

断面修復部の接着界面の改善による耐凍害性の向上に関する基礎的実験

国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 耐寒材料チーム ○内藤 勲
安中 新太郎

寒冷環境では、コンクリート構造物の断面修復部に再劣化が生じやすい。その一因として、断面修復部の接着界面に残存する除去できない脆弱部からの凍害劣化の進行がある。本研究では、コンクリート供試体の接着界面に残存する脆弱部を数種の含浸系塗布材によって改善することを検討し、断面修復後の接着力や耐凍害性の向上を試みた。その結果、接着界面の改善を行ってから断面修復をすることによって凍害劣化の進行を抑制できること、断面修復材との接着力が持続することから、断面修復部の再劣化防止に効果があることを確認した。

キーワード：断面修復部、再劣化、接着界面の改善、耐凍害性、含浸系塗布材

1. はじめに

断面修復工法は、損傷・劣化したコンクリート構造物の補修に古くから用いられている方法であり、コンクリートの損傷部分や劣化部分を劣化因子ごと除去して断面修復材で原形に復元する工法である。しかし、断面修復工法の問題の一つとして、補修した断面修復部が早期に剥離する等の不具合¹⁾がある。特に寒冷環境におけるこのような不具合の原因は、はつり作業時の打撃によるコンクリートの損傷や除去しきれない脆弱部が弱点となり、断面修復部の内側から凍害劣化が進行するため²⁾と考えられる。このような断面修復材の早期剥離を解消するため、コンクリートと断面修復材の接着力を強化させる接着プライマー等が開発され、その適用事例は増加しているが、寒冷環境での適用性や耐久性・耐凍害性については明確になっていない。

このような背景から本研究では、前処理として母材コンクリートのはつり後に残存する脆弱部を改善する断面修復技術について検討するとともに、断面修復部の耐凍害性の向上との関係を明らかにするための研究を行っている⁴⁾。本報告は、接着界面に種々の含浸系塗布材を塗布して断面修復した供試体の断面修復部に対し凍結融解試験による耐凍害性の検証を行い、各種含浸系塗布材による脆弱部の改善効果とそれに伴う断面修復部の接着力の持続性（以下、接着耐久性）を評価するものである。

2. 実験概要

(1) 供試体の作製

断面修復部の接着耐久性を評価するため、以下に示す

方法で断面修復を施した供試体（以下、断面修復供試体）を作製した。表-1に使用したコンクリートの配合を示す。凍害劣化しやすいようにAE剤を使用しないnon-AEコンクリートとして100×100×400mmの角柱供試体を作製し（28日間水中養生）、その後、図-1に示すJIS A1148 A法に準拠した凍結融解試験によって供試体の一面（型枠底面）を劣化させた供試体を作製した。この一面が劣化した状態は断面修復を施すはつり面、すなわち接着界面に残存する脆弱部を模擬したものである。なお、水分供給させる深さを20mmとし、それ以外の面はすべてエポキシ系接着剤で保護コーティングして凍結融解試験を行った。この劣化部を作成するために凍結融解試験は100サイクルで実施し、多くの供試体を劣化させた中から同程度の劣化となった供試体8体を選定した。これらの供試

表-1 コンクリートの配合

セメントの種類	AE剤の有無	Gmax (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単用量(kg/m ³)				Slump (cm)	Air (%)
					W	C	S	G		
普通ポルト	無(nonAE)	20	55	45	165	300	875	1062	9.3	1.5

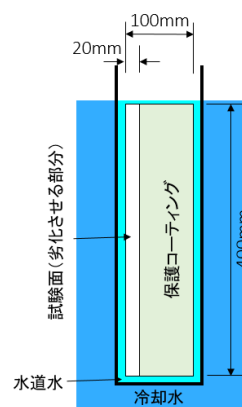


図-1 凍結融解試験による劣化部作成のイメージ

体の劣化面を試験面として、各種含浸系塗布材を塗布した後、断面修復材を左官工法で厚さ15mmで施工し、断面修復した供試体（以下、断面修復供試体）を作製した（イメージ図を図-2に示す）。含浸系塗布材（以下、塗布材）の塗布方法は図-3に示すように試験面を鉛直にした状態で塗布し、断面修復材は下向き打設とした。表-2に試験に使用した各種塗布材の主な諸元を示す。なお、塗布材KLは塗布後7日間、塗布材EP1とEP3は塗布後1時間、塗布材EP2は塗布後30分の養生後に断面修復材を施工した。これらの養生期間は、各種材料メーカーの推奨養生期間に準拠した。

