

臨海域における PC 構造物の劣化特性に関する分析

中国電力株式会社 電源事業本部 建設土木グループ 正会員○ 蟻正 慎介, 正会員 斉藤 直,
正会員 篠田 龍一, 正会員 山本 健太

1. はじめに

我が国の火力発電所は、戦後の経済成長期にその大半が整備されてきた経緯があり、他のインフラ設備と同様、近年高経年化が進んでいるが、求められる耐用年数は増加しており、延命化のための合理的な維持管理が課題となっている。特に PC 構造物では、PC 鋼材の腐食が急激な構造性能の低下を引き起こすこととなるほか、PC 鋼材の補修は極めて困難であることから、予防保全による対策を実施することが非常に重要となる。本稿では、臨海域で長期暴露された PC 構造物の調査結果を基に劣化特性を分析し、PC 構造物の延命化に向けた提案を行うものである。

2. PC 構造物の劣化パターン (写真-1)

臨海域で使用されている PC 構造物としては、栈橋やその連絡橋の PC 桁や PC 杭等があるが、PC 杭の採用は現在行われていない現状にある。PC 杭については、水中～潮間帯に接する位置において、配筋筋や PC 鋼線に沿った発錆によるポップアウトが急に発生することが知られている。一方、PC 桁については、HWL から十分な離隔高さを確保することで現在も採用されているが、こちらも表面からの塩分浸入によって徐々に劣化が進行することになる。



写真-1 PC 構造物の劣化 (外観)

表-1 調査サンプル数

試験名	地点名				
	TS	IW	KD	SM	YI
中性化試験	5	1	2	1	1
塩化物イオン含有量試験	6	1	1	2	2
はつり調査	4	1	1	2	2

3. 調査内容

瀬戸内海に面する当社の火力発電所における長期暴露 (29 ～ 45 年) された栈橋の PC 桁を対象に、鉄筋の劣化因子である塩化物イオン (以下 Cl^-) の浸入度および中性化の進行度に加え、鉄筋腐食状況の調査を行い、鉄筋の劣化因子の影響評価を行った。本調査では、HWL +0.76～2.075m の位置に設置された PC 桁の部材を対象としている。表-1 に調査サンプル数を示す。

4. 調査結果の分析

(1) 暴露年数と中性化の影響

図-1 に暴露時間 (材齢) と中性化深さの関係を示す。PC 桁は、普通ポルトランドセメント (OPC) の高強度配合を蒸気養生されており、水セメント比 (W/C) も小さいことから、中性化はほとんど進行していないことが分かる。

(2) 暴露年数と塩害の影響

図-2 に PC 構造物の鋼線深度相当 (20～30mm 程度) におけるコンクリート中の Cl^- 含有量と材齢の関係を示す。材齢 35 年程度で、鋼線深度相当において一般に言われる鉄筋の腐食限界 ($2\text{kg}/\text{m}^3$) を既に大きく上回る Cl^- 濃度となっていることが分かる。図-3 に暴露時間 (材齢) による Cl^- 濃度分布の変化を示す。表面から深部に Cl^- の侵入が進行する形態を示し、年数の経過

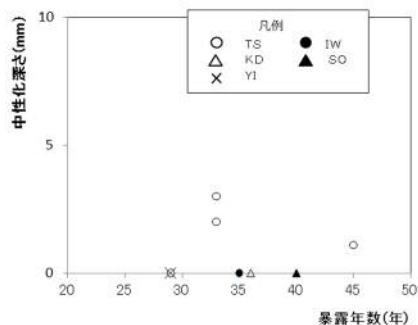


図-1 暴露時間 (材齢) と中性化深さの関係

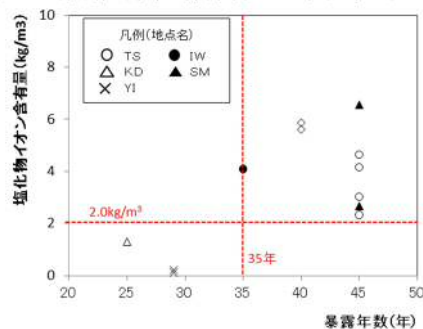


図-2 暴露時間 (材齢) と塩化物イオン含有量の関係

キーワード：プレストレストコンクリート、塩害、中性化、複合劣化、鉄筋腐食、臨海域

連絡先 (広島市中区小町 4-33 TEL 082-544-2936 FAX 082-544-2661)

に従って、 Cl^- の浸透が生じていることが分かる。

(3) 鉄筋腐食グレードと塩害の関係

図-4 に PC 桁の配力鉄筋位置におけるコンクリート中の Cl^- 含有量と配力鉄筋の腐食グレードの関係を示す。PC 構造物では、 Cl^- 濃度が 2kg/m^3 以上でも、鉄筋腐食グレードがⅡ（鉄筋が腐食していない状態）に留まっているデータもあり、RC 構造物と比較¹⁾して Cl^- 濃度の浸透に伴う鉄筋の腐食劣化の進行が遅い傾向にある。コンクリート標準示方書²⁾では、 W/C に応じた鉄筋の腐食発生の限界となる Cl^- 濃度の推定式が(1)式のように示されているが、通常 $W/C=40\%$ 以下で設計される PC 構造物では 2.0kg/m^3 程度の水準となり、今回調査した構造物の鉄筋の腐食状態と概ね整合する結果となった。

$$C_{\text{lim}} = -2.6(W/C) + 3.1 \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 C_{lim} ：腐食発生限界 Cl^- 濃度 (kg/m^3)

