

超速硬モルタルで断面修復したコンクリートの耐凍害性に関する基礎的検討

(国研)土木研究所寒地土木研究所耐寒材料チーム ○内藤 勲
内田 侑甫
(国研)土木研究所寒地土木研究所寒地構造チーム 中村 拓郎

RC床版上面の補修で多く適用される超速硬性材料による断面修復において、修復箇所の耐久性向上を目的に、接着界面を改善し接着性を強化して超速硬モルタルで補修した供試体の付着強度試験と凍結融解試験を行い耐久性を評価した。その結果、超速硬モルタルの養生日数で接着性は変化するが、接着界面の強化によって断面修復箇所の接着耐久性と耐凍害性は向上し、超速硬性材料でも修復効果の持続向上が期待できる結果を得た。

キーワード：超速硬モルタル、断面修復、接着耐久性、耐凍害性、接着界面

1. はじめに

近年、北海道の道路橋の鉄筋コンクリート床版（以下、RC床版）では、大型車両等の輪荷重の繰返し作用や凍害等の複合劣化による土砂化が北海道全域で確認され、この土砂化に対する補修対策や予防対策が喫緊の課題となっている¹⁾。RC床版上面の補修では、交通規制による幹線道路の機能低下を回避する観点から、超速硬性の補修材料を用いて出来るだけ早い規制解除を行っているが、超速硬性材料を用いた断面修復箇所において再劣化が生じている事例も多い。この背景として、はつり面の母体コンクリートと超速硬性材料との接着後の耐久性（以下、接着耐久性）が明らかになっていないことが挙げられる。

コンクリートの断面補修工法は、劣化部分をウォータージェット²⁾や電動ピック等によってはつり取り、除去した部分を断面修復材等で元に戻す工法である。しかし、これらのはつり作業において、健全部に微細ひび割れが発生し、さらに、除去しきれない劣化部が多く残存した状態で断面修復して凍害等の作用が加わると、断面修復箇所の再劣化が生じやすいことを、著者らは過去の研究において確認している³⁾。そのため、著者らはこれまで、はつりによって生じた微細ひび割れや取り切れない残存劣化部を改善することで断面修復後の再劣化を抑制する方策を検討⁴⁾している。

本報告では、RC床版上面コンクリートの断面補修における再劣化抑制を目的に、既往の研究において超速硬モルタルで補修したRC床版模型による輪荷重走行試験の結果から得られた界面改善効果（図-1）⁵⁾を踏まえて、超速硬モルタルで補修を模擬した供試体（以下、補修供試体）を作製し、凍結融解試験による断面修復後の接着耐久性について評価を行った。

2. 補修方法と実験ケース

(1) はつり界面改善の概念と使用材料

今回実施したはつり界面を改善して断面修復を行う手法（以下、改善補修）は、図-2に示すように、エポキシ樹脂系の浸透性塗布材を浸透させてはつり界面のコンクリートの脆弱な部分を改善してから断面修復を行うものである。本実験では、浸透性塗布材2種類と接着性を高める打ち継ぎ用接着剤を使用した。表-1に各種材料の主な諸元を示す。

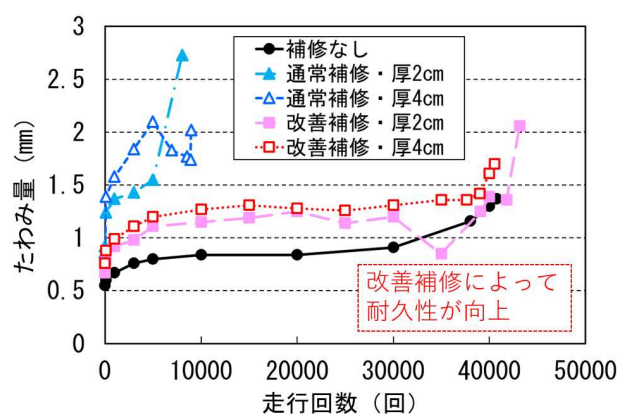


図-1 輪荷重走行試験の結果⁵⁾

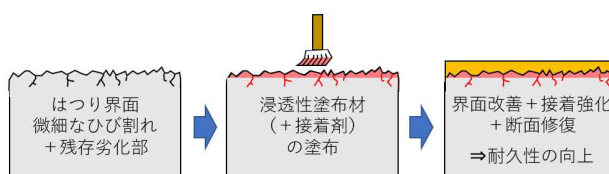


図-2 はつり界面を改善する断面修復手法の概念図

(2) 補修供試体の作製方法と試験ケース

実験に使用する補修供試体は、表-2に示す配合のコンクリートで100×100×400mmの角柱供試体を作製（水中養生28日）し、1日自然乾燥させた後に1面（打設面）を深さ20mm程度ではつり、翌日に超速硬モルタルを約20mm厚で補修する方法で作製した。はつり方法は、小型電動タガネと細部は平タガネをハンマーで慎重に叩いてコンクリートを除去した。補修後の供試体は20℃の恒温室内で7日間養生した。

