

## 暴露試験と促進試験によるコンクリート内部のステンレス鉄筋の耐食性評価

国立研究開発法人土木研究所 ○中村 英佑, 古賀 裕久, 大島 義信  
 一般社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協会 村井 弘恭  
 一般社団法人日本鋼構造協会 中川 英樹

### 1. はじめに

厳しい塩害環境で供用されるコンクリート構造物の耐久性を確保するための一つの方法として、ステンレス鉄筋の使用が挙げられる。ステンレス鉄筋に関する設計施工指針<sup>1)</sup>が整備されているが、ステンレス鉄筋の更なる実用化を実現するためには、鋼種の違いによる耐食性の差やその評価方法を確立するための実験データの蓄積が必要である。本稿では、ステンレス鉄筋を用いたコンクリート試験体の暴露試験と促進試験を行い、鋼種の違いによるステンレス鉄筋のコンクリート内部での耐食性の差を検証し、その差を評価するための促進試験方法を検討した。

### 2. 実験方法

コンクリート配合と基礎物性を表-1、試験体の形状を図-1に示す。短期間の試験でステンレス鉄筋の耐食性を評価するために、練混ぜ水に塩化ナトリウムを混入して、コンクリート中の塩化物イオン濃度を3水準(2.5, 15, 25 kg/m<sup>3</sup>)とした。試験体の形状は角柱(100×100×400 mm)であり、かぶり30 mmの位置に1本の鋼材を配置した。材齢7日まで湿潤養生を行い、材齢28日まで室内に試験体を保管した後、暴露試験と促進試験を開始した。

暴露試験と促進試験の状況を図-2、実験パラメータを表-2に示す。暴露試験では、雨がかりのある屋外に試験体を1年間暴露した。促進試験では、恒温恒湿槽に試験体を設置して、JCI-SC3<sup>2)</sup>を参考として20サイクルの乾湿繰返しを行った。促進試験では、ひび割れが耐食性に与える影響を検討するために、曲げひび割れを導入した試験体も用いた。鋼種については、3種類のステンレス鉄筋(SUS316, SUS304, SUS410)と比較用の普通鉄筋(SD295)とした。

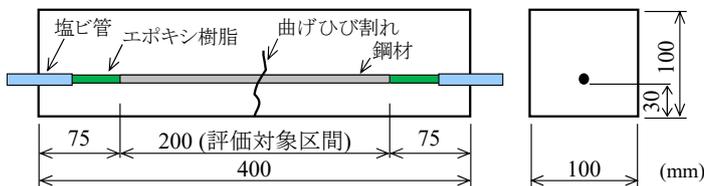
暴露試験と促進試験の後、試験体を解体して鋼材の腐食状況を調査した。鋼材表面の腐食範囲を目視で記録し、腐食面積率を求めた。その後、鋼材をクエン酸二アンモニウム溶液に浸漬して除錆し、断面欠損状況を記録した。

表-1 コンクリート配合と基礎物性

ID	練混ぜ時に混入した 初期塩化物イオン濃度 (kg/m <sup>3</sup> )	W/C (%)	単位置量(kg/m <sup>3</sup> )				スランブ (cm)	空気量 (%)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )
			W	C	S	G			
CI-2.5	2.5	50	165	330	828	968	11.0	4.2	40.2
CI-15	15						11.5	4.5	37.0
CI-25	25						11.5	4.0	37.6

※W: 上水道水, C: 普通ポルトランドセメント(密度=3.16 g/cm<sup>3</sup>, 比表面積=3220 cm<sup>2</sup>/g), S: 細骨材(密度=2.56 g/cm<sup>3</sup>, 吸水率=1.76%), G: 粗骨材(6号(密度=2.67 g/cm<sup>3</sup>, 吸水率=0.52%)と5号(密度=2.67 g/cm<sup>3</sup>, 吸水率=0.43%)を均等に混合, 最大寸法=20 mm), 化学混和剤: スランブ 12±2.5 cm, 空気量 4.5±1.5%を目標として AE 減水剤(高機能タイプ)と空気連行剤を使用

※スランブ, 空気量: 練上がり直後の試験値, 圧縮強度: 試験体と同一の養生方法で製作した円柱(φ100×200 mm)の材齢28日の試験値



※曲げひび割れを導入した試験体と導入していない試験体を製作  
 ※鋼材の中央部を評価対象区間とするために両端部を塩ビ管とエポキシ樹脂で保護

図-1 試験体の形状



(A)暴露試験 (B)促進試験  
 図-2 暴露試験と促進試験の状況

表-2 実験パラメータ

実験パラメータ	暴露試験 ※試験体数:各1体	促進試験 ※試験体数:各2体
試験条件	茨城県つくば市の雨がかりのある屋外で暴露 (暴露期間: 1年間, 暴露環境: 内陸部)	恒温恒湿槽内で湿潤3日間, 乾燥4日間の20サイクル (湿潤: 60°C, 90%RH以上, 乾燥: 15°C, 60%RH以下)
鋼種	SUS316, SUS304, SUS410, SD295	
初期塩化物イオン濃度	2.5 kg/m <sup>3</sup> , 15 kg/m <sup>3</sup> , 25 kg/m <sup>3</sup>	
ひび割れの有無	無	無, 有(約0.2 mmの曲げひび割れを導入)

キーワード ステンレス鉄筋, 塩害, 腐食, 暴露試験, 促進試験

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6 国立研究開発法人土木研究所 先端材料資源研究センター TEL029-879-6761

