

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 21 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H04026

研究課題名(和文) コンクリート構造物に対する劣化外力の評価を目的とした広域暴露試験

研究課題名(英文) Nation-wide Exposure Test on Evaluation of Environmental Impact for Concrete Structures

研究代表者

浜田 秀則 (HAMADA, HIDENORI)

九州大学・工学研究院・教授

研究者番号：70344314

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,600,000円

研究成果の概要(和文)：九州・沖縄地区より10数か所の暴露場所を、さらに関西、関東地区でも暴露試験を実施した。暴露開始後、5～6年を経過した段階で暴露場所から試験体を引き上げ、評価試験を行った。その結果をもとに、環境インパクトの評価の考え方を考察した。塩害に関して、1．海洋・港湾構造物(飛沫帯を含む)、1-1 栈橋上部コンクリート工は独立して考えることとし、その際にはマルコフ連鎖モデルの適用が最も適している。1-2 エネルギープラントの水路施設。2．沿岸構造物(飛来塩分の影響を受ける)、3．凍結防止剤の影響を受ける構造物、4．海水等で練り混ぜた構造物、である。上記の分類ごとに評価を行うのが適切である。

研究成果の概要(英文)：Worldwidely, reinforced concrete structures deteriorate, sometimes seriously, due to chloride, sulphate and carbonation attack. Corrosion of reinforcing steel is of great concern because it is probably the most widespread cause of degradation in reinforced concrete. This study conducted the exposure test, where the specimens were exposed in three different exposure areas namely Kagoshima, Okinawa and Kyushu University. Based on the finding derived from the experimental program, the summary is as follows:
The corrosion of steel bar embedded in mortar specimens was evaluated in different environmental conditions after 8 years of exposure. The exposure test was conducted in different climate conditions. The exposure locations were "sulfate condition", "chloride condition" and "carbon dioxide condition". It was found that in the specimens exposed in sulfate and chloride conditions, the corrosion was slight and still in good condition compared with those in carbonation condition.

研究分野：建設材料学

キーワード：環境インパクト 塩害環境 暴露試験 海洋・港湾環境 マルコフ連鎖モデル 水路構造物 凍結防止剤 海水練り混ぜ

1. 研究開始当初の背景

コンクリート構造物の設計は、構造設計および材料設計をその両輪とし、この両者が十分に機能することにより、合理的で、安全かつ耐久的な構造物の設計が可能となる。これまでの構造物の設計では、構造設計をまず重視してきた。一方で、耐久性設計を含む材料設計については、構造設計に比べると遅れている。早期に劣化するコンクリート構造物も多いこと、米国において鋼橋の崩壊事故が発生していることなどから、安全・安心な社会生活に直結する鋼およびコンクリート構造物の耐久性を十分に確保することへの社会的要請が強くなっている。

コンクリート構造物の耐久性は、構造物自身が有する特性のみで決まるものではなく、構造物が置かれている環境条件との相互作用により決まってくるものである。構造物が本来有している耐久性と環境インパクト（劣化外力）の相互関係が極めて重要である。逆に考えると、構造物の耐久性を正しく設計するためには、想定される環境インパクトを正しく評価することが重要課題となる。しかし、環境インパクトの評価に関しては十分な研究データが蓄積されていないのが現状であり、現在の評価精度は高いとは言えない。

本研究は、上記の状況に鑑み、コンクリート構造物が置かれる様々な環境が構造物に及ぼすインパクトを精度よく評価する技術の向上を目的としている。研究方法として、共通の試験体を様々な環境条件に暴露した後、性状の変化を調べ、環境インパクトの評価を行うという方法を採用する。

2. 研究の目的

社会資本の重要な構成要素であるコンクリート構造物と鋼構造物は時間の経過とともに劣化が進行しその性能は低下していくが、劣化速度は外部の環境条件の影響を強く受ける。構造物の維持管理を適切に実施するためには、構造物の劣化速度を適切に評価する必要があり、そのためには劣化外力、すなわち環境インパクトを適切に評価することが必要である。本研究は、コンクリート工学の中でも比較的未解明な部分の多い、RC構造物の劣化環境の定量的な評価を目的として実施するものである。共通の試験体を様々な異なる環境条件に暴露し、その性状の変化と環境条件の関連性を評価することにより環境インパクトの評価を行うものである。

