溶融亜鉛めっき鉄筋の使用は、その高まった耐食性のおかげで、構造物の耐久性の延長に寄与し、高い修繕費を減少させるであろう。

亜鉛めっき鉄筋の仕様要件を含む、材料の選択

について建設業者や施主にアドバイスするための標準規格類、たとえば、ASTM A 767/A 767M-85〔2〕、ANNOR, 1992〔3〕、UNI, 1997〔4〕、pr EN TC19/SC1WG5〔5〕、などが整備されてきた。さらに、最近の建築法は、過酷な環境下での防食のためのさらなる防食方法として鉄筋の溶融亜鉛めっきを含んでいる〔6, 7〕。

しかし、コンクリート構造物向け亜鉛めっき鉄筋は、いくつかの理由のため広範に使用されていない。それらには、高アルカリセメントとの適合性についての不確かさを含む。すなわち、亜鉛めっき鉄筋とコンクリートの初期の結合力に影響を及ぼすかもしれない硬化中の亜鉛／コンクリート界面での水素発生。亜鉛めっき鉄筋の曲げ加工中の亜鉛めっき被膜の剥離の可能性。そして、無垢の鉄筋よりもコストが高いことなどである。

これらの疑惑は、一般に、コンクリート中の鉄筋の特性とその挙動に対する不適切な知識、および、亜鉛めっきされる鋼の種類、亜鉛めっきの条件、コンクリートの種類、および、構造要素の幾何学など、使用される材料の不適切な管理からも生じる〔8-23〕。

コンクリートカバー中の塩化物や炭酸化の存在下でのコンクリート中のようなアルカリ環境における亜鉛めっき鉄筋とコンクリート間の相互作用、および、その耐食性を主に扱う系統的な研究がこれまでおこなわれてきた。

しかし、文字どおり、コンクリートの種類や暴露条件に依存して変化する亜鉛めっき鉄筋を使用して作った鉄筋コンクリート部品の寿命が延びることについて論争がある。このことが、この防食方法のより大量使用を妨げている。

亜鉛めっき鉄筋に関するこれらの論争経験は、何人かの研究者がコンクリート中の亜鉛めっき鉄筋の挙動に関する基礎研究をおこなう動機となった。何年かの研究の結果、亜鉛めっき鉄筋とコン

クリート間の相互作用メカニズムの理解につながった。亜鉛めっき鉄筋表面を次第に覆うカルシウム-ヒドロキシジンケートの連続した層が生成し、コンクリートのアルカリ環境中で亜鉛めっき鉄筋のさらなる腐食に対して抵抗力のある不動態バリアを形成することが立証された〔12-19〕。その保護層は緻密で、連続していなければならない、残っている亜鉛めっき被膜は、塩化物が誘発する孔食に抵抗する十分な厚さでなければならない。

コンクリート中の亜鉛めっき鉄筋の腐食挙動に影響を与える主な要因が特定されてきた。それらは、セメントアルカリ含有量、めっき被膜のマイクロ組織、コンクリートの微細孔を充填している水分量、そして、塩化物濃度である〔13, 16, 18〕。これらの著者の結論は、亜鉛めっき鉄筋は、炭酸化したコンクリート中で良好な耐食性があり、無垢な鋼よりも塩化物アタックに対して、より抵抗性があり、鉄筋の耐用年数の延長に結果するといふものであった。

### (実際の経験)

上述の不確かさは残っているけれども、実際には、亜鉛めっき鉄筋の使用は増え続けている〔23-30〕。溶解亜鉛めっき鉄筋は、1930年台の初めから、多くの種類のコンクリート用途に使用されてきた。バミュダがその島の極度に苛酷な環境のため、亜鉛めっき鉄筋の使用のパイオニアであった〔25-26〕。広範囲での事例は、米国、オーストラリア、欧州にもある〔27-30〕。

コンクリート中の、それは主に船橋甲板であるが、亜鉛めっき鉄筋の性能を報告する文献類がこれまでにみられる。通常、これらの研究は、損傷の目視観察、鉄筋位置での塩化物含有量、そして、いくつかのケースでは、残存している亜鉛めっき被膜の冶金学的解析である。

しかし、現地での亜鉛めっき鉄筋の腐食性能モニタリングについての情報が不足している。Provervio は、構造物というよりは、同じ据付場

所に置かれた小さなサンプルに埋め込まれた亜鉛めっき鉄筋上で実施された腐食電位と腐食速度の現地測定、および、亜鉛めっき鉄筋と同じレベルで構造物中に埋め込まれた小さな亜鉛めっきした測定用電極の現地測定について報告した〔30〕。しかし、亜鉛めっき鉄筋の実際の性能に関して、これらの結果が代表しているかについて不確かさがある。

