塩害環境の厳しい RC 中空床版裏面コンクリートの補修工法検討

本州四国連絡高速道路(株)　　正会員 ○新野 貴大　正会員 貴志 友基　非会員 長尾 幸雄

1．概要

1985 年 6 月に供用された大鳴門橋の 1A アンカレイジ上屋道路桁(RC 中空床版)(写真－１)は、供用から約 11 年が経過した頃から、塩害・中性化による床版裏面かぶりコンクリートのうきや鉄筋腐食が顕在化した。桁下は一般に開放されており、第三者被害の予防対策が課題となったため、2001 年度に断面修復工・表面被覆工及び剥落対策工を施工した。

しかし、その約 10 年後から現在まで、施工境界部におけるコンクリートのうきや鉄筋腐食等の再劣化が確認されており、その腐食形態から原因はマクロセル腐食と推定した。

補修にあたって、コンクリートの劣化原因および再劣化状況の調査と、200 年以上の供用を目標とする新たな補修工法の検討を実施し、外部電源方式による電気防食工法を選定した。本論文では、調査及び検討の結果について報告する。

2．調査

コンクリートの再劣化状況を把握するため、表に示す調査を実施した。調査は、2001 年度に実施された断面修復工・表面被覆工の施工境界部にコンクリートの浮きが発生している箇所をはじめ、ひび割れや鉄筋露出が発生している箇所に着目し 5 か所を選定した。調査内容を表－１、調査状況を写真－２、調査箇所を図－１に示す。

(1)外観観察・鉄筋かぶり・鋼材腐食調査

桁下からの外観観察では、コンクリートの剥落損傷が隔壁部で顕在化していることが分かる(写真－３)。鉄筋かぶり調査の結果、中空床版部よりも隔壁部において全体的にかぶり厚が小さい傾向がある上、部分的に設計かぶり厚(主鉄筋 54㎜ ・配力鉄筋 35㎜)を下回る箇所が確認された。

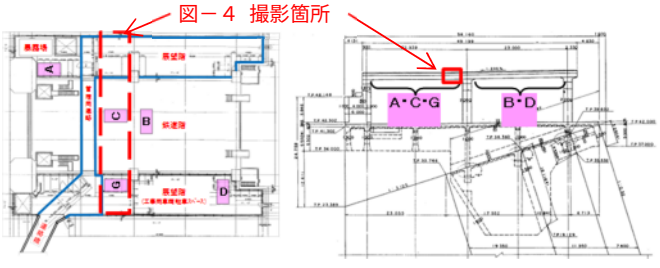
これらの調査から、隔壁部での損傷は、隔壁部のかぶり厚が小さいことに起因すると考えられる。

はつり調査の結果、調査した箇所全てで表面の発錆が確認された。その中でも、調査位置 G(隔壁部)ではスターラップも露出し、かぶり厚は 12㎜ と設計かぶり厚 35㎜ の半分以下であったため、鉄筋の腐食が見られた(写真－４)。

鉄筋の自然電位を測定すると、コンクリート表面に浮き等の劣化がない場所ではいずれも内部鉄筋の腐食の可能性は低いという結果であった。しかし、調査箇所 D の断面修復工・表面被覆工の施工境界部における調査では、既設コンクリートと断面修復箇所との間に電位差がみられたことから、マクロセル腐食による鉄筋腐食が発生している可能性が高いと考えられる(写真－５、図－２)

写真－１　上屋道路桁(中空床版)

写真－２　自然電位測定状況



図－１　調査箇所一覧

写真－３　隔壁部のコンクリート剥落・鉄筋露出

表－１　調査内容一覧

調査項目	調査方法	摘要
外観観察(表面)	目視、打音調査	
鉄筋かぶり	電磁波反射法	
鋼材腐食	はつり調査	
	自然電位法	
塩化物含有量	ドリル法による粉末採取	JISA1154
中性化深さ	フェノールフタレイン法	JISA1152
アルカリシリカ反応性	促進膨張量試験(コア採取)	カナダ法
マクロセル腐食確認	自然電位法	

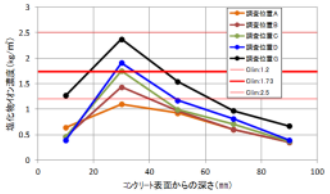
キーワード　マクロセル腐食 塩害 電気防食工法
連絡先　　〒772-0053　徳島県鳴門市鳴門町土佐泊浦字大毛 18　TEL 088-687-2166

(2)塩化物・中性化・アルカリシリカ反応性調査

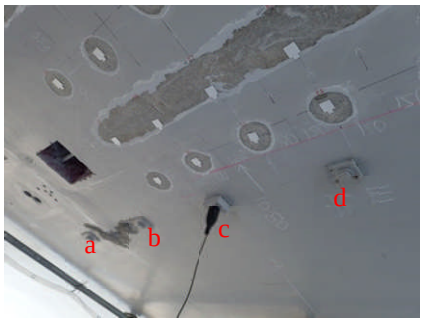
塩化物含有量の分析結果を図－３に示す。中性化と、表面被覆による遮塩効果により、塩化物イオンの内部方向への移動が発生していると考えられ、配力鉄筋位置である深さ 20～40㎜で塩化物イオン濃度が高くなっている。

