

積雪寒冷地における繊維シート接着工法の変状調査

(独) 土木研究所寒地土木研究所 耐寒材料チーム ○内藤 勲
(独) 土木研究所寒地土木研究所 耐寒材料チーム 田口 史雄
(独) 土木研究所寒地土木研究所 耐寒材料チーム 野々村佳哲

繊維シート接着工法は、主にコンクリート構造物の耐震補強や剥落防止に適用されている。しかし、被覆材等の低温環境下における接着性や耐凍害性等の性能は明らかではなく、施工後、比較的早い段階で被覆材等に浮きなどの変状が生じている事例も報告されている。このため、本報告では、積雪寒冷地における被覆材等の変状防止対策等を目的として、北海道の繊維シート接着工法の施工実績調査および現地状況確認による実態調査を取りまとめた。また、事例調査として、変状の著しい一橋脚について変状原因調査を併せて行った。さらに、品質管理および劣化診断の一手法としてサーモグラフィ調査の有効性についても検討を行った。

キーワード：積雪寒冷地、繊維シート接着工法、変状、サーモグラフィ

1. まえがき

表面被覆工法¹⁾の一つである繊維シート接着工法(以下、シート工法)は、軽量で高強度な連続繊維シートをコンクリート構造物の表面に接着して、コンクリートを補強したり、劣化等によるコンクリートの剥落を防止する工法である。シート工法は、塩化物イオン等の劣化因子の浸入や補強後の断面増加や死荷重増加の影響をほとんど受けないことから、耐震補強に伴い、橋梁の床版や橋脚などの補強部材への適用実績が増えた。しかしながら、低温環境下におけるシート工法の適用法等は確立されておらず、積雪寒冷環境下において、表面の浮きやひび割れが生じている事例も報告されており、シート工法の耐凍害性等については十分に明らかとなっていない。くわえて、昨今の公共事業費削減と既存ストックの適切な補修・補強等によるコンクリート構造物の延命化が重要な課題となっている。このような背景から、本研究では、北海道において施工されたシート工法の調査を行い、施工実績、繊維シート等の状態および変状等の有無について整理を行った。更に、シート保護材に大きな変状を生じていた橋脚において、原因究明のための事例調査を行った。

2. 調査方法

(1) 施工実績調査

北海道の国道における橋梁・覆道の道路コンクリート構造物を対象に、1999年度(平成11年度)～2008年度(平成20年度)までの10年間のシート工法 施工実績

調査を行った。主な調査整理内容は、施工年度、適用構造物及び部位、繊維シート(以下、シート)の種類、プライマーなどの使用材料についてである。

(2) 現状調査

現状調査は、施工実績調査で抽出した構造物において、①現地における目視②サーモグラフィ③打診ハンマーによる打診の順に調査を行い、シートの変状の有無や状況の確認等²⁾³⁾⁴⁾を行った。写真-1に、サーモグラフィ及び打診によるシート工法の浮き調査の状況を示す。目視調査及びサーモグラフィ調査は、観察可能な範囲全てで実施し、打診調査は、近接打診可能な範囲内に限定した。なお、調査結果として、シート等の剥離や浮き範囲の記録を行った。



サーモグラフィ調査

打診調査

写真-1 浮き調査状況

(3) 事例調査

事例調査を行った構造物は、耐震補強を主目的として、炭素繊維シートを巻き立てた橋脚一基で、ポリマーセメントモルタル系表面保護材に大きなひび割れと浮きが生じていた。なお、前項の現状調査において、変状が大きく、打診調査による浮きの範囲が明確であったことからこの橋脚を選定している。

このシート工法による補強工事は、平成16年の冬期に施工され、調査時点で施工から約6年が経過している。

断面構成を図-1 に示す。橋脚コンクリートの表面にプライマー・パテ・塗布接着剤（エポキシ樹脂系）、炭素繊維シート、保護材（セメントポリマーモルタル）及び上塗り剤（ウレタン系塗料）となっている。なお、炭素繊維シートは、縦貼りと横貼りの2層構成となっている。

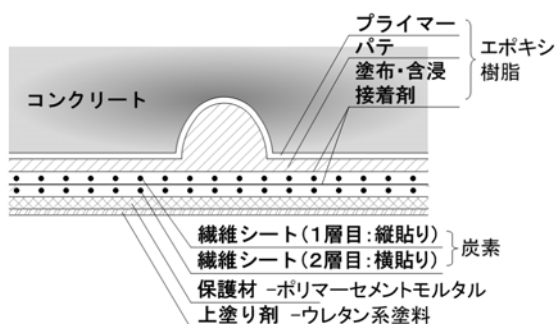


図-1 炭素繊維シート接着工法の断面図

調査方法は、まず、ひび割れと浮きが生じている保護材をはつり、浮きの位置、浮きの高さ、浮きの面積及び保護材とシートとの接着面の状態を目視確認等を行った。さらに、シートの状態調査のため、合田らの調査方法⁵⁾を参考に、サーモグラフィと打診によるシートの浮き調査、シートと橋脚コンクリートの付着強度試験及びシートのはつり調査を実施した。付着強度試験は、建研式付着力試験器を用いて、土木学会規準JSCE-K 561-2003およびJSCE-K 531-1999に準拠して行った。金属ジグは4cm×4cmを使用し、接着にはエポキシ樹脂接着剤を用いた。シートのはつり調査では、シートの浮きを確認できた箇所においてシートを切断し、浮きの位置、浮き高さなどの測定を行った。なお、シート巻き立てによる補強は、連続したシートによって補強効果が発揮されることから、今回の調査においてシートを切断した箇所は、シートが損傷した場合に損傷箇所を補強する方法⁶⁾に準じて補修を行った。

