

各種要因が補修した鉄筋コンクリート構造物の劣化に 及ぼす影響に関する研究 (1)

—研究概要—

Influence of Various Factors on Deterioration of Repaired Concrete Structures (1)

— Outline of the Study —

植 島 修*・宇野 祐一**・元 売 正 美***・松 田 敏****・
弘 中 義 昭*****・魚 本 健 人*****

Osamu MAKISHIMA, Yuich UNO, Masami MOTOURI, Satoshi MATSUDA, Yoshiaki HIRONAKA, Taketo UOMOTO

1. はじめに

劣化したコンクリート構造物を補修・補強する場合、最も基本的かつ重要なことは構造物の設置環境、劣化状況および供用期間に応じた補修・補強を行うことである。ところが、構造物の劣化状況とこれに伴う性能低下の状況を的確に評価するシステム、および各種補修・補強材料ならびに工法の中から最も費用対効果に優れる工法を選定できるシステムが未だ構築されていない。このことは各種工法の特徴、耐久性および適用範囲が不明確であることがその背景にある。そのため近年、劣化したコンクリート構造物の補修事例が増えていると共に、補修後、比較的早期に再劣化に至る事例報告¹⁾も増大している。このような再劣化の進行は、使用する補修材料の良否だけでなく、補修時の構造物の損傷度、補修の方法や施工の適切さなどに大きく左右されると考えられている²⁻⁴⁾。ただし、その原因やメカニズムについては、検討されている事例があるものの⁵⁾未だ解明されていないのが現状である。そこで、筆者らは、構造物の適切な維持管理計画を策定するためには、補修後の再劣化について検討することが重要であると考えた。

そこで、使用実績の多い断面修復工法ならびに表面被覆工法を塩害劣化した構造物に適用した場合の再劣化のメカニズムを明らかにすることを目的とした検討を実施した。検討要因としては、補修作業時の母材コンクリートの塩分量、はつり程度、表面被覆材の被覆方法などの補修条件や、補修材料や補修工法の種類などを実験要因として作製した

試験体について5年間の暴露実験を開始した。なお、暴露環境は海洋環境と、比較として内陸環境を対象として、補修時の条件の違いならびに各種補修工法(材料)性能が再劣化に及ぼす影響の把握を行うものである。

2. 実験概要

塩害の補修工法は多種多様な工法が提案されているが、本研究では、断面修復工と表面被覆工による補修工法に限定して検討を行う。

2.1 暴露条件と劣化要因

実験は、異なる補修条件や補修工法(材料)を組み合わせた試験体を海洋環境下ならびに内陸環境下に暴露し、定期的に調査を実施して行うものとし、大きく以下の2シリーズについて検討する。

実験1: 補修条件の違いが再劣化に及ぼす影響の把握

実験2: 補修材料の違いが再劣化に及ぼす影響の把握

実験1では、代表的な補修工法1工法を選定して補修時の条件を変化させた試験体を作製し、実験2では、補修時の条件を1つに固定して種々の補修工法を施した試験体を作製する。

表1に実験の目的、再劣化の要因、補修工法および暴露条件を示す。

2.2 試験体

(1) 試験体形状

試験体の寸法は、150×150×530 mmとし、鉄筋のかぶり厚は、30 mmとした。部分的な断面修復によるマクロセル腐食の影響や鉄筋周囲の残存塩化物イオン量の影響を把握するために、模擬はつり部の面積、深さを図1に示す6タイプ設定した。

(2) コンクリートの諸元

母材のコンクリートは、セメントに普通ポルトランドセ

*飛鳥建設(株)

**ショーボンド建設(株)

*** (株)エヌエムビー

**** (株)熊谷組

***** 佐藤工業(株)

***** 東京大学生産技術研究所 都市基盤安全工学国際研究センター

研究速報

表1 実験の目的と再劣化要因

実験シリーズ	1	2
目的	補修条件の違いが再劣化に及ぼす影響の把握	補修工法(材料)の違いが再劣化に及ぼす影響の把握
再劣化要因	①塩化物イオンの再拡散	⑥補修工法(材料)の性能
	②鉄筋周囲の残存塩化物イオン量	
	③部分的断面修復によるマクロセル腐食	
	④床版上面からの腐食因子の侵入	
	⑤補修部分からの腐食因子の再侵入	
補修工法	共通仕様	各社仕様
暴露場所	海洋 内陸	海洋 内陸

