

PC 桁への電気防食の適用に伴う鋼材および陽極材の 特性変化に関する実験的研究

技術本部

技術部

青山敏幸

1. はじめに

外部電源方式による電気防食工法は、コンクリート表面あるいは表面近傍のコンクリートに設置した陽極材からコンクリート中の鋼材に微弱電流を通電し、鋼材の腐食を電気化学的に抑制する手法である。2001年には土木学会から「電気化学的防食工法設計・施工指針（案）」（以下、「指針」と称す）が発刊され、電気防食工法の設計、施工、維持管理等に関する事項がまとめられている。電気防食工法を適用する際に重要なことは、防食期間を通して鋼材の防食に必要な電流を流すことができるように陽極材を配置することである。すなわち、鋼材については、構造物の劣化状況に応じた防食に必要な電流密度の経時的な変化を、陽極材についても性能の経時的な変化を適切に予測することが求められる。また、外部電源方式による電気防食工法を適用した後における構造物の力学性能の経時的な変化についての検討も望まれる。そこで、本研究では上記について検討することを目的として、室内試験および約10年間にわたる暴露試験を行った。

2. 実験概要

本研究では、実験をシリーズⅠ～Ⅲに分けている。

シリーズⅠは、電気防食を適用後の鋼材の電気化学的特性の変化について検討することを目的として、約500日間の通電試験を行った。供試体は、図-1に示す形状とし、コンクリートのW/Cは37%とした。実験要因は、コンクリート中の塩化物イオン濃度、鋼材腐食の有無および暴露環境とし、通電期間中は鋼材の復極試験および分極試験を行った。

シリーズⅡは、電気防食を適用後の陽極材や周辺コンクリートの性能変化について検討することを目的として、室内促進通電試験を行った。供試体は図-2のとおり、溶液供試体およびコンクリート供試体の2種類とした。溶液供試体は陽極材を溶液内に配置したものであり、米国腐食防食協会の試験方法に準拠して陽極材表面積あたり 8.9A/m^2 で通電した。コンクリート供試体は陽極材をコンクリート内に配置したものであり、電流密度が 2.6 、 5.2 および 10.4A/m^2 となるように通電した。なお、これらの電流密度は、通常の電気防食に対して約100～500倍の過大なものである。測定項目は、通電期間中の陽極材のインスタントオフ電位、通電終了後の陽極材や周辺コンクリートの目視観察とした。

シリーズⅢでは、長期間にわたり電気防食を適用した場合のPC桁の特性変化を検討することを目的とし、約10年間にわたる暴露試験を行った。供試体は、図-3に示すようにI型断面で、全長4mのプレテンション方式のPC桁とした。実験要因は

電気防食の有無とし、暴露環境は独立行政法人港湾空港技術研究所内の飛沫帯を模した環境とした。測定項目は、鋼材の復極試験、PC鋼材の引張試験、PC桁の静的載荷試験および陽極材や周辺コンクリートの目視観察とした。

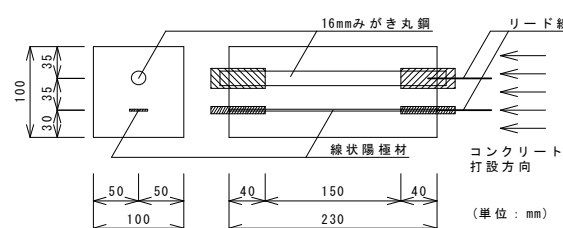


図-1 シリーズⅠ 供試体の形状・寸法

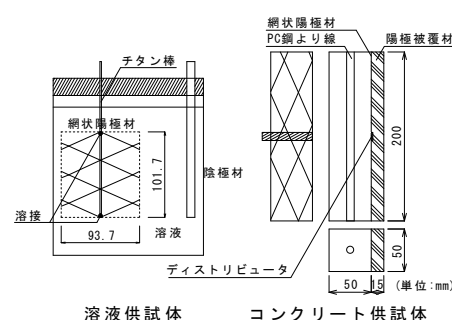


図-2 シリーズⅡ 供試体の形状・寸法

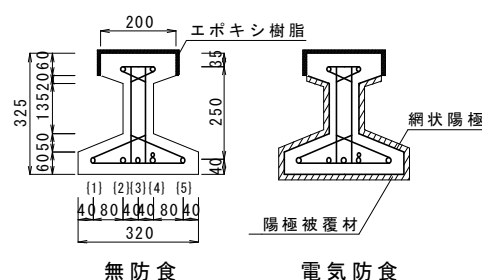


図-3 シリーズⅢ 供試体の形状・寸法

3. 実験結果および考察

3.1 鋼材の電気化学的特性の変化に関する検討

シリーズⅠの分極試験の結果から、防食基準である100mVの分極量に必要な鋼材表面積あたりの電流密度（以下、鋼材電流密度と称す）を算出した結果を図-4に示す。図中の凡例は、左側から実験シリーズ、コンクリート中の塩化物イオン濃度（0、4.6、9.1kg/m³）、鋼材腐食の有無（N：腐食無し、C：腐食有り）および暴露環境（D：相対湿度約60%、W：相対湿度約90%）を示す。図-4より、鋼材が腐食していない供試体（I-0-N-D、I-0-N-W、I-9.1-N-D、I-9.1-N-W）の鋼材電流密

