

[1075] 鉄筋コンクリート床版下面に施工した各種補修工法の効果

正会員 石橋忠良 (J R 東日本仙台工事事務所)

正会員 北後征雄 (J R 西日本岡山保線所)

1. はじめに

鉄筋コンクリートラーメン高架橋の一部の床版下面(以下単に「スラブ」という)に鉄筋の腐蝕膨張に起因するかぶりコンクリートの剥落などの変状がみられるものがあり、これらは鋭意補修をおこなってきている。

現在のところ、鉄筋の断面減少は軽微で、直ちに列車の運転に支障するものではないが、鉄筋の腐蝕は徐々に進行していると考えられ、構造物の耐久性は低下しているといえる。

変状が生じるのは、細骨材

として用いた海砂に含まれている塩分の影響、かぶり不足、締め固め不良などによるコンクリートの品質不良などに起因すると考えている。

これらの変状に対して、現状では「ライニング工法」と呼ばれる、変状箇所の部分的な修繕と全面的なコーティングを併用した工法(図-1 参照)で対処している。しかしながら、鉄筋のケレンが構造物の表面の側の露出面に対してしかおこなわれないこと、鉄筋の長手方向において補修した箇所と補修しない箇所が生じること、補修後もコンクリート内に塩分が残ることなどから、補修によって、腐蝕の進行を完全に抑制できるとは考えにくい。

本報告はライニング工法に使用する材料そのものの良否及び施工法(特に防水工の有無、はつり方)が補修効果に与える影響に着目して現場試験をおこない、補修工法を評価したものである。

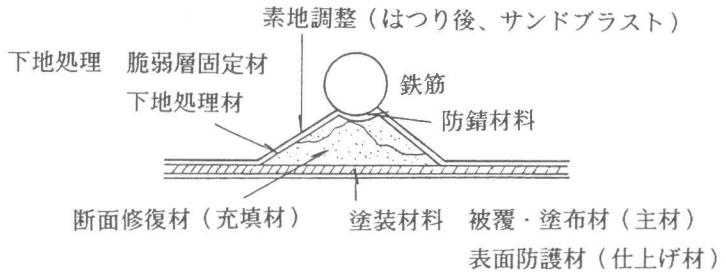


図-1 補修システムの概念図

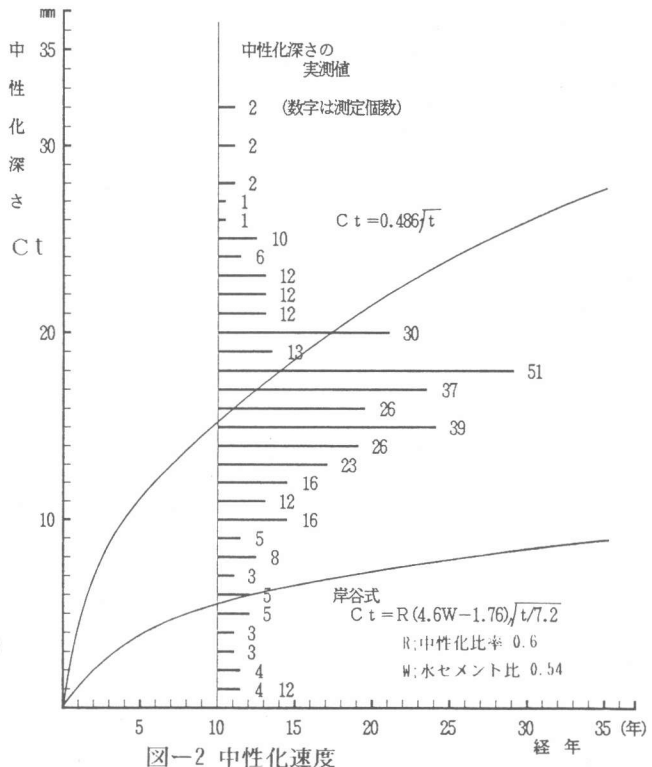


図-2 中性化速度

2. スラブ下面の変状の実態と原因の推定

スラブ下面の変状は a. コンクリート表面の白変、b. 鉄筋に沿ったひびわれ、c. かぶり部分のコンクリートの浮き、d. コンクリートの剥落、鉄筋の露出という形で顕在化する。