試験ケースは、はつり界面に浸透性塗布材を塗布して界面を改善するケースの内、浸透性塗布材Aと打ち継ぎ用接着剤を併用するケースA、接着力の強い浸透性塗布材BのみのケースB、および界面を改善しない水湿しによるケースCの3ケースとし、超速硬モルタルの打設後3日養生と7日養生の2水準の計6ケースとした。表-3に実験ケースの一覧、図-3に補修供試体の試験概要図を示す。

表-1 使用材料の主な諸元

試験ケース	ケース A		ケース B
使用材料	浸透性塗布材 A	打ち継ぎ用接着剤	浸透性塗布材 B
主成分等	エポキシ樹脂 二液・反応硬化型		
混合粘度 (mPa・s)	200以下 (23℃)	12,400 (23℃)	350±200 (20℃)
曲げ強さ (N/mm ²)	35以上	35以上	70以上
可使時間 (min)	35 (23℃, 600g)	30 (23℃, 300g)	12 (20℃, 300g)
実験塗布量 (g/m ²)	500	800	300

※実験塗布量以外はカタログ値による

表-2 コンクリートの配合

セメントの種類	AE剤の有無	G _{max} (mm)	W/C (%)	s/a (%)	Slump (cm)	Air (%)
普通ポルト	有り	20	55	45	8.6	4.4

表-3 試験ケース

試験ケース	接着界面の塗布材	断面修復材	打設後養生日数
A3	浸透性塗布材 A	超速硬モルタル 平均厚さ20mm	3日
A7	+ 打ち継ぎ用接着剤		7日
B3	浸透性塗布材 B		3日
B7			7日
C3	水湿し		3日
C7			7日

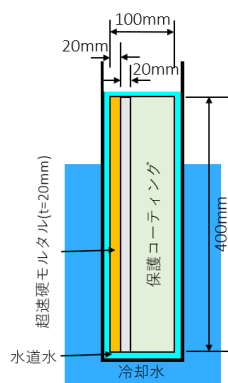


図-3 補修供試体の凍結融解試験概要図

3. 実験方法

上記のように作製した補修供試体において、断面修復箇所の接着状態を確認するため、建研式の接着強度試験を実施して接着強度と破断箇所を計測した。さらに、凍結融解後の接着耐久性を評価するため、凍結融解試験を実施して所定サイクル後の劣化状態の確認を行った。

(1) 凍結融解試験

凍結融解試験は、JIS A 1148 A法に準じて300サイクルと600サイクルの2水準で実施した。試験では、所定のサイクル毎に質量減少率を測定して補修供試体の劣化状態を確認しながら実施した。なお、図-3に示すように補修供試体は、はつり界面から深さ約20mmに水分供給されるように、それ以外の面はすべてエポキシ樹脂系接着剤で保護コーティングを施した状態で凍結融解試験を行った。これは、断面修復箇所の界面に水分が供給される状態を模擬している。

(2) 超音波伝播速度測定

補修供試体の劣化程度を評価するため、超音波伝播速度の測定を凍結融解試験前の0サイクル、凍結融解300サイクルと600サイクルにおいて実施した。測定は、図-4に示すように、補修供試体の側面を補修面から深さ方向