本論文では、スペインのバレンシアの海洋環境に位置する2つの構造物中の亜鉛めっき鉄筋の現地腐食モニタリングについて報告する。水素発生期間、不動態化プロセス、および、腐食性能について、構造物中のいくつかのポイントに配置した現地非破壊電気化学的テクニックおよびセンサーを用いて定期的に解析をおこなった。腐食電位の連続測定もおこなった。

### (建設とモニタリング)

コンクリート構造物の耐久性についての関心の高まりは、他のどこかのように、特定の苛酷な環境での構造物の耐用年数を保証する革新的方法の実施に重点的に取り組むことをスペインの建設業界に促してきた。スペインで最近導入された建築法、EHE-08〔7〕は、強制力のあるものであり、それぞれの環境等級に対する材料（コンクリート種類およびコンクリート厚さ）に関しての規定規則を含む。さらに、その文書では、耐用年数および構造物に対して必要な最小コンクリートカバーの厚みを、より正確に計算するための鉄筋システムの腐食寿命に対する方法およびモデルを考慮している。付け加えると、大変苛酷な環境下、あるいは、コンクリートカバーに関して他の技術的制約がある場合、鉄筋の防食を強く推奨する事実を、その法律は強調している。亜鉛めっき鉄筋は、その推薦のうちのひとつである。

最近の10年間で、スペインの公共建物の所有権を持つ Generalitat Valenciana は、多くの建設プロジェクトにおいて、亜鉛めっき鉄筋の使用を指定してきた。バレンシア自治州は、地中海に隣接



図1 Lonja of Benicarlo, バレンシア, スペイン

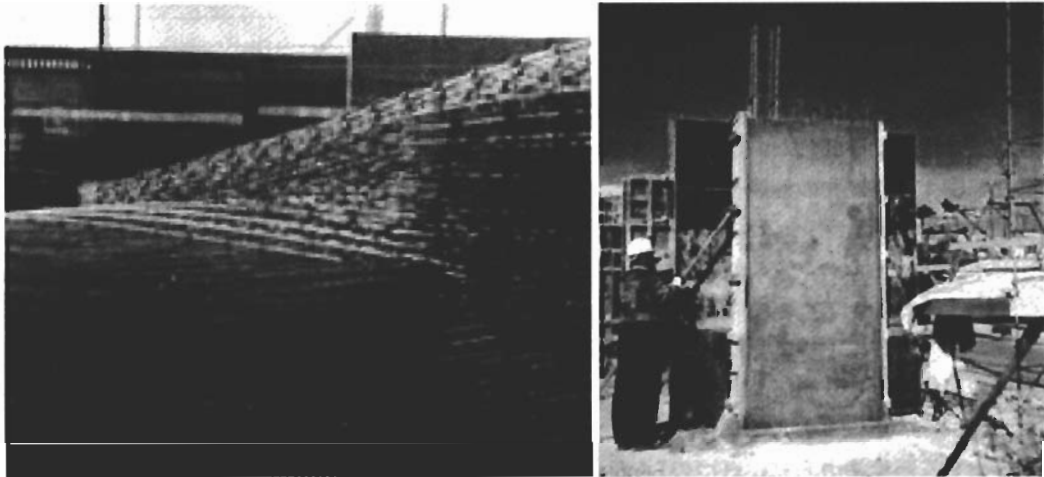


図2 亜鉛めっき鉄筋メッシュ (左), コンクリート部品の製作 (右)

するスペイン東部に位置している。沿海部が広く、鉄筋の腐食によるコンクリート構造物の劣化という重大な問題を引き起こしている。今日では、港湾内のすべての Generalitat Valenciana が関係する建設作業、あるいは、海洋作業には亜鉛めっき鉄筋の使用を命じている。

Eduardo Torroja 建築科学協会は、その耐用年数を評価するために、それらの建築物の建設以来、亜鉛めっき鉄筋の性能評価のため、いくつかの建築物のモニタリングをおこなってきた。本論文では、亜鉛めっき鉄筋が採用された2つのコンクリ

ート構造物のモニタリング結果について報告する。それらの構造物は、海洋作業建築物（魚市場）および沿岸のインフラ事業であるコンクリートブロックである。

### 魚市場 (Lonja of Benicarlo)

Lonja of Benicarlo の建物は、2002年に建設された。その環境は、IIIa、大気海洋環境に分類される。普通ポルトランドセメント (OPC-42.5) の耐イオウ、耐海洋の300kg/m<sup>3</sup>品がコンクリート H-30の製造のために使用された。12および16mmφの鉄筋が主鉄筋として、あぶみ綱と留め