W/C ：水セメント比 ($0.30 \leq W/C \leq 0.55$)

(4) 塩害と中性化の複合劣化

図-5 に PC 構造物の鋼線深度相当におけるコンクリート中の Cl^- 含有量、中性化残りと鉄筋腐食の関係を示す。PC 桁では、鉄筋腐食グレードがⅢ、Ⅳ（鉄筋が腐食した状態）の部材で全て鉄筋位置の Cl^- 濃度が 4kg/m^3 以上と非常に高くなっているのに対し、中性化については、PC 構造物の配合強度が大きいこと、普通ポルトランドセメントを使用していること、水セメント比が小さいこと等から、中性化残りと鉄筋腐食との間に明確な関連性は確認されなかった。これらのことから判断すると、PC 桁の劣化は、 Cl^- 浸入に支配されているものと考えられ、海洋の PC 構造物においては、コンクリート中の Cl^- 浸入量による管理が有効であることが分かる。

4. 構造物の延命化に向けた取り組み

PC 構造物は中性化の影響を受けにくく、 Cl^- 浸透速度も遅いなど RC 構造物と比較し劣化が進行しにくい傾向にあるが、設計かぶりが $2\sim 3\text{cm}$ と非常に小さい場合、その使用限界は 30 年程度であることが窺えられた。また、一旦、PC 鋼材が腐食した場合、有効な補修方法を得ることは難しい。これらのことを踏まえ、合理的な維持管理のためには、定期的なコンクリート中の塩化物イオン測定が有効な手法と考えられ、耐力の急激な低下に直結する PC 鋼材の腐食に至らないような早期の保全対策が重要である。本稿で得られた知見を踏まえ、当社は、外周鉄筋位置を対象として RC 構造物と同様に腐食が進行しないよう安全側に予防保全対策を講じていくことが最適な手法と判断して、PC 構造物の維持修繕をマニュアル化しており、 Cl^- の浸入が軽微であった栈橋においても、表面含浸工法による予防保全対策を計画的に実施している。今後、 Cl^- の浸入量の経過や予防保全対策の効果をモニタリングし、同工法の塩害抑制効果ならびにライフサイクルコスト (LCC) 低減効果について検証を行っていく予定である。

(参考文献)

- 1) 斉藤ら：鉄筋腐食環境から見た海洋鉄筋コンクリート構造物の劣化特性，No.382，電力土木，2016.3
- 2) コンクリート標準示方書（設計編），土木学会，2012

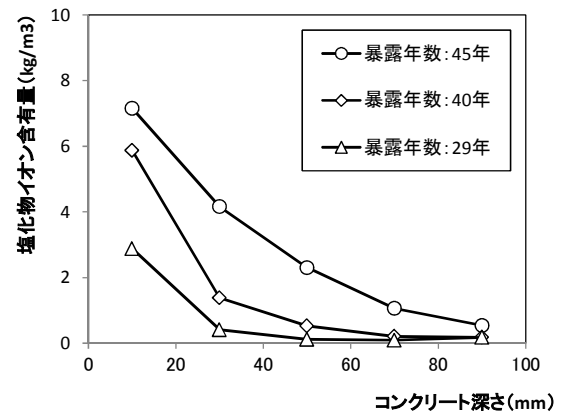


図-3 暴露時間（材齢）による塩化物イオン濃度分布の変化

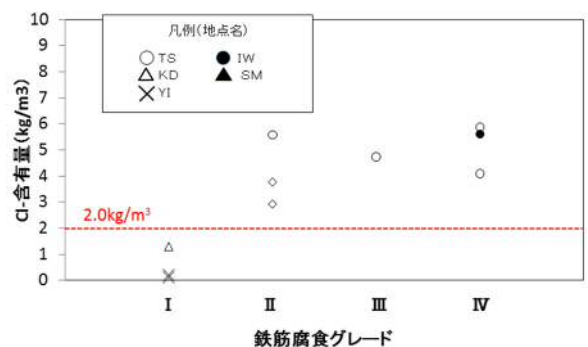


図-4 塩化物イオン含有量と鉄筋腐食の関係

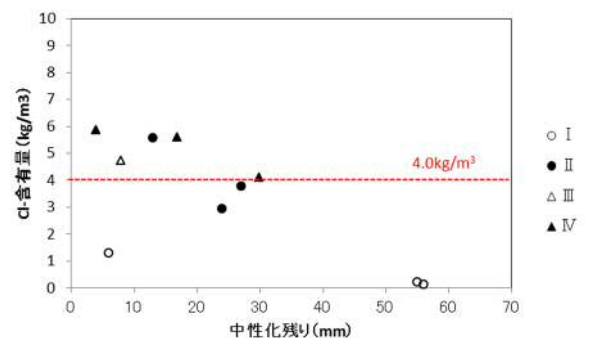


図-5 塩化物イオン濃度・中性化残りと鉄筋腐食の関連性