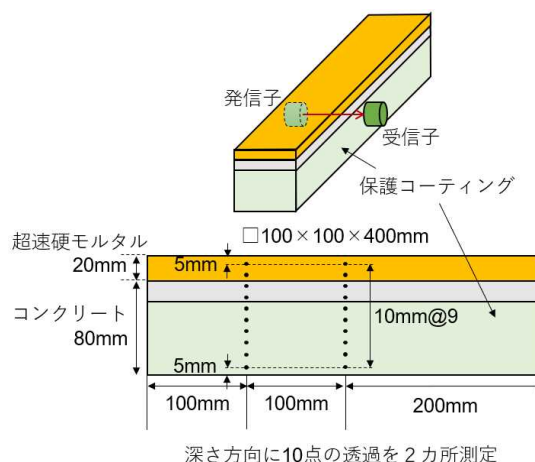


図-4 超音波伝播速度測定方法（透過法）

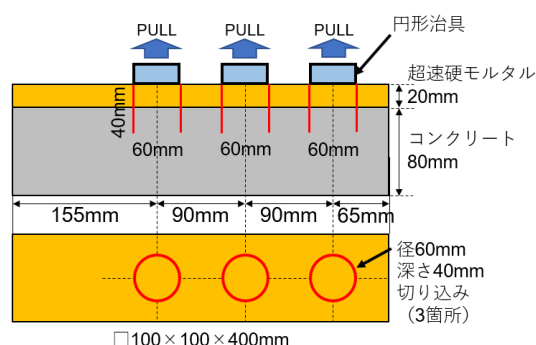


図-5 接着強度試験方法

に10mmピッチで10点を測点として超音波透過法[®]によって実施した。測定箇所は1供試体2箇所とし、2箇所の平均から測定値を求めた。

(3) 接着強度試験

接着強度試験は、図-5に示すように、補修供試体の補修面にφ60mmの円形切り込みを深さ40mmで3箇所入れ、それぞれに円形治具をエポキシ樹脂系接着剤で装着し、垂直に引き上げる方法（建研式）で行った。測定は、断面修復後の養生3日後と養生7日後の2ケースと、凍結融解試験300サイクル後の1ケースの計3ケースで実施した。試験から得られる最大接着強度は、1供試体3箇所の平均値とした。また、試験後の治具に付着したコンクリート片から8箇所の厚さを平均して破壊深さを求めた。破壊深さも1供試体3箇所の平均値とした。

4. 実験結果

(1) 質量減少率と超音波伝播速度

図-6に凍結融解試験結果における凍結融解サイクル（cyc）の増加に伴う養生3日ケースの各補修供試体の質量減少率を示す。水湿しのケースC3は凍結融解サイクルの増加に伴い徐々に質量が低下して400cyc以降は大きく減少している。これに対してケースA3およびB3の浸透性塗布材を塗布したケースでは質量減少率の低下は非常に小さいことから、接着界面に浸透性塗布材を塗布することによって補修後の劣化を抑制できていることを確認した。

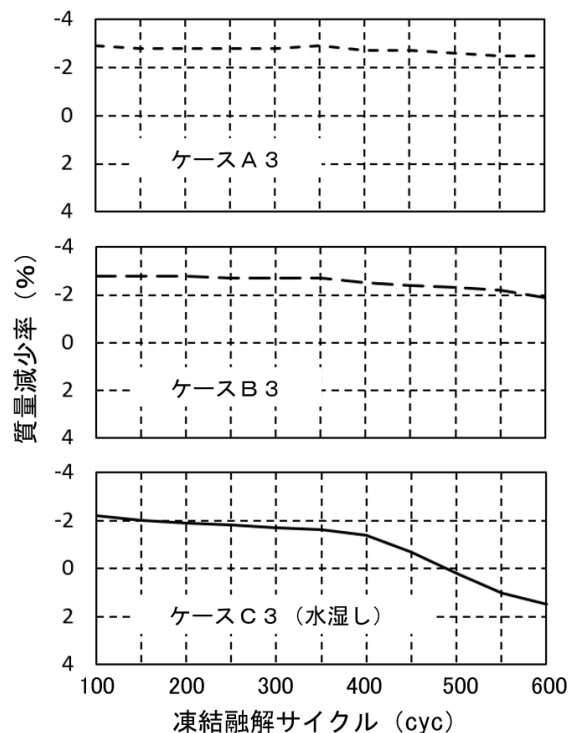


図-6 質量減少率

図-7に示すように、凍結融解試験前後の養生7日ケースの各補修供試体の超音波伝播速度結果から供試体の劣化進行状態を確認した。一般的な断面修復方法であるケースC7では、凍結融解サイクルが進むにつれて超音波伝播速度（以下、超音波速度）は深さに関係なく徐々に減少している。さらに、試験面に近いほど超音波速度はより低くなる傾向がみられる。これは、超速硬モルタルとの接着界面付近のコンクリートに浸透した水が凍結融解を繰り返したことで、接着界面付近のコンクリートの凍害劣化が進行したためである。600cyc後も超速硬モルタルは剥離しなかったが、ケースC7では断面修復後に生じる再劣化現象を再現していると思われる。