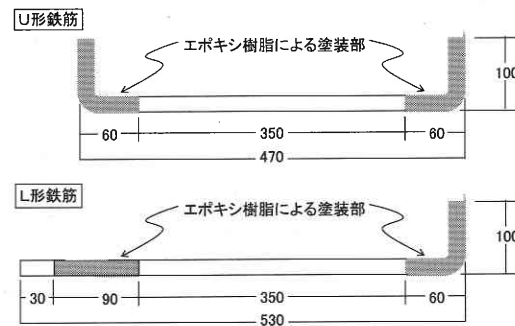


図2 鉄筋の形状

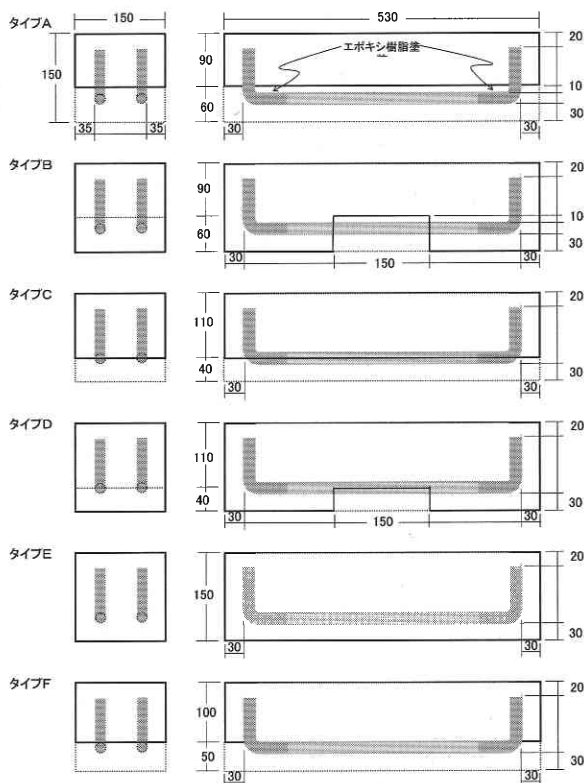


図1 試験体のタイプ

メントを用い、細骨材に静岡県大井川水系陸砂を、粗骨材に最大寸法が20mmの東京都青梅産硬質砂岩砕石を使用した。水セメント比は65%とし、混和剤にAE減水剤標準型(リグニンスルホン酸化合物とポリオール複合体)を使用して、目標スランプ12cm、目標空気量4.5%に設定した。28日の圧縮強度は、34.1N/mm²であった。

練混ぜ水は上水道水を使用し、母材コンクリートからの塩分の再拡散による影響を把握するために、塩化カルシウムを使用して予め練混ぜ水に塩化物イオンを溶解して添加

した。塩化物イオン量は、0, 2.4, 4.8kg/m³の3水準である。

(3) 使用した鉄筋

鉄筋は、JIS G 3112「鉄筋コンクリート用棒鋼」に規定するSD345, D19を使用し、図2に示すように加工し、加工時の影響を考慮して折曲げ部両端にエポキシ樹脂を塗布した。また、図中のL型鉄筋は電位測定試験体用に鉄筋端部をコンクリート試験体から露出するように加工したもので、一部の試験体に使用した。エポキシ樹脂塗装後、翌日に、各鉄筋の質量(基準質量)を測定した。

(4) コンクリート試験体の作製方法

模擬はつり部には、発泡スチロールを設置し、鉄筋の設置には発泡スチロール、木製スペーサー、水系を用いて所定の位置を確保してコンクリートを打設した。

(5) 補修方法ならびに補修材料

実験1(共通試験体)の補修は、以下の手順で行った。断面修復部のコンクリート下地は、エアージェットタガネとワイヤーブラシ等を用い、表面の汚れやレイタンスを取り除き、圧搾空気がかすや埃を除去した。その後、表2に示すようにポリマーセメントペースト(ベオバ系粉体ポリマー)をプライマーとして塗布し、断面修復材は同種のポリマーを主成分とするポリマーセメントモルタルを吹付け施工した。所定の養生が終了した後、サンダーケレンを行い、エポキシ樹脂系プライマーを塗布して、エポキシ樹脂パテ材でパテ処理を行った。引き続き、柔軟型エポキシ樹脂中塗り材を2層塗布し、柔軟型ウレタン樹脂上塗り材を最終的に塗装した。

