

# 論文 コンクリート床版のポットホールを対象したゴム系の接着型補修材料に関する研究

大友 鉄平\*1・武田 三弘\*2・一反田 康啓\*3・岡本 光弘\*4

**要旨**：本研究は、コンクリート床版のポットホールを対象としたゴム系の接着型補修材料を開発し、単純に埋め戻した場合やエポキシ系の接着材料を使用した場合との付着性を比較したものである。結果として、ゴム系の接着補修材料を用いた補修および既設コンクリートとの付着性は、単純に埋め戻した場合に比べて大きく向上すること、エポキシ系接着材料と同程度であることが載荷実験、ホイールトラッキング実験およびX線造影撮影から明らかとなった。また、凍結融解試験の結果からも接着材料の使用は、埋め戻しの場合に比べて新旧コンクリートの付着性が向上するため、外部からの浸水を防ぐ効果が期待できると考えられる。

**キーワード**：ポットホール、ゴム系接着型補修材料、付着性、載荷、ホイールトラッキング、X線造影撮影法

## 1. はじめに

近年は、コンクリートの施工性、強度や耐久性の確保およびライフサイクルコストの面でコンクリート舗装が注目されており、積極的に施工されている<sup>1)</sup>。一方で積雪寒冷地のような過酷な環境下では、凍結融解や繰返し荷重の複合的な作用によって舗装の損傷が多く発生し問題となっている。コンクリート床版におけるポットホールは、損傷の中でも比較的小規模な変状であるものの、それを発端とし土砂化などの大規模な損傷に進展することが確認されている。また、道路利用者の妨げになっており、損傷が視認しやすいことから指摘も多い。

現場からは、ポットホールの補修後において、補修コンクリートが既設コンクリートから剥離し再劣化することが報告されている。ポットホールの補修には、早急な道路開放が求められているため超速硬化性のセメント材料を使用することが多いが、その補修コンクリートは既設コンクリートとの界面において、乾燥収縮により応力が集中すること、剛性（弾性係数）の違いによって界面にせん断力が発生すること、繰返し荷重時によるたわみに追従しないこと、仕上げ不良の不陸箇所を発端にひび割れが発生すること等が指摘されている<sup>2) 3)</sup>。今後道路としての機能を維持し安全かつ安定的に利用する為には、既往の研究<sup>4)</sup>から明らかとなっているポットホールの発生要因やメカニズムを十分に把握しながらも、その対策を講じる必要があると考えられる。

そこで本研究では、既設コンクリートと補修コンクリートとの接着に着目したゴム系の接着型補修材料を開発し、材料の塗布が接着性に与える効果について評価した。

さらに耐久性試験（凍結融解試験）を実施して、過酷な環境下における接着を目視観察し、単純に埋め戻した場合や他材料を使用した場合との比較を行った。

## 2. 実験の概要

### 2.1 接着型補修材料

実験に使用した接着型の補修材料は、ボンドと浸透性プライマーとの2層式となっている。ボンドはゴム系とエポキシ系との2ケースとし、プライマーは種類が異なるもののいずれもエポキシ系である。また、ボンドおよびプライマーの両材料とも主剤と硬化剤との2液性であり、1分程度よく攪拌して材料が均一に混ざるようにした。プライマーを塗布した理由として、ゴム系およびエポキシ系ボンドにはコンクリートへの浸透性がほぼ無いため、表層に発生しているひび割れや空隙への補修を考慮してプライマーを使用している。ゴム系ボンドは、主剤がポリブタジエン、硬化剤が変形MDI、エポキシ系ボンドは、主剤がエポキシ化合物、硬化剤がアミン類等である。なお、直接引張強度は表-1に示す。

ボンドの塗布量は膜厚を1mm程度とするため1.4kg/m<sup>2</sup>、プライマーの塗布量はボンドの半分程度(44%)とした。なお、ゴム系ボンドはエポキシ系ボンドと比べて粘度が高いため、膜厚が厚くなる傾向だった。塗布までの時間はゴム系材料とエポキシ系材料とは異なる。図-1に示す通り、ゴム系材料では補修コンクリートの打ち込み70分前にプライマー、その10分後にボンドを刷毛によって塗布している。一方、エポキシ系材料では補修コンクリートの打ち込み20分前にプライマー、その10