一方、接着界面にエポキシ樹脂系の浸透性塗布材Aと打ち継ぎ用接着剤を施したケースA7では、凍結融解試験前の0cycよりも凍結融解試験後の300cycおよび600cycの超音波速度が全体的に増加している。コンクリートの含水量が多くなると超音波速度は速くなるため、これは、凍結融解試験による補修供試体の含水量の増加が原因と思われるが、ケースC7のように超音波速度の低下していないのは、接着界面付近の微細ひび割れに浸透したエポキシ樹脂の遮水効果によってコンクリート内部への水の侵入が防がれて凍害劣化が生じなかったためである。

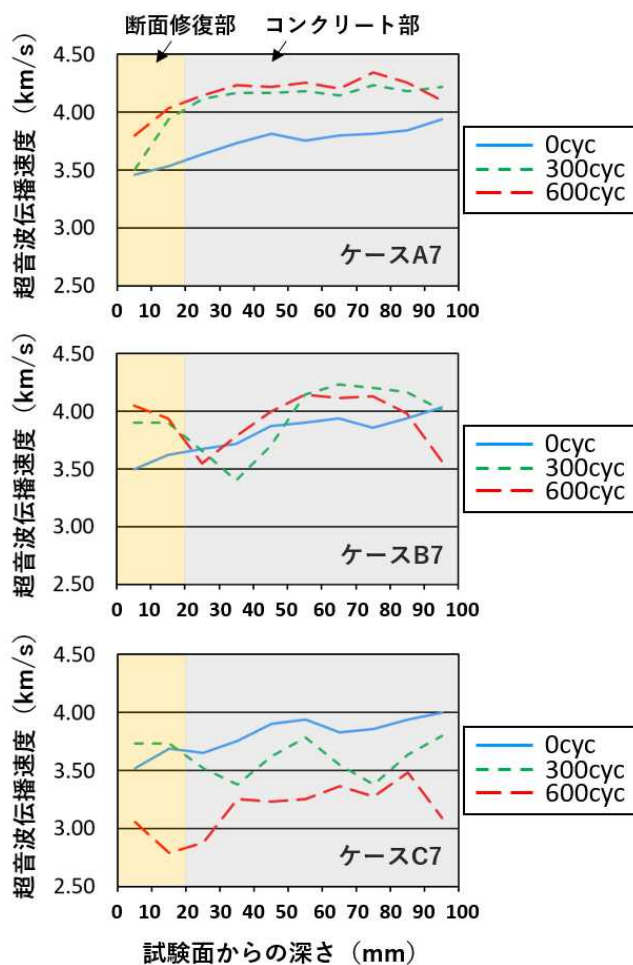


図-7 超音波伝播速度

また、ケースB7では、深さ30～50mmと100mm付近で凍結融解試験後に超音波速度が低下しているが、それ以外の深さでは凍結融解試験後に超音波速度は増加傾向にあった。これは、浸透性塗布材Bは接着界面のコンクリートに浸透したが、深くまで十分に浸透・充満しなかったため、深さ30～50mm付近の改善できなかった一部の微細ひび割れに残存した水もしくは浸透した水によって凍害劣化が生じたと考えられる。しかしながら、ケースC7で確認されたような深さ方向全体での超音波速度の低下は認められないことから、ケースA7と同様に、浸透したエポキシ樹脂の遮水効果によってコンクリート内部の凍害劣化を概ね抑制できたと思われる。なお、ケースA7とB7もケースC7と同様に超速硬モルタルの剥離は生じなかった。

(2) 接着強度および接着耐久性

次に、図-8に示す凍結融解試験前後の接着強度試験の結果から、各ケースにおける超速硬モルタルとコンクリートとの接着耐久性を確認した。超速硬モルタルの打設後3日養生のケースA3、B3およびC3では、すべてのケースで凍結融解300サイクル後に接着強度が低下している。また、ケースC7の打設後7日養生でも凍結融解後に大き

