

論文 道路橋コンクリート床版上層部の研磨・切削・はつり作業が再劣化に及ぼす影響

武田三弘*1・佐藤陽介*2・田村正樹*3・加藤 保*3

要旨：道路橋コンクリート床版の補修工事の際に行われるアスファルト研磨・切削工事やコンクリート床版上層部の脆弱部のはつり作業によって、コンクリート床版の再劣化の原因となるひび割れが発生していないか調べた結果、研磨によって生じるひび割れは、表層部の数ミリ程度のマイクロクラックであるが、切削によって生じるひび割れは、粗骨材の浮きによるものであること、防水工による床版正面との接着性能は、床版上面を切削することによって研磨面に比べ約 8 割の引張接着強度に低下することなど、X線造影撮影によるマイクロクラックの検出により確認することができた。

キーワード：床版上面切削，研磨，再劣化，微細ひび割れ，X線造影撮影法

1. はじめに

一般に、道路橋コンクリート床版の補修工事が行われる際は、まずは劣化したアスファルトを切削機により削り取る。この際、アスファルトだけを削り取ることが基本であるが、多くの工事現場では、コンクリート床版上層部も切削し、写真-1に示すような切削痕を設けてから、アスファルトを敷設するか防水工を設置する場合が多い。これは、接着面に凹凸がある方が、接着が良いという考えから来ているものと思われる。

また、写真-2に示すような、アスファルトの切削後に現れたコンクリート床版上層部において、砂利化のような劣化部に対しては、脆弱部をはつり取る作業が行われ、その後、補修・補強が行われることになる。補修範囲が大きい場合は、ショットブラストやウォータージェット等が行われるが、補修範囲が狭い際には、電動ピックやエアブレイカーなどを用いて補修が行われることが多く、補修範囲やコストを考慮してその工法が決まる場合が多い。

しかしながら、上記のように補修が行われた現場にお



写真-2 コンクリート床版の劣化状況

いて、早々に再劣化が生じているケースが多く報告^{1),2)}されており、その補修工法に問題がある可能性が高くなった。そこで、本研究では、道路橋コンクリート床版の補修が行われる際の床版上層部の前処理として、アスファルトの切削工法およびコンクリート床版上層部の脆弱部のはつり方法が既設コンクリート床版に与える影響を、引張強度試験およびX線造影撮影法³⁾を用いて調べた。また、既設コンクリートと補修材との接着性能を高めるために、プライマー等を用いる工法もあるが、その接着状態についても実コンクリート床版を用いて確認を行った。

2. コンクリート床版の研磨・切削による影響

2.1 実験概要

(1) 供試体概要

実験には、コンクリート床版を想定した疑似床版 (5 × 10 × 0.06m, 早強ポルトランドセメント, 最大骨材寸法 20mm, $f'c=24N/mm^2$, スランプ $8.0 \pm 2.5cm$) を、床版



写真-1 コンクリート床版上層部の切削痕

*1 東北学院大学 工学部環境建設工学科教授 博士(工) (正会員)

*2 東北学院大学 大学院工学研究科環境建設工学専攻 (学生会員)

*3 国土交通省東北地方整備局 東北技術事務所 (団体会員)

表-1 供試体一覧

供試体名※	防水工の種類
S-1, C-1	従来防水（シート：常温接着）
S-2, C-2	従来防水（塗膜）
S-3, C-3	従来防水（シート：流し貼り）
S-4, C-4	高性能防水（吹き付け防水：ウレタン樹脂）
S-5, C-5	高性能防水（シート：流し貼り）
S-6, C-6	複合防水（浸透型樹脂+シート：流し張り）
S-7, C7	複合防水（浸透型樹脂+塗膜）

