

# 海洋飛沫帯に 3 年間暴露した鉄筋コンクリート梁の性状

Behavior of reinforced concrete beams exposed in marine splash zone for three years

小 林 一 輔\*・星 野 富 夫\*

Kazusuke KOBAYASHI and Tomio HOSHINO

## 1. は し が き

海洋環境下における鉄筋コンクリート構造物の耐久性は、コンクリート中の鉄筋の腐食によって大きく左右される。とくに海洋飛沫帯のような厳しい腐食環境下における鉄筋コンクリート構造物では、コンクリートのひびわれ部分のみでなく、健全なコンクリート表層部分でも塩分の浸透、蓄積、拡散が活発に行われ、早期に鉄筋腐食を生じさせる。このような環境下においては、ただ単に鉄筋のかぶり厚さの増大や水セメント比の減少を行うだけで鉄筋の腐食を防止することは困難である。

そこで、本研究は、より積極的な各種の防食を施した鉄筋コンクリート梁の海洋飛沫帯における暴露実験を行い、その効果を明らかにしようとしたものである。暴露試験は1983年6月より開始したものであり一部は同年10月から開始した。本報告は暴露計画期間3年の試験体による結果を中心として検討を加えたものである。

## 2. 暴露試験の概要

### 2.1 基準コンクリートの使用材料と配合

セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は大井川産の川砂、粗骨材は秩父産砕石（砂岩）を用いた。

暴露試験に用いたコンクリート梁の配合は表-1に示すような水セメント比40, 50, 60%の普通ポルトランドセメントコンクリートを比較用試験体とし、各種の防食を施したコンクリートの配合は、水セメント比60%の比較用試験体と同一の配合とした。ただし、鋼繊維補強コンクリート(SFRC)の配合についてはその性能を耐久性の向上に利用する目的から水セメント比を50%とした。

### 2.2 鉄筋コンクリート梁に適用した各種の防食方法

本試験で取り上げた防食方法は、コンクリート自体に防食性を付与する方法2種類と、コンクリート表層部に防食材を用いて鉄筋の防食を図る方法3種類である。

#### A) コンクリート自体に防食性を付与することにより鉄

#### 筋の防食を図る方法

##### ①高炉水砕スラグ微粉末の混入

普通ポルトランドセメントに高炉水砕スラグ微粉末を重量で50%および70%置き換えたものをセメントとして用いた。

##### ②鋼繊維の混入

□0.5×0.5×30mmのせん断品およびφ0.5×30mmの異形カットワイヤーをコンクリート容積の1.5%混入した。

#### B) コンクリート表層部に腐食因子の遮へい層を設けて鉄筋の防食を図る方法

##### ①繊維強化永久型枠の使用

耐アルカリ性ガラス繊維を長さ37mmに切断し、モルタルと同時に吹きつけて成形したガラス繊維補強セメント(GRC)板を永久型枠とするもので、板の作製は早強セメントを用いた水セメント比30%のモルタルにガラス繊維を容積で3%および5%混入し、計画厚さを5mmおよび10mmとする4種類を使用した。

##### ②合成高分子材料のコーティング

###### A種：エポキシ樹脂系

変性脂肪族アミン硬化の2液型無溶剤の可撓性エポキシ樹脂をコーティングしたものである。

###### B種：合成ゴム系

ポリブタジエンゴムをイソシアネートプレポリマーで架橋硬化させる弾性ポリブタジエン防水材をコーティングしたものである。

A種、B種ともプライマーおよびパテにはエポキシ

表-1 コンクリートの配合

水・セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )				スランパ (cm)
		水	セメント	細骨材	粗骨材	
40	43	196	490	736	1,002	8
50	45	196	392	807	1,013	8
60	47	196	327	869	1,006	7

\*東京大学生産技術研究所 第5部

研 究 速 報

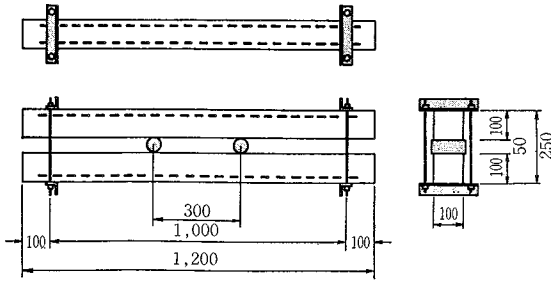


図-1 試験体の寸法と導入ひびわれの保持方法 (mm)

