

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年6月8日現在

機関番号：33302

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560467

研究課題名（和文） 優先的にメンテナンスすべき鉄筋コンクリート構造物の選定技術の構築

研究課題名（英文） Proposal of Selection Method of Maintenance Priority for Reinforced Concrete Structures

研究代表者

宮里 心一（MIYAZATO SHINICHI）

金沢工業大学・環境・建築学部・教授

研究者番号：60302949

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、市民が安心・安全・快適に社会基盤を利用し続けるべく、塩分浸透によって鋼材腐食するコンクリート構造物に対する点検の優先順位を工学的に決定し、必要に応じて合理的な対策を施す、維持管理計画を策定するシステムを構築することである。そのため、何処に立地する構造物あるいは何れの面・部位において腐食の進行が速いかを把握する技術、既設構造物に対して簡易で定量的に鉄筋腐食量を点検する技術、および構造物の要求性能に応じて補修する技術を開発し、これらを連携させて鋼材腐食に対する維持管理を計画するシステムを提案した。

研究成果の概要（英文）：It is important that a citizen can continuously use infrastructures with reliability, safety and comfortableness. Based on the above background, the objective of this study is to design a system of a maintenance plan to concrete structure with chloride induced corrosion. That is, the priority of the inspection is determined and the system which performed a necessary reasonable countermeasure is investigated. Therefore the next methods were developed; 1) It is understood where the structure whose deterioration rate is fast. 2) It is understood where the area or part whose deterioration rate is fast. 3) The steel corrosion rate in the existing structure is quantitatively checked in easiness. 4) The structure is repaired depending on the requirement performance. Finally the system designed the maintenance plan was suggested under these cooperate.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
2012年度	300,000	90,000	390,000
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木材料・施工・建設マネジメント

キーワード：鉄筋コンクリート、メンテナンス、プライオリティー、塩害、腐食速度、点検、補修

1. 研究開始当初の背景

これまでに数多くの社会基盤が整備され、現在では日々の市民生活や産業活動に支障を来す物質的不満は解消されつつある。す

なわち、多くの土木構造物によって、豊かな暮らしと活力に満ちた社会が支えられている。ここで現在の社会状況を鑑みると、経済成長が急速に高まることは期待できない。ま

た、低炭素社会の実現に向け、環境負荷低減化への展開が急務である。さらに近い将来には、少子・高齢化に伴い労働者人口が低減する。したがって、高額な用地買収や自然への環境破壊を伴う建造物の新設は、必要最小限にとどめなければならない。そのため、美しい自然を守りながら次世代への持続的発展を図るためには、コストが低くかつ係わる人数が少ない条件で、既存の社会基盤を用いた市民へのサービス提供が長期間に亘り継続されることが望ましい。

さて、主たる土木建造物に「鉄筋コンクリート」が活用されている。しかしながら特に近年、鋼材腐食を伴う劣化が進行している既設建造物が、急速に増加している。これは、高度経済成長期に建設された多数の鉄筋コンクリートが、塩害により老朽化を迎えつつあるからである。したがって、市民が安心・安全・快適に社会基盤を利用し続けるためには、性能が不満足な建造物を見つけ出し、合理的な対策を施さなければならない。そのためには、劣化進行メカニズムを踏まえて、鋼材腐食するコンクリート建造物の存続・更新の戦略を考案しなければならない。すなわち、維持管理作業の発端となる“点検”を効率的に実施することが重要である。また、安心・安全・快適に存続させるためには、補修の効果を最大限に引き出す“対策”を実施することが重要である。特にこの際、自動車などに対するメンテナンスと同様に、劣化の速いパーツはこまめに点検し、また重要なパーツは早目に交換することが、合理的であると考えた。

ところが、従来の鉄筋コンクリート建造物の“点検”においては、塩分浸透の深さを測定・評価することに焦点が置かれていた。また、“対策”においても、塩分浸透を抑制することに重点が置かれていた。しかしながら、鉄筋コンクリート部材の劣化過程を踏まえれば、鉄筋が腐食する現象も含めて“点検”し“対策”を検討することが、的確な維持管理の実践になる。そのため、従来の塩分浸透を評価する技術に加えて、鉄筋の腐食速度も考慮することが必要である。

2. 研究の目的

本研究では、市民が安心・安全・快適に社会基盤を利用し続けられるべく、塩分浸透によって鋼材腐食するコンクリート建造物に対する点検・対策の優先順位を工学的に決定し、必要に応じて合理的な対策を施す、維持管理計画を策定するシステムを構築する。そのため、何処に立地する建造物において腐食の進行が速いかを自然環境を踏まえて把握する技術、任意の建造物の中で何れの面・部位において腐食の進行が速いかを把握する技術、既設建造物に対して簡易で定量的に鉄