※SはShave（研磨），CはChip（切削）を行った床版面に対して防水工を施工したことを意味する。

増厚専用機（コンクリートフィニッシャー）を用いて施工した。コンクリートが硬化後，この疑似コンクリート床版の上層部に対して，研磨機によるレイタンスの除去又は小型路面切削機を用いて表面処理を行い，その後，通常期施工（平均気温 23℃±2℃）の条件で7種類の防水工および舗装工（厚さ 50mm，密粒度アスファルト混合物 T20）を施工した。表-1は，供試体一覧を示したものである。なお，C-4,5の供試体に対しては，防水工の仕様により，コンクリート床版上面の切削後，研磨を行ったものに防水工および舗装工を実施している。

(2) 実験方法

研磨および切削によって，疑似床版と防水工との附着強度を調べるため，引張接着試験を各供試体3体ずつ行った。また，疑似床版と防水工との境界周辺の状況確認として，各供試体からコアを採取し，短冊状にスライス（厚さ 10mm）したものである。X線造影撮影法を用いて，接着状況およびひび割れ発生状況の確認を行った。なお，X線造影撮影法とは，密度の高い液体をコンクリート中のひび割れや空隙に浸透させ，X線撮影を行うことによって，そのひび割れの状況を視覚的に確認することが可能な方法である。

2.2 実験結果

(1) 引張接着試験結果

図-1は，疑似床版上面を研磨した条件における各種供試体の引張接着試験結果を示したものである。7種類の防水工に対して各3体の引張試験を行ったが，いずれも規格値 0.6N/mm²以上の引張強度を有する結果となったが，床版接着面で破壊したのが1体，治具接続部で破壊したのが5体，それ以外は防水層内部の破壊となり，研磨による床版上層部の影響は，確認できない結果となった。