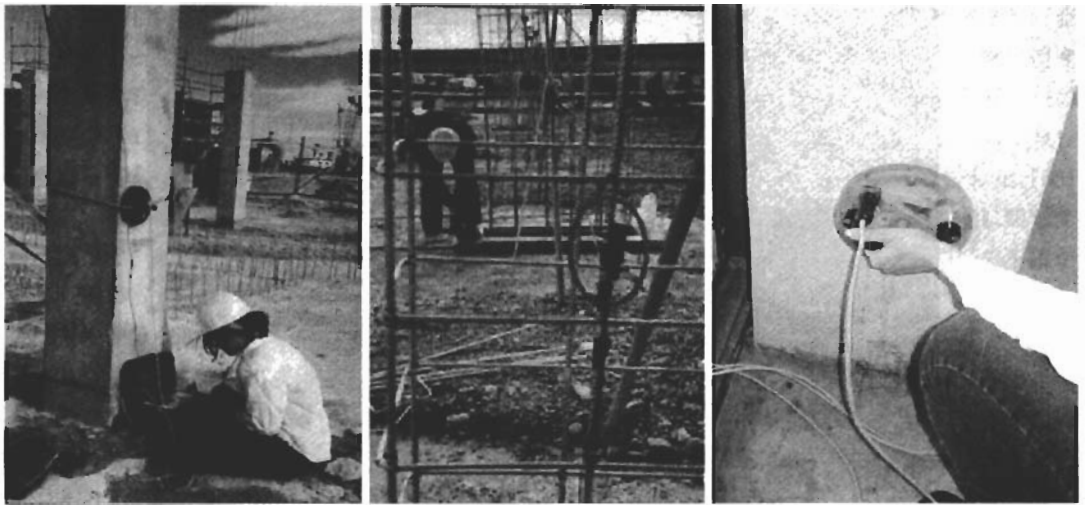


図3 現地での腐食測定 (左, 中), センサーの位置 (右)

具向けに8mmφ鉄筋が、すべて溶融亜鉛めっきして使用された。コンクリートカバーの厚さは30mmである。コンクリートおよび亜鉛めっき鉄筋メッシュは現地で調製した。型枠として木材を使用した。図1は、建物の外観を、図2は、現地での亜鉛めっき鉄筋メッシュとコンクリート部品の製作を示す。

腐食測定は、図3に示すように、製作以来、異なる期間の亜鉛めっき鉄筋部品上でおこなった。現地で、腐食電位 ( $E_{corr}$ ) および腐食速度 ( $I_{corr}$ ) の測定をおこなった。さらに、3つの  $MnO_2$  電極をいくつかの柱の中の鉄筋位置に異なる向きで埋め込んだ。鉄筋への電氣的結線により腐食状態の定期的測定とモニタリングが可能となった。

図4で示す  $E_{corr}$  測定は、明らかに異なる段階を示している。外側の亜鉛 (副層  $\eta$ ) と接触してコンクリート中に置く最初の24時間、非常に大きい負の値 ( $<-1000mV$ , SCE) は、亜鉛の活発なアノード溶解と水素のカソード発生と関連している (1Dの棒) [31]。左から2番目の棒7Dは不動態化期間を示していて、そのことは水素発生の停止、および、 $>-1000mV$  (SCE) と、より正な電位への変化により確認できる。左から3番目の棒15Dは、不動態化状態を示していて、ここで

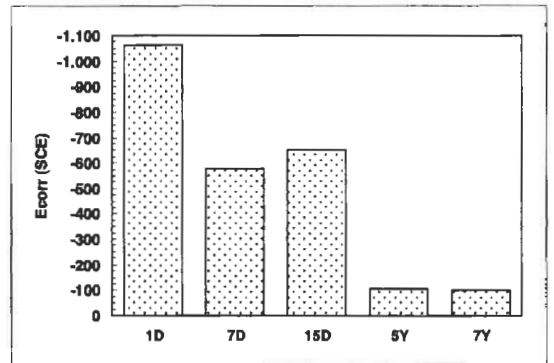


図4 7年間の耐用年数にわたっての Lonja of Benicarlo での亜鉛めっき鉄筋上の現地腐食電位の変化 (D=日数, Y=年数)

