

論文 防錆剤を添加した断面修復材の補修効果について

守分敦郎*¹・稲垣正芳*²・秋葉泰男*²・村松道雄*²

要旨: 塗装材料に比較して耐久性の高いFRP製永久型枠を断面修復と組合せる工法は、有効な補修工法の一つと考えられる。この工法では、腐食性物質の遮断性能などを被覆材に分担させることにより、充填材の要求性能をこれまで用いられてきた断面修復材よりも抑え、経済的な工法にすることが可能と考えられる。

本研究では、このような工法に使用される充填材として、膨張材、分離低減剤および防錆剤を添加したモルタルを選定し、その適用性を室内実験によって確認した。

キーワード: 塩害, 断面修復材, 永久型枠, 防錆剤, 無収縮モルタル, FRP

1. はじめに

これまでの断面修復工法では、補修後に活荷重などによって発生する有害なひび割れや、弱点となりやすい修復部と既設コンクリートの境界部を覆うために、表面塗装が併用される場合が多い。しかし、このような工法では、塗装材料の耐久性などによっては、補修後に塗直しを行わなければならない。

一方、耐久性の高いFRP製の永久型枠を被覆材とすれば、塗直しを行なう必要が無く、トータルコストは低く抑えることが可能である。さらに、この場合には腐食性物質の遮断性能の一部を表面被覆材に分担させることが可能であり、充填材の要求性能は、従来の断面修復材料よりも抑えることが可能と考えられる。本研究では、防錆剤を添加した無収縮モルタルの断面修復材としての適用性について検討を行なった。

2. 検討方針

補修工法に用いられる材料の要求性能は、現状においても明確にはなっていないようである。これは、「劣化評価～補修工法或使用材料の設計～施工～追跡調査～見直し」のサイクルが効果的に行われて来なかったためと考えられる。

しかし、補修工法に求められる性能を明らか

にすることにより、工法に用いられる材料の要求性能について、その概要を整理することが可能と考えられる。

ここでとりあげた工法の主要材料の一つである被覆材は、FRP型枠(ガラス繊維補強イソフタル酸不飽和ポリエステル樹脂)に、断面修復材との密着性を図るための発泡炭酸カルシウム(厚さ5mm)を接着したものをを用いた。

本研究は、このような被覆材と併せて用いる断面修復材の物性値を確認することが目的である。一般に、断面修復材の要求性能は、補修工法に求められる性能などから、表-1に示した項目が考えられる。これらの性能のうち、欠陥となりやすい既設コンクリートや被覆材との境界面において、塩化物イオンの遮塩性や収縮などによるひび割れ発生に対する抵抗性、さらには施工条件の厳しさから、鋼材の防食性能や力学特性の安定したものが特に要求される。

今回検討した断面修復材の配合を表-2に示す。この配合では、遮塩性の確保と水和熱の抑制のために結合材として高炉セメントを用い、収縮に伴うひび割れの防止と分離抵抗性を付与するために、カルシウムサルホアルミネート系膨張材を混和した。W/Cは45%以下とし、ブリーディングが発生しないよう、単位水量および

* 1 東亜建設工業(株) 技術研究所 材料・構造研究室室長 工博(正会員)

* 2 東亜建設工業(株) 技術研究所 材料・構造研究室(正会員)

