

## 学位論文の要旨

氏名

山本 誠

学位論文題目

鉄筋コンクリート構造物に用いる溶射型流電陽極方式電気防食における皮膜電極の性能評価とその防食設計に関する基礎研究

鉄筋コンクリート構造物の塩害劣化は、社会資本の維持における重要な問題の1つである。一方、電気防食工法は、この塩害の元凶であるコンクリート中の鉄筋腐食を抑制する工法の中でも、高い信頼性を有しているものの1つである。この電気防食工法には、防食電流の供給方法の違いにより、外部電源方式と流電陽極方式の2種類に分けることが出来る。鉄筋コンクリート構造物に対する電気防食工法では、防食電流の調整が可能な外部電源方式が主流である。しかし、流電陽極方式では、通電期間中に防食電流の調整を行うことはできないが、施工コストが安いことや、簡単に施工することが出来る利点がある。

本論文では、この流電陽極方式電気防食の中でもコンクリート構造物に対する補修工法として有効活用の検討が十分になされていない溶射型流電陽極方式電気防食工法を取り上げた。すなわち、ここでは、この工法を実構造物に適用するにあたり、溶射金属の施工方法や各種環境により防食性能が異なることに着目し、これら諸条件が防食性能に及ぼす影響を定量的に検証するとともに、溶射皮膜の副次的効果として劣化因子の遮蔽効果を検証した。さらに、本論文では、現在の防食基準の再検証と防食基準値以下の防食性能を把握することで、流電陽極方式電気防食工法の補修工法としての位置付けを明確にした。

第1章は、鉄筋コンクリート構造物の維持管理に関して社会的背景と補修工法としての電気防食の位置付けを示し、本研究の目的と概要について述べた。

第2章は、コンクリート構造物に対する電気防食のメカニズムと現在の基準に関して示し、本研究のテーマである流電陽極方式に関して、既往の研究結果を整理した。

第3章は、電気防食法の防食基準をテーマとした。電気防食工法では、「100mVシフト」が一般的に用いられる。しかし、100mV未満のシフト量でも、腐食抑制効果を期待することができる。そこで、本研究では、分割鉄筋を埋設した供試体を用いて、防食電流、腐食電流を把握し、電気防食における電位シフト量の検討を行った。電位シフト量の設定では、湿潤環境下で0、20、50、75、100mVとし、乾湿環境では0、50、100mVとした。試験期間中は、定期的に各分割鉄筋間の電流を測定し、測定結果から推定腐食量を算出し、防食効果の判断を実施した。その結果、既に鉄筋に腐食が生じている状況では、現在の防

食基準は適切であることを確認した。その一方で、100mV未満の電位シフト量であっても、腐食速度は無防食と比較すると抑制されることを確認した。

第4章では、まず、溶射型流電陽極方式電気防食工法に用いる流電陽極材の有効電流量や分極曲線など溶射金属皮膜の電気化学的物性を実験的に評価した。次に、溶射型流電陽極電気防食工法の防食効果に関して実験的に検討した。

すなわちここでは、コンクリート構造物の曝露環境、コンクリートの各種環境（鉄筋量、かぶり、塩化物イオン量）、溶射金属の種類、溶射皮膜の施工構成等が防食効果に及ぼす影響に関して、実験的に確認した。防食電流量、復極量を定期的に測定し、所定期間の通電後に解体することで内部鉄筋の腐食状況を確認した。

その結果、発生する防食電流は封孔処理材や塩化物イオン量が影響すること、湿潤環境下での長期通電では、復極量のみでは防食効果が判断できないことなどが確認できた。

さらに、本工法の溶射金属塗膜は、コンクリート内部鉄筋の防食効果および外来塩化物イオン、二酸化炭素の遮蔽効果が期待できる。そこで、遮塩性、中性化抑止性の検証では、通電の有無、皮膜厚さおよび封孔処理材の有無について、それぞれ促進試験結果から評価した。その結果、この塗膜が、特に遮塩性に優れていることが確認された。

第5章は、実構造物に対する溶射型流電陽極方式電気防食工法の適用を目的とし、海岸線にある建物の壁に施工した結果を示した。

この構造物は、事前調査の結果から含有塩化物量も少なく、予防保全的に電気防食工法を適用した場合のモデルとなる。施工完了後から防食電流、外気温、湿度、降水量を連続的にモニターすることにより、防食電流の発生にどのような影響を与えるかを確認した。また、通電期間中の溶射金属表面の変状に関する観察も行った。その結果、防食電流は、湿度に影響を受けやすく、乾燥環境下のみでの防食管理は、不適切な管理となることが確認された。つまり、流電陽極方式電気防食の防食管理では、防食電流や鉄筋電位を連続して測定する必要があることを示した。

第6章は、各章で得た結果から溶射型流電陽極方式電気防食工法の設計に関する考え方を提案した。すなわち、防食性能、陽極金属の寿命推定などについて、本試験での検討結果を踏まえ、具体的かつ定量的に示すとともに、鉄筋コンクリート構造物の性能を長期にわたり確実に維持するための溶射型流電陽極方式電気防食の管理方法について提案した。

