

## チタングリッド陽極の耐久性評価に関する一考察

(株)ピーエス三菱 正会員 ○青山 敏幸  
 早稲田大学大学院 杉ノ上大我  
 早稲田大学教授 関 博

### 1. はじめに

コンクリート構造物の外部電源方式による電気防食工法は、直流電源装置から陽極材、コンクリートを介して陰極となる鋼材へ微弱電流を継続的に流すことで、コンクリート中の鋼材を電気化学的に防食することのできるコンクリート構造物の延命化対策工法であり、プレテンション方式の PC 構造物に本工法を適用した場合にも、その長期的な鋼材の防食効果と力学的挙動に問題がないことが確認されている<sup>1)2)</sup>。一方、電気防食工法の主要な構成材料となる陽極材の耐用年数は十分に把握されているとは言い難い。

外部電源方式の電気防食工法に使用する陽極材のひとつにチタングリッド陽極がある。本陽極は、母材である高純度チタンに混合貴金属酸化物を被膜したもので、コンクリートの劣化要因である塩素を発生させにくく、しかも酸化しないで電気を通すという優れた耐食性を有する陽極材である。この陽極材の耐久性については、米国腐食防食協会 (NACE) で確立されている促進試験を満足しているが、陽極材の電気化学的特性については不明な点もあり、明確な耐久性能が示されていない。

ここでは、チタングリッド陽極を用いて NACE 規格である 180 日促進試験 (以下、NACE 促進試験) と短期間で陽極材の耐久性評価を得ることを目的とした 30 日促進試験 (以下、30 日促進試験)、陽極材の電気化学的特性を確認するために両試験終了後に実施したアノード分極試験の結果を報告する。

### 2. 実験概要

#### (1) NACE 促進試験

本試験<sup>3)</sup>は、図-1 に示すように通電電流密度に通電時間を乗じた積算電流密度を実環境下で通電した値と同一となるよう、短期間に過電流を流す促進試験である。

NACE 促進試験は、180 日間での促進通電によって陽極の耐久性を評価するものであり、使用環境下での限界値  $110\text{mA/m}^2$  (陽極単位表面積あたり) を 40 年間通電した積算電流密度  $38500\text{A} \cdot \text{hr/m}^2$  と同等となるように、通電期間を 180 日間、通電電流密度を  $8.9\text{mA/m}^2$  に促進させた方法である。

試験の合格基準は、通電期間中の浴電圧と陽極電位の上昇を初期値から 4.0V 以内と定めている。実験に用いる水溶液は、NaCl 溶液、NaOH 溶液および模擬細孔液を含む砂の 3 種類であり、それぞれ同一種類の水溶液につき 2 試料の試験を行う。実験概要を表-1 に、通電方法を図-2 に示す。

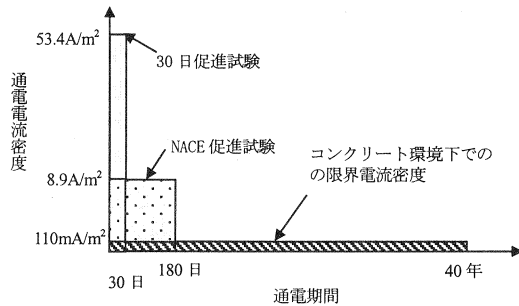


図-1 通電期間と通電電流密度の関係

表-1 NACE 促進試験および 30 日促進試験の概要

	NACE 促進試験	30 日促進試験
通電電流密度	$8.9\text{A/m}^2$	$53.4\text{A/m}^2$
通電期間	180 日	30 日
積算電流密度	$38500\text{A} \cdot \text{hr/m}^2$ ( $110\text{mA/m}^2$ で 40 年間通電を想定)	
水溶液	「NaCl 溶液」, 「NaOH 溶液」, 「模擬細孔液を含む砂」 NaCl 溶液: 塩化物イオンが存在する環境における塩素発生に対する陽極材の耐久性評価 NaOH 溶液: 低電流密度や新しいオーバーレイで見られる酸素発生に対する陽極材の耐久性評価 模擬細孔液を含む砂: 硬化コンクリートに最も近い条件での陽極材の耐久性評価	
合格基準	浴電圧 <sup>※</sup> , 陽極電位の上昇が初期値より 4.0V 以内: 合格 浴電圧 <sup>※</sup> , 陽極電位の上昇が初期値より 4.0V 以上: 不合格	