筋腐食量を点検する技術、および建造物の要求性能に応じて補修する技術を開発し、これらを有機的に連携させて鋼材腐食に対する維持管理を計画するシステムを構築する。

3. 研究の方法

(1) 2010年度(1年目)

「作業①・②・③」を実施した。

【作業①】 地形や気象が鉄筋コンクリート建造物の腐食速度に及ぼす影響を解析する技術の開発

地形や気象条件が鉄筋コンクリートの腐食速度に及ぼす影響を評価し、何処に立地する建造物において腐食の進行が速いかを把握した。すなわち、「海からの距離や後背陸地の形状などの地形条件」と「季節風や年平均気温などの気象条件」をパラメータとし、海からコンクリート建造物までの数百 m～数 km オーダーの環境中における塩分飛来のルート解析し、コンクリート表面への塩分付着量や鉄筋位置への塩分浸透量および鉄筋腐食量の経時変化をシミュレーションする技術を開発した。

【作業②】 建造物の形状が各面や部位毎の腐食速度に及ぼす影響を解析する技術の開発

任意の鉄筋コンクリート建造物の中で、面や部位毎の腐食速度を比較し、何処に位置する部位・面において腐食の進行が速いかを把握した。すなわち、道路橋や栈橋などにおける代表的な構造形式を模擬した形状をパラメータとし、コンクリート建造物周囲の数十 cm～数十 m オーダーの環境中における塩分飛来のルート解析し、コンクリート表面への塩分付着量や鉄筋位置への塩分浸透量および鉄筋腐食量の経時変化をシミュレーションする技術を開発した。

【作業③】 既設建造物に対する腐食速度を定量的に評価する技術の開発

既存の鉄筋コンクリート建造物の腐食速度を測定し、定量的に腐食量を把握する技術を把握した。そのため、まずは供試体を用いて、腐食速度を測定するためのシステムを開発した。特に、測定センサの開発や点検のタイミングなどを実験的に検討した。

(2) 2011年度(2年目)

前年度の研究を踏まえて、「作業④・⑤」を実施した。

【作業④】 腐食速度が速いと予想される既設建造物の面や部位に対する点検

作業①・②でシミュレーションされた結果を踏まえて、腐食の進行が速いとされる地点・面・部位における既設建造物に対して、作業③で開発された技術で腐食速度を調査した。これにより、シミュレーションの精度および腐食速度点検技術の実建造物への適用

性を検証した。

【作業⑤】各種補修を施した後における腐食速度の低減効果の比較

塩分浸透と鉄筋腐食の経時的な進行を踏まえながら、構造物の要求性能（例：鉄筋の発錆防止、腐食ひび割れの防止、腐食量の抑制）を耐用年数まで満足する補修工法を提案した。特に、各種補修工法の対策後の効果と再劣化の進行を定量的に評価することを目的とした実験的検討も実施し、補修工法選定システムの精度向上を図った。

(3)2012年度(3年目)

最終年度として、前年度までの研究を総合して、「作業⑥」を実施した。

【作業⑥】低コストで安全・安心・快適を保証する維持管理シナリオの考案

作業①～⑤の成果も踏まえて、鉄筋の腐食抑制を終局とする維持管理計画を策定する考え方を提案した。

4. 研究成果

(1)研究の主な成果

- ①凍結防止剤による塩害に関して、冬期にコンクリート中へ浸透した塩化物イオンの約20%程度は次シーズンまでに外部に流出し、また測定時期により表面塩化物イオン濃度や拡散係数は異なることを明らかにした。
- ②気温変化を考慮したコンクリート中鉄筋の腐食速度推定手法を提案した。
- ③断面修復部における腐食速度を、マクロセルも考慮して連続的にモニタリングする手法を開発した。
- ④腐食の進行が速いとされる地点・面・部位における既設構造物に対して、腐食速度を調査した。これにより、シミュレーションの精度および腐食速度点検技術の実構造物への適用性を検証した。
- ⑤塩分浸透と鉄筋腐食の経時的な進行を踏まえながら、構造物の要求性能（例えば、鉄筋の発錆防止、腐食ひび割れの防止、腐食量の抑制など）を耐用年数まで満足する補修工法を提案した。特に、各種補修工法の対策後の効果と再劣化の進行を定量的に評価することを目的とした実験的検討も実施し、補修工法選定システムの精度向上を図った。
- ⑥事後維持管理から予防維持管理に移行することの利点を整理した。
- (2)得られた成果の国内外における位置づけとインパクト
現代の日本は、事後維持管理から予防維持管理への移行期である。その推進に際して有効な情報が、本研究の成果として挙げられた。多くの社会基盤が老朽化する中で、本研究のインパクトは大きいと思われる。