表-1 補修工法に求められる性能の概要と使用材料の品質

補修工法への要求性能	補修工法に対する要求性能を満足させるために考慮しなければならない項目	主要材料・工種に対する要求性能		
		被覆材の要求性能	充填材の要求性能	その他
外部環境から供給される腐食性物質の遮断性能	① 腐食性物質の透過性	① 材料自体の遮断性 ② 継目の遮断性 ③ ひび割れ追従性	① 材料自体の遮断性	
	② 耐久性 (耐候性、耐海水性・)	④ 充填材と被覆材との境界面の遮断性 (被覆材が損傷しても、腐食性物質の侵入範囲を抑える) ⑤ 既設コンクリートとの境界面での遮断性		
	③ 抵抗性 外力に対する	① 耐候性 ② 耐海水性	① 耐久性 ② 耐海水性	
既設コンクリートから供給される腐食性物質の遮断性能	① 既設コンクリートの塩分量	① 引張強度 ② 耐衝撃性・	① 圧縮強度・ヤング係数…力学特性	
	② 充填材の腐食性物質の透過性			① はつり範囲
鋼材腐食を抑制する性能	① 含有塩化物イオン量と鋼材の腐食性		① 材料自体の遮断性 ② 既設コンクリートと充填材の境界面での遮断性	
	② マクロセル腐食		① 塩化物イオン量と腐食性能 ② ひび割れ幅と防食性能	
補修部材の力学特性の確保	① 充填材と鉄筋、既設コンクリートとの一体性		① マクロセル腐食を抑える性能	① はつり範囲
			① 圧縮強度、ヤング係数…力学特性 ② 収縮が小さい性能 ③ 鉄筋、既設コンクリートとの付着性	
施工性	① 施工条件にあわせた、施工性の確保	① 重さ、大きさ ② 加工性	① フレッシュな性状と保持性 ② 凝結特性…	① 補修計画時に検討
	① 構造物の構造条件や今後の供用期間などに合わせた補修工法であること			① 補修計画時に検討

表-2 充填材の配合

S/C	単位量 (kg/m ³)			
	高炉スラグセメント	水	乾燥砂	混和剤
1.75	574	285	1,180	120

注) 混和剤は、カルシウムサルフォアルミニート系膨張材とアミノアルコール系防錆剤およびブリーディング抑制剤を組み合わせたものを使用。

表-3 硬化時の品質に関する検討内容

試験項目	確認する性能
圧縮強度・ヤング係数試験	充填材の力学特性
塩水浸漬試験 (1) φ 5×10cm 供試体 (2) 既設モルタルと充填材 (3) 型枠と充填材	遮断性 (1) 材料自体 (2) 母材と充填材の境界面 (ブリーディングの有無) (3) 型枠と充填材の境界面
初期体積変化測定	収縮が小さい性質
水和熱による温度変化測定	収縮が小さい性質
防食性能試験 (1) 分極曲線 (2) ひび割れ供試体の促進試験	防錆特性 (1) 塩化物イオン量と腐食性 (2) ひび割れ幅と腐食性
分割鉄筋の腐食電流密度測定	マクロセル腐食を抑える性質
曲げ試験(型枠と充填材)	ひび割れ追従性

S/C を設定した。さらに、施工過程で塩化物イオンが浸透しても、鋼材の防食性能を確保できるように、アミノアルコール系防錆剤を添加した。(以下、この材料を充填材とよぶ)

3. 実験方法

充填材の練混ぜは、1 バッチ 20l としてハンドミキサーを用いて行った。材料は、1 バッチ分の水量を容器に入れ、低速攪拌しながら混和剤、セメント、珪砂の順に投入し、全量投入後 1 分間高速攪拌した。

練混ぜ直後のモルタルのフレッシュ性状は、J₁₄ 漏斗流下が 8 秒～12 秒、空気量は 4.5～5.9% の範囲にあった。さらに、練上り温度が 20℃ の場合、30 分間静置した後でも、J₁₄ ロート流下時間が 10 秒～15 秒の範囲にあり、可使時間についても施工上問題ないことを確認した。

なお、検討は表-3 に示す項目を実施したが、ここでは主な実験について報告する。なお、実験に当たっては、市販されている無収縮モルタル(水和熱抑制タイプ)も試験し比較した。

3.1 圧縮強度とヤング係数

充填材の代表的な力学特性として、圧縮強度

とヤング係数を測定した。試験は、φ 5cm×10cm の供試体を用い、JIS A 1108 に従って行った。

3.2 塩水浸漬試験

塩害補修においては、充填直後から厳しい腐食環境にさらされる。したがって、塩水浸漬試験は、材齢 3 日経過後から行った。

既設コンクリートと充填材の境界面における

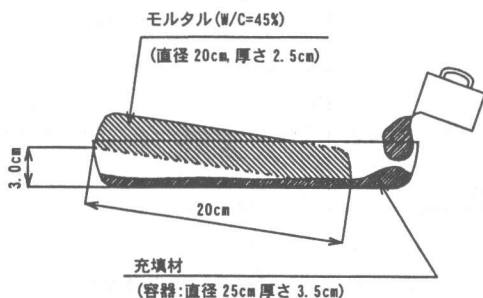


図-1 境界面の塩分浸透試験用供試体の製作
(充填材と既設コンクリート)