一方，図-2は，疑似床版上面を切削した条件における各種供試体の引張接着試験結果を示したものである。いずれも規格値 0.6N/mm²以上の引張強度を有してはいる

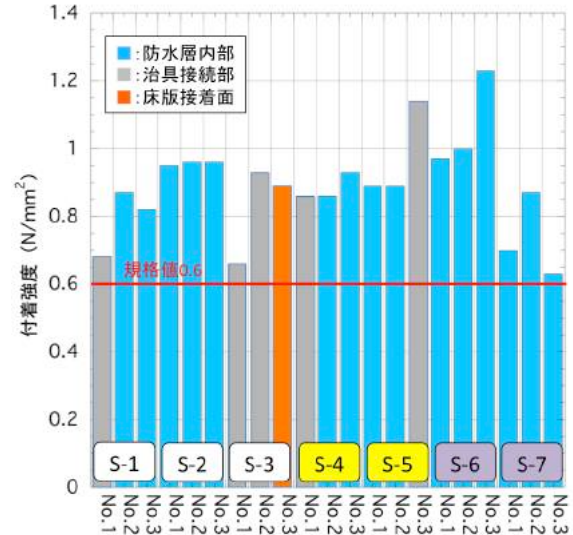


図-1 引張接着試験（研磨供試体）

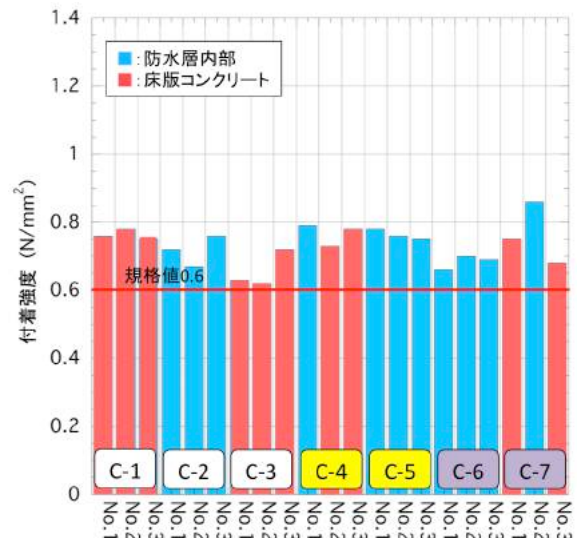


図-2 引張接着試験（切削供試体）



写真-3 引張接着試験結果（コンクリート床版破壊）

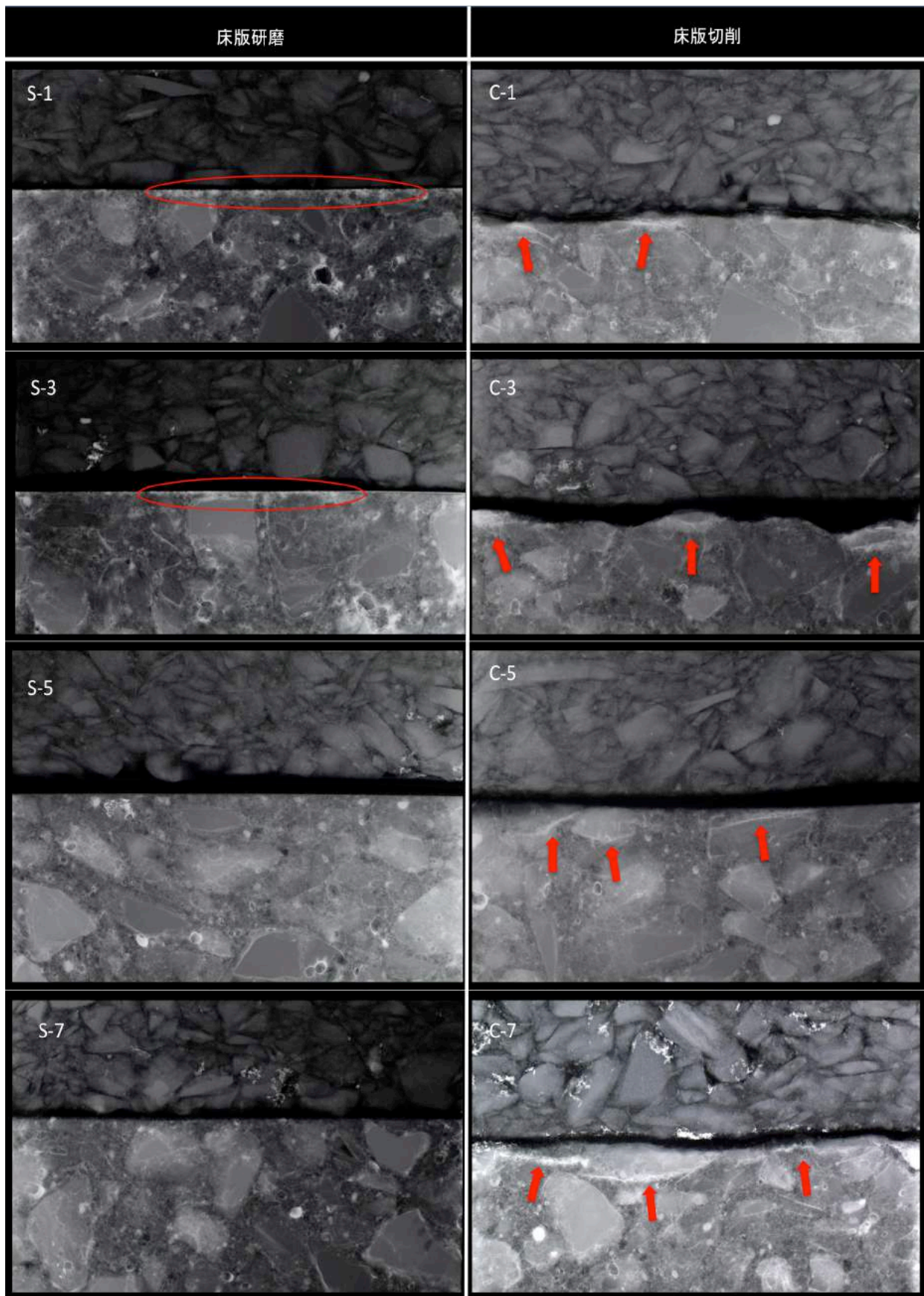


写真-4 疑似床版・防水工・舗装周辺のひび割れ状況（X線フィルム画像）

が、研磨の条件に比べ、全体的に低い値となった。この実験についても、7種類の防水工に対して各3体の引張試験を行ったが、防水層内部の破壊となったのが11体、床版コンクリートで破壊したのが10体となり、床版上面を切削することによって、研磨面に比べ約8割の引張接着強度に低下する傾向となり、コンクリート床版上層部にひび割れの発生が懸念される結果となった。写真-3は、疑似床版上面を切削した条件における引張接着試験後の破断面（コンクリート床版破壊）を撮影したものの一例である。

(2) X線造影撮影結果

写真-4は、疑似床版上層部を研磨および切削し、防水工および舗装工を行った供試体からコアを採取し、短冊状にスライス（厚さ10mm）した状態でX線造影撮影した結果の一例である。写真において上側はアスファルト、下側は疑似床版となり、その間に黒く見えるのが防水工となる。これらの画像は、X線フィルムで撮影されているため、X線が透過しやすい箇所は黒く、透過しにくい箇所は白く写る。従って、密度の高い造影剤は白く、骨材はやや白く映し出され、防止工の箇所は、X線が透過しやすいため、黒く写されている。

コンクリート床版を研磨した条件（左列）では、従来防水であるS-1とS-3にはシートと疑似床版との境界に、若干の微細ひび割れが検出（写真中赤丸）されたが、他の工法では、その様なひび割れは検出されなかった。これは、研磨によって、若干の微細ひび割れが生じた可能性があると思われるが、防水工の接着剤の種類によっては、発生した微細ひび割れに浸透し、空隙を埋めることができるものと思われる。しかしながら、図-1の引張接着試験の結果を踏まえると、この微細ひび割れによる引張接着試験への影響は少ないものと考えられる。