\*1 早川ゴム(株) 事業開発グループ土木技術チーム 博士(工学) (正会員)

\*2 東北学院大学 工学部環境建設工学科 博士(工学) (正会員)

\*3 早川ゴム(株) 事業開発グループ土木技術チーム 修士(工学) (非会員)

\*4 早川ゴム(株) 事業開発グループ土木技術チーム (非会員)

表-1 各接着剤を用いた直接引張強度

供試体ケース	直接引張強度	備考
ゴム系接着剤	0.92	・供試体: $\phi 50\text{mm} \times 100\text{mm}$ ※中心位置に打継 ・接着面積: $\phi 20\text{mm}$ ・引張速度: $1\text{mm}/\text{min}$
エポキシ系接着剤	1.95	
接着剤無(打継のみ)	1.94	

単位:  $\text{N}/\text{mm}^2$

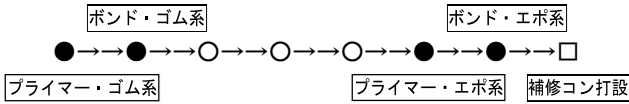


図-1 ボンド・プライマーの塗布時間(間隔 10分)

分後にボンドを刷毛によって塗布している。これは、各ボンドの可使時間が材質によって異なるため、今回のような時間配分とし設定している。

2.2 超速硬セメントの補修材料

補修箇所に対し接着型補修材料を塗布した後には、超速硬セメントを用いたコンクリートおよびモルタルで補修を行った。練り混ぜ方法はメーカーの仕様に準拠して練り混ぜ、即時に補修箇所へ打ち込んでいる。また、補修および既設コンクリートの圧縮強度を求めており、圧縮強度の比が新旧コンクリートの付着性状に及ぼす影響を評価している。なお、本実験では、材齢 1 日における補修コンクリートの圧縮強度  $13\text{N}/\text{mm}^2$  を低強度仕様、 $27\text{N}/\text{mm}^2$  を通常強度仕様としている。これは、補修コンクリートの圧縮強度の差が新旧コンクリートの付着に及ぼす影響を確認するためである。

2.3 載荷実験

供試体は、 $100\text{mm} \times 150\text{mm} \times 1200\text{mm}$  とし内部に鉄筋(D6, D13:SD345)を配置して曲げ引張破壊の先行型とした(図-2)。コンクリートの配合は表-2 に示しており、既設コンクリートは 30-18-20-N, スランプ 18cm, 空気量 4.8%, 気中養生 28 日の圧縮強度が  $28\text{N}/\text{mm}^2$  である。

供試体上面の中央部には、ポットホールのはつり後を想定した  $70\text{mm} \times 100\text{mm} \times 150\text{mm}$  の補修箇所を設けている。実際の路面では、ポットホールのはつり後に補修コンクリートを打ち込むが、再現が困難であることから、実験当初より補修箇所を設けている。また、ポットホールの深さは、 $50 \sim 100\text{mm}$  程度が多いことから、実験では  $70\text{mm}$  としている。なお、補修面は凹凸を形成するためワイヤーブラシによる削り作業を行っているが、評価結果への影響について今後の課題としている。

補修箇所には、既設コンクリートの材齢 28 日においてゴム系およびエポキシ系の接着型補修材の塗布し超速硬コンクリートを打ち込んだ。なお、載荷はプライマー塗布の時点から開始している。したがって、その後のボンド塗布および超速硬コンクリートの打ち込み時にも載

表-2 既設および補修コンクリートの配合

既設コンクリートの配合							
W/C (%)	s/a (%)	単位量( $\text{kg}/\text{m}^3$ )					
		W	C	S	G	AE	Ad
60.0	40.1	180	300	789	992	0.01	—
超速硬コンクリートの配合							
W/C (%)	s/a (%)	単位量( $\text{kg}/\text{m}^3$ )					
		W	C	S	G	AE	Ad
37.5	38.0	150	400	707	1207	0.01	10
超速硬モルタルの配合							
W/C (%)	単位量( $\text{kg}/\text{m}^3$ )						
	W	C	S	G	AE	Ad	
50.0	250	500	1500	—	0.01	—	