(3)今後の展望

実社会で予防維持管理を優先するに当たっては、経済的ならびに組織的な課題が多く残されている。今後は、本研究による工学的な成果を、実用できる流れを作り、市民の安全・安心・快適に実直されることを図る必要がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計13件)

- ①山口明伸、宮里心一、武若耕司、LECCA2Lite を利用したコンクリート構造物の長期性能評価の一例、コンクリート中の鋼材の腐食性評価と防食技術に関するシンポジウム論文集、査読有、2012、355-360
- ②宮里心一、上田隆雄、野島昭二、補修費用のみならず点検費用も考慮したLCCの試算、コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集、査読有、12巻、2012、165-172
- ③阿川清隆、宮里心一、伊藤哲男、出口宗浩表面含浸材の遮塩性・遮水性評価に対する電気抵抗試験法の開発、コンクリート工学年次論文集、査読有、33巻、2011、1649-1654
- ④佃善彦、宮里心一、戸島幹夫、畝田道夫、デジタル画像関連法を用いたRC梁のひび割れ検知手法の提案、コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集、査読有、11巻、2011、305-312
- ⑤Kenyu Muratani, Suguru Takeuchi, Shinichi Miyazato, Development of Monitoring System for Corrosion Protect Effect after Patch Repair, Proseedings of 36th Conference on our World in Concrete & Structures, 査読有、36巻、2011、333-338
- ⑥竹内傑、宮里心一、横関康祐、親本俊憲、断面修復後の防食効果に対する定量的モニタリング手法の開発、材料、査読有、60巻、2011、1043-1048
- ⑦宮里心一、野口貴文、武岩耕司、コンクリート構造物の長期性能照査技術、コンクリート工学、査読無、49巻、2011、21-24
- ⑧Shinichi Miyazato, Nobuaki Otsuki, Steel Corrosion Induced by Chloride or Carbonation in Mortar with Bending Cracks or Joints, Journal of Advanced Concrete Technology, 査読有、Vol.8, No.2, 2010、135-144
- ⑨竹内傑、宮里心一、横関康祐、親本俊憲、断面修復後の防食効果に対する定量的モニタリング手法の開発、コンクリート工学年次論文集、査読有、32巻、1号、2010、767-772
- ⑩平野誠志、石川裕一、青山實伸、宮里心一、凍結防止剤散布による塩化物イオンの季節変動に関する考察、コンクリート工学年次論文集、査読有、32巻、1号、2010、815-820

⑪石川貴之、宮里心一、青山実伸、平野誠志、RCの塩害に対する防錆剤と犠牲陽極材を併用した補修工法の開発、コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集、査読有、10巻、2010、29-36

⑫竹内傑、宮里心一、横関康祐、親本俊憲、断面修復後の防食効果に対する定量的モニタリング手法の開発、コンクリート工学年次論文集、査読有、32巻、1号、2010、767-772

⑬Shinichi Miyazato、Yosuke Hasegawa、Proposal of Corrosion Rate Analytical Model of Reinforced Concrete with Crack、RILEM BOOKSERIES、Modelling of Corroding Concrete Structures、査読有、5巻、2011、39-64

〔学会発表〕(計 22 件)

①森山守、石川裕一、宮里心一、北陸地域の特性を考慮したコンクリート橋の維持管理マネジメントの取組み、土木学会第 30 回建設マネジメント問題に関する研究発表・討論会、2012/12/12、土木学会講堂

②Yoshihiko Tsukuda、Shinichi Miyazato、Mikio Toshima、Michio Uneda、Proposal of Crack Detection Method for RC Beam by Digital Image Correlation Method、Research, Development, and Practice in Structural Engineering and Construction、2012/11/29、オーストラリア・パース

③小松誠哉、宮里心一、伊達重之、堀江一志、シラン系表面含浸材によりマクロセル対策された打継部の付着強度、第 56 回日本学会材料工学連合講演会、2012/10/29、京都テルサ

