

論文 実構造物を利用した厳しい施工条件におけるバサルトネットを使用した剥落防止工法の性能評価

津田 誠*1・上田 信二*2・青木 崇浩*3・鳥居 和之*4

要旨：道路法に基づく点検が実施され、健全度Ⅲ以下と判定後、未補修の橋梁の存在や、地方自治体以外の管理者による橋梁、管理者不明橋の存在など、橋梁の維持管理形態に課題が見られている。一方、地方自治体においても、今後税収の減少により、長寿命化修繕計画どおりの維持管理を実施ができない可能性が考えられる。本研究では耐久性および施工性に優れ、安価な補修工法の開発を目的として、紫外線劣化のないバサルト繊維シートを使用し、実施工を想定した条件を設定し試験を行った。建研式接着試験機を用いて、付着性能を検証した結果、ほとんどの条件において規格値を上回る結果が確認された。

キーワード：バサルト、剥落防止、アクリル樹脂、紫外線、母材破壊、簡易補修

1. はじめに

平成 25 年に道路法が改正され、現在 2 回目の近接点検が実施されているが、点検結果に応じた補修や長寿命化修繕計画どおりの対策が進んでいない自治体が存在している¹⁾。また、橋梁以外にもトンネル・道路附属物等も近接点検が行われている。2 回目の点検により橋梁の健全度判定において、4 段階の判定区分のうち、判定区分Ⅲの健全性区分が悪い方から 2 番目の早期措置段階は構造物の機能に支障が生じる可能性があり、早期に措置を講ずべきとされている。この判定区分Ⅲに該当する橋梁は 8%、トンネルは 31%であった¹⁾。

1 巡目（2014 年度～2018 年度）の点検で判定区分Ⅲ又はⅣと判定された橋梁のうち、修繕等の措置が完了した施設の割合は、2021 年度末時点で、国土交通省 53%、高速道路会社 60%、地方公共団体 55%である中、市区町村は 41%と低い水準にとどまっている¹⁾。また、トンネルにおいては区分Ⅲ又は区分Ⅳと判定されたうち、修繕等の対策が完了した割合は、国土交通省 81%、高速道路会社 88%、地方公共団体 62%で、さらに、地方公共団体において 5 年以上経過していても措置に着手できていないトンネルが約 1 割存在している¹⁾。

また、高規格幹線道路等を横断する跨道橋は法定外に該当する橋梁が多く存在し、これまで十分な点検や補修がされていない可能性が考えられる。健全度についても緊急輸送道路及び跨線橋等の点検結果のうち、判定区分Ⅲの割合が 13%であり、全橋梁の判定区分Ⅲの割合より高い結果となっている¹⁾。

近年、道路および鉄道構造物においてコンクリート片の落下に関する事象が各地にて報告され、床版端部が多

い傾向にある²⁾。

写真-1 はアルカリシリカ反応（以下、ASR と記す）による経年劣化とされる橋脚横梁の張り出し部である。ASR は一度劣化が見られると回復することがなく、完全に ASR からのリスクを排除する場合は劣化箇所を打ち換えるしか選択肢がないと考えられる。また、**写真-2** に示すとおり、建築構造物の軒や底部においても、劣化によるコンクリート片の剥落のリスクが考えられ、さら



写真-1 橋脚部の ASR による劣化状況



写真-2 建築構造物の軒部の劣化状況

*1 石川工業高等専門学校 環境都市工学科教授 博士（工学）（正会員）

*2 真柄建設（株）土木事業本部 土木技術部

*3 青木織布（株）代表取締役

*4 中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋（株）工博（フェロー会員）

に、劣化部位の形状が複雑でかつ施工が困難であることもあり、採用される補修工法が限定される場合もある。このため、補修工事を完了させるまで時間を要し、第三者被害に対して配慮が必要となる。

