

約 15 年経過した再アルカリ化工法の追跡調査

JR 西日本 正会員○小谷 洋平 正会員 石橋 昌史 正会員 吉田 隆浩
株式会社デンカリノテック 佐野 世 川口 隆憲

1. はじめに

再アルカリ化工法は、中性化により劣化したコンクリート構造物に対し、電解質溶液を鉄筋近傍まで浸透させ、コンクリートの防食効果を回復する電気化学的補修工法である。JR 西日本では試験施工の結果を踏まえ、平成 13 年から実構造物に適用しており、これまでに約 15,000m²の適用実績がある。本稿では、再アルカリ化工法適用後約 15 年が経過した構造物において、経時的に実施している各種測定結果に基づく補修効果の確認を行ったので、その内容について報告する。

2. 対象構造物

対象構造物は昭和 45 年に建設された複線 2 柱式 3 径間ラーメン高架橋（2 橋梁）で、平成 13 年に中間スラブに対して再アルカリ化(電流密度 1A/m²，通電期間 14 日，アルカリ性の電解質溶液は炭酸カリウム水溶液)工法による補修を行った。補修に先立ち対象構造物の鉄筋やコンクリートの健全度等を調査した結果を表－1 に示す。以下、特に断りのない限り、鉄筋とはスラブの主鉄筋を指す。

表－1 補修前調査結果

高架橋	スラブの鉄筋径	鉄筋腐食度	かぶり (mm)	中性化深さ (mm)	塩化物イオン量 (kg/m ³)
A	D19(主鉄筋)	部分的に軽微な腐食	28.5	36.1	0.37
	D16(配力筋)	腐食無し	45.5		
B	D19(主鉄筋)	表面の大部分に腐食	17.3	21	0.22
	D16(配力筋)	表面の大部分に腐食	42.0		

3. 追跡調査概要

追跡調査は、表－2 に示すとおり、再アルカリ化工法による補修直後および補修後約 20 ヶ月・118～120 ヶ月(約 10 年)・173 ヶ月(約 15 年)において対象構造物の中間スラブに対して各種測定を実施した。なお、処理後 173 ヶ月における打音調査・外観目視調査においては、対象構造物に浮き等の変状は認められなかった。

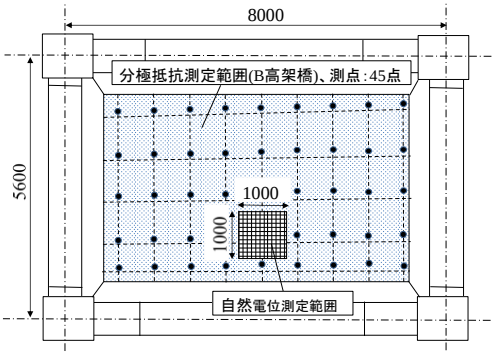
表－2 測定項目一覧

測定項目	補修前・補修直後	約20ヶ月	約120ヶ月	約173ヶ月
分極抵抗		○	○	○
自然電位	●	●	●	●
コンクリートのpH		●	●	●
アルカリ濃度			●	●

●: 高架橋A・Bで実施 ○: 高架橋Bで実施

3.1 自然電位・分極抵抗

コンクリート中の鉄筋腐食速度および鉄筋腐食状態を確認するため、分極抵抗および自然電位を測定した。測定範囲を図－1 に、B 高架橋の分極抵抗の測定結果を表－3 に示す。補修後約 20 ヶ月と比較して、補修後約 10 年・約 15 年で分極抵抗が大きくなり、腐食速度も約 1/10 程度に低下していることがわかる。なお、鉄筋の腐食速度は補修後約 15 年経過時点で 0.0046 (mm/年)であり、CEB による腐食速度の判定基準¹⁾により区分すると、腐食速度は概ね低～中程度の腐食速度と判断される領域にあることがわかる。



図－1 測定範囲図

また、図－2，図－3 に自然電位の測定結果を示す。ASTM による腐食性評価基準²⁾に従い評価した結果、A 高架橋・B 高架橋ともに、測定範囲のほぼ全域で腐食性ランク I (90%以上の確率で腐食なし)を継続的に維持しており、補修後約 15 年経過時点においても鉄筋は腐食状態にないと考えられる。

表－3 分極抵抗測定結果：B 高架橋

処理後経過	腐食電流密度 $I_{corr}(\mu A/cm^2)$	分極抵抗値 $R_{ct}(K\Omega cm^2)$	腐食速度 $PDY(mm/年)$
20ヶ月	3.44	16	0.0399
120ヶ月	0.29	97	0.0034
173ヶ月	0.40	103	0.0046

3.2 コンクリートの pH

3.1 より、処理後約 15 年を経過した鉄筋の状態として、腐食速度は低～中程度と判断されたが、自然電位の結果より、現状では鉄筋は腐食状態にないと考えられる。そこで、鉄筋の腐食環境を確認するため、コンクリート中の pH の測定を、pH 試験紙法³⁾により実施した。測定位置は、表層、主鉄筋背面位置、既中性化位置とした。

図-4に測定結果を示す。測定値より、コンクリート内部は鉄筋腐食が起らない状態($\text{pH} > 10$)⁴⁾が継続的に維持されており、補修後約15年経過時においても、コンクリート表面で pH 11.4程度、鉄筋のかぶり位置付近においても pH 11.6~11.7程度を保持していることがわかる。