(2) 試験ケース

表-3に試験ケースを示す。塗布材KLは主成分がけい酸リチウムの固化型の表面含浸材であり、コンクリート

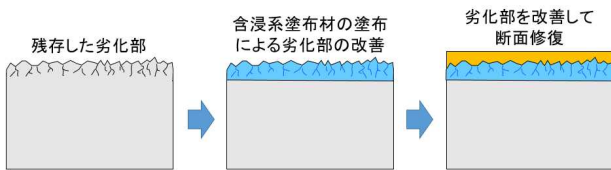


図-2 断面修復供試体の作製イメージ

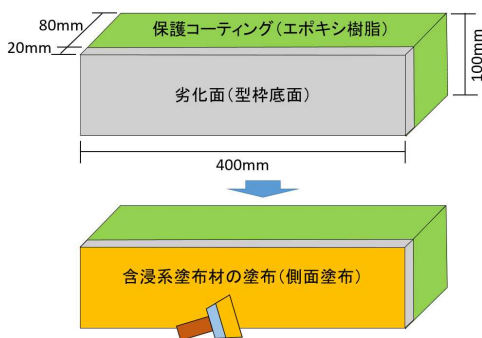


図-3 含浸系塗布材の塗布方法（側面塗布）

表-2 含浸系塗布材の主な諸元

含浸系塗布材	KL	EP1	EP2	EP3
主成分等	けい酸リチウム	エポキシ樹脂		
	一液・固化型	一液・湿気硬化型	二液・反応固化型	二液・反応固化型
粘度 (mPa·s) ※	10以下	150±100 (23℃)	300±200 (20℃)	30 (23℃)
曲げ強さ (N/mm ²) ※	—	2.6	70以上	—
接着プライマー	なし	有 (エポキシ樹脂系)	なし	なし

※ カタログ値

表-3 試験ケース

含浸系塗布材	試験ケース (試料名)	塗布量 (g/m ²)
KL	KL-a	400
	KL-b	800
EP1	EP1-a	150
	EP1-b	300
EP2	EP2-a	200
	EP2-b	400
EP3	EP3-a	400
N	N	0

表面を緻密化して水分の浸入を抑制し劣化を防止する目的の製品である。塗布材EP2、EP3は主成分がエポキシ樹脂系の含浸系塗布材であり、塗布材EP3はコンクリート表面の微細ひび割れ等の改善を目的とする製品、塗布材EP2はひび割れ注入材や表面防水材、接着プライマーとして適用可能な万能な製品である。塗布材EP1は一液の湿気硬化型、塗布材EP2とEP3は二液の反応硬化型であり、攪拌直後の粘度と硬化後の引張強度等の性能がそれぞれ異なる。なお、塗布材EP1は断面修復時に材料メーカー推奨の一液型接着プライマーを併用する仕様とした。断面修復材には一般的に使用されているSBR系のポリマーセメントモルタルを使用した。各塗布材の塗布量は各材料メーカー推奨の標準塗布量およびその2倍の塗布量とした。ただし、塗布材EP3は標準塗布量のみとした。各塗布材と塗布量の違いにより試験ケースをKL-a、KL-b、EP1-a、EP1-b、EP2-a、EP2-b、EP3-aと表記し、塗布材を使用しない無塗布の試験ケースはNと表記した。

(3) 試験方法

断面修復供試体において、断面修復部の接着界面のコンクリートの劣化程度と塗布材による改善程度を評価するために超音波伝播速度の測定を行うとともに、断面修復後の耐凍害性を評価するために凍結融解試験を行った。