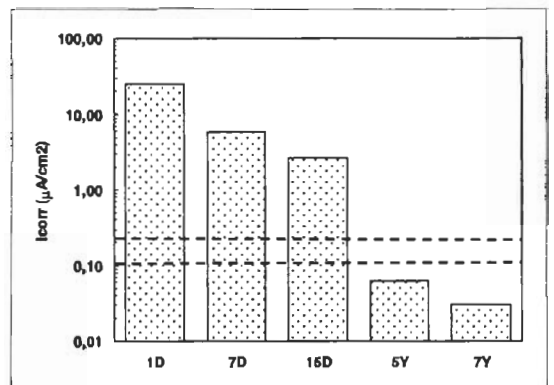


図5 7年間の耐用年数にわたっての Lonja of Benicarlo での亜鉛めっき鉄筋の現地腐食速度の変化 (D=日数, Y=年数)

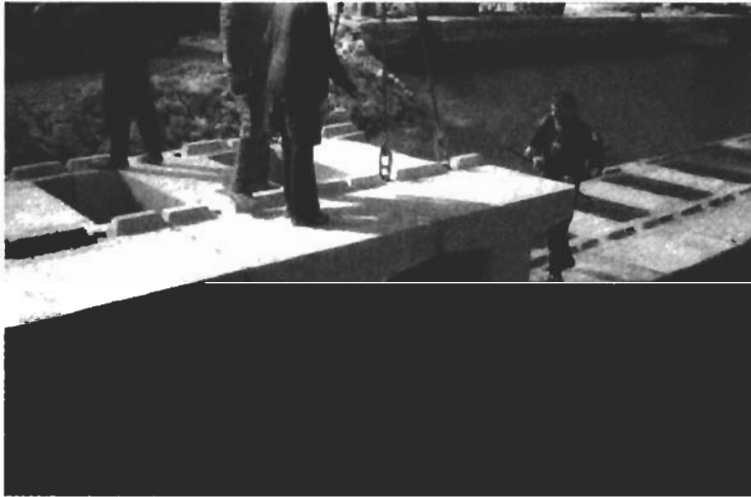


図6 沿岸部インフラのためのコンクリートブロックの配置 (Bloque Bara)

は  $E_{corr} < -500\text{mV}$  (SCE) である。

腐食速度 ( $I_{corr}$ ) 測定も、コンクリート中の亜鉛めっき鉄筋腐食のいくつかの段階の存在を示しており、これらは  $E_{corr}$  に対して記述したものとよく相関している。水素発生期間中、亜鉛溶解が活性であることを示している、それは約24時間かかっている。現地での測定値は、高い ( $10\text{--}20\mu\text{A}/\text{cm}^2$ ) けれども、 $\text{pH} > 13.2$  の擬似高アルカリ溶媒中での測定値よりも低く [14,16]、また、実験室での小さなコンクリートサンプル内での測定値以下であった。そしてそのことは、亜鉛めっき鉄筋の現地での使用は、実験室で観測したのと類似の、また、同じ挙動に従い、また、そのシステムは類似の、あるいは、よりよい性能を示すことを示している。

### 沿岸部インフラのためのコンクリートブロック (Bloque Bara)

コンクリートブロックはプレキャストであるが、図6に示すように、環境等級 IIIc の海水飛まつ帯に対して推奨される OPC 52.5セメントで硫黄、海洋環境への耐性を備えたレディミックスコンクリート H-30 を使用し、OPC が  $250\text{kg}/\text{m}^3$  で w : c 比 (水 : セメント) 0.45 の条件で現地で製造さ

れた。鋼枠を使用し、カバーは50mmであった。亜鉛めっき鉄筋のサイズは、軸方向鉄筋が16mm  $\phi$ 、その他の部分は12mm  $\phi$  であった。鉄筋ケージは、亜鉛めっきをする前に製造された。図7は、コンクリートを注ぐ前の亜鉛めっき鉄筋と2つのブロックの組み立て状況を示している。鋼枠は、硬化のため3時間後にブロックから取り外され、そのブロックは1週間後に移動した。

センサーがコンクリート中に、図8に示すように、取り付けられた。MnO<sub>2</sub>参照電極が鉄筋の位置に配置された。図8に示すように、鉄筋の電気的接続により、さらなる腐食測定のための定期的な測定と腐食状態のモニターが可能となった。このケースでは、センサーは記録システム (HOBO) に接続され、それは腐食電位の連続測定を可能とした。定期的に、データのバックアップを行い、かつ、腐食速度の測定をおこなった。

測定は、製造からの経過時間の異なるブロックの鉄筋についておこなわれ、製造後の数時間から150日目までについて本論文で報告している。それらは、コンクリートブロック内での亜鉛めっき鉄筋の不動態化プロセス、 $E_{cor}$ 、および  $I_{corr}$  を示しており、結果を図9、および、図10にそれぞ