一方、コンクリート床版を切削した条件（右列）では、殆どの供試体のシートと疑似床版との境界に、骨材による浮きのようなひび割れが検出された（写真中矢印）。これは、切削機の刃が床版上面付近の骨材に当たり生じたものと考えられるが、骨材下面側に発生しているため、いずれの防水工の条件においてもこれらのひび割れまで接着剤が充填できていないことが分かる。このため、図-

2に示す引張接着試験においては、研磨のものとは比べ強度が低くなったものと考えられる。

この様に、研磨によって生じるひび割れは、表層部の数ミリ程度のマイクロクラックであるが、切削によって生じるひび割れは、粗骨材の浮きによるものであり、ミクロな発生状況を確認することが出来た。

3. コンクリート床版のはつり作業による影響

3.1 実験概要

(1) 供試体概要

コンクリート床版上層部の脆弱部をはつり取る際の、はつり処理の種類によるひび割れ発生状況を調べるため、実橋より撤去されたコンクリート床版を用いた。この橋梁は、5連の単純合成鋼板桁（竣工年1961年）であり、2004年には床版の抜け落ちが生じており、竣工より43年経過後、コンクリート床版の一部打ち換えを行っており、今回、竣工時のコンクリート床版と比較的健全と思われる打ち換え床版箇所を用いて実験を行った。

(2) 実験方法

竣工時のコンクリート床版においては舗装を除去し表面を無処理（プライマー無し）のものと、エアブレーカー、ショットブラストおよびウォータージェットによるはつり処理後、アクリル系プライマーを塗布し、超速硬コンクリートを打ち込んだ。比較的健全と思われる打ち換え床版箇所については、竣工時のコンクリート床版とほぼ同様の実験内容であるが、ショットブラストの代わりに電動ピックを用いた。1週間後、各供試体からコア抜きを行い、X線造影撮影法を用いて既設床版と新設コンクリートとの一体性の確認を行った。表-2は、実験条件一覧を示したものである。また、近年、既設コンクリート床版と補修コンクリートとの接着性を高めるため、浸透性エポキシプライマーとエポキシボン드가開発されているが、これら接着剤が、発生したひび割れに対してどの程度、充填されているのかを、竣工時のコンクリート床版を用いて、エアブレーカーによるはつり後に発生したひび割れに対して使用し、X線造影撮影法を用いてその充填状況の確認を行った。