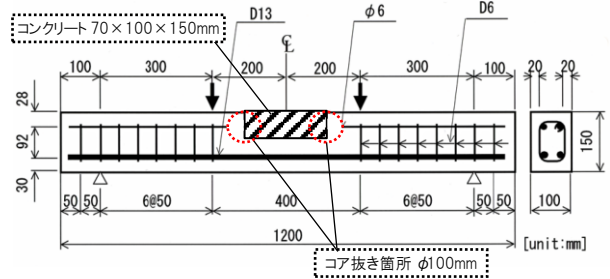


図-2 載荷実験用の供試体

荷は継続状態にある。これは、道路等の補修現場を想定した際には、片側通行とし補修を行うことが多いことから振動下における作業が現実的であると考えて、これに近い環境としている。載荷条件としては、4点曲げ載荷、載荷回数 100 万回、周波数 2Hz, 静的強度の 20~25%とした。載荷終了時には、補修コンクリートと既設コンクリートとの界面箇所(打継箇所)を図-2 の側面より  $\phi 100\text{mm}$  でコア抜きをし、厚さ  $10\text{mm}$  ずつにスライスした後に付着状態を評価した。また、評価後には同供試体 ( $10\text{mm}$  にスライス) を用いて凍結融解試験を実施し、付着箇所の目視観察を行った。凍結融解試験は、JIS 1148 A 法に準拠した温度履歴  $20^\circ\text{C} 8$  時間  $\sim 20^\circ\text{C} 16$  時間を 1 サイクルとし、水中凍結水中融解として実施している。

2.4 ホイールトラッキング実験

供試体は、寸法  $300\text{mm} \times 300\text{mm} \times 80\text{mm}$  として内部に鉄筋を配置しない。また、既設コンクリートは、前述 2.3 と同一配合であり、補修モルタルは気中養生 13 日の圧縮強度  $38\text{N}/\text{mm}^2$  である。供試体上面の中央部には、 $25\text{mm} \times 100\text{mm} \times 150\text{mm}$  の補修箇所を設けて、この箇所に対してゴム系およびエポキシ系の接着型補修材を塗布し、超速硬モルタルを打ち込んでいる。さらに供試体上面には、 $20\text{mm} \times 300\text{mm} \times 300\text{mm}$  のアスファルトを積層し、ホイールトラッキングを開始している(図-3)。