スラブ下面の変状の実態を把握するため、鉄筋の腐蝕の程度、塩分濃度、中性化深さ、かぶり厚さの4項目について調査を実施し、その結果に基づき、重回帰分析をおこなったが、鉄筋の腐蝕の程度と塩分濃度、かぶり厚さには殆ど相関が認められず、(かぶり厚さ) - (中性化深さ)との間に僅かに相関が認められた。

構造物の中性化深さの測定結果を図-2に示す。測定箇所は主としてスラブ部分で、一部柱部分の測定結果が含まれている。

一般に標準的な中性化速度とされている岸谷式の値と比べて、中性化速度が異常にはやい。すなわち、コンクリートの品質不良などが原因で、中性化が急速に進行し、かぶり不足もあって、中性化が鉄筋にまで及び、加えて塩分の影響でコンクリートの電気抵抗が小さいことから鉄筋の腐蝕が加速されたものと思われる。

3. 試験施工

3.1. 試験施工の目的及び内容

今回の試験施工の目的は、以下の2点である。

(1) 補修材料の良否

(2) 補修のしかたが補修効果に及ぼす影響(特に防水工の有無、はつり方)

補修材料の良否を調べるため、表-1に示す各種の補修材料を用いて、図-3に示す高架橋の各ブロックのスラブ下面の補修をおこなうことにした。

表-1 試験施工に用いた補修材料

種 類	防錆材料	下地処理材	断面修復材	クロス等	塗装材料(主材)	塗装材料(仕上げ材)
A	エポキシ樹脂系防錆プライマー	シリコーン樹脂系プライマー	シリコーン樹脂系モルタル	—	シリコーン樹脂系塗装材	シリコーン樹脂系塗装材
B	エポキシジンクリッチプライマー	エポキシ樹脂系プライマー	エポキシ樹脂系モルタル	ガラスフレーク	ポリエステル樹脂系塗装材	ポリウレタン樹脂系塗装材
C	ポリエステル樹脂系防錆プライマー	ポリエステル樹脂系プライマー	ポリエステル樹脂系モルタル	—	ポリエステル樹脂系塗装材	ポリエステル樹脂系塗装材
D	変性エポキシ樹脂系防錆プライマー	ウレタン樹脂系プライマー	エポキシ樹脂系モルタル	ガラスマット	ヒニールエステル樹脂系塗装材	アクリルウレタン樹脂系塗装材
E	ポリマーセメント(SBR系)プライマー	ケイ酸リチウム	ポリマーセメント(SBR系)モルタル	ガラスクロス	ポリマーセメント(SBR系)塗装材	ウレタン樹脂系塗装材
F	—	エポキシ樹脂系プライマー	ポリマーセメント(SBR系)モルタル	ガラスクロス	ポリマーセメント(SBR系)塗装材	—
G	ポリマーセメント(アクリル系)プライマー	エポキシ樹脂系プライマー	ポリマーセメント(アクリル系)モルタル	ビニロンメッシュ	ポリマーセメント(アクリル系)塗装材	ウレタン樹脂系塗装材
H	無機ケイ酸塩	エポキシ樹脂系プライマー	エポキシ樹脂系モルタル	ラス	エポキシ樹脂系塗装材	アクリル樹脂系塗装材
I	—	ポリマーセメント(アクリル系)ペースト	ポリマーセメント(アクリル系)モルタル	クレモナメッシュ	ポリマーセメント(アクリル系)塗装材	ポリマーセメント(アクリル系)塗装材
J	ポリマーセメント(SBR系)ペースト	—	ポリマーセメント(SBR系)モルタル	ビニロンクロス	ポリマーセメント(SBR系)塗装材	シリカ系塗装材
K	ジンクリッチプライマー	エポキシ樹脂系プライマー	エポキシ樹脂系モルタル	ガラスクロス	エポキシ樹脂系塗装材	アクリルウレタン樹脂系塗装材
L	—	エポキシ樹脂系プライマー	エポキシ樹脂系モルタル	ガラスクロス	エポキシウレタン樹脂系塗装材	アクリルウレタン樹脂系塗装材