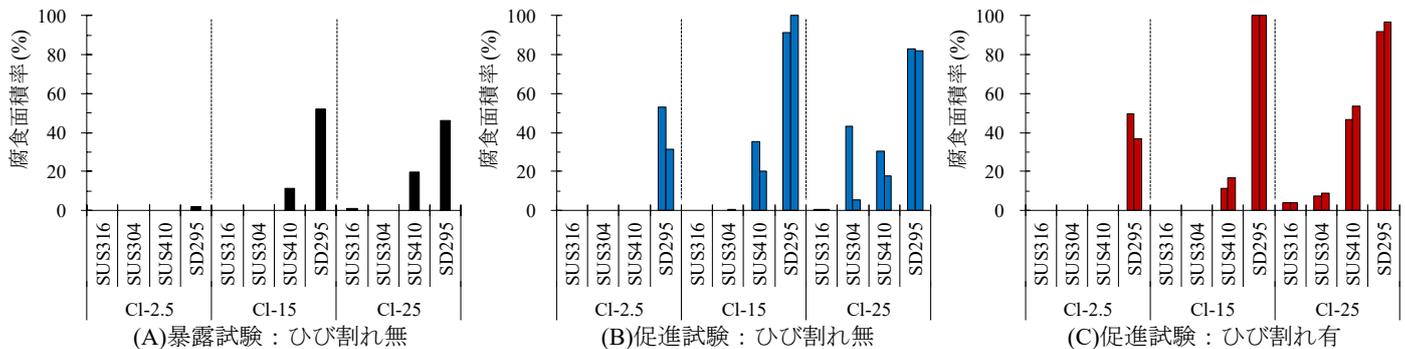


図-3 腐食面積率



※SUS410, SD295：明確な断面欠損あり  
 ※暴露試験後の CI-25 の例

図-4 断面欠損状況の例

表-3 断面欠損状況の一覧

鋼種	暴露試験 (ひび割れ無)			促進試験 (ひび割れ無)			促進試験 (ひび割れ有)		
	CI-2.5	CI-15	CI-25	CI-2.5	CI-15	CI-25	CI-2.5	CI-15	CI-25
SUS316	◎	◎	○	◎	◎	○	◎	◎	○
SUS304	◎	◎	○	◎	○	△	◎	○	○
SUS410	◎	△	×	◎	×	×	◎	×	×
SD295	○	×	×	×	×	×	×	×	×

※◎：腐食なし  
 ※○：表面に軽微な腐食があったが(腐食面積率<10%)，明確な断面欠損なし  
 ※△：表面に腐食があったが(腐食面積率≧10%)，明確な断面欠損なし  
 ※×：明確な断面欠損あり

3. 実験結果と考察

3.1 解体後の鋼材表面の腐食面積率 暴露試験で得られた腐食面積率を図-3(A)に示す。ステンレス鉄筋では、普通鉄筋と比較して、腐食面積率が小さくなった。また、塩化物イオン濃度が 15~25 kg/m<sup>3</sup> の場合の腐食面積率は SD295 で約 46~52%、SUS410 で約 12~20%となったが、SUS316 と SUS304 ではほとんど腐食が生じていなかった。

次に、促進試験で得られた腐食面積率を図-3(B)に示す。データに若干のばらつきは認められるが、前述した暴露試験と同傾向の結果が促進試験でも得られたことを確認できる。このため、本稿の実験で採用した促進試験によって、鋼種の異なるステンレス鉄筋のコンクリート内部での耐食性の差を評価することができると考えられる。ただし、促進試験で得られた腐食面積率は、暴露試験よりも大きくなる傾向にあった。この一因としては、促進試験の湿潤サイクルの試験条件が高湿多湿であったため、暴露試験よりも腐食の進行が速くなったことが挙げられる。

ひび割れを導入した試験体の腐食面積率を図-3(C)に示す。SUS316 と SUS304 では、ひび割れを導入した試験体においても腐食面積率が小さく、SUS410 や SD295 と比較して優れた耐食性を有することを改めて確認できる。

3.2 除錆後の鋼材の断面欠損状況 除錆後の鋼材の断面欠損状況の例を図-4、断面欠損状況の一覧を表-3 に示す。SD295 では塩化物イオン濃度が 2.5~25 kg/m<sup>3</sup> の場合において、SUS410 では特に塩化物イオン濃度が 15~25 kg/m<sup>3</sup> の場合において、孔食によって明確な断面欠損が生じていることが多く、耐荷性能への影響が懸念された。一方、SUS316 と SUS304 で確認された腐食は鋼材表面のみで生じた軽微なものであり、塩化物イオン濃度が 15~25 kg/m<sup>3</sup> の場合においても除錆後の鋼材で明確な断面欠損が確認されることはなかった。

4. まとめ

- ・ コンクリート内部のステンレス鉄筋は優れた耐食性を有し、特に SUS316 と SUS304 では、塩化物イオン濃度が 15~25 kg/m<sup>3</sup> の場合、更にはひび割れを導入した場合においても、断面欠損を伴う腐食が生じなかった。
- ・ 乾湿繰返しによる促進試験を行うことによって、鋼種の異なるステンレス鉄筋のコンクリート内部での耐食性の差を短期間の簡易な試験で評価できること、暴露試験と同傾向の評価結果が得られることを確認した。

なお、ステンレス鉄筋のコンクリート内部での長期的な耐食性については、暴露試験を継続して検証する予定である。本稿は、「耐久性向上のための高機能鋼材の道路橋への適用に関する共同研究」の検討成果の一部である。

参考文献 1)土木学会：ステンレス鉄筋を用いるコンクリート構造物の設計施工指針(案)，コンクリートライブラリー130, 2008.  
 2)日本コンクリート工学協会：JCI-SC3 塩分を含んだコンクリート中における補強用棒鋼の促進腐食試験方法—乾湿繰返し法—，コンクリート構造物の腐食・防食に関する試験方法ならびに規準(案)，pp.9-15, 1991.