④畷田道雄、戸島幹夫、佃善彦、宮里心一、石川憲一、ステレオ方式三次元形状計測法を併用したデジタル画像相関法による鉄筋コンクリート構造物のひび割れ発生検知手法の研究、日本設計工学会秋季大会研究発表講演会、2012/9/28、富山国際会議場

⑤佃善彦、宮里心一、曲げひび割れ部や断面修復部でマクロセル腐食が生じた RC 梁の耐荷力評価、土木学会第 67 回年次学術講演会、2012/9/5、名古屋大学

⑥小松誠哉、宮里心一、松井隆行、シラン系表面含浸材を用いた打継部のマクロセル腐食抑制技術の開発、土木学会第 67 回年次学術講演会、2012/9/5、名古屋大学

⑦有馬直秀、青山実伸、宮里心一、澤田智之、セメント系補修材料の防錆剤混入性の評価、土木学会第 67 回年次学術講演会、2012/9/5、名古屋大学

⑧Kazunori Nagai、Shinichi Miyazato、Akira Eriguchi、Tatsuzou Satoh、Prediction System for Corrosion of Steel in Concrete using Sensor with RFID、Proceedings of

the 13th International Conference on Inspection, Appraisal, Repairs & Maintenance of Structures、2012/7/28、中国・武夷山

⑨堀田穰、久保田憲、宮里心一、シラン系表面含浸材の含浸層の改質効果の評価、土木学会第 66 回年次学術講演会、2011/9/7、愛媛大学

⑩村谷賢佑、宮里心一、畔柳昌己、青山実伸、中性化状態が表面含浸材塗布による劣化進行抑制効果に及ぼす影響、土木学会第 66 回年次学術講演会、2011/9/7、愛媛大学

⑪高橋章、宮里心一、梨本竜太郎、元井邦彦、杵本正信、施工後 5 年を経過した遮蔽型マクロセル腐食対策の効果、土木学会第 66 回年次学術講演会、2011/9/7、愛媛大学

⑫佃善彦、宮里心一、電食により鉄筋断面が半減したコンクリート梁の力学性状、土木学会第 66 回年次学術講演会、2011/9/7、愛媛大学

⑬永井一徳、宮里心一、江里口玲、佐藤達三、コンクリート中鉄筋の腐食検知センサの適用性の評価と活用法の提案、土木学会第 66 回年次学術講演会、2011/9/7、愛媛大学

⑭Shinichi Miyazato、Development of life time evaluation program for concrete Structures by Computational Analysis、Performance-based Specifications for Concrete、2011/6/15、ライプチヒ大学(ドイツ)

⑮佃善彦、宮里心一、戸島幹夫、畷田道夫、デジタル画像相関法を用いた腐食 RC 梁のひび割れ発見、日本材料学会第 60 期学術講演会、2011/5/26、大阪大学

⑯永井一徳、宮里心一、江里口玲、佐藤達三、コンクリート中鉄筋の腐食検知センサの実用化に向けた開発研究、日本材料学会第 60 期学術講演会、2011/5/26、大阪大学

⑰小松誠哉、宮里心一、出口宗浩、叩落後の再劣化防止工法開発を目指した供試体と切出床版による実証実験、第 65 回セメント技術大会要旨、2011/5/20、ホテルメトロポリタン

⑱小松誠哉、阿川清隆、宮里心一、伊藤哲男、出口宗浩、床版浮き部の叩き落し後に対する再劣化防止工法の開発、平成22年度土木学会中部支部研究発表会、2011/3/4、中部大学

⑲ Seishi Hirano、Shinichi Miyazato、Takafumi Ishikawa、Minobu Aoyama、Examination of Seasonal Variation at Chloride Ion with Antifreeze Agent、2nd International Conference on Durability of Concrete Structures、2010/11/25、北海道大学

⑳Tetsuo Matsuda、Shinichi Miyazato、Renewal of Chloride Damaged RC Continuous Hollow Slab Bridge、2nd

International Conference on Durability of Concrete Structures、2010/11/25、北海道大学

②① Shinichi Miyazato、Tsunehiko Mitamura、Estimation of Steel Corrosion Rate in Concrete Considering Temperature Changes、2nd International Symposium on Service Life Design for Infrastructure、2010/10/4、デルフト工科大学（オランダ）

②石川貴之、宮里心一、青山實伸、平野誠志、凍結防止剤によるRCの塩害に対する複合防食工法の開発、土木学会第65回年次学術講演会、2010/9/2、北海道大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宮里 心一 (MIYAZATO SHINICHI)

金沢工業大学・環境・建築学部・教授

研究者番号：60302949

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし