

論文 管理者直営補修における断面修復作業の施工面積の違いが補修後の品質に及ぼす影響

下河 初美*1・樋原 弘貴*2・山田 悠二*3・添田・政司*4

要旨：本研究は、管理者直営補修における断面修復の品質確保に向けて、管理者自らが断面修復作業を実施し、横向き施工における施工範囲の違いや下地処理の違いが補修効果に及ぼす影響を評価したものである。実験結果より施工面積が 120×120mm 以下になると、施工者ごとの補修後品質のバラツキが最小化され、安定した補修効果が得られることが分かった。初心者が補修を行う際に施工面積 120×120mm が品質確保を行う上での一つの目安になる。一方で、鉄筋防錆剤の種類や散布範囲の程度によっては、例えプライマーを塗布していても断面修復材と母材との付着性を低下させる恐れが示唆された。

キーワード：断面修復工法, 管理者直営補修, 補修材料, プライマー, 鉄筋腐食

1. はじめに

全国に約 70 万橋以上ある内の約 9 割は、地方自治体（市町村）が管理しており、多くの小規模 RC 橋が存在している¹⁾。一方で、地方自治体では、人口減少が年々進む中で、それに伴って税収も下がり続けており、維持修繕費の捻出が難しい状況にある。そのため、産学官が協働で維持管理に関する仕組みづくりから点検、補修に至るまで様々な取り組みがなされている^{2)~7)}。しかし、劣化構造物において維持管理区分が健全度評価Ⅲ以上と判定された場合には、補修対策が必要となるが、地方自治体の補修完了率は未だに低い状態にある。

今後は予防保全対策として、管理者自らが補修を実施（以下、DIY 補修と称す）することで長寿命化を図り、できる限り健全度評価Ⅱの状態を維持していくことが、地方自治体における社会基盤を維持する上での一つのモデルになると考えられる。既にいくつかの自治体では、DIY 補修に取り組んでおり、相応の成果をあげている⁸⁾。

そこで、地方における喫緊の課題である人員不足、技術力不足、予算不足を解消しつつ、管理者直営補修を上

手く機能（再劣化や品質確保のリスク低減）させるために、2019 年より日本コンクリート工学会九州支部「管理者直営による簡易補修方法の提案と評価に関する研究会」を発足させ、各市の管理者（福岡市、玉名市、大牟田市、直方市、福岡県建設情報センター等）と学識者（福岡大学、九州大学、鹿児島大学等）が集い定期的に勉強会を開催してきている。ローコスト、ローリスク、ローテクを実現できる管理者直営補修システムの提案に向けた取組の一環として、2020 年から年に 1 回のペースで福岡県内の各自治体向けに直営補修の技術講習会を開催している。2020 年度（第 1 回）は、補修システムの構築に向けた課題抽出を目的としたアンケート調査、施工向きが断面修復後の補修性能に与える影響について明らかにし、施工向きごとの施工時の留意点や品質確保のための対策について取り纏めた（参加：18 自治体）^{3) 8)}。表-1 には講習会後に行ったアンケート調査結果を示す。設問では、DIY 補修の導入について選択肢（一部導入、前向きに検討、現状では実施なし）を設け、DIY 補修のメリット、デメリットについて自由記述とした。○は、その項目に

表-1 アンケート調査による課題抽出

○：回答
-：未回答

		一部導入 ←-----→ 前向きに検討 -----→ 現状では実施なし -----→																										
		TA市	FU市	OK市	NO市	KA町	OG町	KK市	FT市	OM市	YA市	SO町	NA市	MU市	KG町	KS町	HS町	UM町	C市	KM市	AS市	KR市	KR町	IT市	KG市	ON市	KD町	
利点	補修費用の軽減	○	○			○	○	○			○	○			○	○					○						○	
	橋梁管理技術の向上							○							○	○											○	
	知識・意識の向上	○													○													
	外注費用に予算を回せる		○												○													
欠点	技術者不足・人員の確保			○		○			○	○	○	○	○	○	○	○			○	○	○		○	○	○	○		○
	技能、知識不足、構築が難しい	○	○	○		○	○	○	○		○		○	○	○				○	○			○	○	○			○
	業務時間の確保				○	○	○		○				○		○												○	
	予算の確保	○					○	○							○					○	○							
不具合が出た際の責任や処理				○			○									○											○	

*1 福岡大学大学院 建設工学専攻修士課程（学生会員）
 *2 福岡大学 工学部社会デザイン工学科准教授 博士(工学)（正会員）
 *3 山口大学 工学部社会建設工学科講師 博士(工学)（正会員）
 *4 福岡大学大学院 資源循環環境工学専攻教授 博士(工学)（正会員）

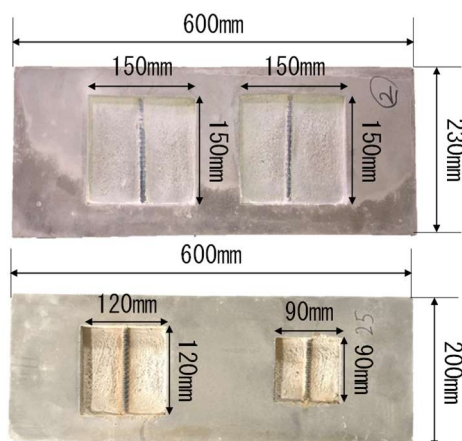


写真-1 供試体概要

表-2 母材供試体の配合

W/C (%)	S/C	単体量 : kg/m ³		
		W	C	S
65	2.5	344	516	1282

関する記載があったものを示しており、一は、未回答であったことを示している。この集計結果から、各自治体でも DIY 補修を取り入れたいとの考えはあるものの、DIY 補修に移行する上での技能、知識不足などによる品質確保に関する技術資料やエビデンスが不足している状況にあり、DIY 補修に躊躇する声が多かった。補修後の品質確保の問題や施工者による断面修復作業後の品質に差が大きく生じるため、その差を最小化できる補修方法や施工範囲、材料等を今後も提示していくことが課題として挙げられた。そこで、2021 年度（第 2 回）の技術講習会では、品質確保に向けたエビデンスをより充実させるために、参加者に種々の条件で断面修復を行ってもらい、界面部の隙間幅や鉄筋腐食状況等の情報を習得し、断面修復の施工範囲や下地処理などの条件の違いが補修後の品質に与える影響について明らかにすることを目的とした。本論文では、2021 年度に開催した自治体向けの直営補修の技術講習の内容とその成果について報告する。

2. 実験概要

2.1 断面修復作業に用いた供試体

断面修復作業で用いた母材供試体の外観を写真-1 に示す。本研究では 2 種類の供試体を使用した。1 つ目の供試体は、縦 600×横 230×厚 30mm とし、断面修復箇所として縦 150×横 150×厚 10mm の凹部を 2 カ所設けた。2 つ目の供試体は、縦 600×横 200×厚 30mm とし、断面修復箇所として縦 120×横 120×厚 10mm と縦 90×横 90×厚 10mm の凹部を設けた。なお、最大補修範囲は、福岡市の簡易補修マニュアル（案）を参考に縦 150×横 150mm に設定した。また、凹部中央位置には、φ10mm



写真-2 自治体職員の断面修復作業の様子

鉄筋が半断面露出するように設置し、鉄筋の両端 10mm は、完全に母材モルタル内に埋設するように設置した。施工部である凹部平面には、補修モルタルが付着しやすいように、脱型時に予め表面を金ヤスリで目粗しすることで素地調整を行った。

母材供試体は、セメントに早強ポルトランドセメント（密度 3.14g/cm³）、細骨材に除塩した福岡県玄海灘産海砂（表乾密度 2.58g/cm³）を用いて作製した。表-2 に配合を示す。脱型は、練り混ぜから 24 時間後に行い、その後は、7 日間の水中養生を経て、断面修復作業を行うまでの 7 日間は室内で保管した。

使用した断面修復材は、自治体職員が直営補修を実施する場合を想定し、インターネットから入手可能なプレミックスされた超軽量ポリマーセメントモルタルの使用を前提とした。断面修復材は、2020 年度の断面修復作業の結果も踏まえながら、まずは左官職人からの助言を基に 5 種類の候補材料を挙げて、福岡県の自治体職員が鉄筋露出した約 10m の RC 橋に対して、断面修復作業を行い、作業性とその後の半年間の経過観察から最も適当なものを選定した。

2 つある凹部 150mm×150mm のうち 1 つは、鉄筋に防錆剤塗布と底面にプライマー処理を行い、その後断面修復を行った。それ以外の供試体を含めて凹部 3 箇所は、下地処理として水湿しを行ってから断面修復を各自実施した。練り混ぜは、製品規定に準じてハンドミキサーを用いて、一カ所で練り混ぜたものを施工者に配分した。

2.2 断面修復作業の手順と実施状況

断面修復作業を行った自治体管理者は、24 自治体から計 28 人の参加があり、供試体を横向きに設置した状態で断面修復作業を実施した。写真-2 には、自治体職員が断面修復作業を行う様子を示している。補修実習では、最初に左官職人によるデモンストレーションを見学し、コテの使い方や補修モルタルの付着方法や手順、一度に付着させるモルタル量などについて実演と講義を受けた後に、各自断面修復作業に移行した。各施工面積における施工時間は 3 名をランダムに選定して測定したところ、150×150mm で 6～8 分、120×120mm で 3～4 分、90×

表-3 アンケート調査内容

1. 今後、予防保全体としてDIY補修の実施を行う予定はありますか？
2. DIY補修を実施することで生じるメリットや、実施に至るまでの課題について教えてください。
3. どのようなDIY補修を実施していますか？また、現状の課題や改善点があれば教えてください。
4. 出来栄を自分なりに点数を付けるとしたら何点ですか？
5. 最大でどの程度の範囲まで断面修復を滞りなく実施できそうですか？
6. その他

90mmで2~3分であった。施工時間は、施工面積が120×120mm以下になると大差がなかった。補修後は、現地で供試体をブルーシートで2日間覆った状態で補修モルタルの硬化を待ってから、大学に供試体を運搬して補修性能の良否を各種非破壊試験および塩水浸漬により腐食促進を行い腐食状況により評価した。

2.3 測定項目及び方法

(1) アンケートによる施工後の自己評価

アンケート調査は断面修復作業の自己評価と実際の評価との関係性を調べるために表-3に示す内容で行った。

(2) 母材および補修モルタル界面の隙間幅の測定

母材および補修モルタルの界面に生じる隙間幅は、クラックスケールを用いて測定した。隙間幅は、母材供試体と補修モルタルが接触している4側面の中で最大の隙間幅を記録して取り纏めた。

(3) 超音波測定による界面の接着性の評価

超音波測定は、写真-3に示すように鉄筋位置にセンサーを配置して行った。測定値を測定距離で除することで伝搬速度に換算し、補修モルタルと母材との接着性を間接的に評価した。同じ箇所を2回測定し、その結果を平均値で表した。

(4) 塩水浸漬試験による腐食性評価

上記項目の測定終了後に、断面修復面以外をエポキシ樹脂で被覆し、Cl濃度3%のNaCl水溶液に28日間浸漬した。浸漬後は、室内環境に28日間静置してから供試体

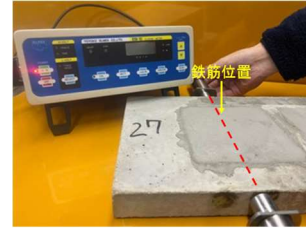


写真-3 超音波伝播速度測定の様子

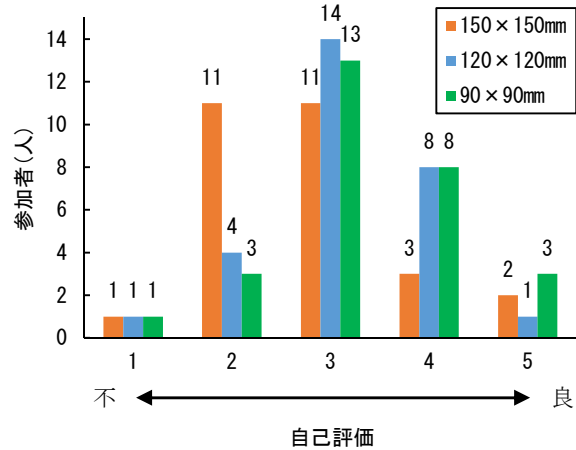


図-1 アンケート調査結果

を解体した。測定項目は、鉄筋に沿って供試体を割裂し、割裂面の断面観察、鉄筋の腐食状況および腐食面積の評価を行った。腐食面積は、鉄筋にセロハンを巻き付けて2次元的に腐食部をトレースした後に画像処理にて算出した。使用した鉄筋の長さは、施工面積によって異なるため、同じ腐食面積を示した場合に、腐食面積率で算出すると、鉄筋が長いものほど小さく算出される。そのため、本試験では腐食面積で算出し、施工面積による違いを評価した。

3. 結果および考察

3.1 アンケート調査結果

図-1には、施工面積ごとの自己評価の集計結果を示す。施工面積150×150mmでは、自己評価2~3点を記した施工者が多く、120×120mm、90×90mmになると自己評価3~4点を記す施工者が多い結果となった。施工

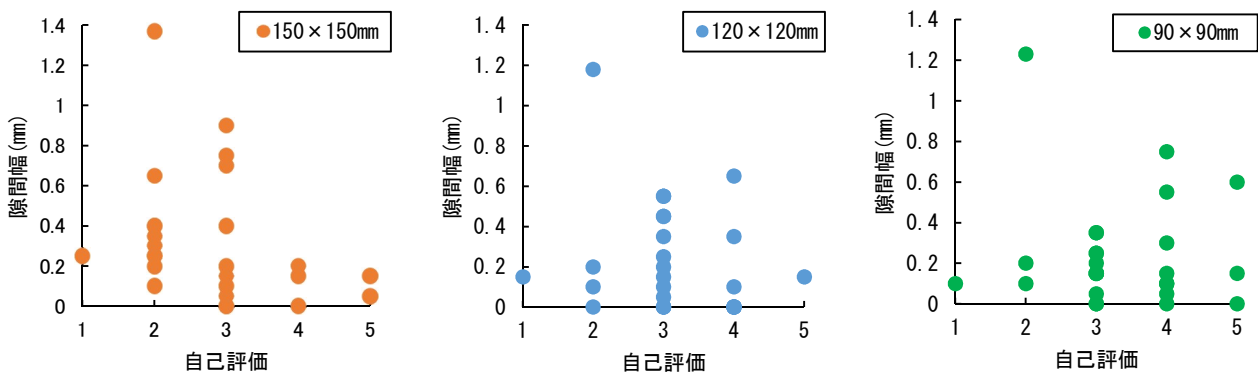


図-2 隙間幅と自己評価の相関図

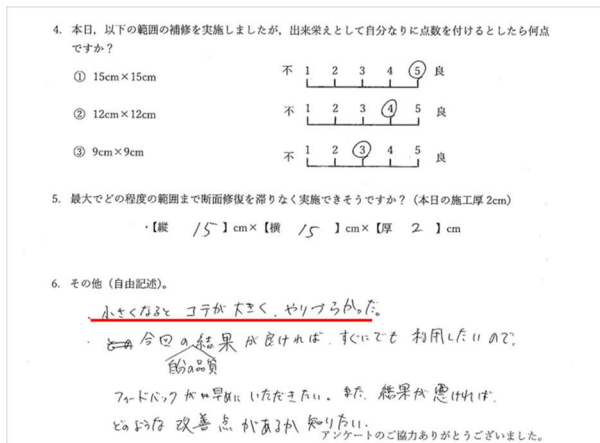


図-3 アンケート調査の一例

面積が 120×120mm, 90×90mm は、集計結果が同等であることから、120×120mm 以下になると施工者の断面補修に感じる難易度が低下することが分かる。

図-2 には、最大隙間幅と自己評価の関係性を施工面積ごとに示す。施工面積 150×150mm では、自己評価が高いものほど、最大隙間幅も小さくなる傾向を示し、また、隙間幅のばらつきも小さくなる結果を示した。しかし、施工面積 120×120mm 以下では、そのような傾向を確認できなかった。施工時間に注目すると、施工面積 150×150mm で 6～8 分、120×120mm で 3～4 分、90×90mm で 2～3 分であったことから、120×120mm を境に施工時間が大幅に短縮されたことが過大評価につながっていると推察する。また、自己評価 3 点以上でも隙間幅に大きくバラツキが見られており、図-3 に示すアンケート調査結果に着目すると、同一形状のコテで作業を行ったため、施工面積が小さくなるに従って難しいと感じる施工者も存在しており、こうした種々の要因が自己評価にも影響していると考えられる。

3.2 最大隙間幅

図-4 および表-4 には、各施工面積およびプライマー処理における隙間幅の密度分布および中央値、平均値、標準偏差をそれぞれ示す。水湿しにより施工を行ったケースに着目すると、施工面積 150×150mm では、平均値、中央値、標準偏差ともに他の施工面積よりも大きくなる結果を示した。また、いずれの施工面積においても隙間は、施工面上側に生じているものが多く、時間の経過に従って下側に沈下していると考えられた。施工面積 150×150mm では、施工する補修材量も多くなるため、写真-4 に示す様にコテによる抑えが不十分な場合には、より施工面の下側に補修モルタルが沈下したものと考えられる。また、施工面積 120×120mm, 90×90mm の場合には、中央値、平均値、標準偏差ともに同等の結果が得られている。