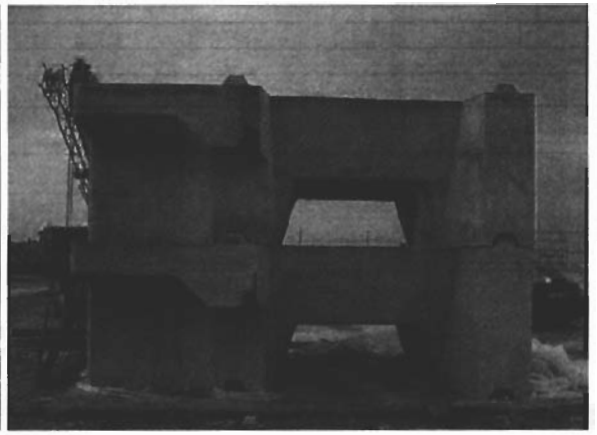
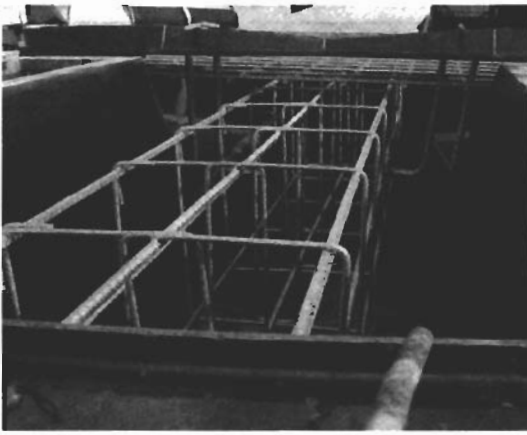


図7 亜鉛めっき鉄筋とコンクリートブロックの外観 (Bloque Bara)

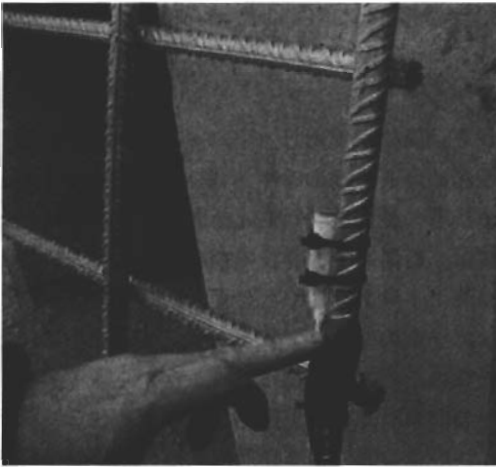


図8 亜鉛めっき鉄筋へのセンサーの接続 (左), コンクリートブロックの腐食モニタリング (右) (Bloque Bara)

れ示す。

結果は、以前に Lonja of Benicarlo で確認した 3つの段階を明らかに示している。初期段階、すなわち、水素発生を伴う非常に活性な段階は、混合、硬化の 2 時間後 ( $E_{\text{corr}} < -1000\text{mV SCE}$ ) に、よく識別できる。 $I_{\text{corr}}$  値は、Lonja of Benicarlo で測定された値、すなわち、 $10\text{-}20\mu\text{A}/\text{cm}^2$  と類似であり、この段階の期間は硬化から 24 時間である。不動態化段階は、腐食速度が大変小さい値、すなわち、 $E_{\text{cor}}$  の  $-1000$  から  $-500\text{mV SCE}$  を伴って  $< 0.2\mu\text{A}/\text{cm}^2$  にまで減少することで識別できる。この段階は何日かを要し、このケースでは

50日である。第3段階は、 $E_{\text{corr}} \geq -500\text{mV SCE}$ 、かつ、 $I_{\text{corr}} < 0.2\mu\text{A}/\text{cm}^2$  であり、不動態化状態、かつ、そのシステムの安定に対応している。

### 水素発生期間

高アルカリコンクリートと接触している亜鉛めっき鉄筋の水素発生期間に関して多くの関心が集まっている。腐食挙動は、微細孔中の水相の pH に大いに依存するが、鉄筋の不動態化は、図5、および、図10に示すように、高アルカリ pH の OPC を使用してさえ、コンクリート部品上の現地腐食測定によって実演したように可能である。