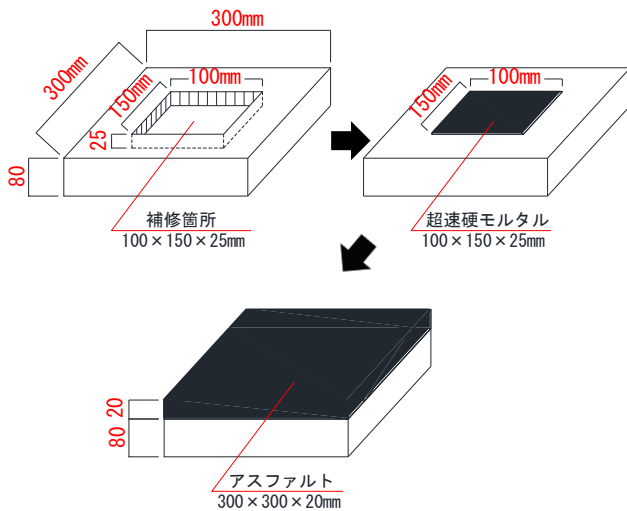


図-3 ホイールトラッキング用の供試体

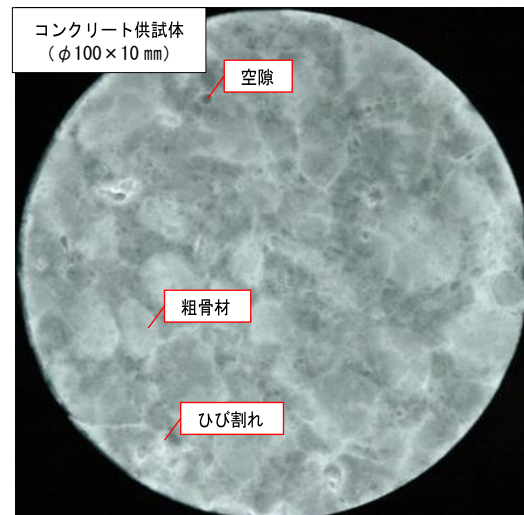


図-4 X線造影撮影の一例

ホイールトラッキング実験は、(社)日本道路協会「舗装試験法便覧・ホイールトラッキング試験方法」に準じて行った。試験条件は、室内温度  $60 \pm 1^\circ\text{C}$ 、走行時間 60 分、接地圧  $0.63 \text{ N/mm}^2$  とした。なお、試験輪は供試体中心に置き、走行方向を転圧方向と同一とする。試験終了後はアスファルトを剥がし、コンクリート供試体の付着性評価を行った。評価は、超速硬モルタルによって補修した箇所と既存コンクリートとの界面に着目し、供試体を厚さ 10mm ずつにスライスした後にしている。

### 2.5 X線造影撮影法によるひび割れの検出

X線造影撮影法は、コンクリートに造影剤を浸透させることによって、内部に発生したひび割れや空隙を検出することができる方法である<sup>5)</sup>。この方法を用いることによってひび割れや空隙の検出以外にも、その発生量を定量化することができる。X線撮影によって得られる透過画像の濃淡は、供試体を透過し検出体に到達したX線量(X線透過線量)によって決まる。すなわち、気泡やひび割れなどの空隙や吸収係数が低い物質の箇所ほどX線透過線量は多く、X線フィルム上ではその箇所が黒くなる。反対に造影剤のような吸収係数が高い物質の箇所ではX線透過線量は少なく、白くなる傾向がある(図-4)。

付着性の評価は、荷重実験後における供試体をコア抜きし、厚さ 10mm にカットした後に造影剤の液中に浸漬させた(図-5)。また、ホイールトラッキング実験後にはコア抜きせず、厚さ 10mm にカットして液中に浸漬させた。供試体は厚さ 10mm にすることによって、供試体全体に造影剤を浸透させることが可能となる。造影剤液中には 60 分間浸漬後、X線撮影を行った。

## 3. 実験結果

### 3.1 荷重後の付着性評価

図-6 は、低強度仕様の超速硬コンクリートによって

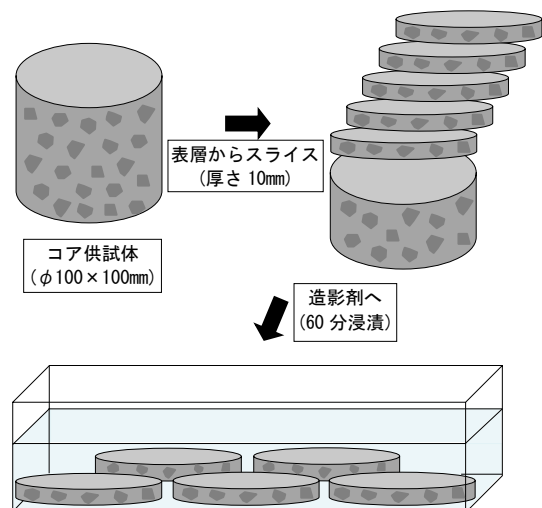
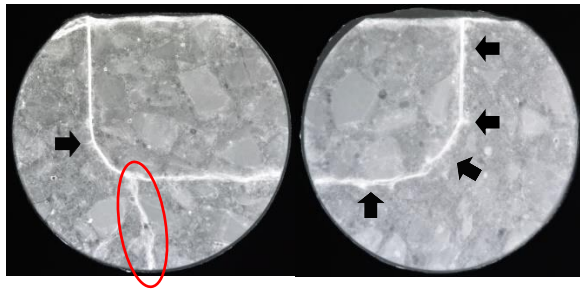


図-5 X線造影撮影用の供試体

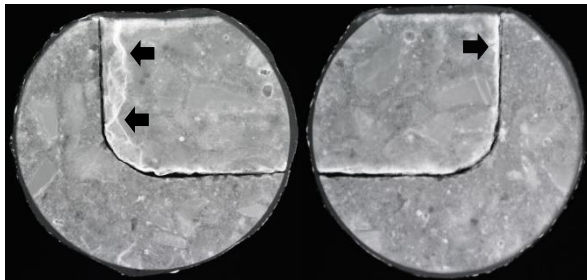
補修した荷重実験後の画像であり、新旧コンクリートの界面(付着)箇所に着目している。供試体は埋め戻しのみ、ゴム系接着材およびエポキシ系接着材の3ケースとしている。

埋め戻しみの供試体における新旧コンクリートの界面部分には白く画像化されていることから、ひび割れの発生が目視によって確認できた。また、画像内の印に示す通り、旧コンクリートへ発生しているひび割れも確認できたことから、新旧コンクリートの付着力が小さいことにより旧コンクリートへ影響を及ぼすものと考えられる。なお、補修コンクリートへのひび割れ発生はほとんど確認できなかった。

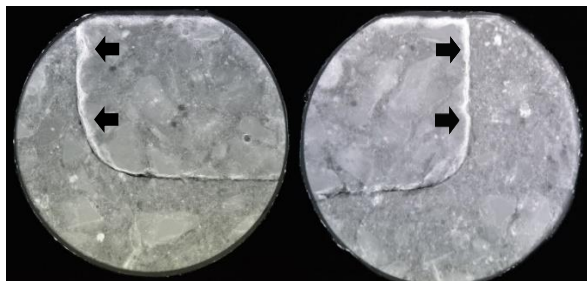
一方、ゴム系補修材料およびエポキシ系補修材料にて接着した場合には、付着箇所が黒く画像化されていることから新旧コンクリートの一体化が目視で確認することができ、接着型補修材料の塗布が付着性向上に与える効果が示された結果となった。また、旧コンクリートには微細なひび割れが発生していると思われたが、X線画像



【埋め戻しみのみのケース】

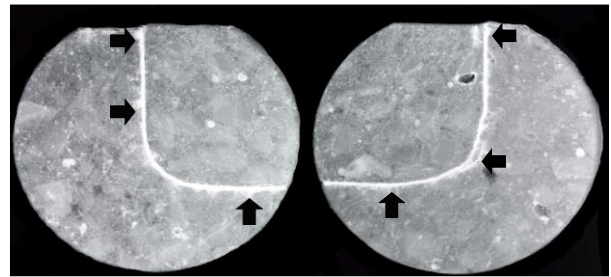


【ゴム系接着材のケース】

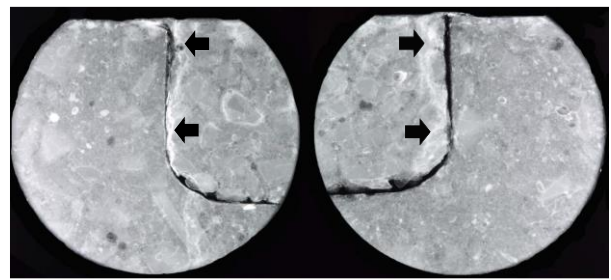


【エポキシ系接着材のケース】

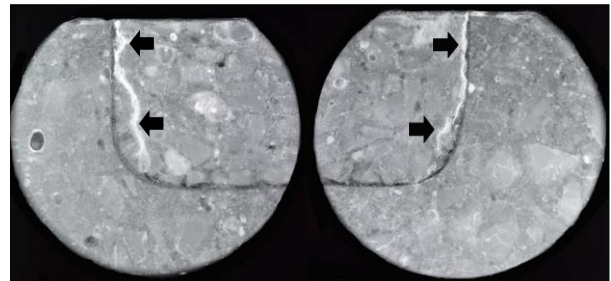
図-6 界面箇所のX線画像（低強度仕様）



【埋め戻しみのみのケース】



【ゴム系接着材のケース】



【エポキシ系接着材のケース】

図-7 界面箇所のX線画像（通常強度仕様）

からほとんど確認できなかった。したがって、接着型補修材料の塗布前に使用した浸透性のプライマーが旧コンクリートにおける微細なひび割れの補修に効果を発揮しているものと考えられる。