表-2 供試体名および実験条件一覧

はつり方法	はつり条件	竣工時床版		打換床版	
		供試体名	プライマー	供試体名	プライマー
無処理	なし	N-1	なし	N-2	なし
電動ピック	手動	-	-	E-2	アクリル系
エアブレーカー	手動	A-1	アクリル系	A-2	
ショットブラスト	機械式	S-1		-	-
ウォータージェット	160MPa	W-1		W-2	アクリル系

3.2 実験結果

写真-5は、各種はつり方法によってコンクリート床版上層部に発生したひび割れ発生状況を示したものである。竣工時コンクリート床版の結果より、アスファルトを取っただけの無処理（N-1）の場合、境界面に若干の付着が切れている箇所（写真中の赤い矢印）が見られる程度であったが、エアブレーカー（A-1）の場合、多くの巨視的なひび割れが検出された。ショットブラスト（S-1）やウォータージェット（W-1）の場合、アクリル系のプライマーを使用していたが、一部付着が切れている箇所が見られるが、既設コンクリート床版上層部内にはひび割れや脆弱な箇所は検出できなかった。

一方、竣工時コンクリート床版よりも比較的健全と思われる打ち換えコンクリート床版の結果では、無処理の場合、境界面にひび割れが検出された。これは、アスファルトを取り去る際、平のみを取り付けた電動ピックを用いたため、その影響があったものと考えている。エアブレーカー（A-2）に関しては、A-1ほど巨視的ではないが、微細なひび割れが検出されている。電動ピックの場合（E-2）、ピックの衝撃によって、ひび割れの発生が明確に確認できたが、ウォータージェット（W-2）の場合、W-1と同様に、境界面付近にはひび割れや脆弱な箇所は見られなかった。

以上の結果より、既設コンクリート床版上面部におけるはつり作業において、電動ピックやエアブレーカーなどを用いた場合には、コンクリート床版内部にひび割れを発生させるが、ショットブラストおよびウォータージェットを用いた場合には、骨材の浮きや脆弱な部分だけを取り除くため、ほとんどひび割れは検出されなかった。この様に、各種はつり方法の違いによるひび割れの発生状況を比較することができた。

写真-6は、竣工時のコンクリート床版に対して、エアブレーカーによるはつりを行った後に、プライマーを用いなかった場合と、浸透性エポキシプライマーとエポキシボンドを塗布した場合に対して、超速硬コンクリートを打ち込んだときの、境界部付近のひび割れ状況をX線造影撮影法により確認した結果である。プライマーを使用せず、超速硬コンクリートを打ち込んだ場合、両者の境界面には、エアブレーカーで発生したひび割れが無数に発生しており、全く一体化していないことが写真からも分かる。

一方、浸透性エポキシプライマーおよびボンドを使用した写真Aからは、境界付近の微細なひび割れは消えており、黒いひび割れ（赤の矢印）が検出されている。これは、境界面に充填しているプライマーとエポキシであり、X線を透過しやすいためひび割れのように見えるが、