また、補修のしかたが補修効果に及ぼす影響を調べるため、以下に述べる施工上の各種要因を組合わせた施工をおこなった。

第1要因(I群)；スラブ上面からの雨水等の浸透が鉄筋の腐蝕に及ぼす影響

A；スラブ上面に防水工を施工したもの

B；スラブ上面に防水工を施工していないもの
第2要因（Ⅱ群）；は
つり方（断面方向）の違
いが鉄筋の腐蝕に及ぼす
影響

1；鉄筋の一部が露出
する程度のはつり

2；鉄筋の全体が露出
するはつり

第3要因（Ⅲ群）；コ
ンクリートのはつり長さ
の違いが鉄筋の腐蝕に及
ぼす影響

ア；外観変状のある部分のみをは
つる

イ；外観変状にかかわらず鉄筋の
ほぼ全長にわたってはつる

以上、表-2に示す6ケースにつ
いて施工をおこなった。

3.2. 調査、測定の方法

(1) 目視による調査

何年かあとに補修箇所をはつり出
し、鉄筋の腐蝕状態を目視により調
査する。そのために、サンドブラ
ストにより補修箇所の鉄筋表面の錆
を完全に除去するとともに、新しい鉄
筋を旧鉄筋に添わせて埋めこんで
おくことにした。

(2) 腐蝕計（=コロソメータ）による測定

まず、腐蝕計の原理について簡単
に述べる。

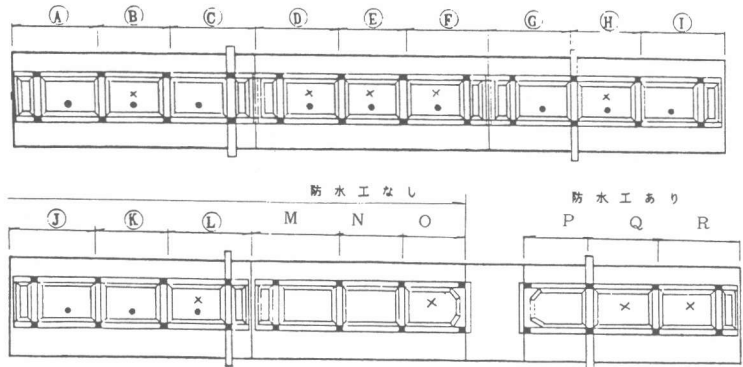
もともと腐蝕計は石油プラントに
おける油送管の腐蝕をモニタリングする目的で開発された。測定対象と同じ材質の「プローブ」と呼ばれるセンサーを測定対象の近く、すなわち、同じ腐蝕雰囲気中に埋めこんでおき、プローブが腐蝕すれば、測定対象も腐蝕したと判断する。

プローブの腐蝕はプローブの電気抵抗を測定することによって知ることができる。

今回は鉄筋とほぼ同じ材質のプローブを図-4、5に示すような形で埋め込んだ。

図-4に示す埋め込みの方式のものは、補修材料の良否を調べる目的のもので、選定した12




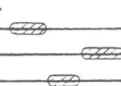
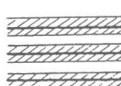
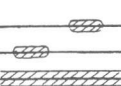
図-3 試験施工区間（平面図）




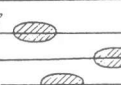
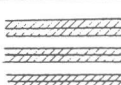
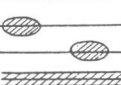