しかしながら、各接着型補修材料で補修した場合は付着性が向上するものの、補修したコンクリートに対してひび割れの発生を確認できた。これは、新旧コンクリートの界面部分には繰返しの荷重によってせん断力が発生すると考えられているが、補修コンクリートが低強度であると同時に、接着型補修材料の介在により新旧コンクリートの付着力が向上することによって、補修コンクリートにひび割れが発生するものと考えられる。したがって、新旧コンクリートの界面部分において接着性が改善された場合には、補修コンクリートの強度を十分に発現させる配合や材料を選定する必要があると考えられる。

図-7 は、通常強度仕様の超速硬コンクリートによって補修した荷重実験後の画像であり、新旧コンクリートの界面（付着）箇所に着目している。通常強度仕様に関しても供試体は、埋め戻しのみ、ゴム系接着材およびエポキシ系接着材の3ケースとしている。

埋め戻しみの供試体は、新旧コンクリートの付着部

分にひび割れが発生しているため、白く画像化されていた。界面部分を無対策とし超速硬コンクリートによって補修を行った場合は、元々付着力が小さいかもしくは繰返し荷重によって新旧コンクリートの付着が早期に縁切りをし、時間の経過とともに補修コンクリートの剥離や剥落につながるものと考えられる。また、前述の低強度仕様の結果と同様に、ひび割れは旧コンクリートの方へ進展していることが確認できた（画像内の印）。これは、付着力が小さいことによって、繰返し荷重が旧コンクリートへ及ぼす影響が過大であると考えられる。

一方、ゴム系補修材料およびエポキシ系補修材料にて接着した場合には、新旧コンクリートの界面箇所が黒く画像化され、一体化していることが確認できた。界面箇所における接着型補修材料の介在は新旧コンクリートの付着性を大きく向上させることから、使用の重要性を再認識できた結果となった。しかしながら、旧コンクリートへの影響は見られなかったものの、補修コンクリートへのひび割れ発生が確認できた。通常強度仕様では材齢1日の圧縮強度が27N/mm<sup>2</sup>であったため、低強度仕様と異なり補修コンクリートへのひび割れ発生が確認できないと予想していた。ひび割れ発生理由としては、接着



型補修材料による新旧コンクリートの付着力が、補修コンクリートの界面付近における結合力よりも大きいことだと考えられる。また、補修コンクリートの硬化過程に及ぼす振動の影響も考慮すべきであり、弱材齢の強度発現時においては、特にひび割れを誘発すると考えられる。したがって、補修部のひび割れ対策としては、振動下の打ち込みを極力抑制することも重要である。

### 3.2 ホイールトラッキング後の付着性評価

図-8はホイールトラッキング用供試体を10mmにスライスしたものであり、図-9はその供試体をX線造影法によって撮影した画像を示している。なお、図-8中の印は補修および既設コンクリートとの付着(界面)箇所であり、ホイールトラッキング後に撮影を行っている。

埋め戻しのみの供試体における付着は、前述の载荷実験後におけるX線画像と同傾向であり、既設コンクリートと補修コンクリートとの付着が乏しい結果であった(図-9)。ホイールトラッキングにより付着箇所にはひび割れが発生し、そこに造影剤が浸透したと考えられる。そのため、供試体をX線撮影すると付着箇所の画像は白く写し出され、目視においても付着状態を確認することができた。負荷を受ける環境において新旧コンクリートの付着を有するためには、接着性向上のための何らかの施策が必要であることが示されており、単純な埋め戻しのみでは再劣化が発生すると考えられる。

一方、ゴム系材料およびエポキシ系材料にて接着した場合には、補修コンクリートと既設コンクリートとの界面付近にひび割れの発生が確認できず、良好な付着が確認できた。また、ホイールトラッキングのような実環境に近い場合も接着型補修材料の優位性は示された結果となり、使用の重要性が明らかとなった。