塩化物イオン浸透性を確認するために、図-1に示す供試体を用いた。この供試体は、先ず普通ポルトランドセメントを使用した $W/C=45\%$ のモルタル版 ($\phi 20.0 \times 2.5\text{cm}$) を作成し、材齢1日で表面のレイタンスをワイヤブラシで取り除く。その後、材齢4日経過した時点で、このモルタル版を、片側3cm浮かせて(約8.6度傾斜させて)充填容器 ($\phi 25.0 \times 3.5\text{cm}$) に固定し、静かに充填材を流し込んだ。3日間養生した後(材齢はモルタルが7日、充填材が3日)に脱型し、 20°C の海水に浸漬した。また、充填材自体の塩化物イオン浸透性を測定するために $\phi 5 \times 10\text{cm}$ の円柱供試体も同時に浸漬した。

型枠と充填材の境界面の塩化物イオン浸透性は、図-4に示す被覆材のひび割れ追従性試験に用いる供試体を使用し、材齢3日経過後から海水中に浸漬して確認した。

これらの供試体は、4週間海水中に浸漬した後、供試体を切断し、0.1規定硝酸銀溶液と0.1%フルオレセインナトリウム水溶液を噴霧し、蛍光を発した部分を測定して、塩化物イオンの浸透深さとした。

3.3 硬化過程の体積変化と温度上昇

充填材の硬化過程における体積変化は、「(仮称)高流動コンクリートの自己収縮試験方法」に準じ、包装用ラップとビニール袋で覆った $10 \times 10 \times 40\text{cm}$ の供試体中央に埋込み型ひずみ計を設置して測定した。脱型は、充填材を打設して24時間後に行った。

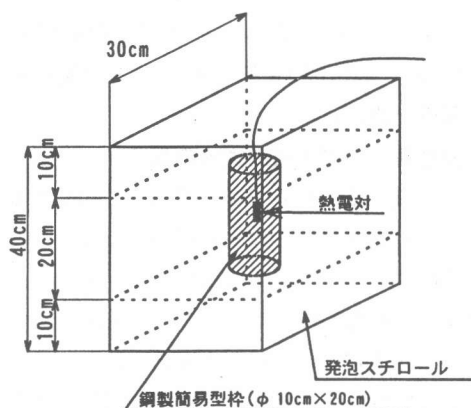


図-2 水和熱測定試験装置(簡易断熱)

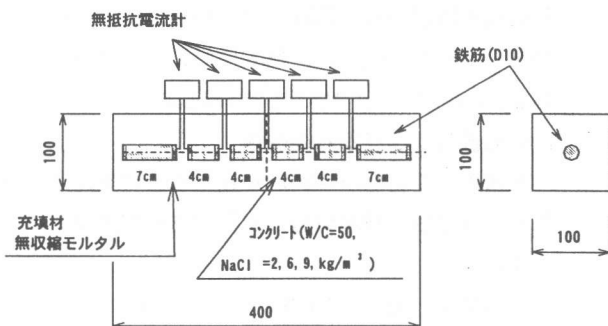


図-3 マクロセル電流測定用供試体

硬化時の水和熱も、充填材の体積変化やひび割れ発生に大きな影響を及ぼす。特に、永久型枠を用いた場合、型枠面からの水和熱の逸散が少ないことから、充填材はできるだけ発熱の小さい材料でなければならない。本研究においては、図-2に示す簡易断熱容器によって発熱特性の概要を確認した。

3.4 防食性能試験

充填材の中に塩化物イオンが浸透した場合、どの程度の防食性能を有するか、分極曲線を作成して検討した。

供試体は、 $\phi 5 \times 10\text{cm}$ の円柱供試体の中央に、D10の長さ7cmの鉄筋を配置し、 NaCl を0.0, 6.0, 9.0kg/m^3 添加した充填材を打設して、1ヶ月間封かん養生したものを使用した。鉄筋は、端部にリード線を取付け、両端5mm被覆した。分極曲線の作成に当たっては、銅板を対極とし