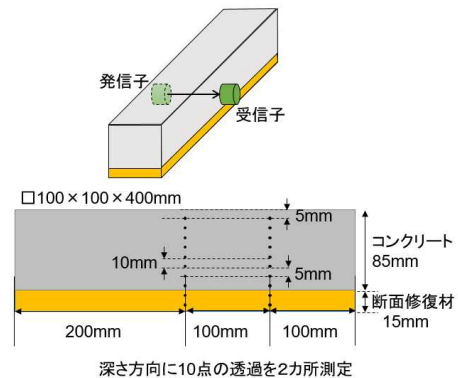


図-4 超音波透過法の測定方法と測点位置

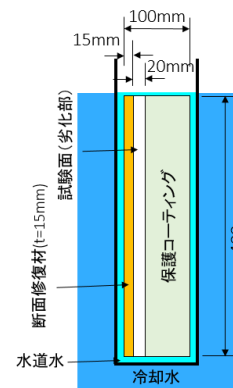


図-5 断面修復供試体の凍結融解試験のイメージ

a) 超音波伝播速度の測定

接着界面のコンクリートの劣化程度を評価するため、断面修復前の試験面の劣化前と劣化後、および塗布材を塗布して断面修復した後の各段階で、図-4に示すように試験面から深さ方向に10mmピッチで10点を超音波透過法⁶⁾による超音波伝播速度の測定を行った。

b) 凍結融解試験

各試験ケースの断面修復供試体をJIS A 1148 A法に準じて凍結融解試験を行い、質量減少率を所定のサイクルで測定し、断面修復材が剥離するまで、もしくは600サイクルまで試験を行った。図-5に断面修復供試体の凍結融解試験のイメージ図を示す。

3. 試験結果

(1) 超音波伝播速度による改善深さの推定

図-6に補修前と劣化後および補修後の超音波伝播速度を示す。すべての試験ケースにおいて、補修前の健全な供試体では超音波伝播速度は4.0km/sec以上となっているが、凍結融解試験後の劣化後では試験面の表面付近は概ね2.5km/secまで超音波伝播速度（以下、速度）が減少している。また、試験面に向けて速度が減少していることから、試験面の表面から内部に向かって凍害劣化が進行していることが確認できる。