しかしながら、ホイールトラッキングの結果は载荷実験の結果と異なり、補修モルタルにひび割れが確認できなかった。両実験では、負荷の方法や終了サイクルも全く異なること、また、補修材料がコンクリートとモルタルであることから単純に比較ができない。要因は今後の課題としているが、この実験では補修モルタルを振動下で打ち込んでおらず、硬化した後に開始しているためひび割れが確認できなかったと考えられる。また、補修する深さもひび割れ発生に起因するのではないかと推察している。補修する対象面が深いほど、新旧コンクリート(モルタル)の界面に影響を及ぼすせん断力が大きくなると思われ、この実験供試体では補修深さが他実験よりも浅いため補修コンクリート(モルタル)に及ぼす影響が少なかったと考えている。

### 3.3 凍結融解試験後における付着性の評価

図-10には、凍結融解試験後の各供試体を示しており、補修コンクリートが低強度仕様、凍結融解サイクルが20

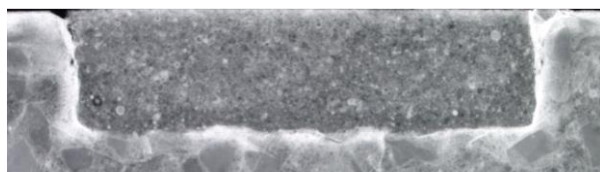


【埋め戻しみのみのケース】

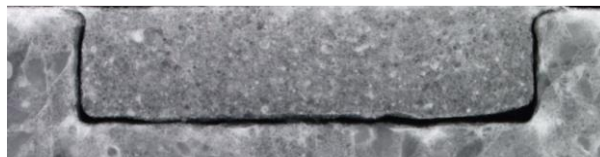


【ゴム系接着材のケース】

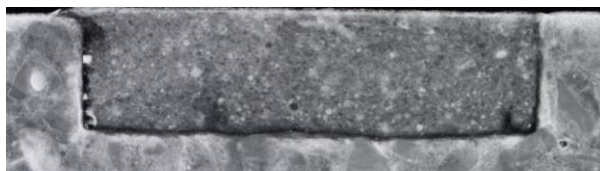
図-8 スライスした供試体・厚さ10mm (ホイールトラッキング試験後)



【埋め戻しみのみのケース】



【ゴム系接着材のケース】



【エポキシ系接着材のケース】

図-9 補修箇所におけるX線造影画像 (ホイールトラッキング試験後)

サイクル時である。なお、ゴム系接着材とエポキシ系接着材料の供試体は同傾向であったため、ゴム系接着材の画像のみ表示している。

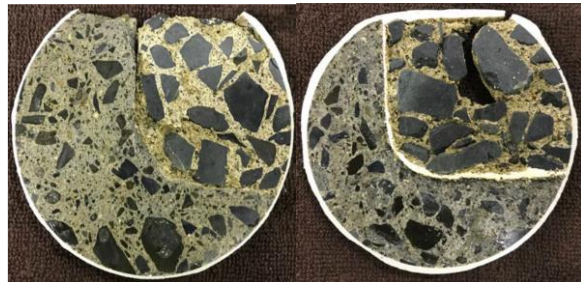
埋め戻しのみの供試体は、凍結融解2~3サイクル時点で補修コンクリートと既設コンクリートとの界面に発生しているひび割れの進展が確認できた。ひび割れは、凍結融解サイクルが進むにつれ早期に進展し、新旧コンクリートの剥離に至った。なお、20サイクル時点における新旧コンクリートはほぼ剥離しており、付着が皆無に等しい状態であった。また、剥離の多くは、水平付着面ではなく鉛直付着面から発生および進展していることが確認できたことから、繰返し载荷によって付着面へ影響を及ぼしているのはせん断力であると考えられ、結果として鉛直付着面の剥離が顕著になると思われる。さらに、劣化の進行は、補修コンクリート自体よりも付着箇所の