て、水道水の中に浸漬した供試体の鉄筋に1.0mV/secの速度で電位を与え、分極量と電流密度の関係を測定した。

3.5 分割鉄筋の腐食電流密度の測定

断面修復工法においては、補修後に発生するマクロセル腐食が最も大きな問題である。これを防ぐには、有害な量の塩化物イオンを含むコンクリートは全ては取り除くことが大切である。

一方、充填材もマクロセル腐食を誘発し難い材料でなければならない。ここでは、図-3に示す、10×10×40cmの供試体の中に分割した鉄筋を配置し、それぞれの鉄筋間を流れるマクロセル電流を測定した。供試体は、中央に打継ぎ目があり、一方を充填材、他方にNaClを2.0、6.0、9.0kg/m³含むコンクリートを打設した。

3.6 被覆材のひび割れ追従性

補修後に有害なひび割れが発生する可能性がある場合には、被覆材はこのひび割れに追従できなければならない。

供試体は、図-4に示すように、内面10×10×40cmの型枠底面に被覆材を置き、かぶり5cmの位置にD10の鉄筋を配置し、充填材を静かに流し込むことによって作成した。この供試体は、材齢3日経過後に海水中に浸漬して材齢28日まで養生した。試験は、JIS A 1106「コンクリートの曲げ試験方法」に準拠して載荷し、供試体中央に取り付けたパイゲージによりひび割れ幅を測定した。

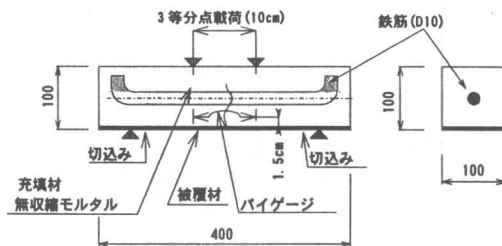


図-4 ひび割れ追従性試験用供試体

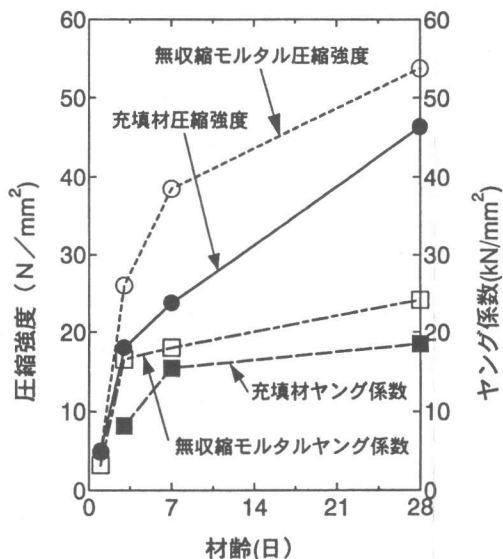


図-5 圧縮強度およびヤング係数測定結果

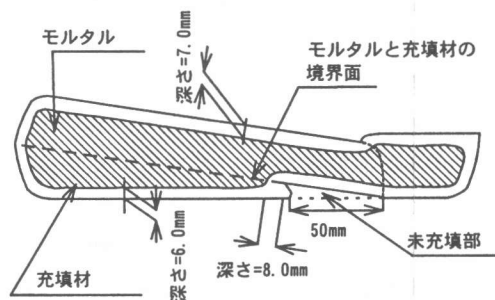


図-6 塩化物イオン浸透深さ
(充填材とモルタル)

4. 試験結果

4.1 圧縮強度とヤング係数

試験結果を図-5に示す。防錆剤入りの充填材は、高炉セメントB種を用いていることから、初期の圧縮強度やヤング係数は市販の無収縮モルタルに比較して小さいが、材齢28日では圧縮強度が46N/mm²ヤング係数が20.0kN/mm²となっており、通常のコンクリートと同程度かそれ以上の値を確保できることが分かった。

4.2 塩水浸漬試験

モルタルと充填材の境界面の塩化物イオン浸

透深さを図-6に示す。充填材の塩化物イオン浸透深さは、6.0mm程度であり、W/C=45%のモルタルの7.0mmよりも小さいことが確認された。さらに、境界付近でも塩化物イオンの浸透深さが大きくないことから、充填材にはブリーディ