※ 浴電圧は、陽極-陰極間の電圧である。

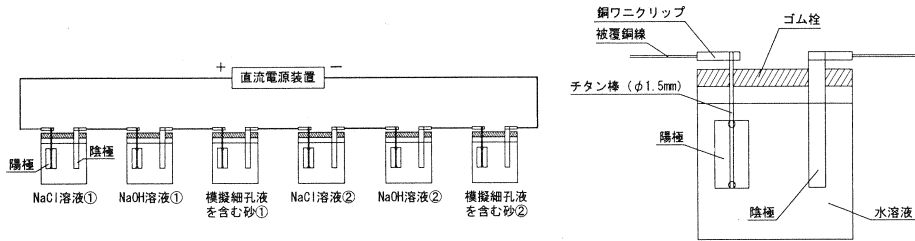


図-2 通電方法

(2) 30日促進試験

本試験は、通電電流密度を  $53.4\text{mA/m}^2$ 、通電期間を30日とし、NACE 促進試験をさらに6倍に促進させた試験である。試験は、NACE 促進試験と同様の手順で実施した。全試験片ともに30日通電で陽極材の劣化が認められなかったため、試験期間が許された約100日(積算電流密度  $126000\text{A}\cdot\text{hr/m}^2$   $110\text{mA/m}^2$  で約130年相当)まで通電を続けて検討を加えた。

(3) アノード分極試験

耐食性の評価方法のひとつに分極曲線計測がある。この試験は、一定電位あるいは一定電流を加えて、電流と電位の関係を測定することにより、対象となる試験片の耐食性を調べるものである。今回は、陽極材の通電前後における電位の貴化の有無を確認するために、通電前、NACE 促進試験終了後、30日促進試験終了後にそれぞれ、全自動分極測定装置を用いて図-3に示す方法により掃引速度  $20\text{mV/min}$  で試験を実施した。

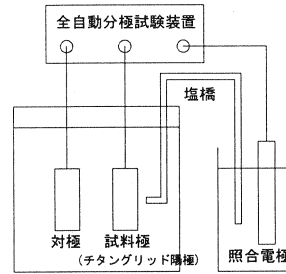


図-3 アノード分極試験方法

3. 実験結果

(1) NACE促進試験の結果

積算電流密度と浴電圧の関係を図-4に、積算電流密度と陽極電位の関係を図-5にそれぞれ示す。図に示す点線は、浴電圧、陽極電位が初期値に対して4V上昇した値を示す。

NaCl 溶液、NaOH 溶液および模擬細孔液を含む砂における全試験片は、NACE の規格で定められている積算電流密度  $38500\text{A}\cdot\text{hr/m}^2$  以上の通電を行っても、浴電圧と陽極電位には4V以上の上昇傾向は認められなかった。すなわちチタングリッド陽極は、使用環境下での耐用年数は、最低でも40年あることが確認された。

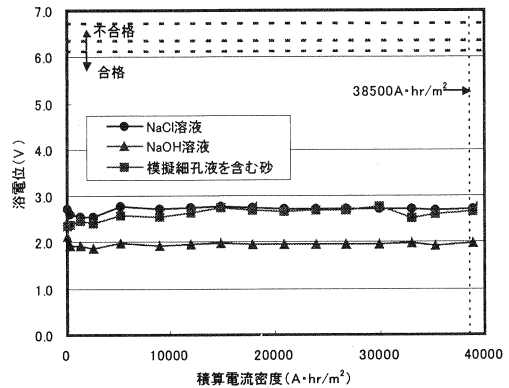


図-4 積算電流密度と浴電圧の関係

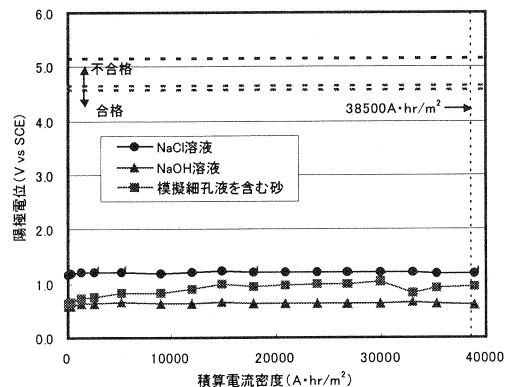


図-5 積算電流密度と陽極電位の関係

(2) 30日促進試験の結果

積算電流密度と浴電圧の関係を図-6に、積算電流密度と陽極電位の関係を図-7にそれぞれ示す。通電は、 $125597A \cdot hr/m^2$  ( $110mA/m^2$ で約130年相当)まで行ったが、全試験片とも浴電圧と陽極電位は4V以上の上昇傾向は認められなかった。NACE促進試験の結果とはほぼ同様な結果が得られたことから、30日促進試験でも陽極材の耐久性能を適切に評価できることが確認された。しかし、模擬細孔液を含む砂については、積算電流密度が約 $40000A \cdot hr/m^2$ を越えたあたりから陽極電位が上昇する傾向にあることが認められた。

(3) アノード分極試験の結果

NaCl溶液、NaOH溶液、模擬細孔液を含む砂でのアノード分極試験の結果を図-8~図-10にそれぞれ示す。

図-8に示すNaCl溶液での試験結果から、通電前と通電後によるアノード分極曲線の形状変化は小さいことがわかる。すなわち、チタングリッド陽極は、塩素発生環境下による陽極の性能変化は生じていないものと考えられる。

図-9に示すNaOH溶液での試験結果から、NACE促進試験終了後の試験片の陽極電位は、 $10A/m^2$ あたりから貴化する傾向が認められたが、より長い時間通電を行った30日促進試験終了後の陽極電位は、通電前とほぼ同様な挙動を示している。少なくとも使用環境下での限界電流密度の通電では、酸素発生環境下による陽極材の性能変化は生じていないものと考えられる。

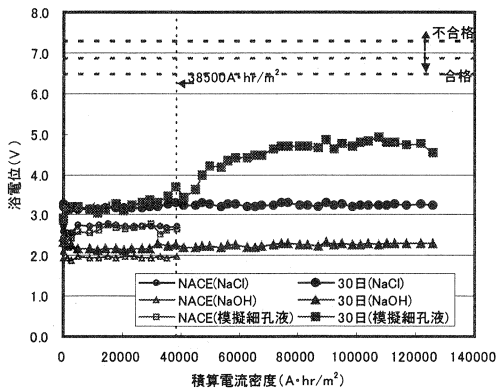


図-6 積算電流密度と浴電圧の関係

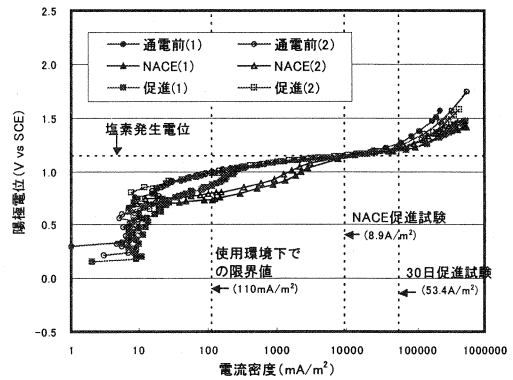


図-8 アノード分極試験結果 (NaCl 溶液)