2.3 試験体の組合せ

試験体の種類と試験条件の組合せを表3に示す。

実験1では、内在する塩化物イオン量、はつり範囲、鉄筋に対するはつり深さ、上面被覆材の有無の要因を組み合わせで作製している。このうち、はつりの範囲は、部分的に断面修復を行った場合を想定しており、マクロセル腐食の発生を模擬している。鉄筋に対するはつり深さの要因は、

表 2 使用材料の種類別と主成分の系統

実験シリーズ	工程	材料の種類	主成分の系統
1	鉄筋処理	鉄筋処理材	なし
	断面修復	プライマー	ポリマーセメントペースト
		断面修復材	ポリマーセメントモルタル
	表面被覆	プライマー	エポキシ樹脂
		バテ	エポキシ樹脂
		中塗り	柔軟形エポキシ樹脂
上塗り	柔軟形ポリウレタン樹脂		
2	鉄筋処理	鉄筋処理材	1)亜硝酸塩, 2)ポリマーセメントペースト, 3)エポキシ樹脂 4)錆転換材, 5)フタル酸+塗布型防錆剤
	断面修復	プライマー	1)EVA系エマルジョン, 2)ポリマーセメントペースト 3)アルカリ付与材と塗布型防錆剤, 4)水性エポキシ樹脂 5)エポキシ樹脂, 6)浸透性固化材(ケイフッ化物系), 7)亜硝酸リチウム水溶液+ポリマーセメント系防錆剤
		断面修復材	1)ポリマーセメントモルタル, 2)エポキシ樹脂モルタル
	表面被覆	プライマー	1)エポキシ樹脂, 2)アクリル樹脂, 3)エマルジョン
		バテ	1)エポキシ樹脂, 2)ポリマーセメント
		中塗り	1)柔軟形エポキシ樹脂, 2)アクリル樹脂 3)ポリマーセメント, 4)ポリウレタン, 5)クロロプレン
		繊維補強	1)なし, 2)ビニロン繊維織布
		模様造成	1)なし, 2)合成樹脂エマルジョン
	上塗り	1)柔軟形ポリウレタン樹脂, 2)ウレタン 3)柔軟形アクリルウレタン, 4)フッ素樹脂 5)柔軟形アクリル樹脂, 6)アクリルシリコン 7)ハイバロンゴム	

表 3 試験条件の組み合わせ

実験シリーズ	番号(*1)	Cl ⁻ 量 (kg/m ³)	はつり		表面被覆方法
			位置	深さ	
1	1-2-A-無	2.4	全面	鉄筋裏	上面無し
	1-2-B-無	2.4	部分	鉄筋裏	上面無し
	1-2-C-無	2.4	全面	鉄筋半分	上面無し
	1-2-D-無	2.4	部分	鉄筋半分	上面無し
	1-2-A-有	2.4	全面	鉄筋裏	全面塗布
	1-2-B-有	2.4	部分	鉄筋裏	全面塗布
	1-2-C-有	2.4	全面	鉄筋半分	全面塗布
	1-2-D-有	2.4	部分	鉄筋半分	全面塗布
	1-3-A-有	4.8	全面	鉄筋裏	全面塗布
	1-3-B-有	4.8	部分	鉄筋裏	全面塗布
	1-3-C-有	4.8	全面	鉄筋半分	全面塗布
	1-3-D-有	4.8	部分	鉄筋半分	全面塗布
	1-1-A-無	0	全面	鉄筋裏	上面無し
	1-1-B-無	0	部分	鉄筋裏	上面無し
	1-1-E-無	0		補修無し	上面無し
	1-1-E-有	0		補修無し	全面塗布
	1-2-F-有	2.4	全面	鉄筋表面	全面塗布