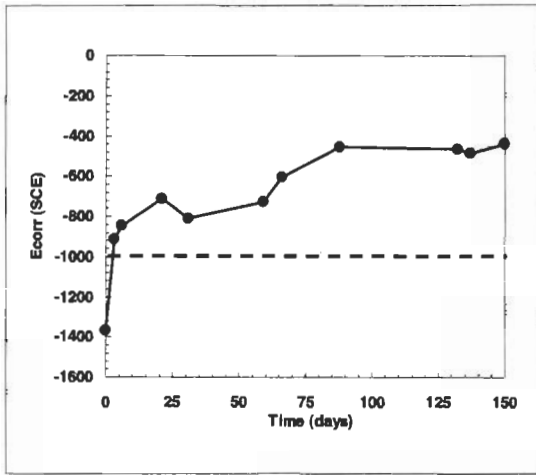


図9 製作後の経過時間とコンクリートブロック中の  $E_{corr}$

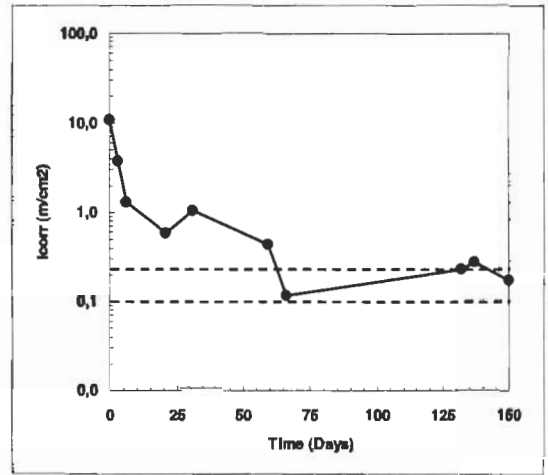


図10 製作後の経過時間とコンクリートブロック中の  $I_{corr}$

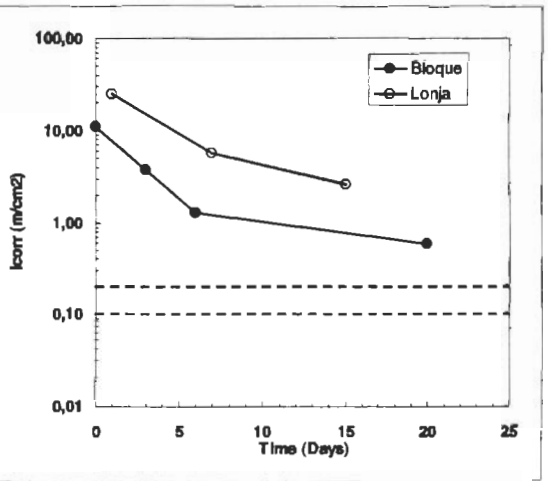
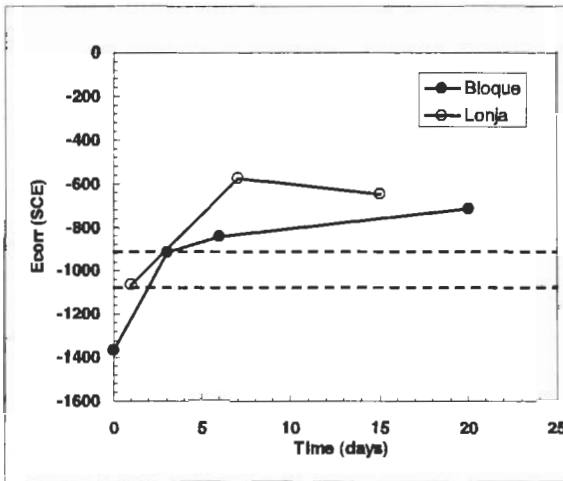


図11 混合後、最初の期間中の亜鉛めっき鉄筋に対する現地  $E_{corr}$  (左) および  $I_{corr}$  (右)

水素発生は現地でもみられるが、その期間は、第1日目の数時間までに限定される。図11は、調査中の2つのコンクリート構造物での水素発生期間中の  $E_{corr}$ 、および  $I_{corr}$  を示している。値の範囲がいくらか違う以外、その傾向は類似している。その差異は、コンクリートをつくるために使用されたセメントのアルカリ度とセメント量に関係している。この期間での主な結果は、亜鉛めっき被膜の消費であり、そのことは、厚いめっき被膜が推奨されることを示唆している。不動態化プロセスを助ける外側の副層は、少なくとも10-20 $\mu\text{m}$ の $\eta$ 副層を有する60-100 $\mu\text{m}$ の被膜厚さであるこ

とが強く推奨される。このことが、不動態化中の部分的な消費を可能にし、塩化物の進入によるさらなる腐食に抵抗するための蓄えを提供する。水素発生期間は、気泡がその界面で捕捉されるため、コンクリートと亜鉛めっき鉄筋間の接触面積を減少させる。しかし、結合力へのこの影響は、接触の程度と質に依存する。本研究では、気泡の存在による関連する孔は、図12に示すように、その界面で観察されなかった。どのケースにおいても、おそらく、セメントペーストと混ざった亜鉛酸化物の白色のセメントペーストの薄い層が観察されたが、鉄筋はその表面上にセメントペーストを現



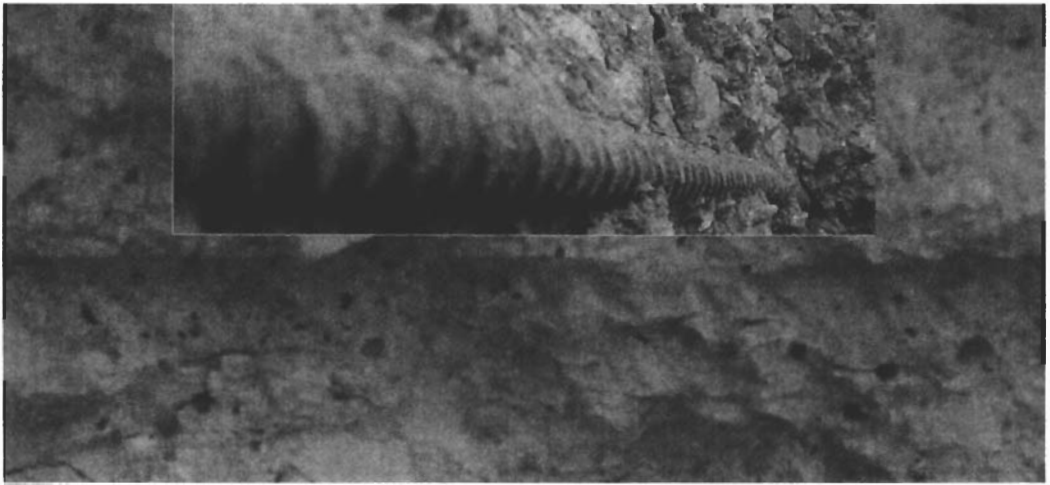


図12 亜鉛めっき鉄筋界面に対するコンクリート

している [32]。

付け加えると、水素気泡は、新しいコンクリート中に拡散も可能で、美観的なダメージとしてその表面に現れる。この影響は、木材あるいは鋼で作成された枠を使用したなどの構造物においても観察されなかった。

### (結論)

亜鉛めっき鉄筋を使用した現地構造物の腐食モニタリングにより、鋼は不動態化プロセスによって保護されることが証明された。現地で検出された水素発生期間は、コンクリートの混合後、第1日目までに完了する。コンクリートと亜鉛めっき

鉄筋間の界面に捕捉された気泡は、両者の接触を大きく減少させないように見える。苛酷な環境に暴露されたコンクリート構造物中の亜鉛めっき鉄筋の腐食性能は、 $E_{corr}$  および  $I_{corr}$  として鉄筋の腐食性能を測定する埋め込みしたセンサーと非破壊試験方法を使用することで追跡することが可能である。

### (謝辞)

著者らは、亜鉛めっき鉄筋コンクリート構造物をモニタリングする施設に対する Generalitat Valenciana のインフラ、輸送、港湾、沿岸計画およびプロジェクト部の支援に感謝する。

## REFERENCES

- [1] CEN-TC-57, 'EN-206, standard for concrete' (2000).
- [2] ASTM A 767/A 767M-85, 'Zinc-coated (galvanized) steel bars for concrete reinforcement', 1985.
- [3] AFNOR A35-025, 'Concrete reinforcing steels', Dec 1992.
- [4] UNI 10622: 'Barre e vergelle (rotoli) di acciaio d'armatura per cemento armato, zincati a caldo', 1997.
- [5] pr EN TC19/SC1/WG5, 'Galvanized Steel products for reinforced concrete structures', Draft, 2003.
- [6] Italian Infrastructure and Transport Ministry, 'Technical Norms for Construction', Gazzetta
- [7] EHE-08, Spanish instruction code for structural concrete, 2008.
- [8] Lewis D A, 'Some Aspects of Corrosion of Steel in Concrete', South Africa CSIR National Bldg Res Inst RD, Vol 24, n° XIII, p 547-555, 1962.
- [9] Yeomans S R, 'Galvanized Steel Reinforcement in Concrete', First National Structural Eng Conf, Institution of Engineers, (Barton, Australia: ACT, p 662), 1987.
- [10] Bresler B, Cornet I, 'Galvanized Steel Reinforcement in Concrete', Proceed 7th Congress of the Inter Association of Bridge and Structural Engineers, Rio de Janeiro, August, 1964.

- [11] Cook, A, 'High strength galvanized wire in prestressed concrete, in galvanized reinforcement for concrete', ILZRO Publication 1981.
- [12] Griffin D F, Technical Note N-1032, 'Effectiveness of Zinc Coating on Reinforcing Steel in Concrete Exposed to a Marine Environment' US Naval Civil Engineering Laboratory, Port Hueneme, California, July, 1969.
- [13] Macías, A, Andrade, C, 'Corrosion of galvanized steel reinforcements in alkaline solutions. Part I. Electrochemical results', British Corrosion Journal, Vol 22 (UK), (1987) 113-129.
- [14] Macías, A, Andrade, C, 'Corrosion of galvanized steel reinforcements in alkaline solutions. Part II SEM study and identification of the corrosion products', British Corrosion Journal, Vol 22 (1987) 119.
- [15] Andrade C, Macias A, 'Galvanized reinforcement in Concrete', in Surface Coatings-2, Elsevier Applied Science, London, p 137-182, 1988.
- [16] C Andrade and C Alonso, Electrochemical aspects of galvanized reinforcement corrosion. Galvanized steel reinforcement in concrete, chp 5, edt S R Yeomans, Elsevier, p 111-144(2003).
- [17] Swamy R N, 'In Situ Behaviour of Galvanized Reinforcement' Proceed of 5th Intern Confer on Durability of Building Materials and Components, Brighton, UK, Chapman and Hall, 299-312, 1990.
- [18] Fratesi R, Moriconi G, Tittarelli F, Bellezze T, 'The Effect of Cement Alkalinity on Zinc Coating Durability of Galvanized Steel Bars in Concrete' Proceed of COST 521 Project workshop – Corrosion of Steel in Reinforced Concrete Structures, Ed J Mattila, Tampere, FIN, 55-60, 2001.
- [19] Arliguie G, Grandet J, 'Influence de la composition d'un ciment portland sur son hydratation en présence de Zn', Cement and Concrete Research, 20, 517-524, 1990.
- [20] Kayali, O, Yeomans, S R, Bond of ribbed galvanized reinforcing steel in concrete', Cem and Conc Comp, vol 22 (2000) pp 459-467.
- [21] Andrade, C, Arteaga, A, Lopez-Hombrados, C, and Vazquez, A, Tests on bond galvanized rebar and concrete cured in seawater', J of Mat In Civil Engineering, sep/Oct (2001) pp 319-324.
- [22] Alonso C, Fullea J, Recio F J, Sanchez M and Soldado R, The adhesion of hot deep galvanized coating and Zn-Ni-V (ecozinc) alloy to steel reinforcement, Intergalva-06, Napoli (2006).
- [23] Yeomans S R, Laboratory and field performance of galvanized steel in concrete, Galvanized steel reinforcement in concrete, Edt S R Yeomans, Elsevier, Ch 6, 145-192 ( 2003).
- [24] Stark D, Parenchio W F, 'The Performance of Galvanized Reinforcement in Concrete Bridge Decks', Construction Technology Laboratories Project N° 2E-206, October, 1975.
- [25] Stark D, 'Measurement Techniques and Evaluation of Galvanized Reinforcing Steel in Concrete Structures in Bermuda', in Corrosion of Reinforcing Steel in Concrete, ASTM-STP 713, p. 132-141, 1984.
- [26] Allan N D, The Bermuda experience: Leading the way on galvanized reinforcement, Galvanized steel reinforcement in concrete, Edt S R Yeomans, Elsevier, chp 7, 199-227 (2003).
- [27] Concrete Institute of Australia. The use of galvanized reinforcement in concrete. Current practice, Note 17 (1984).
- [28] Arnold C J, Galvanized steel reinforced concrete decks: Progress report. FHWA report n° FHWA/RD-78-R1033, Federal High Way Administration (USA).
- [29] Wilmot R E, Corrosion protection of reinforcement for concrete structures, INTERGALVA-06, Napoli, June (2006).
- [30] Provervio E, Polarization resistance probes in concrete structures: full scale and laboratory experiences. Measurement and interpretation of on-site corrosion rate, Edt Andrade C, Alonso C, Fullea J, Polimon J and Rodriguez J, RILEM Publ Pro-18, 167-175 (2000).
- [31] Gonzalez J, Vargas R and Andrade C, Revisión sobre el comportamiento de las armaduras galvanizadas en el hormigón. J Hormigón y acero, 113-132 (1977).
- [32] Yeomans S R, A conceptual model for the corrosion of galvanized steel reinforcement in concrete, Swamy R N Ed, Sheffield Acadm Press, UK 1299-1309 (1994).