次に、断面修復後は、塗布材の塗布に関わらず試験面

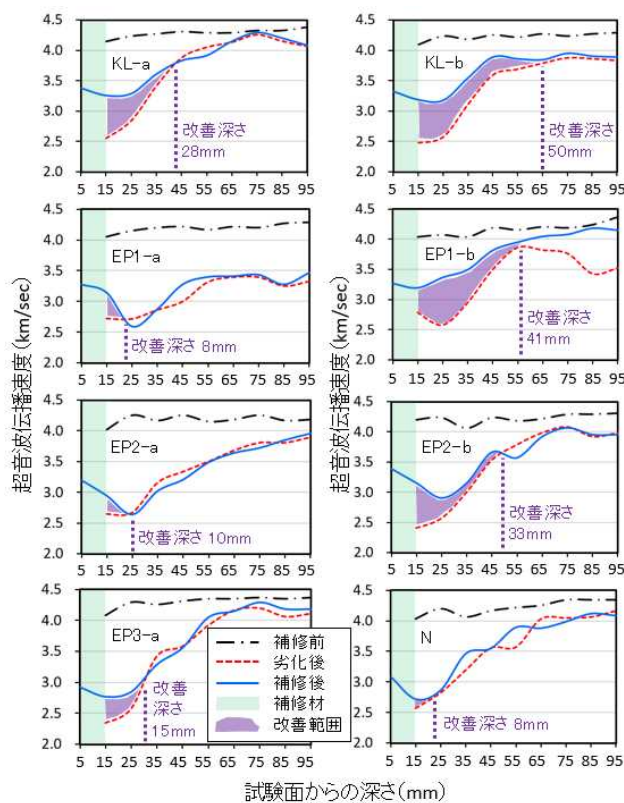


図-6 断面修復供試体の凍結融解試験のイメージ

付近は一樣に速度が増加している。これは厚さ15mmの断面修復部の速度を表しており、その速度は概ね3.0km/sec前後であった。コンクリート部分の速度は、塗布材を塗布した試験ケース KL-a、KL-b、EP1-b、EP2-b、EP3-a において、劣化前よりも速度が増加している範囲が存在し、この深さまで塗布材が浸透・固化して劣化部が改善されているものと考えられる。一方、試験ケース EP1-a、EP2-a および N は、改善深さ8mm、10mm および 8mm となり、界面の劣化部の改善傾向は顕著ではない。試験ケース EP1-a と EP2-a は深さ方向への塗布材の拡散程度が低かったものと思われ、鉛直面に対する塗布量について最適値を検討する必要があるものと考えられる。なお、試験ケース N の改善深さは塗布材を塗布していないため、単に断面修復材が界面の凹凸に入り込んだ深さであると考えられる。

(2) 凍結融解試験による断面修復部の耐凍害性の検証

図-7 および図-8 に各試験ケースの凍結融解サイクルに対する質量減少率の経時累計および断面修復材の剥離状態を示す。各試験ケースにおいて、断面修復材が剥離した時点の凍結融解サイクルは、試験ケース KL-a が 460 サイクル、KL-b が 400 サイクル、EP3-a が 210 サイクル、無塗布 N が 400 サイクルであり、試験ケース EP1-a、EP1-b、EP2-a および EP2-b は 600 サイクルでも剥離が生じなかった。質量減少率は、210 サイクルで剥離が生じた試験ケース EP3-a を除いたすべてのケースで 300 サイクル前後から徐々に大きくなっていく。ここで断面修復材の剥離状態を確認すると、凍結融解サイクル中に剥離した試験ケース KL-a、KL-b、EP3-a および N は、断面修復材とコンクリートとの界面で剥離が生じていた。試験ケース KL-a および KL-b は深さ方向に劣化部が改善されている一方、断面修復材が剥離したサイクルは無塗布の試験ケース N とほぼ同じであり、接着耐久性は向上していないという結果となった。また、試験ケース EP3-a も深さ方向に劣化部は改善されていたが、質量減少率の減少が始まってからすぐに断面修復材が界面で剥離したことから、断面修復材とコンクリートとの接着力が低かったものと考えられる。

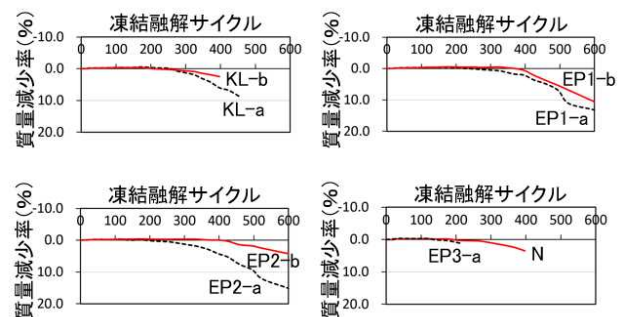


図-7 凍結融解サイクルに伴う質量減少率の経時累計

一方、試験ケース EP1-a、EP1-b、EP2-a および EP2-b は、600 サイクル後において、コンクリート部分に長手方向の大きなひび割れがあり、木槌で断面修復材の側面を数回打撃するとその大きなひび割れから断面修復材にコンクリートが付着した状態で剥離した。その剥離した最大厚さをメジャーで測定すると、断面修復材の厚さ 15mm を除いて、試験ケース EP1-a は 33mm、EP1-b は 41mm、EP2-a は 27mm、EP2-b は 39mm であった。これらの数値を前述した超音波伝播速度による改善の推定深さと比較すると（図-9）、塗布量が 2 倍のケースはほぼ一致していた。しかし、標準量のケースでは改善深さより深い位

置で剥離していることから、内部の微細ひび割れに塗布材が浸透し超音波では判定できない改善がなされて劣化が抑制された可能性が考えられる。これについては今後詳細に検討する必要があるが、塗布材 EP1 および EP2 によって劣化部が改善されて断面修復材とコンクリートとの接着力を持続させる効果が得られ、さらに、塗布材の浸透深さがより深くまで浸透・充填できれば断面修復部の耐凍害性は大きく向上できると考えられる。

4. まとめ

本研究での試験結果において、以下の知見を得た。

- (1) 含浸系塗布材によって、断面修復部の接着界面の劣化部を改善することが可能であり、塗布量を多くすることでより深くまで改善できる。
- (2) 樹脂系の含浸系塗布材を塗布することにより、断面修復材とコンクリートとの接着強度が増加し、断面修復箇部の耐凍害性が向上して断面修復効果が持続することを確認した。
- (3) より深く改善することで、断面修復材とコンクリートとの一体化が計れ、断面修復効果をより得られると考えられる。

謝辞

本研究において、含浸系塗布材の材料メーカー各社に多大なるご協力を頂いた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 土木研究所：コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル（案），土木研究所資料，第4343号，V不具合事例集，2017.8
- 2) 凍害が疑われる構造物の調査・対策手引書（案）：寒地土木研究所，参考資料8，樋門の凍害劣化事例集，2016.1
- 3) 内藤勲，田口史雄，石谷隆始，島秀樹，出合寿勇：河川樋門コンクリートの凍害劣化と再劣化に関する調査，寒地土木研究所月報，No.678，pp.17-26，2009.11
- 4) 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
- 5) 宇野剛志，内藤勲，横田弘：コンクリート界面の脆弱部を改善した断面修復部の耐久性に関する実験的研究，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18巻，pp.415-420，2018
- 6) 魚本健人，加藤潔，広野進：コンクリート構造物の非破壊検査，p.37，森北出版，1990

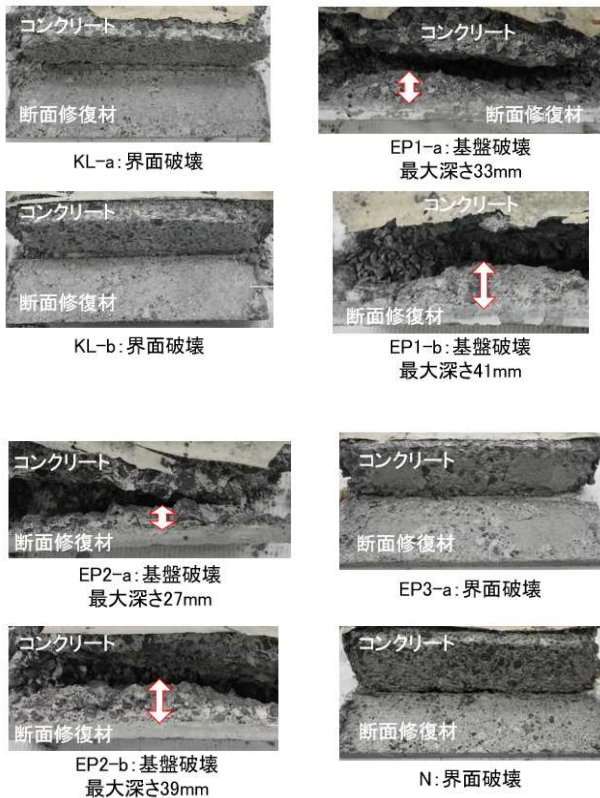


図-8 断面修復材の剥離状況

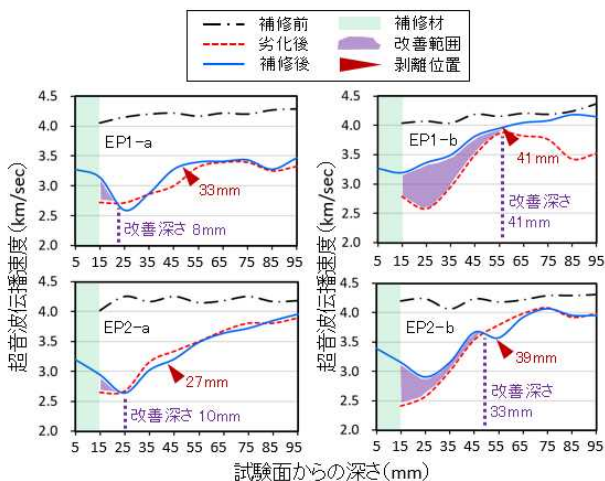


図-9 試験ケース EP1 と EP2 の改善深さと剥離位置の比較