しかし、写真-3 に示すとおり、高規格幹線道路の ASR 劣化した橋台にて、表面保護工による補修後の再劣化が確認された。これより、補修工法そのものの耐久性の向上はもとより、補修構造物の耐久性向上や再劣化後の第三者被害防止についても必要と考えられる。

さらに、都市内高速道路や鉄道構造物では規制時間やき電停止可能時間などの制約条件が多く、施工後通行車両からの風圧や振動に対して、安定でなければならないなど、使用する補修工法に対して求める条件が厳しい。

一方、既往の研究³⁾⁴⁾では長期耐久性や各種劣化因子の抵抗性について報告されているが、緊急性を想定しての実構造物を対象とした施工条件ごとの性能や長期耐久性を研究した事例は少ない。

以上より、本研究では補修工法に求める性能として、施工後長期耐久性があり、施工性が良く施工条件や供用環境への柔軟性の高さとし、紫外線劣化のないバサルト繊維シートを使用した簡易的な表面補修工法を用いた。本工法に使用するバサルトネットは押し抜き試験の結果、NEXCO の試験規格 JHS424 を押し抜き最大荷重、変位量とも規格値を満足している⁵⁾。このため、本研究では剥落防止工法の性能の評価として、紫外線の影響が想定される有機材料と補修対象の構造物との付着性能に着目して試験を実施した。実構造物における試験結果、標準工法以外の厳しい施工条件においても規格値を満たす付着性能が確認された。

2. 対象工法の概要

2.1 使用材料の概要

本工法は剥落防止工法の1つで、図-1 に示すとおり、バサルトネットをアクリル樹脂にて含浸させ貼り付ける補修工法である。バサルト繊維は紫外線に対して劣化がなく、繊維の劣化を防止するための保護層が不要であることから、コンクリート断面を可視化でき、施工後の変状を早期にかつ容易に発見することができる特徴がある。

使用する繊維は、玄武岩 (Basalt:バサルト) を熔融し精製したもので、コンクリート用骨材とほぼ同成分であることから高い耐候性がある。この繊維をネット状に製作したもので (図-1 (b))、強度はモノフィラメントの引張強度として 4840MPa と通常の剥落防止工法で使用する汎用品のガラス繊維と比較して高い強度を有している。バサルトネットが変形した状態において、縦糸および横糸の性能の低下防止のため、縦糸と横糸の交差部についてズレが生じないようにする必要がある。当初は縦

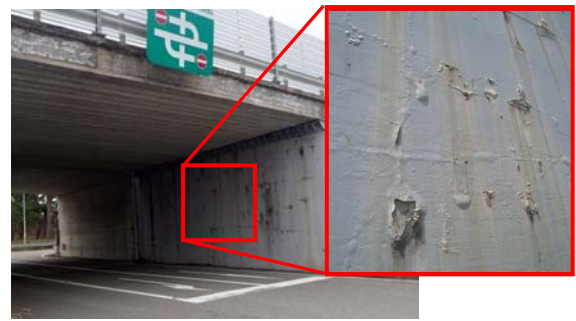


写真-3 橋台の補修後再劣化状況

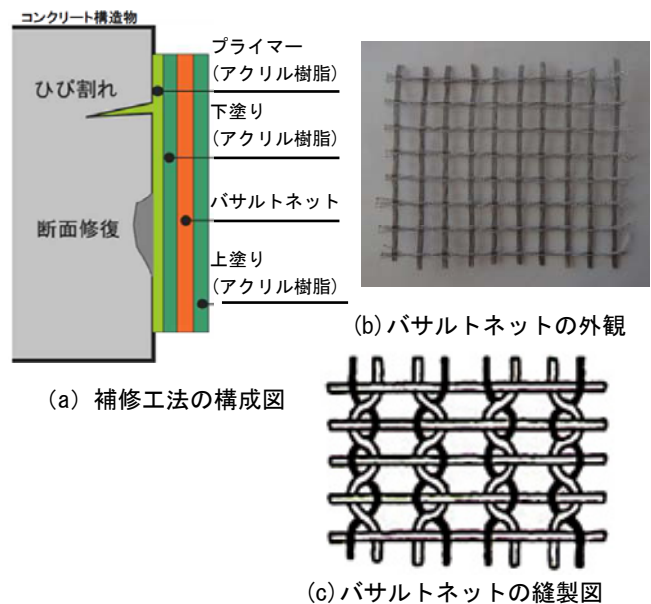


図-1 補修工法の概要



写真-4 使用するシートの変形状況

糸と横糸の交差部についてあらかじめ樹脂を含浸させ接着を行っていた。しかし、この方法で製作したネットは固く、コーナー部などにおいて施工時に構造物とネットとの間に隙間が生じ付着性能に支障が生じると考えられた。このため、交差部について図-1 (c) に示すように縦糸を絡まし、糸どうしの摩擦力で固定することにより、施工時のネットの変形性能の改善を図った。この結果、写真-4 に示すとおり、本工法で用いるネットは高い変形性能を有するものとなった。

2.2 施工法の概要

施工方法は標準工法として接着面を研磨機で磨き、表面の汚れを落とし (前処理あり) とし、図-1 (a) に示す

プライマー施工後2時間経過した段階でバサルトネットをアクリル樹脂で含浸させ、接着させることになっている。また、施工時の条件として気温 5℃～25℃、表面が乾燥していることとされている。アクリル樹脂の硬化前の状態において、バサルトネットは含浸材の粘性による付着力のみで、コンクリート表面への接着が可能のため、本工法は垂直面だけではなく、様々な角度の補修面においても仮止めを実施する必要はなく、補修が可能である。



(a) 学内試験用壁 (b) 町道橋の橋台

写真-5 試験箇所の状況

3. 試験工法

3.1 コンクリート構造物の母材強度試験

測定箇所は4cm間隔で、縦に4箇所横に5箇所の計20箇所設け、リバウンドハンマーを測定面に対して直角に当て、20箇所すべて計測を行った。測定箇所にクラック等の損傷がある場合、対象箇所から4cm以上離して実施した。プライマー施工後の母材強度試験の場合は施工面が多少滑りやすくなるが、今回は表面を研磨せずにそのまま試験を実施した。

3.2 現場での付着力性能試験

付着力性能試験は NEXCO の試験規格である試験法425 に準拠した。引張試験は以下の手順で実施した。樹脂が硬化後、引張試験用の治具の寸法と同様の4cm四方の切れ込みを入れ、母材ごとバサルトネットを切断する。引張試験用の治具に接着剤を塗布後、供試体に治具が張り付くまで5分ほど押し付け、ガムテープなどで固定し1~2日ほど時間をおく。治具の接着材が硬化後に建研式接着試験機にて引張力を加え、接着面での剥離、母材破壊もしくはバサルトネット面での剥離をした時点の最大値を付着強度とする。また、母材破壊した場合においては、試験後に破壊界面の深さを計測した。

3.3 実施箇所および試験条件

石川工業高等専門学校の敷地内（以下、学内と記す）での試験箇所は写真-5(a)に示す健全な材料および施工にて試験用に製作した壁を使用した⁶⁾。また、写真-5(b)は濡に位置する町道橋の橋台で建設後54年の時点で試験用として剥落防止工法を施工した。表-1に試験ケースを示す。表中の温度は施工時の気温で、試験時は経過時点での気温になり、表の気温とは異なっている。

4. 試験結果および考察

4.1 コンクリート構造物の母材強度試験結果

表-2より試験対象とした学内の試験用コンクリート壁のコンクリート表面の引張強度の推定値は上部を除き3N/mm²、町道の橋台では概ね2.5N/mm²であった。また、町道の橋台北面部において、プライマー塗布部の圧縮強度は未塗布部と比較して、約8N/mm²大きい値を示した。この理由として、プライマーの粘度が低いことから、コ

表-1 試験ケースおよび結果

ケース	場所	期間	条件	番号	付着強度 N/mm ²	平均 N/mm ²	破壊形式	深さ mm
1	試験用壁 (健全)	4年	標準気温 乾燥2時間 前処理有	1	5.51	4.95	母材	2.66
				2	4.57		母材	2.02
				3	4.76		プライマー	0.00
2			標準気温 乾燥2時間 前処理無	1	5.00	4.47	母材	2.22
				2	4.42		母材	2.98
				3	4.00		母材	1.96
3			気温30℃ 乾燥即時前 処理有	1	5.68	4.74	母材	0.74
				2	3.84		プライマー	0.40
				3	4.69		母材	2.21
4			気温30℃ 乾燥2時間 前処理有	1	3.86	4.49	プライマー	0.58
				2	4.78		プライマー	0.35
				3	4.83		母材	0.28
5			気温30℃ 乾燥即時前 処理無	1	4.63	4.96	母材	0.40
				2	5.34		母材	0.34
				3	4.92		母材	0.67
6			気温30℃ 乾燥2時間 前処理無	1	4.24	4.49	母材	1.63
				2	3.13		母材	0.99
				3	6.11		母材	2.52
7	町道橋橋台 (健全)	1年	気温0℃ 乾燥即時 前処理有	1	4.00	3.40	プライマー	0.00
				2	1.74		プライマー	0.00
				3	4.47		母材	1.48
8			気温0℃ 乾燥2時間 前処理有	1	5.05	5.67	母材	2.06
				2	5.53		母材	5.23
				3	6.42		母材	2.88
9			気温0℃ 乾燥即時 前処理無	1	0.00	0.76	施工不良	0.00
				2	2.29		プライマー	0.00
				3	0.00		施工不良	0.00
10			気温0℃ 乾燥2時間 前処理無	1	0.71	0.24	プライマー	0.00
				2	0.00		施工不良	0.00
				3	0.00		施工不良	0.00
11			標準気温 湿潤即時前 処理有	1	1.53	2.88	プライマー	0.95
				2	2.99		母材	0.71
				3	4.13		母材	1.14
12		初年度	標準気温 湿潤2時間 前処理有	1	1.44	2.42	母材浮き部	2.42
				2	3.51		母材	0.45
				3	2.33		母材	0.51
13			標準気温 湿潤即時前 処理無	1	1.57	2.96	プライマー	0.62
				2	4.10		母材	1.54
				3	3.21		母材	1.01
14			標準気温 湿潤2時間 前処理無	1	4.13	3.27	母材	0.76
				2	2.56		母材	0.67
				3	3.11		母材	0.11

表-2 力学的試験結果

測定箇所		反発度R ₀	圧縮強度 N/mm ² ※1	引張強度 N/mm ² ※2
学 内	コンクリート壁 (健全)	上部	43.0	2.54
		中央部	51.7	3.02
		下部	52.1	3.04
町道橋台	橋台(健全)南面	側面	44.2	2.61
	橋台(健全)北面	側面	37.5	2.20
	橋台(健全)北面 プライマー塗布部	側面	43.9	2.59

※1 圧縮強度 (推定値) = (-18+1.27×R₀) 日本材料学会式

※2 引張強度 (推定値) = 0.23 f 'ck^{2/3} 土木学会コンクリート標準示方書

ンクリート表面からアクリル樹脂が浸透し、その結果、微細なひび割れが閉塞し一体化することにより、表面だけではあるが強度が増加したものと考えられた⁵⁾。これらの効果として、表面からの劣化要因の浸透の抑止につながると推察された⁷⁾。

4.2 付着強度試験結果および評価手法

母材破壊時の破壊面の深さは、母材表面から3箇所の平均としているが、引張試験用の治具との界面での剥離の場合、試験上での問題としてボンド破壊として、平均値から除外している。また、母材破壊せず、バサルトネットと母材コンクリート表面での破壊をプライマーの付着力が剥落防止材の付着性能に対して支配的になったとして、プライマー破壊とし、バサルトネットの破断を伴う破壊の場合はネット破壊とした。気温 0℃のケースの一部でプライマーの乳化の影響で、母材表面にネットの付着がないケースについては、「施工不良」とし、施工性も合わせて評価していることから、付着強度の平均値からも除外しないこととした。

さらに、引張試験後に母材そのものが浮きなどの局所的な損傷により試験結果に対して支配的に影響すると考えられた場合、該当する値を削除し、2 箇所以上母材の局所的な影響を受けない結果を得ることが可能な場合、残りの値で評価した。

試験結果を図-2～図-10 に示す。横軸に示す数字は本研究での試験ケースを表し、あり、なしは前処理の有無を示している。また、表-1 以外の結果については既往の研究^{5), 6), 7)}での値としている。さらに、図には母材の引張強度の推定値および規格値を示し、母材破壊の場合、破壊時の母材表面からの深さをプロットした。

4.3 学内構造物での付着強度試験結果

表-1 より付着強度はすべてのケースにおいて規格値である 1.5N/mm² を大きく上回った。また、破壊形式として、ケース1の3以外のケースにて母材破壊となった。これより、剥落防止材の付着強度が母材の引張強度を上回る結果となり、全般的に高い付着性能が確認された。

図-2 に学内試験用壁での試験結果を示す。剥落防止

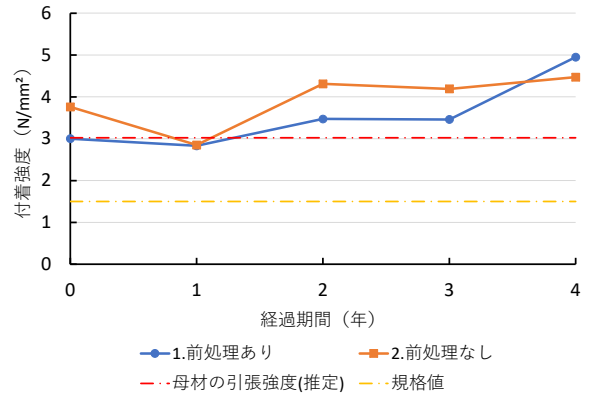


図-2 付着強度試験結果・学内試験用壁

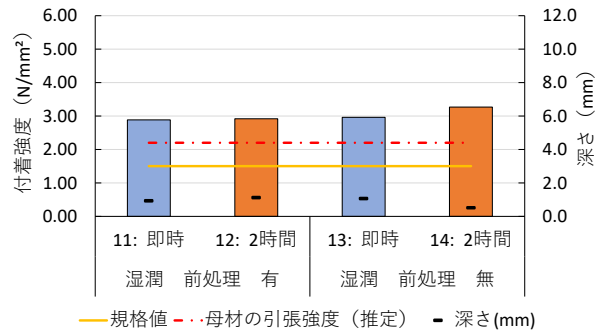


図-3 付着強度試験結果・町道橋台 (表面湿潤・標準温度)

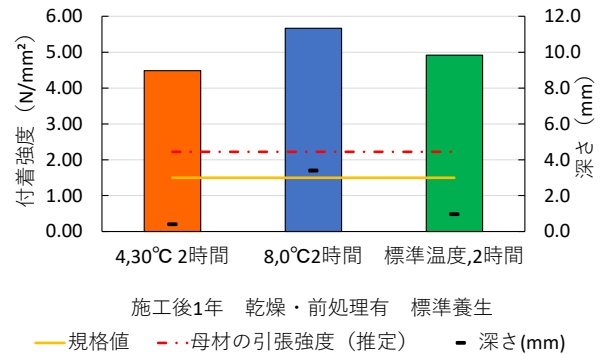


図-4 付着強度試験結果・町道橋台 (前処理有・2 時間標準養生)

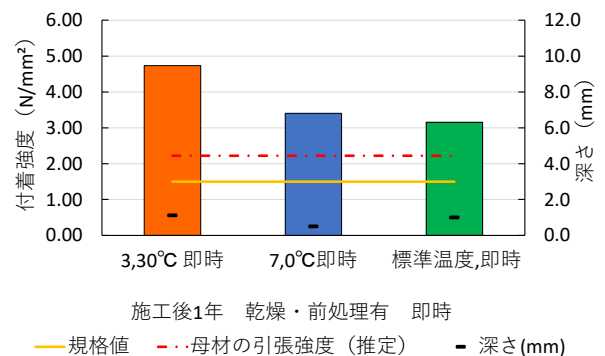


図-5 付着強度試験結果・町道橋台 (前処理有・即時施工)

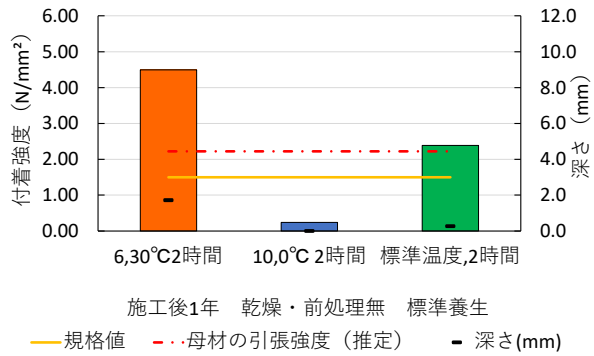


図-6 付着強度試験結果・町道橋台
(前処理無・2時間標準養生)

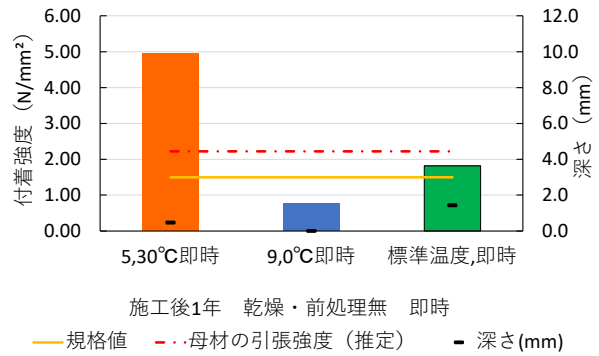


図-7 付着強度試験結果・町道橋台
(前処理無・即時施工)

施工後4年経過し、付着強度は規格値の2倍以上で、母材の引張強度の推定値より大きい値を示し、付着力の低下は見られなかった。また、前処理の有無による引張強度は多少の変動はあるが、大きな差は見られなかった。

4.4 町道の橋台での付着強度試験結果

表-1のケース12の1は試験後母材に浮きが生じていることが判明し、この値を除いて平均をしている。図-3に町道の橋台において表面の湿潤状態での剥落防止工法の施工を行ったケースでの付着強度の試験結果を示す。再現性を高めるため、前日以前に1日以上雨が降り続いた晴れもしくは曇りの日を施工日とし、さらに、プライマー施工前に水道水をコンクリート表面が一樣に濡れ色になるまで噴霧した。施工箇所の一部を電動ドリルにて直径5mm、深さ約10mmに削孔後、金属ブラシ式の感知部を挿入し、電気抵抗式的水分計にて水分率の計測を行った。計測結果、水分率は1.2%であり、表面は湿潤ではあるが表面から深さ10mmでは比較的乾燥状態であった。

図-3より、付着強度はすべてのケースで規格値のほぼ2倍を示した。標準温度での施工の場合、表面が湿潤の影響は少ないと考えられ、前処理の有無やプライマー塗布後の養生時間を確保しない場合でも、所定の性能が得られる可能性が高いと思われた。また、緊急時において表面を乾燥させる工程が不要となる可能性があると考えられた。

表面乾燥時の施工温度の違いによる付着強度の比較を図-4,5に示す。付着強度はすべてのケースで規格値の2倍以上を示し、母材の強度を上回った。前処理を実施した場合、標準温度以外の温度やプライマー施工後の養生時間を確保しないなどの標準以外の条件での影響は少ない結果となった。また、図-4のケース8が高い付着強度になり、母材破壊時の界面が表面から約3mmと深く、プライマーの浸透により表面付近が改質されたためと推測された。

図-6,7に表面処理を未実施での結果を示す。図-4,5と比較すると、施工温度0°Cの前処理なしのケースは極端に付着強度の低下が見られた。この原因として、低温の

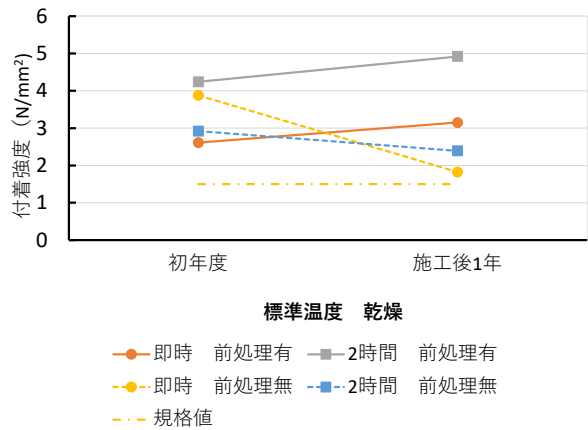


図-8 付着強度試験結果・町道橋台 標準温度

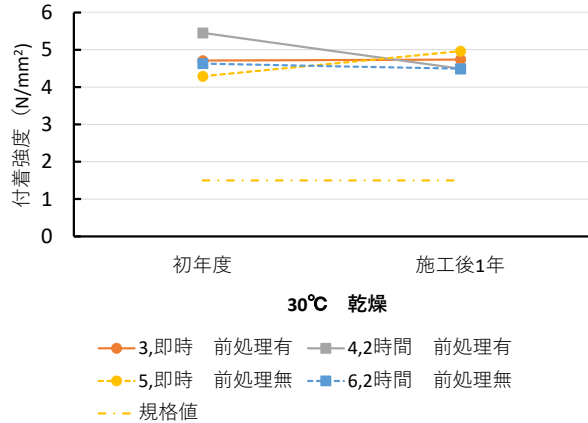


図-9 付着強度試験結果・町道橋台 30°C

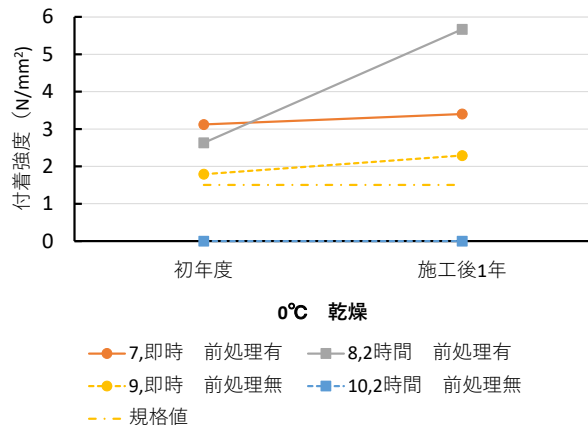


図-10 付着強度試験結果・町道橋台 0°C

ためプライマーや含浸材の反応の遅延に伴い、プライマーとコンクリート表面の汚れ成分の一部とが混ざり合うことによる、プライマーの乳化の影響が考えられた。一方、気温 30℃のケースでは表面処理未実施の影響は少ない結果となった。

図-8～図-10 に町道の橋台での施工温度別の試験施工 1 年後の経時変化を示す。図-10 のケース 10 以外のすべてケースにおいて施工後 1 年目の付着強度は規格値を上回り、極端な低下もない結果となった。また、施工温度 30℃では規格値の 3 倍近い付着強度を示し、低下も見られなかった。さらに、施工条件で最も厳しいとされていた 0℃のケースにおいても、付着強度の低下は見られず、実構造物においても緊急時の補修工法の 1 つとして、選択できることが分かった。

今回の補修工法で使用したプライマーは粘度が小さいことから、コンクリート表面の微細なひび割れに浸透し、その結果、表-2 に示すとおり、推定値ではあるがコンクリートの力学的特性の向上が見られた。さらに表-1、写真-6 のとおり、母材強度より高い値にて、ほぼ様な深さにて母材破壊が見られることから、剥落防止に合わせて母材の様々な性能向上の可能性も示唆された。

5. まとめ

本研究より得られた主な結果を以下にまとめた。

- (1) プライマー塗布部の圧縮強度は未塗布部と比較して、約 8N/mm²大きい値を示した。理由として、温度に関係なく、プライマーの粘度が低いことから、コンクリート表面からアクリル樹脂が浸透し、その結果、微細なひび割れが閉塞し一体化することにより、表面だけではあるが強度が増加したものと考えられた⁵⁾。これらの効果として、表面からの劣化要因の浸透の抑止にもつながるのではと推察された。
- (2) 学内試験用壁において、剥落防止の施工後 4 年経過後の付着強度は規格値の 2 倍以上で、母材の引張強度の推定値より大きい値を示し、付着力の低下は見られなかった。また、前処理の有無による引張強度は多少の変動はあるが、大きな差は見られなかった。
- (3) 実構造物の湿潤状態での施工による付着強度はすべてのケースで規格値のほぼ 2 倍を示し、表面が湿潤の影響は少ないと考えられ、前処理の有無やプライマー塗布後の養生時間を確保しない場合でも、所定の性能が得られる結果となった。
- (4) コンクリートの表面処理を未実施の場合、施工温度 0℃のケースは極端に付着強度の低下が見られた。一方、気温 30℃のケースでは表面処理未実施の影響は少ない結果となった。
- (5) 町道の橋台での施工温度別の試験施工 1 年後の付着



写真-6 付着試験後の状況（ケース 13）

強度はほとんどのケースにおいて規格値を上回り、極端な低下もない結果となった。また、施工温度 30℃、0℃のケースにおいても、付着強度の低下は見られず、実構造物においても緊急時の補修工法の 1 つとして、選択できることが分かった。

謝辞

本研究は、一般財団法人首都高速道路技術センター 2020 年度研究開発助成を受けたものである。また、石川工業高等専門学校部谷和也氏に協力をいただいた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 国土交通省：道路メンテナンス年報，2022
- 2) 国土交通省：国土技術政策総合研究所，コンクリート片落下による第三者被害の予防措置技術の性能試験法に関する調査検討，2017.3
- 3) 佃洋一他：表面被覆工法の耐久性評価方法に関する研究，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，Vol.20，pp.73-78，2020
- 4) 竹内由伸，横井克則，下村昭司，橋村茂雄：表面処理材を塗布した実構造物と室内試験における効果の比較検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.43，No.1，pp.1073-1078，2021
- 5) 津田誠，上田信二，青木崇浩，鳥居和之：バサルネット工法による塩害および ASR が発生したコンクリート構造物での剥落防止対策の検証，コンクリート工学年次論文集，Vol.39，No.1，pp.1274-1279，2017
- 6) 津田誠，上田信二，青木崇浩，鳥居和之：様々な施工条件でのバサルネットを使用した剥落防止工法の性能評価，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，Vol.19，pp.107-112，2019
- 7) 津田誠，上田信二，青木崇浩，鳥居和之：実構造物でのバサルネットを使用した剥落防止工法の耐久性の評価，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，Vol.21，pp.564-569，2021