樹脂系ものを使用し、上塗りには耐候性の改善を図るためにアクリルウレタン樹脂系ものを使用した。全体のコーティング厚さはいずれも約2~3mmである。

③ポリマーセメントモルタルのライニング

A種：ポリマーディスペーションはアクリル樹脂エマルジョン（固形分48%）を主成分とするもので、ポリマーセメント比は25%、水セメント比は32%である。骨材は珪砂と珪石粉を用い、強化材としてガラス繊維を混入している。これを3層に分けてライニングしたものである。

B種：ポリマーディスペーションは固形分50%のアクリル樹脂エマルジョンを主成分とするものでポリマーセメント比は50%、水セメント比は56%であり、骨材には珪石粉を用いている。このポリマーセメントモルタルをA種の3回目のライニング部分に2回に分けてライニングしたものである。

2.3 試験体の作製

試験体の作製は写真-1に示すように10×10×120cmの矩形梁試験体の内部に長さ110cm、φ10mmの異形鉄筋（高炉品）を2本埋め込んだものであり、計画かぶり厚さは2cmと3cmの2種類とした。コーティングとライニングおよびGRC型枠を用いたものは、腐食電位を測定するためにコンクリートの打設方向以外の5面にその処理

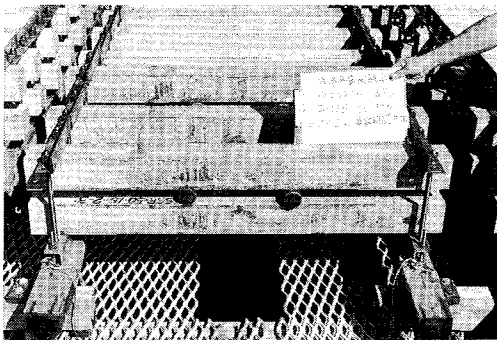


写真-1 暴露試験場の全景

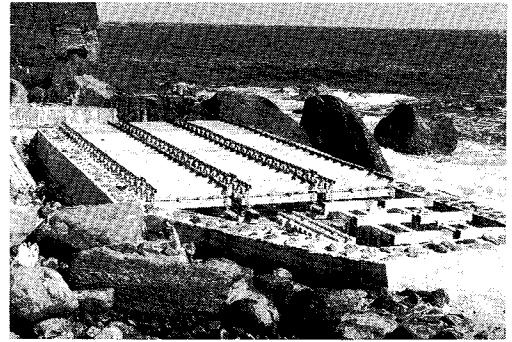


写真-2 暴露中の試験体

を施し打設面は開放状態とした。試験体は、鉄筋コンクリート梁2本を1組とし図-1に示すように締めつけることによりコンクリート表面で0.2~0.3mm程度のひびわれを導入し、この状態を保ったまま暴露を行った。各種の防食処理を施したコンクリート梁の締めつけは、そのコンクリートと同一の水セメント比の比較試験用コンクリート梁の締めつけの際に与えた荷重により行った。

2.4 暴露試験場

暴露試験は、静岡県伊豆半島東海岸（伊東市城ヶ崎）に設置した暴露場において行った。試験体は最高潮位から約50cm程度上部の架台に固定したものであり、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極めて厳しい腐食環境下である。

3. 試験体のひびわれ性状

写真-2は普通ポルトランドセメントを用いた水セメント比60%、計画かぶり厚さ3cmのコンクリート梁中央部分におけるひびわれの変化を暴露期間3年にわたり調

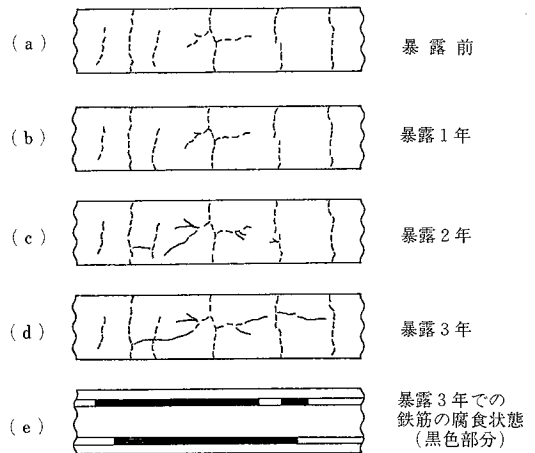


図-2 試験体のひびわれ変化と鉄筋の腐食状態

べた一例である。(a)は暴露前の締めつけ時に導入した曲げひびわれであり、最大ひびわれ幅は0.35mmであった。(b)は暴露開始1年後のひびわれ状態であるが、この時点では新しいひびわれは認められなかった。しかし、同種の計画かぶり厚さ2cmの試験体では暴露6ヶ月の時点ですでに新しいひびわれが発生していた。(c)は暴露2年後におけるひびわれ状態を示しているが、この時点で新しいひびわれの発生が認められた。(d)は暴露を開始して3年後つまり解体調査時におけるひびわれを示したものであり、鉄筋に沿った縦ひびわれが発生していた。この試験体から鉄筋を取り出し、腐食状態を観察したものが(e)である。鉄筋の腐食とコンクリートのひびわれ位置、長さとは必ずしも一致しているとは言えないが図-2より明らかなように鉄筋の腐食とひびわれの進展との間には良い対応が認められる。他の試験体における鉄筋の腐食とひびわれの発生位置、長さの関係もほぼ同様な傾向であった。

4. コンクリートの品質ならびに防食方法が鉄筋腐食に及ぼす影響

図-3に暴露期間3年の各種コンクリート梁中より取り出した鉄筋の腐食面積率を示す。図中のデータは同種のコンクリート梁2本から取り出した4本の鉄筋を測定し、最大値、最小値および平均値をまとめたものである。暴露期間1年の試験体での鉄筋の腐食は主に鉄筋の引張縁側に生じていたが暴露期間3年の鉄筋の腐食は、曲げひびわれ幅の大きなものほど鉄筋の圧縮側においても発錆の確率が高くなり、その面積も大きくなっていった。図中より普通セメントコンクリートの場合、W/Cの増大にともなって腐食面積率は大きくなりW/Cが60%の腐食面積率はW/C 40%の場合の2~3倍の値となっている。しかしかぶり厚さの影響を見るとかぶり厚さ2cmに比べ3cmの値が大きくなっているものもあった。これは、暴露1年の場合の腐食の傾向と大きく異なっている。このことは、絶えず海水飛沫にさらされる本暴露試験場のような厳しい腐食環境下では、いったん腐食が進行し