3.3 アルカリ濃度

コンクリートのアルカリ性が、補修後も十分保持していることを確認するため、アルカリ濃度の測定を行い、コンクリート中のアルカリ溶液の浸透状況を調査した。測定は、建設省総プロ法「コンクリート中の水溶性アルカリ金属元素の分析方法(案)」に準拠し行った。なお、既往の研究⁵⁾によると、鉄筋近傍位置のアルカリ濃度が $8\text{kg}/\text{m}^3$ 以上を示すと、二酸化炭素の再浸透が生じてても $\text{pH}10$ 程度以上を示す 0.5mol/L 以上の炭酸カリウム水溶液がコンクリート中に含まれていると考えられ、再アルカリ化の効果が認められるとされている。

図-5に測定結果を示す。補修後約10年・約15年を比較すると、A高架橋のコンクリート表面付近で一部結果が逆転しているが、全体的に、補修後約15年経過時点の方がアルカリ濃度は低下傾向にある。なお、鉄筋近傍位置の値をみると、一部で $8\text{kg}/\text{m}^3$ を下回っているものの、概ね $8\text{kg}/\text{m}^3$ 以上もしくは近い値となっている。この結果より、補修後約15年経過時点においても、浸透させたアルカリ溶液がコンクリート中に保たれていることで、再アルカリ化の効果が持続されていると考えられる。

4. まとめ

- (1) 分極抵抗および自然電位の測定結果より、補修後約15年経過時点において、鉄筋の腐食速度は低～中程度であるものの、鉄筋は腐食状態にないといえる。また、コンクリート中の pH の測定結果より、鉄筋のかぶり位置付近において pH 11.6~11.7程度を保持しており、防食環境が保持されている。
- (2) コンクリートのアルカリ濃度を測定した結果、鉄筋近傍位置において概ね $8\text{kg}/\text{m}^3$ 以上もしくは近い値であり、浸透させたアルカリ溶液がコンクリート中に保たれていることにより、再アルカリ化の効果が持続しているものとする。
- (3) 各種測定結果および、打音調査・外観目視調査により、約15年経過した再アルカリ化工法の補修効果が持続していることを確認した。

参考文献：

- 1) CEB Working Party V/4.1 : Strategies for Testing and Assessment of Concrete Structures Affected by Reinforcement Corrosion(draft 4), BBRI-CSTC-WTCB, 1997
- 2) ASTM C 876-91 : Standard Test Method for Half-cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete, 1999
- 3) 野村倫一 他:約10年経過した再アルカリ化工法の追跡調査, 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, 第4巻, pp.43-46, 2004.10
- 4) 電気化学的防食工法 設計施工指針 (案), 土木学会コンクリートライブラリー107
- 5) 野村倫一 他:再アルカリ化処理されたコンクリート中のアルカリ濃度分布, 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, 第13巻, pp.523-528, 2013.11

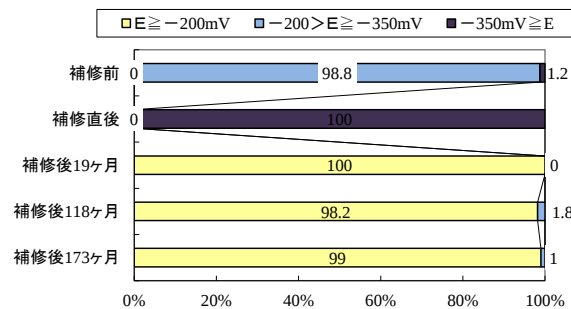


図-2 自然電位(vs.CSE)測定結果：A 高架橋

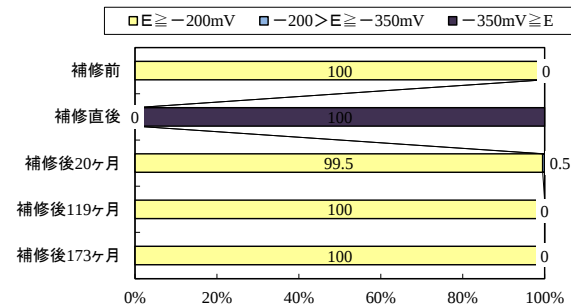


図-3 自然電位(vs.CSE)測定結果：B 高架橋

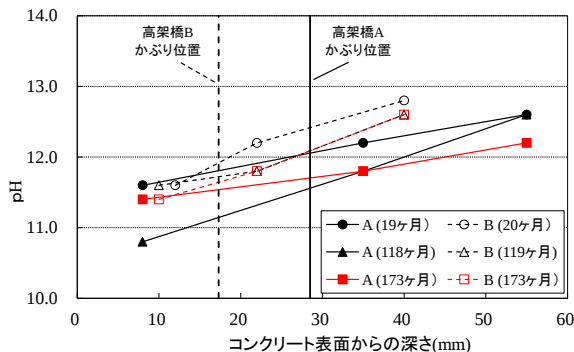


図-4 pHの測定結果

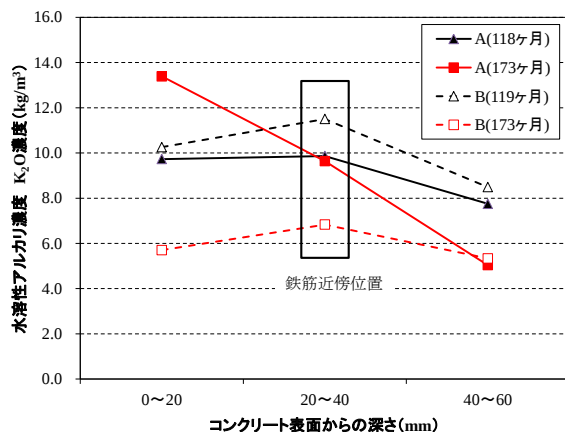


図-5 アルカリ濃度の測定結果