

異なる環境に曝されたコンクリート中鉄筋の腐食傾向について

鹿児島大学大学院 学生会員 ○矢野智大, 阿久根航, 長井信也
鹿児島大学 正会員 審良善和, 山口明伸, 小池賢太郎

1. はじめに

塩害は RC 構造物の耐久性を著しく低下させる要因の一つである。既往の研究¹⁾から塩化物イオンの拡散に関しては、ある程度定量化がなされ性能照査設計が確立しているものの、腐食発生以降のコンクリート中鉄筋の腐食進行に関しては、特に環境条件の影響などの点で未だ定量化に至っていないのが現状である。そこで、本研究では、セメントに普通ポルトランドセメントおよび高炉セメント B 種を用い、一般環境（屋上、軒下および土中）および海洋環境（海上大気中、干満帯および海水中）において屋外暴露試験を実施し、材料および環境の違いによるコンクリート中鉄筋の腐食性状を評価することを試みた。

2. 試験概要

2.1 供試体

表-1 にコンクリートの配合、図-1 に供試体概要図を示す。セメントは普通ポルトランドセメント（以下、OPC）および高炉セメント B 種（以下、BB）、細骨材には川砂（密度：2.65 g/cm³、吸水率：1.76%）を用いた。コンクリートの配合はセメントの種類によらず単位水量を一定とし、目標スランプ 10 cm、空気量 4% となるように混和剤により調整した。また、コンクリート中の塩化物イオン（以下、Cl⁻）濃度が 0, 2, 5, 10 kg/m³ となるように塩化ナトリウムをコンクリート練混ぜ時に外割で添加した。供試体寸法はφ100×200 mm の円柱供試体とし、断面中央にφ16×150 mm の黒皮を除去したみがき丸鋼を埋設した。供試体側面のかぶりは 42 mm となる。なお、埋設した鉄筋は、評価範囲を供試体高さ方向中央部の 100 mm とするために、供試体上面から 50 mm までの範囲を予めエポキシ樹脂で被覆し防錆・絶縁処理を行った。また、外部からの腐食因子の侵入を遮断するために、28 日間の封緘養生後、供試体上下面をエポキシ樹脂で被覆した。

表-1 コンクリートの配合

セメント 種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				高性能 AE 減水剤 (C×%)	AE 剤 (C×%)
			W	C	S	G		
OPC	50	44	175	350	786	993	0.20	0.0030
BB			175	350	781	987	0.20	0.0035

2.2 暴露環境

写真-1 に供試体を設置した暴露環境を示す。環境条件の違いがコンクリート中の鉄筋腐食に及ぼす影響を明確にするため、一般環境として屋上、軒下および土中の 3 環境、海洋環境として海上大気中、干満帯および海水中の 3 環境の計 6 環境に供試体を暴露した。したがって、それぞれの暴露環境でコンクリート中の鉄筋表面の酸素および水の供給が異なることになる。一般環境の屋上は、雨の影響を受ける建物の最上部に設置し、十分な水と酸素の供給を受ける環境となる。一方、軒下は雨の当たりにくい位置に設置し、水の影響を受けにくく乾燥し、酸素の供給が豊富な環境となる。また、土中は、供試体を完全に埋設し、湿潤環境下で酸素の供給が少ない環境となる。海洋環境については、海上大気中は、潮風や雨による水の供給がある位置に設置し、十分な水と酸素の供給を受ける環境となる。一方、干満帯は干満作用による乾湿の繰り返しが生じる位置 (M.S.L.) に設置し、高含水状態となり酸素の供給の少ない環境となる。また、海水中は常に浸水する位置に設置し、酸素の供給が極めて少ない状態となる。なお、暴露期間はいずれも

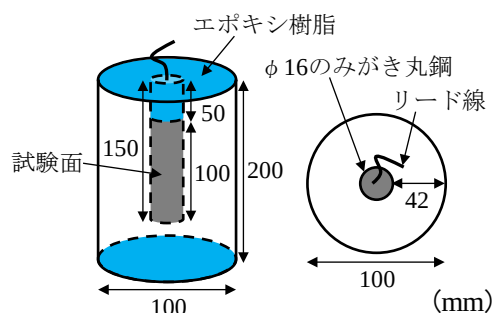


図-1 供試体概要図

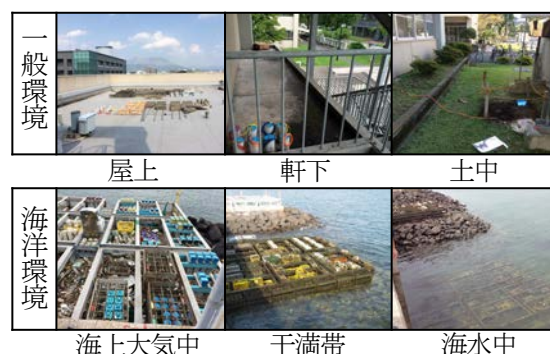
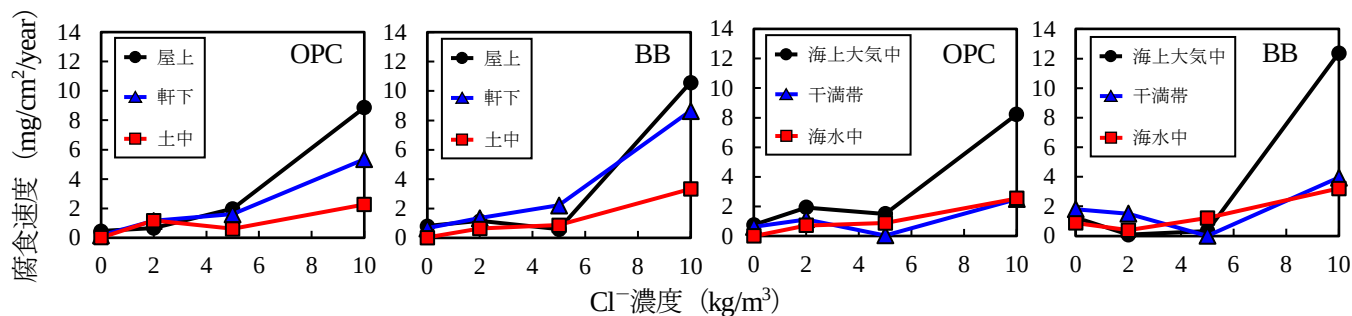