(*1)試験体番号:実験シリーズ-配合No.-試験体タイプ-上面の被覆の有無

表 4 暴露試験の評価項目

評価項目	評価内容	評価方法
試験体の劣化状況	外観観察 (目視)	コンクリート: ひびわれ, 浮きの状態 断面修復材: ひびわれ, 浮きの状態 表面被覆材: 膨れ, 割れ, はがれの状態
	塗膜の表面変化	色差・光沢の測定
	電気化学的測定	腐食電位・分極抵抗の測定
鉄筋の腐食状況	腐食量	腐食電位・分極抵抗の測定
	腐食面積率	腐食電位・分極抵抗の測定
	塩分量	塩分分析
	塩分の移動	E P M Aによる広域マッピング分析
コンクリートの性能変化	圧縮強度	圧縮強度の経時変化の測定

塩化物イオンの再拡散の影響ならびに鉄筋周囲の塩分の存在状態が再劣化に及ぼす影響を捉えることを目的としている。また、上面の被覆材の有無は、床版上面の防水の有無を想定している。従来補修では、床版下面の劣化部分に対して直接、施工されるのが一般的であり、上面については考慮されることはない。しかしながら、床版防水が適切に行われていない場合には、当然、塩分、酸素等の腐食物質が、床版上面から侵入するケースが考えられる。試験体番号の意味は、表外に示しているが、実験シリーズ-配合(塩分の量)-試験体のタイプ-上面被覆の有無である。

実験2では、実験1の試験体1-2-B-無と同一条件で試験体を作製する。ここで使用する材料は、表2示した各種材料の組合せによる。

2.4 暴露実験

海洋暴露実験は、静岡県伊豆半島東海岸 伊豆海洋公園内に設置した暴露場において実施する。この海洋暴露場は波打ち際に設置されており、暴露される試験体は、満潮時には波で洗われ、干潮時にも前面に岩礁があるために常時海水飛沫を受ける極めて厳しい腐食環境である。この暴露場の環境条件を把握するために、この暴露場より約10m内陸寄りの岩場に設置した飛来塩分測定器(土研式)により、1993年9月~1996年8月まで飛来塩分量を測定した。なお、年間飛来塩分量は、400~800Clmg/dm²であった。また、近接の網代測候所で記録された月平均気温の変動は、7~24℃であり、年間の平均気温は18.4℃であった。

内陸暴露実験は、東京大学生産技術研究所・千葉実験所構内に設置した暴露場において実施した。この場所は、海

岸線より約3km内陸に位置し、近接の千葉測候所で記録された1993年9月~1996年8月までの月平均気温の変動は、6~25℃であり、年間の平均気温は18.1℃であった。

2.5 評価項目および評価方法

暴露実験を行った試験体について実施する評価項目を表4に総括して示す。実験は、1, 3, 5年暴露後に、各種測定と試験体の解体調査を、0.5, 2, 4年暴露時は、各種測定のみ実施することとした。

(1) 外観観察

コンクリート躯体ならびに断面修復材について、ひび割れと浮きの有無を目視により外観観察する。また、表面被覆材のふくれ、割れならびにはがれの有無を目視により外観観察する。

(2) 塗膜の表面変化

材齢に伴う塗膜の褪色と光沢の変化を色差計ならびに光沢計を用いて調べる。

(3) 電気化学的測定

自然電位、分極抵抗ならびにコンクリート抵抗を調べる。測定を行う試験体は、1-1-E-無、1-1-B-無、1-2-B-無ならび

研究速報

に1-1-D-無の4種であり、5年間の暴露期間を通じて同一の試験体で測定を行うために、5年時解体予定試験体に、図2に示したL型鉄筋を埋設しておき、端部から2~3cm程度出している鉄筋にリード線を接続して、コンクリートの解放打設面(鉄筋までの距離100mm)より測定する。

自然電位は、ASTMC 876に標準化されている試験方法によって測定する。電極に銀塩化銀電極(Ag/AgCl)と硫酸銅電極(CSE)の2種類を用い、暴露1年時は2.5cm間隔で試験体中央から左右に6点ずつ、都合13点の位置において実施する。

コンクリート抵抗と分極抵抗は、携帯型腐食診断器により測定したが、分極抵抗は高低2周波数の交流インピーダンス値から求める。

(4) 鉄筋の腐食面積率の測定

鉄筋腐食状況と腐食面積率測定を行うため、鉄筋に透明フィルムを巻き付けて、発錆部分を写し取り、画像解析装置を用いて、腐食面積率を測定する。

(5) 鉄筋の腐食量の測定

コンクリートに埋設する前の鉄筋の重量を予め測定しておき、解体調査の際に取り出した鉄筋の重量減少から、腐食量を求める。錆の除去は、クエン酸二アンモニウム10%水溶液に鉄筋を24時間浸漬し、ワイヤブラシを用いて行う。また、黒皮分を補正するために、暴露に供しなかった鉄筋についても同様の作業を行う。