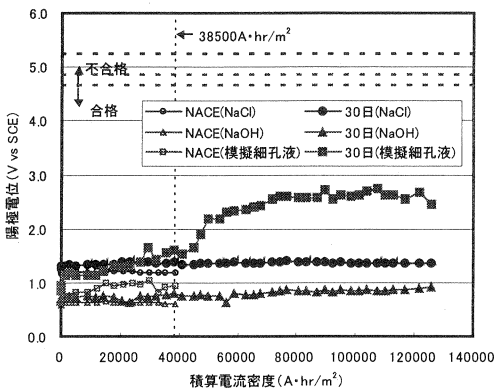


図-7 積算電流密度と陽極電位の関係

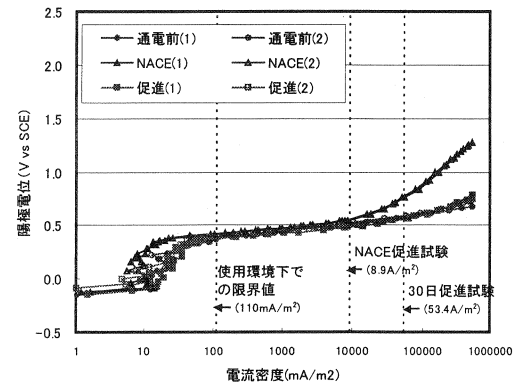


図-9 アノード分極試験結果 (NaOH 溶液)

図-10 に示す模擬細孔液を含む砂での試験結果から、陽極電位は高電流密度の領域である  $10\text{A/m}^2$  あたりから曲線が立ち上がる傾向が認められた。これは、陽極表面に被覆した酸化被膜が通電電流密度の増大にもなって消耗したためと考えられる。また、使用環境下での限界電流密度  $110\text{mA/m}^2$  通電では陽極電位の貴化が小さく、30日促進試験での電流密度  $53.4\text{A/m}^2$  通電では陽極電位の貴化が大きいことが認められた。

この結果から、チタングリッド陽極の電気化学的特性は使用環境下での電流密度の通電範囲内では不変であるが、高電流密度を通電した場合には異なる可能性のあることがわかった。

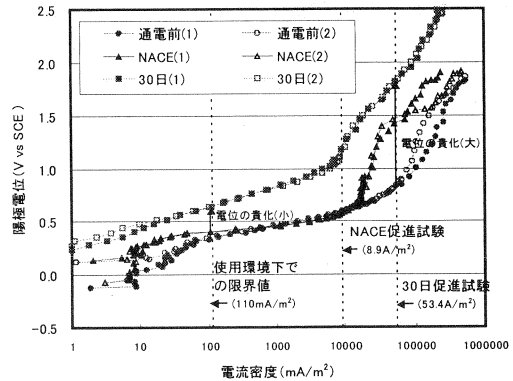


図-10 アノード分極試験結果  
(模擬細孔溶液を含む砂)

#### 4. まとめ

- 1)チタングリッド陽極は NACE 規格を十分満足しており、使用環境下での耐用年数は最低でも 40 年間あるものと思われる。
- 2)チタングリッド陽極の耐久性は短期間 (30 日促進) でも適切に評価できることが確認された。ただし、あまりに極端な高電流密度での促進試験の場合は、陽極の電気化学的特性が著しく異なる可能性もあるので注意を要するものとする。
- 3)チタングリッド陽極の耐食性は使用環境下では不変であることが確認された。また、高電流密度を通電した場合には陽極の電気化学的特性が異なる可能性のあることもわかった。

#### 参考文献

- 1) 青山敏幸, 関博, 阿部正美, 井川一弘: 海洋環境下にあるプレテンション方式PC構造物への電気防食適用に関する研究 プレストレストコンクリート Vol.44, No.3, May 2002 pp41-pp47
- 2) 濱田秀則, 関博, 青山敏幸, 井川一弘: 海洋環境下にあるプレテンション方式PC構造物への電気防食適用 セメント・コンクリート No.668.2002.10 pp60-pp66
- 3) NACE Standard TM0294-094 「Testing of Embeddable Anodes for Use in Cathodic Protection of Atmospherically Exposed Steel-Reinforced Concrete」