

ステンレス鉄筋を用いた鉄筋コンクリートの耐久性に関する暴露試験

環境社会基盤工学課程 B4

ENKHTUR KHAS-ERDENE

指導教員：下村 匠

1. はじめに

新潟県日本海沿岸飛来塩分による厳しい塩害環境である。海岸沿いを通る国道 8 号線のプレストレストコンクリート橋である能生大橋は塩害による鋼材腐食が著しく、2012 年に架け替えられ、2013 年 2 月より供用を開始した。新橋には、鉄筋腐食の危険性が高い主桁連続部、橋脚等の橋桁支店部にステンレス鉄筋(JIS 4322 SUS410-SD)が使用されたことで、日本国内で初めて直轄国道の橋梁躯体にステンレス鉄筋が本格使用された例として注目されている。ステンレス鉄筋の普及のためには、このような先駆的な事例において十分に追跡調査を実施し、データを蓄積しておくことが必要である。そこで、国土交通省北陸地方整備局北陸技術事務所、長岡技術科学大学、日本鋼構造協会の 3 者共同で、能生大橋に近傍に暴露供試体を設置し、内部の鉄筋の腐食について継続的に調査を行うこととした。

2. 暴露試験概要

実橋近傍に実橋と同じ材料で作製し、暴露試験により高耐久鋼材を使用した補修・補強に関わる基本データを回収・蓄積し、これらの適用拡大を図ることを目的としている。

暴露試験のシリーズは、10 年以内の状況を調査する短期暴露のシリーズと、10 年以上も調査を継続長期暴露のシリーズより構成される。短期暴露供試体による鉄筋かぶりを低減した(10mm)塩害促進条件下での試験、長期暴露供試体による実橋と同じ鉄筋かぶり(70mm)が条件での長期耐久性の確認、SUS 鉄筋自然環境下における有効性を把握するための基礎データとなるよう、30 年間の長期調査を実施している。

今回調査したのは、短期暴露 10 年目試験である。かぶりは 10mm(図 2.1)と実際の構造物よりも小さく設定されており、塩害促進条件下で SUS 鉄筋の有効性を検証するおよび複数種類の鉄筋を組合せた場合(図 2.1)の耐塩害性を把握し、解体調査を行い、実環境下におけるステンレス鉄筋の耐塩害性を把握することを目的とする。

3. 解体調査

3.1 概要

表 2.1 暴露試験体

試験名称	短期試験体		長期試験体
	各種鉄筋の促進試験	異種鉄筋の組合せ試験	実橋使用鋼材耐久性試験
数量	10 体	8 体	10 体
暴露期間	3 年、10 年	3 年、10 年	5 年、10 年、20 年、30 年
かぶり	10mm	10mm	70mm

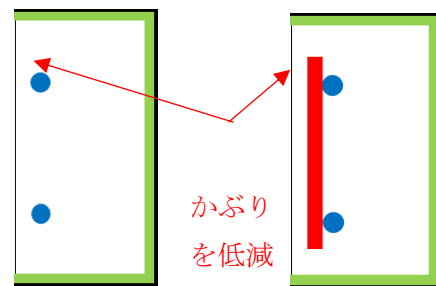


図 2.1 短期暴露試験各種鉄筋供試体（左）、種鉄筋の組合せの供試体（右）

短期暴露については、暴露開始から 3 年、10 年に供試体(短同-1~5, 短異-1~4)の解体調査を行う。

3.2 外観目視調査

供試体を環境に置いた以降、毎年外観目視調査を行ってきた。2022 年の調査結果では、短異-4 の供試体のみ腐食ひび割れが見られた。他の試験体は変状ないであった。2020 年から腐食ひび割れが表面に発生始めた。図 3.2-1 に普通鉄筋と普通鉄筋の組合せの供試体(短異-4)の外観調査の 2017 年、2022 年の写真を示す。

3.3 中性化深さ測定

中性化深さ測定試験は原則、JIS A 1152 に従い実施した。供試体からコンクリートコアを採取し、中性化深さ測定を行った。測定結果は、全供試体によって中性化は認められなかった。図 3.3-1 に SUS410 の供試体(短同-1)の結果を例として示す。

3.4 全塩化物イオン濃度測定

全塩化物イオン濃度測定結果は、短異-4 の供試体の結果は 1cm 以降に塩化物イオン量が最も多いであった。外観目視調査で、短異-4 は腐食ひび割れが発生していたことは明らかになって、腐食ひび割れから塩分が浸透して

全塩化物イオンが高くなっていると考えられる。図 3.4-1 に 10 年の全供試体の結果をまとめたグラフを示す。3 年目の結果を図 3.4-2 に示す。3 年目と 10 年目の結果を比較すると、表面からの距離が多くなるにつれ、10 年目の方が塩化物イオン量は多くなっていくことが明らかとなった。

3.5 自然電位測定

自然電位測定は原則、JSCE-E 601 に従った。供試体の端部はつり出してマーキングした箇所毎に押しあてて測定を行った。ステンレス鉄筋はいずれも腐食していないことが分かった。図 3.5-1 に短同-5 の結果を示す。外観調査では、腐食ひび割れが見られていないが、自然電位測定では、90%以上の確率で腐食ありという結果になった。短異-4 の自然電位測定結果を図 3.5-2 に示す。短異-4 の供試体が外観調査で腐食ひび割れが見られていて、自然電位測定でもかなり高い結果で腐食していた。