【埋め戻しのみ】

【ゴム系接着材】

図-10 凍結融解試験後の供試体・低強度仕様（20 サイクル）



【埋め戻しのみ】

【ゴム系接着材】

図-11 凍結融解試験後の供試体・通常強度仕様（35 サイクル）

方が早い傾向であったため、付着箇所への対策は必要不可欠と考えられる。

一方、ゴム系接着材やエポキシ系接着材料の供試体では、20 サイクル時において新旧コンクリートの付着箇所における劣化現象が見られなかった。なお、補修コンクリート自体にはスケーリングが確認できたが、これは補修コンクリートが低強度であったため付着部分より劣化が進行しているものと思われる。その後 30 サイクルまで凍結融解を進めたが、付着箇所は健全であったものの、補修コンクリートがスケーリングにより全面的に劣化したため、このサイクルにて実験を中止している。

図-11 には、凍結融解試験後の供試体を示しており、補修コンクリートが通常強度仕様、凍結融解サイクルが 35 サイクル時である。なお、ゴム系接着材とエポキシ系接着材の供試体は同傾向であったため、ゴム系接着材の画像のみ表示している。

埋め戻しみのみの供試体は、低強度仕様と同様に凍結融解開始直後から新旧コンクリートの付着部分にひび割れの進展が確認でき、補修コンクリートの剥離に至っている。このことから、補修コンクリートの強度は付着に影響を及ぼさないと考えられる。画像の供試体は、新旧コンクリートがほぼ剥離している状態であった。なお、ゴム系接着材やエポキシ系接着材の供試体では、35 サイクル時においても新旧コンクリートの付着箇所におけるひび割れや剥離が確認できなかった。しかしながら、低強度仕様と同傾向で補修コンクリート自体にスケーリングが発生しているため実験を終了している。接着型補修材料は、荷重後の凍結融解作用を受ける過酷な環境下でも

付着性を有することが実験から示された。

#### 4. 結論

本実験は、ゴム系の接着型補修材料を塗布することによって、補修コンクリートと既設コンクリートとの付着性に与える効果を X 線造影撮影法によって評価し、他材料および埋め戻しみのみのケースと比較したものである。本実験の範囲内で以下の知見を得た。

- (1) 繰返し荷重後の埋め戻しみのみの供試体では、新旧コンクリートの付着がほとんど見られず、ゴム系およびエポキシ系接着材を塗布することによって、付着性が大きく向上することが X 線画像から確認できた。
- (2) 繰返し荷重後の埋め戻しみのみの供試体では、補修コンクリートが低強度（材齢 1 日・13N/mm<sup>2</sup>）および所定の強度（材齢 1 日・27N/mm<sup>2</sup>）にかかわらず、ひび割れが既設コンクリートへ進展し、ゴム系およびエポキシ系接着材を塗布した供試体では、補修コンクリートへ進展することが確認できた。
- (3) ホイールトラッキング後の埋め戻しみのみの供試体では、X 線画像から新旧コンクリートの付着部分にひび割れの発生が確認できたが、ゴム系接着材およびエポキシ系接着材を塗布した供試体では、同箇所において確認できず、付着が良好であった。
- (4) 繰返し荷重後に凍結融解試験を行った結果、埋め戻しみのみの供試体では、補修コンクリートの強度にかかわらず界面箇所のひび割れが 2~3 サイクルで進展し、その後補修コンクリートの剥離に至った。一方、ゴム系接着材およびエポキシ系接着材を塗布した供試体では、凍結融解サイクルを経過しても付着箇所に変化が見られなかった。

#### 参考文献

- 1) コンクリート舗装, 一般社団法人セメント協会, 2014
- 2) 赤江信哉, 石田学: 橋梁床版補修に用いる速硬ポリマーセメントモルタル, コンクリート工学, Vol.57, No.1, pp.94-97, 2019
- 3) 伊藤清志, 阿部忠, 児玉孝喜, 小林哲夫, 深川克彦: 取替床版を対象としたコンクリート舗装材および接着剤塗布型コンクリート舗装における耐疲労性の評価: 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 19 巻, pp.307-312, 2019
- 4) 丸山記美雄, 安倍隆二, 熊谷政行: 融雪期に発生する舗装のポットホールの実態と発生メカニズムの検討, 寒地土木研究所月報, No.730, pp.2-13, 2014
- 5) 武田三弘, 大塚浩司: X 線造影撮影法によるコンクリートの性状評価手法の開発と応用, 土木学会論文集 E2, Vol.68, No.3, pp.146-156, 2012