中性化深さは鉄筋腐食調査はつり位置において最大でも 17㎜ であったことから、鉄筋腐食に及ぼす影響は小さいと判断できる。また、骨材のアルカリシリカ反応性についても、無害であると判定された。

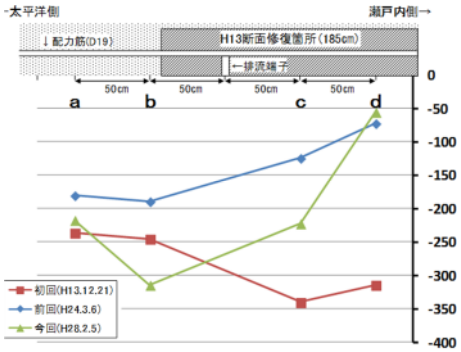
写真－４　調査位置 G



図－３　各調査箇所の塩化物イオン濃度分布



写真－５　調査位置 D 照合電極



図－２　断面修復箇所境界部の自然電位

３．補修工法検討

調査結果から、主な腐食原因はかぶり厚の小さい隔壁部での塩害と、断面修復工・表面被覆工の施工境界部におけるマクロセル腐食であると考えられる。

かぶり厚が確保されている中空床版部に関しては、隔壁部の対策工法とは分けて検討する必要がある。

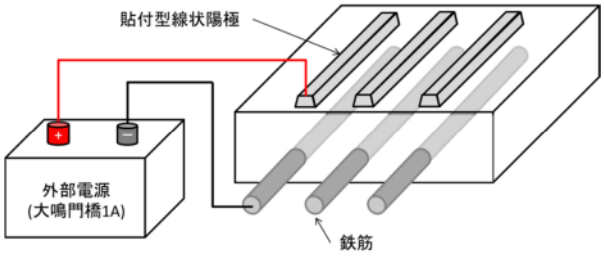
以上の条件を勘案し、塩害の対策工法(表面被覆・剥落防止工法、断面修復工法、脱塩工法、電気防食工法)について、施工性、再劣化可能性、LCC などについて比較検討した結果を表－２に示す。

検討の結果、電気防食工法による補修が他の工法よりも有利であると判断した。実際の電気防食工法の適用においては、大鳴門橋 1A に電源があることから外部電源方式とした。また、陽極については既存塗膜の撤去を全面的に行う必要がなく、貼り付けるのみのため施工性が良い貼付型線状陽極を選定した。システムの概念図を図－４に示す。なお、すでに浮き等の劣化が生じている箇所では、電気防食の防食電流が鉄筋に供給されないため、浮き部の除去やひび割れ補修等の前処理を実施する必要がある。

表－２　検討結果

劣化機構	塩害			
着目性能	安全性・使用性			第三者影響度
対策工法	断面修復工法 (表面被覆併用)	脱塩工法 (表面被覆併用)	電気防食工法 (前処理含む)	剥落防止工法 (表面被覆併用)
既存塗膜撤去	全撤去	撤去	部分撤去	全撤去
施工概要	約50mmまでコンクリート撤去(塗装剤塗布)	塩化物イオンを除去(塗装剤塗布)	陽極設置	複合繊維等の貼り付け(塗装剤塗布)
対策の効果	コンクリート内部に浸透した塩化物イオンを除去	鉄筋位置まで塩化物イオンを除去(但し、鉄筋以降は脱塩できない)	防食電流により鋼材の腐食反応を電気化学的に抑制	第三者影響に対する長期的な性能確保、美観確保
騒音・粉じん	大	中	小	中
実績	少ない	少ない	多い	多い
施工性	×	△	○	△
安全性(第三者影響度)	×	△	○	△
再劣化の可能性	△(可能性あり)	×(可能性大)	◎(可能性小)	△(可能性あり)
更新時期(年)	15(被覆材) 45(断面修復材)	15(被覆材) 45(断面修復材) 75(仮設陽極)	40(陽極システム) 20(配線・電源)	15(被覆材) 45(断面修復材)
更新回数(回)	11(被覆材) 3(断面修復材)	11(被覆材) 3(断面修復材) 2(仮設陽極)	4(陽極システム) 8(配線・電源)	11(被覆材) 3(断面修復材)
初期費用	1.00	3.42	1.88	1.11
更新費用	1.00	1.26	0.75	1.13
維持管理費用	1.00	1.00	1.26	1.00
総額	1.00	1.40	0.92	1.11
総合評価	×	×	◎	△

※初期費用等については、断面修復工法の費用を1とした際の各種工法の費用を割合として算出。
※更新費用・維持管理費用は、供用後200年まで維持する場合に必要となる費用。



図－４　大鳴門橋での電気防食システム概念図

４．まとめ

- 調査の結果、主な腐食原因はかぶり厚の少ない隔壁部における塩害に加え、断面修復工の施工境界部でのマクロセル腐食であると判定された。
- 劣化状況・現場の施工条件に加え、LCC や再劣化可能性の少なさを考慮し、貼付型線状陽極を用いた外部電源方式の電気防食工法を選定した。