3.6 鋼材腐食面積・腐食減量試験

鋼材腐食面積の 10 年目の測定は、画像処理ソフト“Simple Digitizer”を用いて座標を測定し、腐食面積量を算出した。3 年目の鋼材腐食面積率と異なる算出方法であるため、正しい比較でない可能性がある。図 3.6-1 に腐食面積率（短異）と図 3.6-2 に腐食減量試験結果（短同）のグラフを示す。短同-5 と短異-4 の普通鉄筋のみ腐食したことが分かった。

4. 結論

10 年暴露した試験体を測定したが、腐食していたのは短同-5 と短異-4 の普通鉄筋のみで、ステンレス鉄筋の腐食は確認できなかった。中性化試験において、全供試体で中性化は見られず、予測計算と同様の結果となった。鋼材腐食面積率・腐食減量試験でも普通鉄筋はステンレス鉄筋・エゴ筋と比較するとかなり腐食している結果になった。普通鉄筋が腐食してしまう環境下でもステンレス鉄筋はすべて腐食が確認されなかった。塩害促進環境下で腐食は確認されなかったため、長期試験体でも腐食していないと予測されるが、今後長期試験体を解体して腐食を確認する必要がある。

参考文献

- 1) 一般社団法人 日本鋼構造協会：ステンレス鉄筋の利用に係る技術課題と調査研究、2018 年
- 2) https://www.pwrc.or.jp/thesis_shouroku/thesis_pdf/1508-P026-029rep_iino.pdf

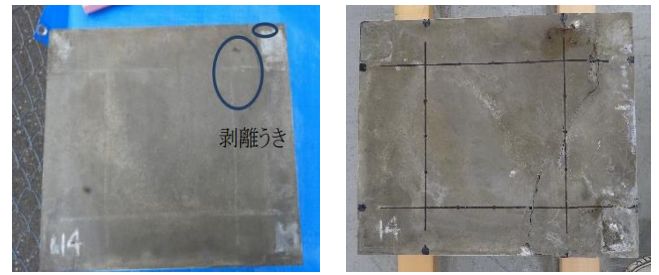


図 3.2-1 2017 年（左）、2022 年（右）の外観調査

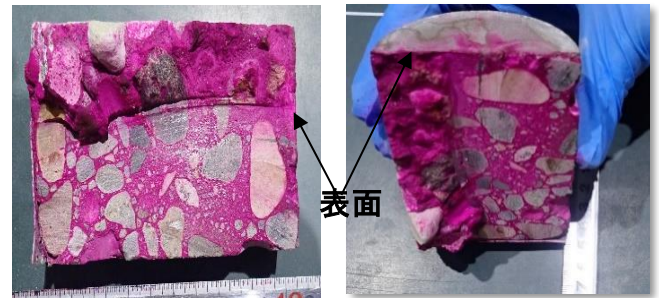


図 3.3-1 短同-1 中性化深さ測定結果

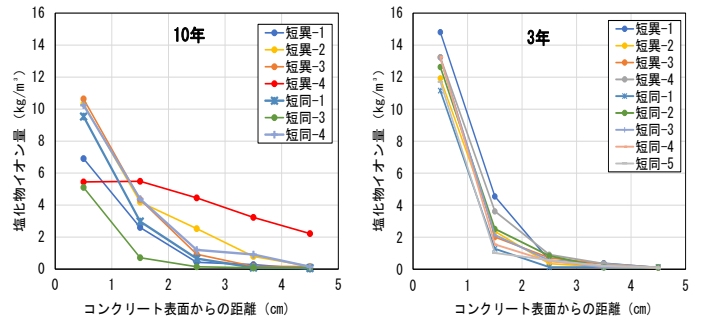


図 3.4-1 全塩化物イオン濃度測定結果 10 年目

図 3.4-2 全塩化物イオン濃度測定結果 3 年目

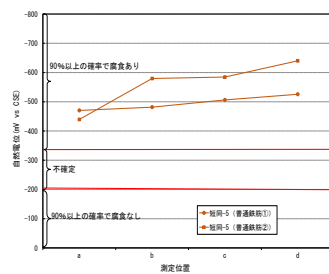


図 3.5-1 自然電位測定結果（短同-5）

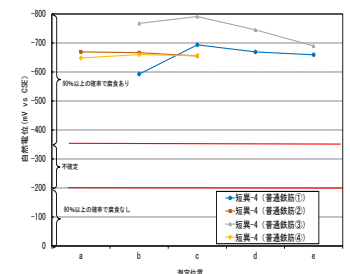


図 3.5-2 自然電位測定結果（短異-4）

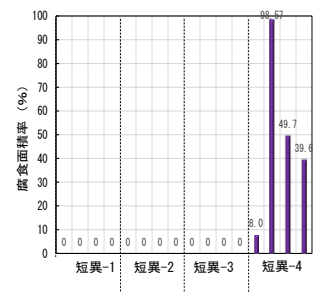


図 3.6-1 鋼材腐食面積率（短異）

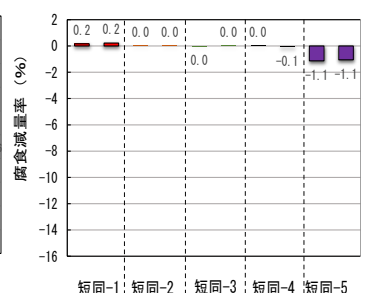


図 3.6-2 腐食減量率（短同）