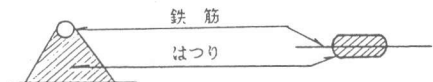
Ⓐ 腐蝕計埋め込み箇所（Aタイプ）

× 腐蝕計埋め込み箇所（Bタイプ）

表-2 補修工法の組合せ

ケースNO	1	2	3
I 群	A 防水工あり	A 防水工あり	A 防水工あり
II 群 (断面)	1 	1 	2 
III 群 (平面)	7 	4 	7 

ケースNO	4	5	6
I 群	B 防水工なし	B 防水工なし	B 防水工なし
II 群 (断面)	1 	1 	2 
III 群 (平面)	7 	4 	7 



種のライニング工法の断面修復材の部分に埋め込んである。

図-5は、補修工法の適否を調査するもので、断面修復材と旧コンクリートをまたぐ形で配置してある。この時、旧コンクリート部分の埋め込みに通常セメントを用いたセメントミルクを使用した場合、アルカリ雰囲気中にプローブが置かれることになり、プローブ表面に不動態被膜が形成され、旧コンクリート中の鉄筋をモニタリングすることにならない恐れがある。そこで旧コンクリート部分への埋め込みには、特にGRCセメントを用いたセメントミルクを使用した。GRCセメントは、グラスファイバーコンクリートに使用する目的で開発されたもので、PH=10~11程度を示すものである。セメントミルクの配合を表-3に示す。なお、測定は図-3に示す位置でおこなった。当該箇所の補修工法の組合せは、表-2に示すケース1および4である。

(3) 自然電位の測定

非破壊試験の一つである自然電位の測定をおこなった。硫酸銅を基準電極として、補修効果の確認と補修後の経時変化を追跡する目的で、予め定めておいたスラブの同じポイントについて、補修をおこなう前と補修後一定期間毎に測定をおこない、測定値の比較をおこなった。

4. 測定結果

測定に先立って事前調査として、図-3の高架橋のかぶり、中性化深さ、塩分濃度を調べた。図-6にかぶりと中性化深さを示す。8か所で中性化が鉄筋位置にまで及んでいる。図-7にはスラブの下面から上に向かっての塩分濃度の分布を示した。塩分濃度は細骨材の絶乾重量に対するNaClの割合である。

その他の測定結果について述べる。

但し、現在のところ、補修部分に新たに埋め込んだ鉄筋のはつり出しを含めた補修箇所のはつり出しと、それに続く腐蝕の程度を目視により確認する作業はおこなっていない。そのため、表-2に示す補修工法の組合せのケース2、3、5、6

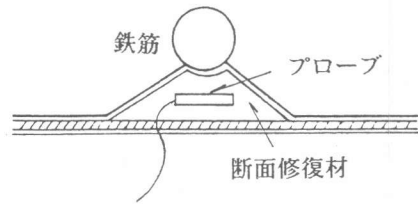


図-4 プローブの埋め込み (Aタイプ)

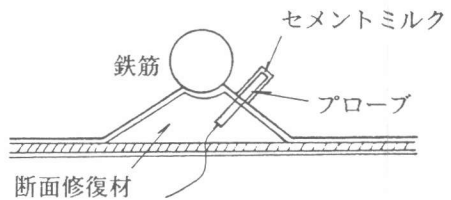


図-5 プローブの埋め込み (Bタイプ)

