

酸素還元促進による新たな腐食加速試験

A novel accelerated corrosion test with enhancement of oxygen reduction reaction



構造材料研究拠点 独立研究者 腐食特性グループ(併任)

土井 康太郎 DOI.Kotaro@nims.go.jp

研究の背景

- 実環境における構造材料の腐食反応は非常に長い時間をかけて進行するため実験室での再現が難しい。
- 従来の腐食加速試験法はほとんどが酸化反応の加速しか行っておらず、実環境の腐食を再現できていない。
- 構造材料の腐食を律速しているのは、材料が接する水溶液中の「酸素の拡散」。

研究の狙い

- 腐食反応 = 金属材料の溶解(酸化反応)と生じた電子の消費(還元反応)のカップリング。
- 酸化反応: $M \rightarrow M^{n+} + ne^{-}$ 還元反応: $O_2 + 2H_2O + 4e^{-} \rightarrow 4OH^{-}$ 。
- 還元反応の主反応である酸素還元を促進することで腐食反応を底上げする新手法を提案。

最先端研究トピックス

高酸素腐食促進試験法の開発

中性～アルカリ性環境での腐食反応は酸素還元律速
→試験環境に酸素ガスを供給して酸素還元反応を促進

高酸素腐食促進試験法(特許第6744629号)
鋼材の溶解反応の対反応である酸素還元反応を促進させ、腐食反応全体を底上げする手法

耐圧ガスチャンバーに高圧酸素を供給(最大2.1 MPa、大気圧下の100倍)
電気化学測定、各種センサにより試験中の腐食挙動をモニタリング
・電位測定、インピーダンス測定、塩分センサ、酸素還元センサ
・温湿度センサ、pHセンサ

モルタルに埋設した鉄試料の腐食促進

試料: 純鉄 $7 \times 7 \times 1$ (mm³)
モルタル作製条件: 水セメント比60%, セメント細骨材比1:3
練り混ぜ水に2.06 M NaCl溶液を使用、試験期間: 14日間

高酸素腐食促進試験による鉄の腐食加速

0.02 MPa (大気開放) 0.1 MPa 0.4 MPa 0.6 MPa

腐食促進

低 供給酸素圧 高

鉄さび厚さ / μm

供給酸素圧 / MPa

レーザーラマン分光法による鉄さびの組成分析

▲: γ -FeOOH
●: α -FeOOH
■: Fe_3O_4

高酸素腐食促進試験 酸素圧0.6 MPa, 30日 実構造物より取り出した鉄さび(約40年)

酸素圧に比例して腐食を促進
実環境と同等の鉄さびを再現

高酸素腐食促進試験を用いた応用研究

コンクリート中鉄筋腐食

0.6 MPa O₂

光学顕微鏡像
Mortar
Third layer
Outer layer
Inner layer
Steel bar

ひび割れ
腐食

2層のさび層
外層: FeOOH、内層: Fe₃O₄
さび層内に黒皮残存

試験期間約2ヶ月でモルタルにき裂

新開発の鉄筋、補修材の評価

①耐食鋼

NIMS開発耐食鋼
炭素鋼

②水中で塗布可能な含浸補修材

水滴
補修材施工部位

試験法の簡便化・高効率化

1気圧の酸素+乾湿繰り返し試験

湿度発生装置 試験槽

湿度制御した酸素ガスを供給し腐食加速

表面処理への応用

応用分野と今後の展開

- あらゆる金属材料と環境の相互作用の基礎検討
- 大型構造物、電子部品、医療材料の腐食への展開
- 腐食反応を利用した表面処理法への展開

実用化へ向けた課題

- 鉄以外の金属材料への適用
- コンクリート以外の環境への適用(水溶液腐食、大気腐食)
- 規格化 → 本試験法を腐食加速試験法のスタンダードに

▶ 土井康太郎、廣本祥子、秋山英二: セメントペーストおよびモルタル内部の鉄の高酸素腐食促進試験, 日本金属学会誌, 82(1), pp. 1-7 (2018).
▶ Kotaro Doi, Sachiko Hiromoto, Tadashi Shinohara, Hideki katayama, Koichi Tsuchiya and Eiji Akiyama, Role of mill scale on corrosion behavior of steel rebars in mortar, Corrosion Science, 177, 108995 (2020).

▶ Kotaro Doi, Sachiko Hiromoto, Hideki Katayama and Eiji Akiyama, Effects of Oxygen Pressure and Chloride Ion Concentration on Corrosion of Iron in Mortar Exposed to Pressurized Humid Oxygen Gas, Journal of the Electrochemical Society, 165(9), pp. C582-C589 (2018).