度は $0.1 \sim 2 \text{ mA/m}^2$ 程度と小さく、通電に伴う変化は小さい傾向にあった。一方、鋼材が腐食した供試体 (I-4.6-C-D, I-4.6-C-W, I-9.1-C-D, I-9.1-C-W) の鋼材電流密度は、通電開始前において最大で 25 mA/m^2 程度を必要としたが、通電に伴う鋼材界面の環境の改善により、通電約 500 日経過後には各供試体とも通電開始前の半分以下の鋼材電流密度に低減した。

3.2 陽極材や周辺コンクリートの性能変化に関する検討

シリーズⅡおよびシリーズⅢの通電終了後の陽極材界面の状況を写真-1 に、シリーズⅡのコンクリート供試体および溶液供試体の積算電流密度と陽極材のインスタントオフ電位 (以下 E_{io} と称す) の関係を図-5 に示す。図中の凡例は、溶液供試体が溶液の種類を、コンクリート供試体は積算電流密度と陽極材電流密度を示す。写真-1 より、通常の電流密度の範囲で約 10 年間の通電を行ったシリーズⅢでは、陽極材の周辺のコンクリートの劣化は認められなかった。一方、通常の電流密度に対して過大な電流を印加したシリーズⅡでは、陽極材の周辺のコンクリートの劣化が認められた。この理由は、図-5 に示すように陽極材の E_{io} が塩素発生電位を超えているため、陽極材周辺は塩素発生反応に伴う pH の低下により酸性化している可能性があると考えられる。実構造物でも、陽極材の表面積に対して通電電流量が多くなる場合には、陽極材の周辺のコンクリートが劣化し、陽極材から防食電流を流すことができなくなる可能性があるため、十分に注意する必要があるものと考えられる。

3.3 PC 析の構造性能の変化に関する検討

シリーズⅢで実施したスパン3200mm、等曲げ区間400mmの曲げ載荷試験の結果から、電気防食した供試体は、暴露前に実施した試験と比べて、ひび割れ発生荷重、終局荷重、変形性能、ひび割れ分散性とも変化は認められなかった。一方、無防食供試体はPC鋼材の腐食により、基準供試体と比べてひび割れ発生荷重が約25%、終局荷重が約35%程度低下した。

4. まとめ

以下に、本研究の範囲で得た結論を示す。

- (1) 防食基準を満たす鋼材表面積あたりの電流密度は、腐食した鋼材ほど大きくなる傾向を示した。また、腐食した鋼材は、通電に伴う鋼材界面の環境の改善により、鋼材表面積あたりの電流密度は低減する傾向を示した。
- (2) 通常の電気防食における電流密度で約 10 年間通電したシリーズⅢでは、陽極材および陽極材の周辺のコンクリートの劣化は認められなかった。一方、通常の電流密度に対して過大な電流を印加したシリーズⅡでは、陽極材の周辺のコンクリートの劣化が認められた。この理由は、過大な電流印加に伴い、陽極材の塩素発生反応に伴う pH の低下により酸性化している可能性があると考えられる。
- (3) 約10年間にわたる長期暴露試験の結果から、電気防食した供試体は、通電に伴う構造性能の変化は認められなかった。

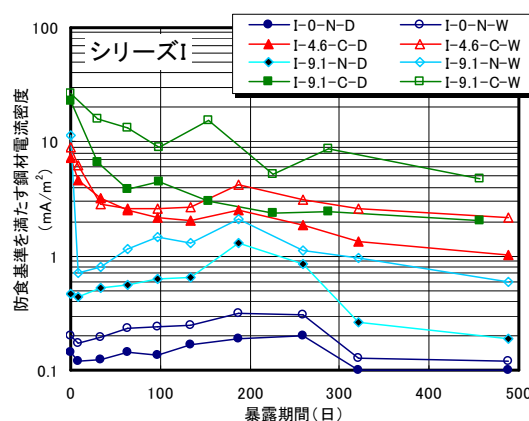


図-4 防食基準を満たす鋼材電流密度と暴露期間の関係



(シリーズⅡ通電後) (シリーズⅢ通電後)

写真-1 陽極材界面の状況

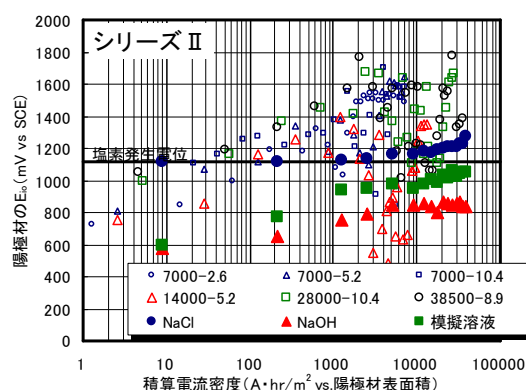


図-5 陽極材の E_{io} と積算電流密度の関係

5. おわりに

シリーズⅠおよびシリーズⅡは、早稲田大学 関研究室と(株)ピーエス三菱の共同研究の成果を、シリーズⅢは、運輸省港湾技術研究所 (現独立行政法人港湾空港技術研究所)、早稲田大学 関研究室、(株)ナカボーテックおよび(株)ピー・エス (現(株)ピーエス三菱)の共同研究の成果をとりまとめたものであります。

Key Words: 電気防食, 耐久性, 特性変化



青山敏幸