表-3 セメントミルクの配合

セメントの種類	W/C (%)	単用量 (kg/m ³)		
		C	W	セッター
GRC用セメント	33	1544	510	8

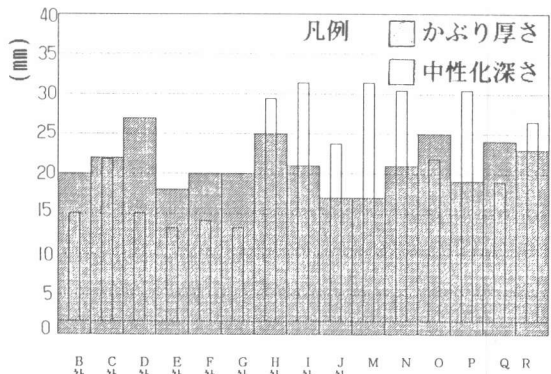


図-6 試験施工区間における鉄筋のかぶり厚さと

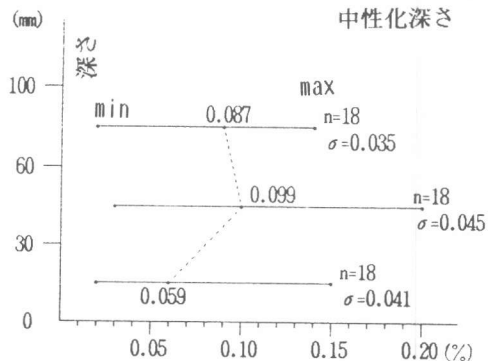


図-7 試験施工区間における塩分濃度

すなわち、はつり方の違いが鉄筋の腐蝕に及ぼす影響について結果を得るに至ってはいない。

ここでは、ケース1、4に関しての腐蝕計による測定の結果と自然電位の測定結果について述べる。

(1) 腐蝕計による測定の結果

測定の結果を図-8、9に示す。図-8、9における縦軸は腐蝕計の読み取り値である。腐蝕はMPY(=1/1000インチ/年)で表され、次式で求める。

$$MPY = (\text{読み取り値} / \text{測定期間}) \times 0.365 \times \text{プローブ定数}$$

図-8は断面修復材のなかに埋め込んだプローブについての測定結果である。読み取り値に大小はあるものの経時的な変化は認められない。つまり、断面修復材12種類についてその優劣は認められず、少なくとも測定範囲では断面修復材の側の鉄筋の腐蝕はなかったと考えてよいと思われる。

図-9に、断面修復材と旧コンクリートをまたぐ形で配置したプローブに関する測定の結果を示す。9点中4点で明らか

かに読み取り値が上昇している。言い換えれば、少なくとも4点については、プローブに腐蝕が発生、進行していると考えられる。すなわち、モニタリングの対象である旧コンクリート側の鉄筋の腐蝕は進行していると考えてよいと思われる。但し、プローブの測定精度は非常に高く、そのため鉄筋そのものの腐蝕の程度は極めて軽微なものと思われる。

なお、上昇が認められる4点中の1点は防水工を施工した箇所であり、スラブ上面からの雨水

の浸透を遮断したケースでも腐蝕が進行していることになるが、これは、防水工を施工した時点で残存した水の影響とも考えられ、今後更に経時変化を追うことにしている。

(2) 自然電位の測定結果

自然電位の測定結果を図-10~12に示す。いずれも同一のスラブ(図-3における「G」)に対する測定の結果である。図-10は補修前、図-11は補修後32日目のもの、図-12は補修後208日目のもの

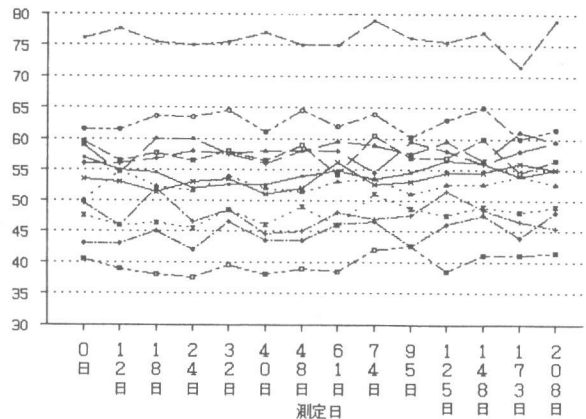


図-8 腐蝕計による測定の結果 (Aタイプ)