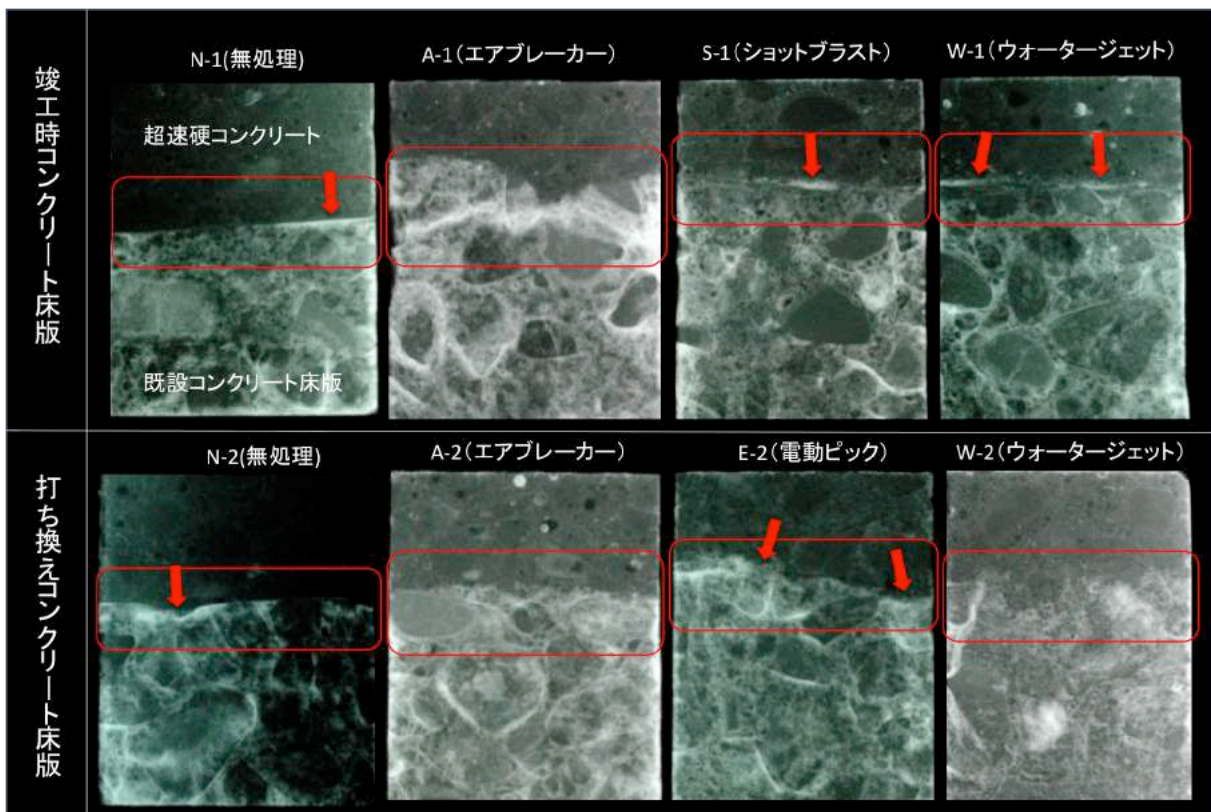


写真-5 各種はつり方法によってコンクリート床版上層部に発生したひび割れ発生状況

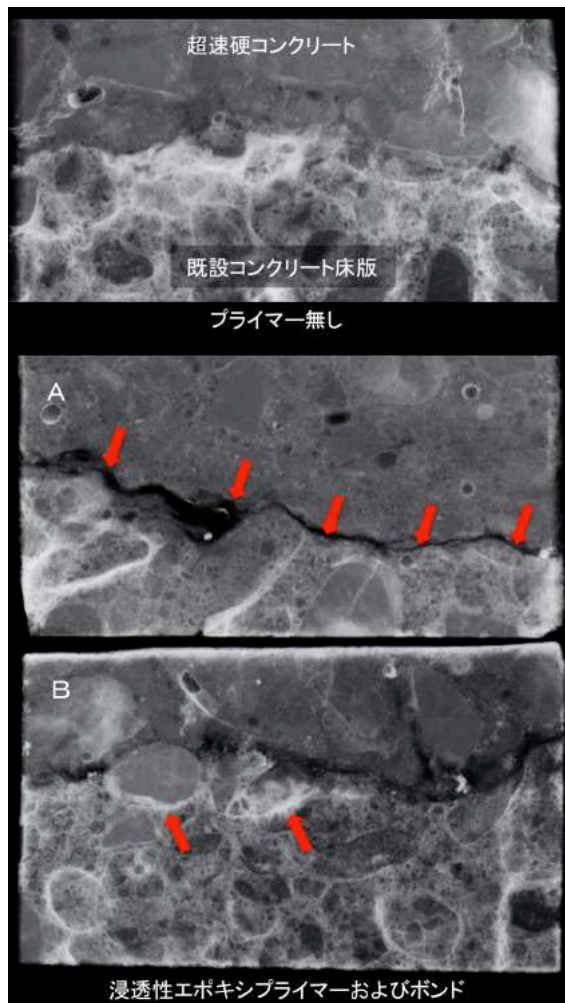


写真-6 浸透性プライマーの有無によるコンクリート床版内部のひび割れ発生状況

エポキシが充填している状況である。また、このエポキシが充填している周辺には、プライマーを使用していない時には数多く検出された微細なひび割れは、検出されていないのが分かる。これは、浸透性のプライマーを使用したためと考えられるが、より深い位置のひび割れまでは浸透していない。

写真 B は、同様の供試体の別の箇所について撮影した写真であるが、既設コンクリート床版上部にある骨材の下面に発生したひび割れ(赤の矢印)には、プライマーは浸透していないことが分かる。これらの結果より、浸透性エポキシプライマーを使用した場合には、塗布面に発生した微細ひび割れには浸透・充填する傾向は見られるが、より深い箇所や骨材の下面等までには浸透しきれないことが分かる。従って、より効果的にプライマーを使用するためには、はつり作業において発生するひび割れや骨材の浮きを無くした状態で浸透性プライマーを使用することで、一体性と耐久性を向上することが出来るものと考えられる。

4. まとめ

本研究では、道路橋コンクリート床版の補修時の前処理としての、アスファルトの切削工法および床版上層部の脆弱部のはつり方法が既設コンクリート床版に与える影響を調査した結果、以下のことが分かった。

- (1) 研磨によって生じるひび割れは、表層部の数ミリ程度のマイクロクラックであるが、切削によって生じるひび割れは、粗骨材の浮きによるものであり、ミクロな発生状況を明瞭に確認することが出来た。