一方で、下地処理としてプライマーを使用したケース

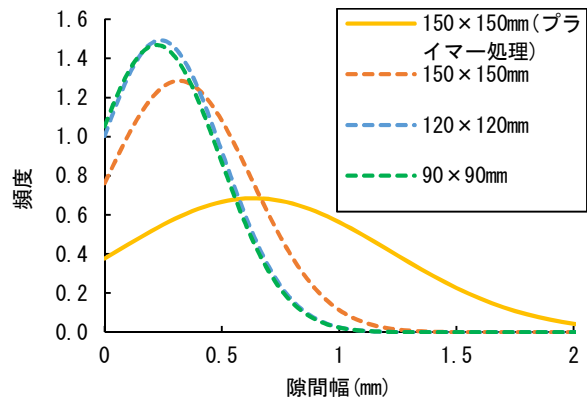


図-4 各種供試体の隙間幅の違い(正規分布)

表-4 各種供試体の平均値、中央値、標準偏差

単位 : mm	プライマー処理	150×150 mm	120×120 mm	90×90 mm
平均値	0.635	0.317	0.221	0.238
中央値	0.450	0.250	0.150	0.150
標準偏差	0.582	0.310	0.271	0.267



写真-4 施工後に断面修復の垂れが見られた断面修復箇所の一例

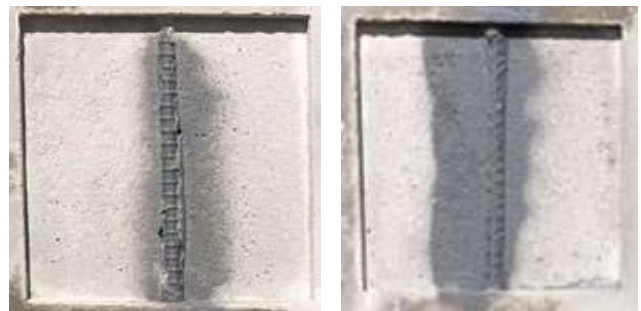


写真-5 プライマーと防錆剤を使用した断面修復箇所の例

では、一般的にプライマーを使用することで母材と補修モルタルの付着が向上するとされているため、更なる品質の向上が期待されたが、水湿しに比べると全体的に隙間幅が明らかに大きくなっていった。この点について考察すると、プライマー処理の供試体は、鉄筋防錆剤も併用しており、施工前の修復部を確認すると写真-5 に示す様にスプレー式の油脂系鉄筋防錆剤が鉄筋の周布にまで散布されているケースが複数確認された。鉄筋防錆剤

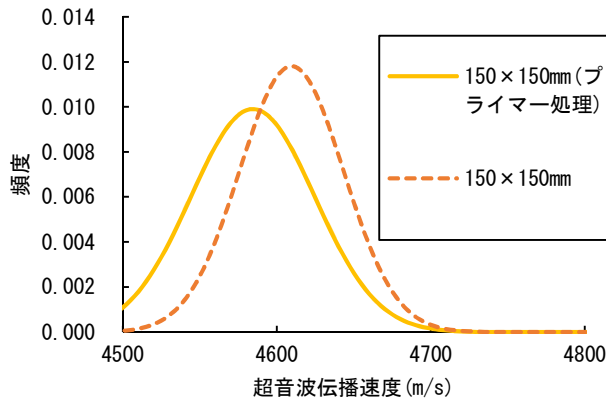


図-5 各下地処理の超音波伝播速度の違い (正規分布)

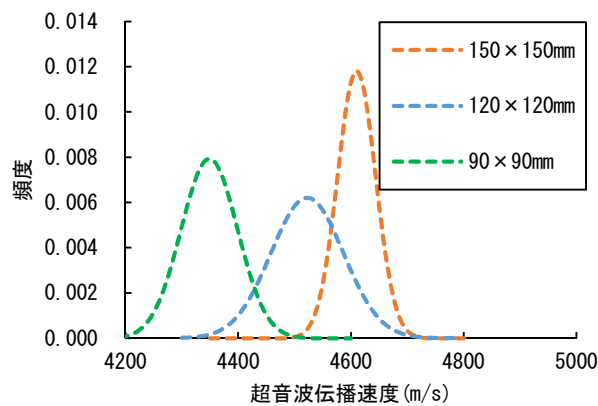


図-6 各施工条件の超音波伝播速度の違い (正規分布)