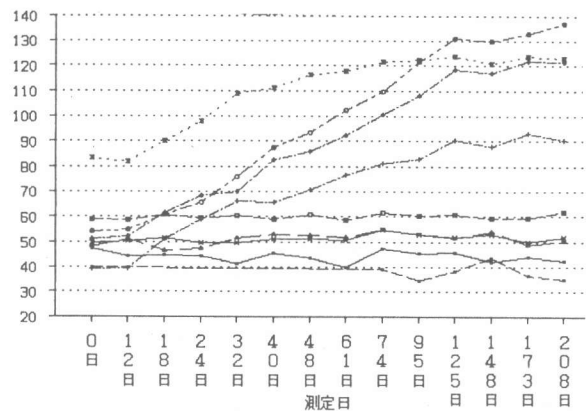


図-9 腐蝕計による測定の結果 (Bタイプ)

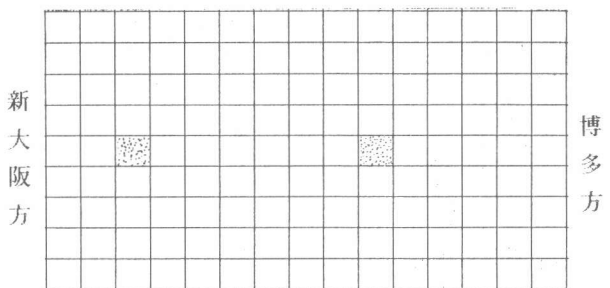


図-10 自然電位の測定結果 (補修前)

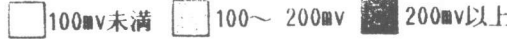
凡例 □ 100mV未満 □ 100~200mV ■ 200mV以上

である。大きく値が異なっているが、各測定時において比較的マイナスの値が大きいポイントはほぼ一定している。なお、補修材料として有機系の材料を用いた場合は測定不能であった。

5. 考察

以上の結果から概ね次のことが言えよう。

- (1) 防水工を併用した場合も含め、補修したもののうち腐蝕が進行していると考えられるものがあり、スラブの変状対策としての現行のライニング工法は必ずしも完全であるとはいえない。
- (2) 腐蝕計を用いればコンクリート中の鉄筋の腐蝕がモニタリングできる。但し腐蝕計による電気抵抗の読みと実際の鉄筋の腐蝕の程度との相関については今後の課題である。

(3) 自然電位の測定結果からは、全体の凡例  ある部分が他の部分に比べて悪いといった判断はできるが、測定値そのものは殆ど意味を持たない。また、有機系の補修材料に対しては測定不能である。

(4) 試験施工に先立ってフルオレッセンナトリウムによる塩分調査を実施したが、反応が明確には認められず、コンクリート中の材料に含まれた塩分に対しては有効とは言えなかった。

6. あとがき

現在おこなわれている補修は、構造物の変状の程度、原因にあまり関係なく同種の工法をとっていることが多い。現行の補修工法（＝ライニング工法）には一定の限界があることを認識した上で、どのような、そしてどの程度の変状に対して有効かを早急に把握する必要があると思われる。

本報告は、ライニング工法に関する試験施工とその追跡調査のうち、現在までに明らかとなったことの概略を述べたものである。今後更に測定を続けるとともに補修箇所の鉄筋あるいは当該箇所今回新たに配置した鉄筋をはつり出し、目視により腐蝕の程度を確かめたいと考えている。

[参考]

コンクリート中の塩分濃度の算出にあたって、その配合を表一参1とした。表一参1は工事誌等の記載から推定したものである。

表一参1

設計基準強度	240kg/cm ²
スラブ	12±2 cm
水セメント比	53～54%
粗骨材の最大寸法	25mm
空気量	4.5±1%
単位セメント量	285～315kg/m ³
単位水量	151～170kg/m ³
粗骨材量	750kg/m ³ 程度
細骨材量	1050kg/m ³ 程度