- (2) 防水工による床版正面との接着性能は、床版上面を切削することによって、研磨面に比べ約 8 割の引張接着強度に低下することが分かった。
- (3) 研磨により発生したマイクロクラックに対して、樹脂系の防水工を使用した場合には、その空隙を充填させる効果があることを明らかにした。
- (4) コンクリートのはつり方法の違いによるひび割れ発生状況の違いを X 線造影画像により検出することができた。
- (5) 新旧コンクリートの一体性確保のために用いられている浸透性プライマーおよびボンドにおいて、その空隙充填性能は、塗布面のマイクロクラックには十分効果は認められるが、より深い箇所や骨材の下面に発生したひび割れなどまでは浸透できないことを確認した。

5. おわりに

本研究を進めるに当たり、復建技術コンサルタントの飯土井剛氏および東北学院大学工学部環境建設工学科の糟谷 周平氏、宮城研太郎氏の協力を得た。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 河野伊知郎,中嶋清実,吉田弥智,湯浅晃行:超速硬コンクリートの若材齢における圧縮疲労強度特性,コンクリート工学年次論文報告集, Vol.18, No.1, pp.321-326,1996
- 2) 渡邊晋也,堀井久一,谷倉泉,後藤昭彦,コンクリート打継ぎ面の内部に生じた脆弱部および微細ひび割れの補強方法に関する研究,コンクリート工学年次論文集,Vol34,No.1,pp1660-1665,2012
- 3) 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(材料・コンクリート構造), Vol.68, No.3, pp146-156, 2012.7