3. 研究の方法

研究代表者（濱田）は、環境インパクトの評価に関してこれまでに、国内の港湾環境をその評価対象として、全国の18ヶ所の港湾において試験体の暴露試験を実施し、その環境インパクトの評価を行った。水平的な広がりとして、北海道の寒冷地に位置する環境から、沖縄県石垣港のような亜熱帯に位置する環境までを網羅した暴露試験を実施した。さ

らに、鉛直方向の環境の相違を確認するために、飛来塩分の環境、波浪を受ける飛沫環境、干満作用の影響を受ける干満帯（感潮帯）、および海水の影響を常時受ける海中部に試験体を暴露し環境インパクトの評価を試みた。

さらに、本研究の研究分担者との共同研究として、九州地区、沖縄地区、関西地区および関東地区から10数か所の暴露場所を選定し、5年前に暴露試験を開始した。暴露条件としては、海洋環境のような塩害環境に加え、温泉地区のような化学的侵食環境、さらには中性化環境も対象に含めた。この暴露試験が暴露開始後5年を経過したことから本研究課題を申請し評価試験を実施した。

5年間の暴露を継続してきた試験体の劣化評価試験を実施した。評価試験の項目は、1) 外観性状、2) モルタル中への侵食性物質の侵入状況、3) モルタルの化学的変質状況、4) 埋設鉄筋の電気化学的性状、5) 埋設鉄筋の腐食状況、である。一方、暴露環境の気象条件を公開情報から収集した。その項目は、1) 気温、2) 湿度、3) 風向・風速、4) 海岸線からの距離、などである。この両者のデータを比較検討することで、気象条件と劣化状況の間に存在する関係を明らかにすることを試みた。

4. 研究成果

日本国内の港湾環境をその評価対象とした全国各地の18箇所の港湾における試験体の暴露試験を実施し、その環境インパクトの評価を行った。水平的な広がりとして、北海道の寒冷地に位置する環境から、沖縄県石垣港のような亜熱帯に位置する環境までを網羅した暴露試験を実施した。さらに、鉛直方向の環境の相違を確認するために、飛来塩分の環境、波浪を受ける飛沫環境、干満作用の影響を受ける干満帯（感潮帯）、および海水の影響を常時受ける海中部に試験体を暴露し環境インパクトの評価を試みた。さらに、九州地区および沖縄地区より10数か所の暴露場所を選定し、さらには関西地区、関東地区も含めた暴露試験を開始した実施した。このシリーズにおいては、海洋環境のような塩害環境のみではなく、温泉地区のような硫酸塩環境も対象に含めた。暴露開始後、5～6年を経過した段階で暴露場所から試験体を引き上げ評価試験を行った。その結果をもとに、環境インパクトの評価の考え方について、考察を行った。

一連の研究成果を取りまとめることにより、コンクリート構造物の環境インパクト評価に関して以下の考え方を提案するに至った。

1) 塩化物イオンのコンクリート内への侵入に起因する塩害に関して、すべての構造物を一つの指標で評価することは必ずしも適切ではなく、また、合理的でもない。構造物を適切に分類して、分類ごとに環境インパクト

トの評価を行うべきである。

① 海洋・港湾構造物（飛沫帯に建設される構造物を含む）、

①-1 特殊構造物として、栈橋上部コンクリート工は独立して考えることとし、その際にはマルコフ連鎖モデルの適用が最も適している。

①-2 特殊構造物として、エネルギープラントの水路施設がある。

② 海岸（沿岸）構造物（飛来塩分の影響を受ける構造物）、

③ 凍結防止剤の影響を受ける構造物、

④ 海水中で練り混ぜた構造物、である。

上記の分類ごとにインパクト評価を行うのが適切である。

2) 中性化に起因する劣化現象に関して

3) 硫酸イオンの侵入に起因する劣化現象に関して

1) 2) 3) を客観的に比較すると、2) 中性化に起因する劣化が最も進行が速い塔結果が得られた。

The purpose of studying the corrosion evaluation of steel bars exposed in different environmental conditions (carbonation, chloride attack and combined condition) was to capture the situation of corrosion of steel bars of concrete over time of exposed it in different climate conditions. The following results are obtained.

The corrosion of steel bar embedded in mortar specimens was evaluated after exposed it in different environmental conditions for 8 years (carbonation, sulfate and chloride environment). It was found that, the steel bar exposed in air drying condition was most corrosive compared with other exposure conditions. Furthermore, it was also found that, the factors affecting severity of salt damage environment in coastal environment are the ease of arrival of sea breeze, such as distance from coastline and height from sea surface.