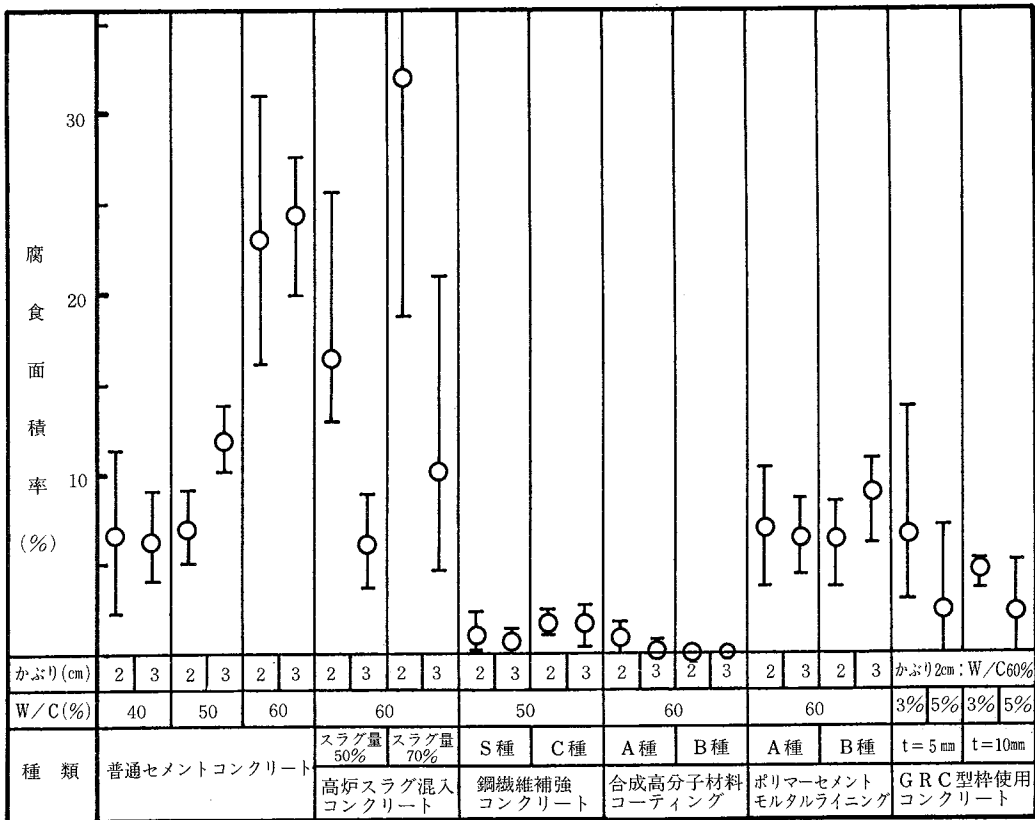


図-3 各種コンクリートの暴露3年後の鉄筋腐食面積率

## 研 究 速 報

はじめると、この程度のかぶり厚さの範囲ではほとんど防食に影響を与えないことを示している。

一方高炉水砕スラグ混入コンクリートの場合には、同じW/Cの普通セメントコンクリートに比べ、かぶり厚さが大きい3cmにおいてスラグ量50%、70%とも腐食面積率は小さくなっている。しかし、かぶり厚さが2cmの場合には意外に大きな値を示し、スラグ量が70%では比較用の普通セメントコンクリートよりも腐食面積率は大きくなっている。これは試験体作成時の養生期間（散水湿润養生）を普通セメントコンクリートと同一の6週間としたために、初期強度が十分に発揮されない段階でひびわれの導入と暴露の開始が行われ、ひびわれ部分を中心とするコンクリート表面から浸入した塩分によって鉄筋が腐食したものと思われる。この種のコンクリートは、耐海水性などの化学抵抗性は優れているが初期養生が十分に行われないと強度の発現が阻害されるので、この種のコンクリートを海洋環境下へ適用する場合にはより十分な初期養生が必要である。鋼繊維補強コンクリートでは、同じW/Cの普通セメントコンクリートに比べ鉄筋の腐食面積率は1/3以下と小さくなっている。また、コンクリートに混入した鋼繊維の腐食は意外に少なく、コンクリート表面から0.1~0.2mmの深さまで観察されたがこれから内部の鋼繊維の発錆はほとんど認められなかつ

た。一方、GRC型枠使用コンクリートの鉄筋の腐食は、主に両端の支点付近で発生しており梁の中央部分において腐食はほとんど認められなかった。この腐食位置は曲げひびわれ導入区間外であり、ガラス繊維混入率の多いVf=5%の腐食面積率が小さいことから暴露中に生じたひびわれによって腐食が発生したものと思われる。合成高分子材料のコーティングを施したコンクリート中の鉄筋の腐食は、ひびわれ追随性（伸び能力）の小さなA種では、コーティングの破損部において鉄筋の腐食が認められたがその面積は僅かなものであった。また、ひびわれ追随性の大きなB種では、コンクリート表面に発生しているひびわれを完全に覆っているため腐食は全く認められなかった。ポリマーセメントモルタルのライニングを施したものは、A種、B種とも暴露前の締めつけ時に中央部分の1~2ヶ所に発生させた0.3~0.7mmの比較的大きな幅のひびわれ部分より鉄筋の腐食が生じているがライニング材によって腐食の拡大は抑制されている。

(1987年5月25日受理)

## 参 考 文 献

- 1) 小林, 辻, 星野: 海洋飛沫帯における鉄筋コンクリート梁の暴露試験(I)——暴露1ヶ年の結果——, 生産研究, Vol. 37, No. 12 (1985)