(6) 塩分分析

塩分分析は、JCI-SC 4「硬化コンクリート中に含まれる塩分の分析方法」に従って、全塩分を測定する。

分析を行う試験体は、1-2-B-無、1-1-B-無、1-2-B-有ならびに1-3-B-有であり、図3に示す採取位置によって2鉄筋間の長さ50mmの部分を採用し、かぶりから裏面までのサンプルを切り出して分析する。他のサンプルについては、鉄筋横の塩化物イオン量を測定し、鉄筋腐食との相関のみを把握する。

(7) EPMA分析

図3で示す2鉄筋間の中央部分からコンクリートサンプルを採取し、かぶりから裏面までの塩分の分布状況をマッピングによって調べる。分析するサンプルは、塩分分析を行った4サンプルとする。分析条件は、加速電圧15kV、サンプル電流1 μ Aとし、分析元素は、塩素、硫黄、炭素、カルシウム、ナトリウム、マグネシウムの6元素とする。

(8) コンクリートの圧縮強度

試験体作製に使用したコンクリートについて $\phi 10 \times 20$ cmの円柱試験体を、本実験の暴露環境に同時暴露し、経年の圧縮強度の変化を調べる。尚、試験は、JIS A 1108-1999「コンクリートの圧縮試験方法」による。

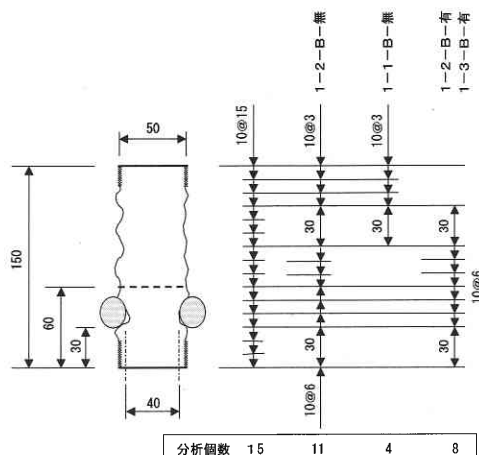


図3 塩分分析サンプルの採取方法

3. おわりに

本稿では、開始した実験の内容を記述した。今後は評価結果が得られ次第、引き続き報告する予定である。尚、本研究は、東京大学生産技術研究所魚本研究室と産学20団体(芝浦工業大学、石川島播磨重工業(株)、(株)エヌエムビー、(株)大林組、オリエンタル建設(株)、(株)熊谷組、コニシ(株)、佐藤工業(株)、ショーボンド建設(株)、住友大阪セメント(株)、太平洋マテリアル(株)、大日本塗料(株)、電気化学工業(株)、東急建設(株)、飛鳥建設(株)、西松建設(株)、ニチエー吉田(株)、日本化成(株)、(株)ブリヂストン、前田建設工業(株))

との共同研究「劣化したコンクリート構造物の補修工法に関する研究」として開始されているものである。

(2003年4月10日受理)

参考文献

- 1) 西川和廣, 見波潔, 柏原荘助, 山本幹雄: 暮坪陸橋の塩害による損傷と対策-①過去の損傷および補修-, 橋梁と基礎, V-27, No. 11, pp. 28-32, 1993. 9
- 2) 渡辺博志, 河野宏隆: コンクリート構造物の維持管理の合理化と健全度診断技術, コンクリート工学誌, Vol. 33, No. 9, pp. 19-28, 1995. 11
- 3) 松本武海, 佐藤隆義, 天木儀一: 塩害変状コンクリート桁の再補修, 土木施工 37 巻, pp. 65-68, 1996. 12
- 4) 金城孝, 仲宗根松仁, 大城武: 塩害環境下におけるRC橋梁の補修工法の評価について, 複合劣化コンクリート構造物の評価と維持管理計画に関するシンポジウム論文集, pp. 105-112, 2001. 5
- 5) 日本コンクリート工学協会 コンクリート構造物の補修工法研究委員会: コンクリート構造物の補修工法研究委員会報告書(Ⅲ), 1996. 10