第7章では、各章で得られた結果を取りまとめて結論とした。

## Summary of Doctoral Dissertation

Title of Doctoral Dissertation:

Fundamental Study on Cathodic Protection of RC Structures using Thermal Spray type Galvanic Anode System and Its Corrosion Protection Design

Name: Yamamoto Makoto

The deterioration of RC structures due to salt attack is one of the biggest problems in concrete engineering site. Cathodic protection is regarded as a highly reliable method for corrosion protection of rebar in concrete. Cathodic protection is classified into two types based on the difference in the method of supplying the protective current. One is impressed current system, another is galvanic anode system. Because the impressed current system can control the protective current, this system is main cathodic protection for RC structures. The demerit of the galvanic anode system is that the protective current cannot be controlled during operation time. However, it is advantageous because of its lower initial cost and easy installation. This study focuses on cathodic protection of reinforced concrete structures using “Thermal spray type galvanic anode system (here-in after called “Thermal spray system”)”.

The corrosion protection effect of the thermal spray system is different depending on the environmental conditions and the type of the spray system used. Therefore, the studies, at first, are carried out to identify the factors effected on the corrosion protection ability of the system, then these effects are quantitatively evaluated. Furthermore, the secondary effects of the anode alloy film on the structure, such as increment of carbonation resistance and chloride penetration one on structures are also clarified quantitatively.

Furthermore, this study is carried out to inspect the present standard for the cathodic protection of concrete structure for comparing to the study results. Consequently, effectiveness of the cathodic protection with galvanic anode system as the repair method is also quantitatively clarified, even though the evaluation value for protection ability of the system is less than the standard value.

Chapter 1 presents the background for the maintenance of RC structure and cathodic protection as one of the repair methods. In addition, this chapter presents the objective and outline of the study.

Chapter 2 explains the mechanism of cathodic protection for RC structure and the present protective standard. And, previous studies on the galvanic anode system are compiled and summarized.

In Chapter 3, the protective standard of cathodic protection was assumed to be a main theme. Generally, “100 mV cathodic Polarization Shift” is used as a criterion of cathodic protection for rebar in concrete. However, some effects of corrosion protection can be expected even if the polarization shift value is less than 100 mV. In the study, relationship between polarization shift value and effect of cathodic protection is examined using concrete specimens in which small steel splits connected electrically were embedded. Potential shift values for managing the corrosion protection were 0, 20, 50, 75, 100mV under the wet environment, and 0, 50, 100mV under the dry-wet-cycle environment. Current between each small steel splits was regularly measured during the operating period. Amount of corrosion and the effect of corrosion protection were judged. As a result, the present standard value was confirmed

appropriate one to the corrosion condition rebar in concrete. On the other hand, the corrosion rate was reduced for compared with non-protection, even though the cathodic polarization shift is less than the standard value.

In chapter 4, electrochemical properties of the anode alloy film such as, effective electrical charge and polarization curve etc. were evaluated experimentally. Next, the effect of corrosion protection was examined by considering some factors, such as, exposure environments (wet, wet and dry etc.), type of the anode alloy used, environments of concrete (amount of reinforcement, cover, chloride content), composition of the thermal spray film. The protective current and the depolarization were regularly measured during operation period. After the specimens were supplied with protective current for prescribed period, some specimens were broken to examine the corrosion condition of the rebar in concrete. From the experimental result, generated protective current had influenced the sealing material and chloride content. Also, the effect of corrosion protection cannot be judged by the depolarization value alone under wet environment. In addition, the anode alloy film of this system is expected to affect corrosion protection by the controlling the penetration of chloride ion and carbon dioxide into concrete. The secondary effect of the anode alloy film, such as carbonation resistance and chloride resistance were evaluated by accelerated test method. From the experimental results, excellent chloride resistance was confirmed.

Chapter 5 explains the installation of thermal spray type galvanic anode system to the wall of the building located along the coast. Prior to installation of the system on the wall, the investigation of concrete condition of the wall was carried out and confirmed that few amount of chloride was contained there. Therefore, cathodic protection was applied and installed as a model case for preventive maintenance. After installation, protective current, temperature, and humidity were measured during about three years, and the effect of these environmental conditions on the generation of protective current was confirmed. In addition, deterioration levels of the surface of the anode alloy was observed during operating period. As a result, protective currents were much influenced from humidity. Therefore, it is clear that the cathodic protection with galvanic anode system installed on structure must be evaluated continuously by measuring the protective current and/or the protective potential during operating the system.

In Chapter 6, an idea of system design of the thermal spray type galvanic anode was proposed based on the result of experimental investigations in this study. Namely, protection ability of Thermal spray system and the life time estimation of the anode alloy were shown based on the results of this study, and a management technique to maintain the protection performance of the system for long time was proposed.

Chapter 7 the results are consolidated and summarized.