表-5 各施工条件の超音波伝播速度の違い

単位 :	プライマー処理	150×150 mm	120×120 mm	90×90 mm
平均値	4584.3	4609.5	4522.0	4348.5
中央値	4588.9	4609.7	4525.8	4352.6
標準偏差	40.2	33.7	64.2	50.2

が母材と修復材の接着面に広がっており、付着が阻害されたことで補修モルタルが沈下し易くなり、さらに施工者による鉄筋防錆剤の散布範囲が異なることがばらつきとして現れたと考えられる。以上より、補修モルタルとの付着を考慮した鉄筋防錆剤の選定が品質確保の上で重要な要素の1つであることが分かった。

3.3 超音波伝搬速度

図-5には、施工面積150×150mmのプライマー処理および水湿しによる超音波伝播速度の違いを示す。水湿しを行った供試体の超音波伝搬速度は、表-5に示す各施工条件における超音波伝搬速度の平均値、中央値、標準偏差を見ると、プライマー処理に比べて中央値、平均値とも大きくなっており、また標準偏差も小さい結果を示した。プライマー処理よりも補修モルタルと母材の界面が密実であると推察される。プライマー処理のものは、

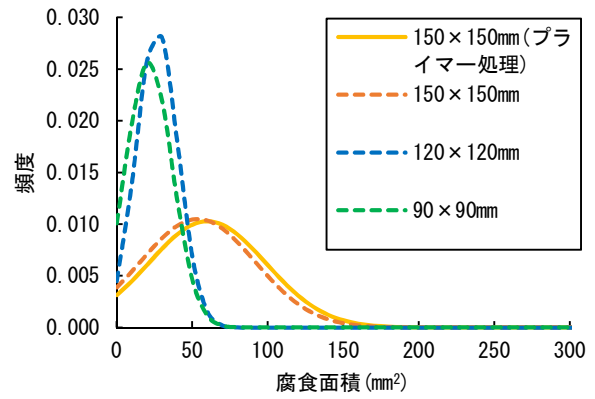


図-7 補修部に位置する鉄筋の腐食面積の違い (正規分布)

表-6 各施工条件の補修部の腐食面積の違い

単位 :	プライマー処理	150×150 mm	120×120 mm	90×90 mm
平均値	59.9	53.6	26.6	21.2
中央値	45.7	45.6	28.4	18.8
標準偏差	38.8	38.0	13.8	15.5

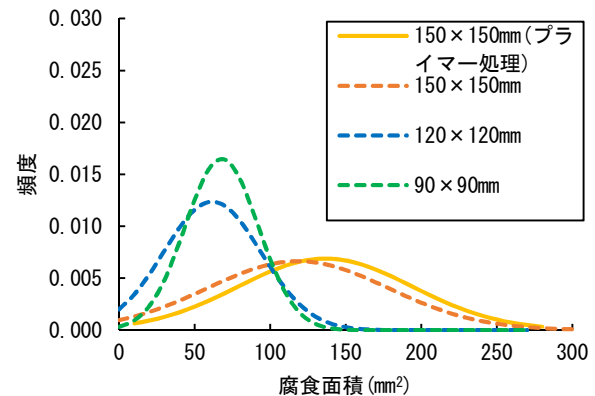


図-8 鉄筋全体の腐食面積の違い (正規分布)

表-7 各施工条件の全体の腐食面積の違い

単位 :	プライマー処理	150×150 mm	120×120 mm	90×90 mm
平均値	136.4	118.4	61.6	67.9
中央値	136.9	104.8	54.4	61.9
標準偏差	57.9	60.1	32.3	24.2

隙間の大小や鉄筋防錆剤による補修モルタルと母材との付着力の低下が測定結果に現れたものと考えられる。

次に図-6には、水湿し処理における施工面積による超音波伝播速度の違いについて示す。超音波伝搬速度は、施工面積が大きくなるに従って速くなる結果を示した。使用した補修モルタルは、母材よりも緻密であるため測定間に占める補修モルタルの割合が大きいものほど、伝搬速度が速くなったと考えられる。一方で、施工面積120×120mm、90×90mmの標準偏差は、150×150mmより