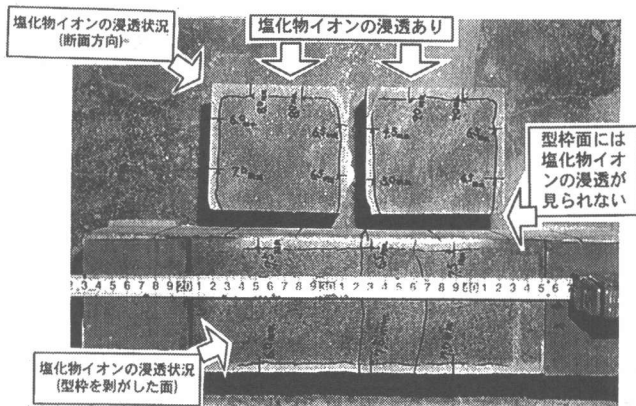


図-7 塩化物イオン浸透深さ
(充填材と被覆材)

ングが無く、既設コンクリートと一体化していることが確認された。

被覆材との境界面においても、図-7に見られるように塩化物イオンの浸透が全く見られず、密着していることが確認された。

4.3 硬化過程における体積変化と温度上昇

2つの供試体による充填材の体積変化の測定結果を図-8に示す。充填材には膨張剤が添加されているため、練混ぜ直後から膨張をはじめ、30時間後には平均で 1000×10^{-6} 程度の膨張を示した。その後、硬化収縮などの影響により徐々に収縮する傾向にあるが、その値は大きくない。

水和熱による温度上昇の測定結果を図-9に示す。測定の結果、充填材の温度上昇速度は水和熱抑制タイプの無収縮モルタルより遅く、最高温度も 6°C 程度低くなることが確認された。この値は、同様な方法で実験したポリマーセメント系断面修復材よりも 15°C 以上低かった¹⁾。

なお、温度ピークは練混ぜ後14時間後に見られたが、膨張材による供試体の膨張はその後も継続しており、この材料では温度応力によるひび割れ発生の可能性は少ないものと考えられる。

4.4 防食性能試験

アノード分極曲線の測定結果を、図-10に示す。防錆剤を添加した充填材では、NaClが $0 \sim 9.0 \text{ kg/m}^3$ まで大きな違いが見られなかった。したがって、施工過程で塩化物イオンが侵入した場合でも、この充填材を用いることにより、安

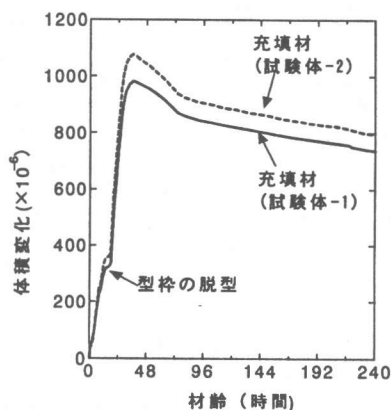


図-8 硬化過程の体積変化(2供試体で確認)