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 1 件）

① 伊代田岳史・本名英里佳、コンクリート構造物の炭酸化進行における雨掛かり等の環境条件の影響とその進行メカニズムの検討、コンクリート工学論文集、第 28 巻、113-122、2017 年 6 月（査読あり）

〔学会発表〕（計 3 件）

① 有馬潤太・木下智之・濱田秀則・山本大介、39 年間供用したエネルギー施設内鉄筋コンクリート放水路の調査、土木学会西部支

部研究発表会、2018 年 3 月、宮崎市（査読なし）

② Takeshi Iyoda and Satoshi Maehara, Survey on Environmental Impact of Carbonation Progress and Repair Corrosion in Actual Concrete Structure, EASEC-15, October 2017, Xian, China.（査読あり）

③ Zeinab OKASHA, Hidenori HAMADA, Yasutaka SAGAWA and Daisuke YAMAMOTO, An electrochemical conditions of conventional steel bars surface in carbonated concrete, セメント技術大会、2017 年 5 月、東京・池袋（査読なし）

〔図書〕（計 3 件）

① Zeinab Okasha（ゼイナブ・オカシャ）、Corrosion Evaluation in Carbonated and Chloride Permiated Concrete Exposed Different Conditions, 九州大学大学院工学府修士論文、117 ページ、2018 年 3 月（指導教員：濱田秀則）

② 有馬潤太、39 年間供用した鉄筋コンクリート放水路の塩害に対する調査結果に基づく維持管理手法、九州大学工学部卒業論文、52 ページ、2018 年 3 月（指導教員、濱田秀則）

③ 木下智之、沿岸部で 43 年間供用されたコンクリート構造物の強度および塩分浸透性状に関する研究、九州大学工学部卒業論文、59 ページ、2017 年 3 月（指導教員、濱田秀則）

以下は、参考として掲載

④ 高出惇也、曝露試験体の分析に基づくコンクリートへの塩分浸透性状の評価、九州大学大学院工学府修士論文、96 ページ、2016 年 3 月、（指導教員、濱田秀則）（曝露試験の途中経過に関する記述がある）

⑤ 高橋勝也、鉄筋—コンクリート界面および試験環境が鉄筋腐食に及ぼす影響について、九州大学大学院工学府修士論文、89 ページ、2009 年 3 月（指導教員、濱田秀則）（曝露試験開始時の記述がある）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：

権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

濱田秀則 (Hamada Hidenori)
九州大学大学院工学研究院・教授
研究者番号：70344314

(2) 研究分担者

一宮一夫 (Ichimiya Kazuo)
大分工業高等専門学校都市・環境工学科・
教授
研究者番号：00176306

佐川康貴 (Sagawa Yasutaka)
九州大学大学院工学研究院・准教授
研究者番号：10325508

山路 徹 (Yamaji Toru)
国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研
究所・港湾空港技術研究所・領域長
研究者番号：10371767

羽瀨貴士 (Habuchi Takashi)
東亜建設工業株式会社技術開発セン
ター・研究員
研究者番号：10446924
平成29年12月5日まで

松田 浩 (Matsuda Hiroshi)
長崎大学工学研究科・教授
研究者番号：20157324

伊代田岳史 (Iyoda Takeshi)
芝浦工業大学工学部・教授
研究者番号：20549349

山本大介 (Yamamoto Daisuke)
九州大学大学院工学研究院・専門技術職員
研究者番号：40398095

小山智幸 (Koyama Tomoyuki)
九州大学大学院人間環境学研究院・准教授
研究者番号：50215430

山口明伸 (Yamaguchi Toshinobu)
鹿児島大学理工学域工学系・教授
研究者番号：50305158

尾上幸造 (Onoue Kozo)

熊本大学大学院先端科学研究部 (工)・准
教授
研究者番号：50435111

審良善和 (Akira Yoshikazu)
鹿児島大学大学院理工学域工学系・准教授
研究者番号：60639376

山田義智 (Yamada Yoshitomo)
琉球大学工学部・教授
研究者番号：80220416

鶴田浩章 (Tsuruta Hiroaki)
関西大学環境都市工学部・教授
研究者番号：90253484

網野貴彦 (Amino Takahiko)
東亜建設工業株式会社技術開発セン
ター・新材料・リニューアル技術グループ・
研究員
研究者番号：70446938
平成29年12月5日以降

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

なし