写真-1 暴露環境

図-2 Cl^- 濃度と腐食速度の関係

1～4年とした。

2.3 検討項目

供試体の解体後、鉄筋腐食の程度を確認するため、酸溶解法により除錆し、鉄筋の腐食減量 (mg/cm^2) を測定した。なお、暴露期間が異なることから、測定した腐食減量を暴露期間 (years) で割ることで腐食速度を算出し、これを用いて評価した。

3. 結果および考察

図-2 にセメント種類ごとの一般環境および海洋環境における Cl^- 濃度と腐食速度の関係を示す。一般環境および海洋環境の OPC, BB は、いずれの場合も Cl^- 濃度が $0 \sim 5 \text{ kg/m}^3$ までは、 Cl^- 濃度に関わらず、 $2.0 \text{ mg/cm}^2/\text{year}$ 以下の小さな腐食速度であった。一方、 Cl^- 濃度 $5 \sim 10 \text{ kg/m}^3$ にかけて腐食が進行し、特に屋上、軒下、海上大気中で顕著であった。

これは、屋上や軒下、海上大気中は、カソード反応に必要な酸素の供給が豊富な環境であるためと考えられる。また、屋上、軒下、海上大気中について比較すると、軒下における腐食がやや小さい。これは、軒下は天候の影響を受けにくく、カソード反応に必要な水の供給が不足したためと考えられる。一方、土中、干満帯、海水での腐食速度は、 Cl^- 濃度 10 kg/m^3 であっても、最大で $3.0 \text{ mg/cm}^2/\text{year}$ 程度であり、腐食の進行が極めて遅いことが確認できた。これは、いずれの環境も水分の供給が多く、コンクリート中鉄筋表面が高含水状態となり貧酸素状態になったことが影響していると考えられる。

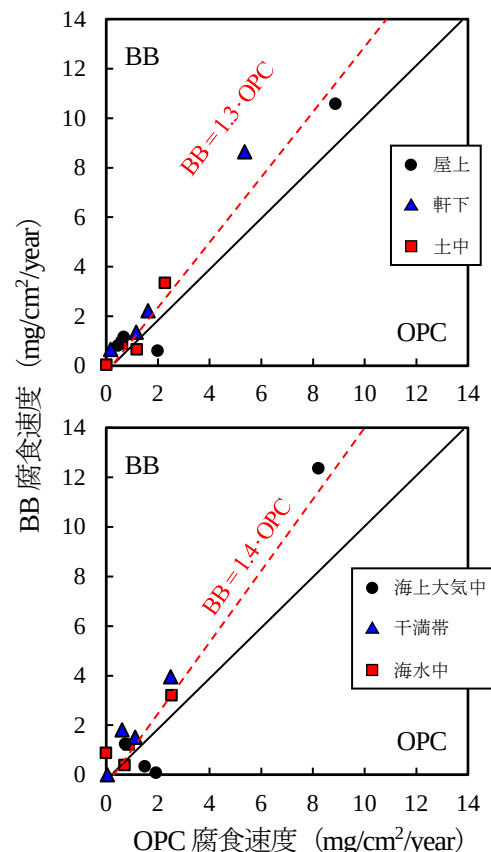
図-3 に OPC と BB の同一 Cl^- 濃度時の腐食速度を比較したグラフを示す。いずれの環境も、同一 Cl^- 濃度下の腐食速度は、BB の方が大きくなる傾向にあり、その増加率は 3～4 割程度であった。ただし、OPC と BB は Cl^- 浸透抵抗性に大きな違いがあり、 Cl^- の拡散と腐食速度を組み合わせた耐久性評価が不可欠であることに注意する必要がある。

4. まとめ

OPC および BB を用いたコンクリート中鉄筋の様々な環境下における腐食性状を評価することができた。暴露環境やセメント種類によらず、 Cl^- 濃度 5 kg/m^3 以下では、腐食の進行が極めて小さく、 Cl^- 濃度 $5 \sim 10 \text{ kg/m}^3$ の範囲で腐食が進行し、特に屋上、軒下および海上大気中で顕著であった。一方、貧酸素環境である土中、干満帯および海水中における腐食速度は、OPC, BB ともに、 Cl^- 濃度 10 kg/m^3 であっても、最大で $3.0 \text{ mg/cm}^2/\text{year}$ 程度であり、腐食の進行が極めて遅いことが確認された。これは、鉄筋表面の含水状況が大きく影響していると考えられる。また、同一 Cl^- 濃度下における BB を用いたコンクリート中鉄筋の腐食速度は、OPC に比べ 3～4 割程度大きくなる傾向にあった。

謝辞： 本論文は、科研費基盤研究 (C) 18K04307 「塩害を受けるコンクリート中鉄筋の腐食に関する電気化学的特性の定量的把握」で得られた成果の一部である。

参考文献 1) 公益社団法人土木学会：2017 年制定コンクリート標準示方書 [設計編]，p.79-80，2017

図-3 Cl^- 濃度と腐食速度の関係