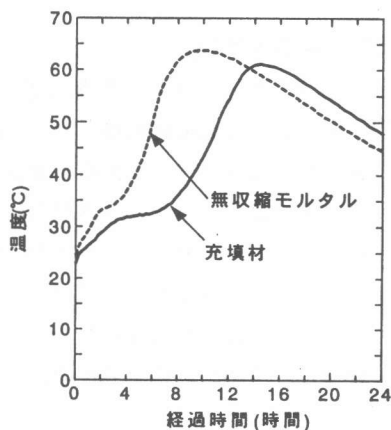


図-9 水和熱による温度上昇

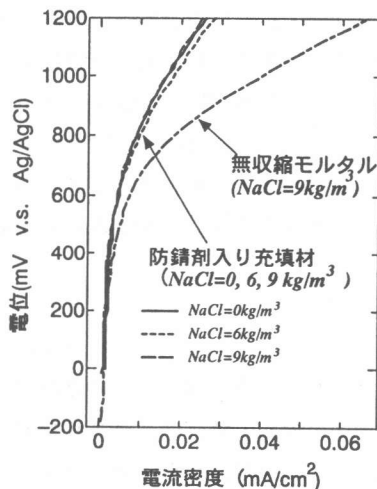


図-10 アノード分極曲線

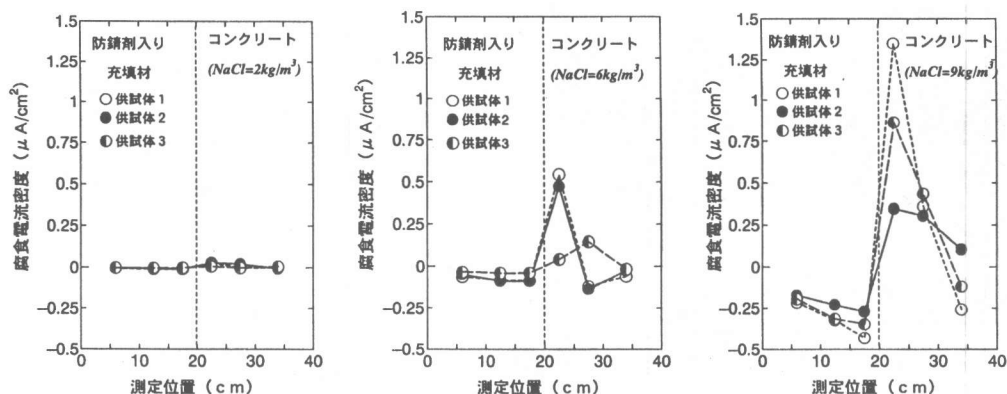


図-11 防錆剤を入れた充填材のマクロセル腐食電流

定的に鋼材を保護する性能を確保できるものと考えられる。

4.5 分割鉄筋の腐食電流密度

分割鉄筋の腐食電流密度の測定結果を図-11に示す。防錆剤を入れた充填材の場合でもこれまでの断面修復材と同様に²⁾、塩化物イオンを含むコンクリート側がアノードとなる傾向にある。したがって、この充填材を用いた断面修復工法の場合でも、有害な量の塩化物イオンを含むコンクリートは全てはつり取りなければ、マクロセル腐食による再劣化の可能性の高いことが確認された。

4.6 被覆材のひび割れ追従性

被覆材を下面にして曲げ試験を行った。荷荷の過程で、供試体中央に2本の曲げひび割れが発生したが、これらのひび割れ幅の合計が1.6mmに達するまで、被覆材と充填材は一体性を保っていた。剥離開始の状態を、図-12に示す。したがって、この実験の範囲では、幅0.8mm程度のひび割れが2本発生するまで、被覆材はひび割れ周辺部を覆うことができるようである。

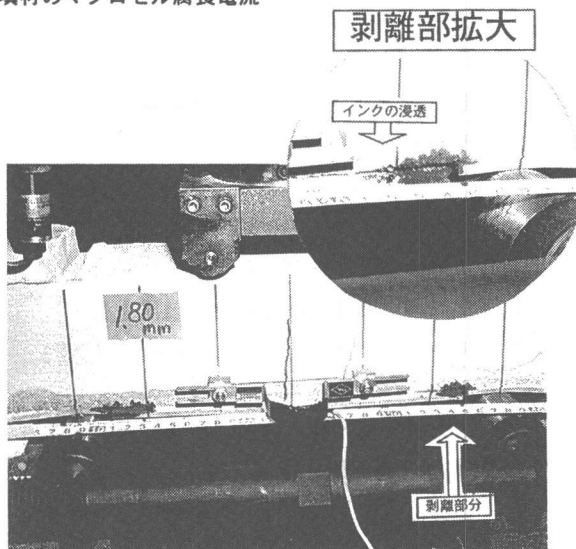


図-12 ひび割れ追従性

今後、補修工事やその後の追跡調査などを通じて補修効果を確認し、充填材に求められる品質の水準を具体的に設定していくことが重要と考えられる。

【参考文献】

- 1) (財)東京港埠頭公社、大井埠頭棧橋劣化調査・補修マニュアル(案)一、1994.3
- 2) 守分敦郎・長瀧重義・大即信明・宮里心一：断面修復が鉄筋のマクロセル腐食に及ぼす影響、コンクリート構造物の補修工法と電気防食に関するシンポジウム論文報告集、pp.7-14、1994.10

5. 結論

実験の結果、検討対象とした充填材は、力学特性、コンクリートや型枠との境界面における塩分浸透性に対する抵抗性、ひび割れ抵抗性、鋼材の防食性能の観点から、永久型枠と断面修復を併用する補修方法の充填材として、十分な性能を有することが確認された。