も大きくなる結果を示した。施工面積が小さくなったことで、断面修復の側面部の補修界面の影響を受けていると思われる。施工面積 90×90mm の標準偏差は、120×120mm よりも小さくなっており、施工者による補修後の品質のバラツキを幾分か小さくできると考えられた。

3.4 腐食面積

図-7、表-6 には、補修部における腐食面積および平均値、中央値、標準偏差を示す。補修部の腐食面積は、施工面積が狭くなるに従って小さくなる傾向を示している。隙間幅や超音波伝搬速度の結果を踏まえると、界面部の付着が比較的確保されていることで、塩化物イオンの侵入が抑制されたと考えられる。一方の、施工面積 150×150mm では、プライマー処理と水湿し処理との間に明確な違いを確認できなかった。

図-8、表-7 には、鉄筋全体の腐食面積および平均値、中央値、標準偏差を示す。母材側の腐食面積も加味すると、腐食面積はプライマー処理が最も大きかった。これは、補修部の鉄筋は防錆剤の働きにより腐食が抑制されたが、母材側では、塩化物イオンが他の供試体よりも多く界面部から侵入したことで、腐食も多くなったものと考えられる。また、水湿し処理を行った供試体での施工面積による違いでは、施工面積 150×150mm が最も腐食面積が大きく、施工面積 120×120mm と 90×90mm では同等であった。

以上のことから、上述した試験結果から総合的に考えると、DIY 補修の初心者が断面修復作業時の品質確保を行う上で、施工面積 120×120mm 程度が一つの作業条件の目安になると言える。今後は、複数人の熟練工にも断面修復作業を行ってもらい、その際の品質のばらつきとの比較を検討したいと考えている。

5. まとめ

管理者直営補修における断面作業の品質確保に向けて横向きによる施工条件の違いによる補修性能を検討した結果、以下の知見を得た。

- (1) 施工者が感じる補修時の難易度には、施工時間が影響していることが分かった。
- (2) 鉄筋防錆剤の散布が補修モルタルと母材との付着性に影響を及ぼすことから、その選定は品質を確保する上で重要となる。
- (3) 鉄筋防錆剤を用いることで、補修部の腐食抑制効果

を確認した。ただし、母材箇所において腐食が塩化物イオンの侵入に伴って進行する。

- (4) 総合的に施工面積 120×120mm 以下が施工者による補修後の品質が安定し、DIY 補修を行う上での一つの目安になる。

謝辞：断面修復作業における講習・実習において、福岡県情報技術センター、玉名市役所（木下義昭氏）、(株)allone、メンテナンス・ソーシャル株式会社（白木浩氏）には、多大なる支援と協力をいただいた。この場を借りて深く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省道路局：道路メンテナンス年報（令和元年 8 月）、http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/pdf/h30/R1_03maint.pdf
- 2) 小池賢太郎，武若耕司ほか：土木技術者育成および技術支援を目的とした産学連携組織の設立とその活動，インフラメンテナンス論文集，Vol.1, No.1, pp.1-7, 2022.3
- 3) 樋原弘貴，山田悠二ほか：管理者直営補修の実践に向けた課題抽出と断面補修における技能評価，インフラメンテナンス論文集，Vol. 1, No. 1, 18-25, 2022.3
- 4) 井林康，丸山明：地方自治体向けのタブレット末端利用の橋梁概略点検システムの開発と実証実験，インフラメンテナンス論文集，Vol. 1, No. 1, 8-17, 2022.3
- 5) 高橋和雄，松田浩ほか：長崎における地域発の道守を活用した橋梁の維持管理の構築に向けて，インフラメンテナンス論文集，Vol. 1, No. 1, 43-50, 2022.3
- 6) 津田誠，中田智之ほか：地方の様々な管理形態の給料を対象とした産官学民協働による維持管理モデルの構築と実装，インフラメンテナンス論文集，Vol. 1, No. 1, 51-59, 2022.3
- 7) 浅野和香奈，岩城一郎ほか：橋のセルフメンテナンスに参加する市民の安全を守る 10 の活動に際する規約の導入と改善，インフラメンテナンス論文集，Vol. 1, No. 1, 60-69, 2022.3
- 8) 木下義昭：自治体職員が直営施工を実践する手づくりの橋梁メンテナンスの構築，F5（土木技術者実践），Vol. 76, No. 1, pp52-65, 2020