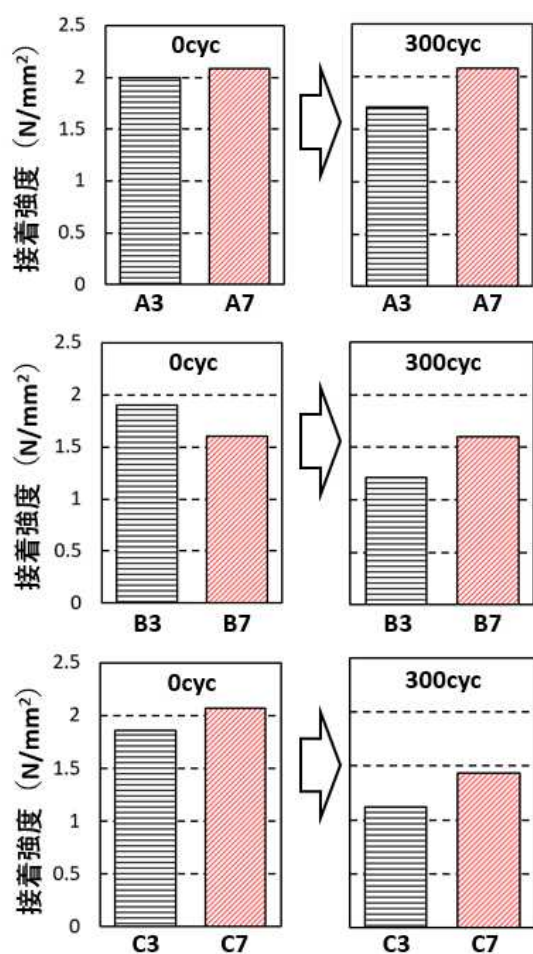


図-8 接着強度

く接着強度は減少していた。破断箇所はすべて母材コンクリート部であったことから、超速硬モルタルの強度不足や接着界面付近の凍害劣化ではなく、凍結融解作用によって母材コンクリートに弱くなった部分が発生したと考えられる。一方で、打設後7日養生のケースA7とB7は、凍結融解300cyc後も接着強度は変わらなかった。

以上のことから、上述した質量減少率と超音波速度の結果と総合すると、接着界面付近の微細ひび割れ等を浸透性塗布材によって改善することで、超速硬性材料等を用いた短い養生期間の断面修復においても接着耐久性の向上が可能であることを確認できた。

5. まとめ

本研究での実験結果において、以下の知見を得た。

- (1) 断面修復の接着界面にエポキシ樹脂系の浸透性塗布材を塗布することによって、コンクリート部の凍害劣化を抑制することが可能である。
- (2) 浸透性塗布材が十分に浸透しなかった箇所がある場合、部分的に凍害劣化が生じる可能性がある。しかし、遮水効果が得られれば、耐久性の向上が見込まれる。
- (3) 接着界面を改善して断面修復を行うことによって、超速硬性材料等を用いた断面修復においても接着耐久性を向上することが可能である。特に、本実験におけるエポキシ樹脂系の浸透性塗布材と打ち継ぎ用接着剤の併用は、修復効果の持続向上に有効である。

本実験結果は、速硬性材料が多く用いられる道路橋コンクリート床版等の断面修復の早期再劣化問題を解決する糸口になると考えている。今後更に実験精度を上げ、実際の現場に適用できるようにしていきたい。

参考文献

- 1) 土木研究所：道路橋コンクリート床版の土砂化対策に関する調査研究，土木研究所資料，第4398号，pp. 41-46，2020。
- 2) 三田村浩，西弘明，吉田英二，野田直史：積雪寒冷地におけるウォータージェット工法の有効性とその適用について，ウォータージェット技術年次報告会論文集，2009巻，pp. 55-60，2010。
- 3) 宇野剛志，内藤勲，横田弘，上松瀬慈：断面修復工法における母材コンクリート脆弱部の性能改善に関する検討，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17巻，pp. 35-40，2017。
- 4) 内藤勲，安中新太郎，宇野剛志，横田弘：断面修復箇所の耐凍害性の向上を目的とした残存劣化部の改善対策に関する検討，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. 343-348，2019。
- 5) 内田侑甫，中村拓郎，内藤勲，長谷川諒，安中新太郎：超速硬化モルタルを用いたRC床版上面の部分補修に関する実験的検討，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21巻，pp. 554-557，2021。
- 6) 魚本健人，加藤潔，広野進：コンクリート構造物の非破壊試験，森北出版，p. 37，1990。