3. 調査結果および考察

(1) 施工実績調査結果

図-2 に、今回調査を行った46道路コンクリート構造物（橋梁・覆道）におけるシート工法の適用部位の内訳を示す。橋梁が約87%かつ橋脚と床版での適用が多いことがわかる。

a) 接着系材料

使用されていたシート工法の使用材料等の内訳を図-3に示す。図-3のa)は、シート接着剤、プライマー、パテなどの接着系材料の割合を示す。一部でアクリル樹脂系の使用もあったが、エポキシ樹脂系がほとんどであった。エポキシ樹脂系接着剤は比較的安価で施工し易いことから古くから適用実績が多いと考えられる。それに比べ、アクリル樹脂系接着剤は速硬性のため施工時の取扱いが難しいが、一般的に-10℃程度までの低温でも硬化

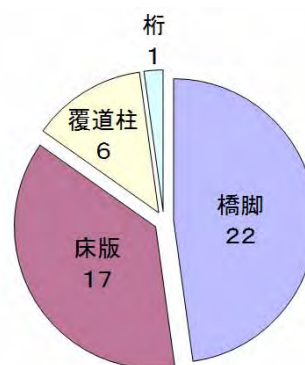


図-2 北海道の道路構造物におけるシート工法の適用部位の内訳

し（エポキシ樹脂系は一般的に5℃以上で硬化）、硬化後も耐寒性・耐熱性に優れているため、近年、適用実績が増えてきている。なお、シート工法のようにシート等を重ねて接着する場合、接着力が増大するため、接着系材料は同一樹脂系を用いることが一般的である。

b) シート材料

図-3のb)に、使用されているシートの内訳を示す。炭素（カーボン）繊維が約8割を占め、次いでアラミド繊維、ガラス繊維、ビニロン繊維の順であった。炭素繊維シートは比較的安価であり、古くから補強材としての施工実績が多い。ガラス繊維は加工し易く、最も安価であるが、耐薬品性が低く、海水に弱いことなどから使用箇所が限定される。アラミド繊維やビニロン繊維は、靱性を有し、曲げやすい素材であることから、床版の繰返し疲労対策や覆道柱などの衝撃対策及び加工し辛い部位に最近施工実績が増えてきている。また、炭素繊維には帯電性があることから、近年、JR高架橋などではアラミド繊維等の絶縁素材が多く使用されはじめてきている。

c) 保護材

図-3のc)に、保護材の内訳を示す。ポリマーセメントモルタル系は橋脚と覆道柱に使用されており、エポキシ系は床版と桁に使用されていた。ポリマーセメントモルタルは安価であるが、増厚できない部位や橋梁上部の死荷重軽減にはエポキシ系が用いられる。保護材の役割は、外的要因によるシートの損傷防止であり、車両の衝突などの可能性がある部位や紫外線劣化し易い繊維シートに直接紫外線が当たらないように保護材が用いられる。

d) 上塗り剤

図-3のd)に、保護材表面の上塗り剤の内訳を示す。ウレタン樹脂系の使用が6割を占めていた。一般にウレタン樹脂系は安価であり、顔料による着色が可能で外観上も優れていることから、幅広く使用されていると思われる。アクリル樹脂系も安価であるが、透明であることから、外観が左右されない部位での適用に限られる。フッ素系とエポキシ系は非常に優れた耐久性を有しているが高価であることから、非常に厳しい環境での使用に限定される。

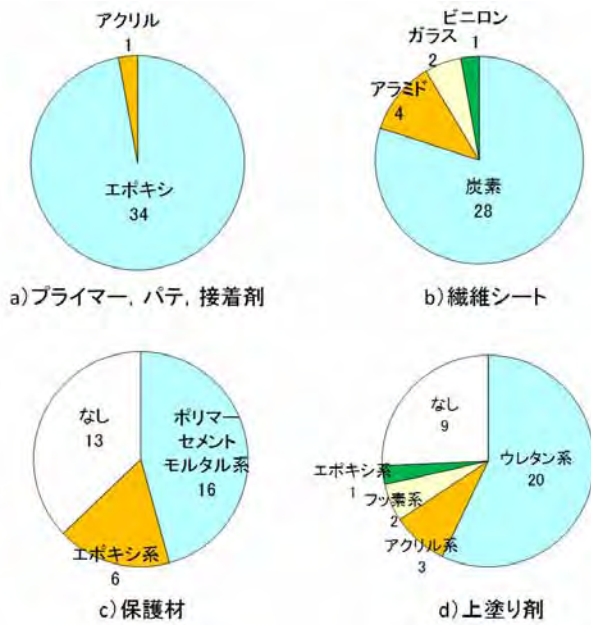


図-3 北海道の道路構造物におけるシート工法の使用材料の内訳

表-1 変状のあった構造物の使用材料

構造物	部位	シート	接着剤	保護材	上塗り
橋梁	橋脚	炭素	ポキシ系	PCM	ウレタン系
橋梁	橋脚	炭素	ポキシ系	PCM	ウレタン系
橋梁	橋脚	炭素	ポキシ系	PCM	ウレタン系
橋梁	橋脚	アラミド	ポキシ系	PCM	ウレタン系
橋梁	床版	炭素	ポキシ系	なし	ウレタン系
橋梁	床版	炭素	ポキシ系	なし	ウレタン系
橋梁	床版	ビニロン	アクリル系	なし	ウレタン系
橋梁	桁	アラミド	ポキシ系	ポキシ系	フッ素系

※PCM：ポリマーセメントモルタル



写真-2 目視で確認できる「浮き」

(2) 現状調査結果

図-4 に現状調査の結果を示す。シート工法が施されている 46 構造物の内、41 構造物について現地目視調査を行った。そのうち、31 構造物においてサーモグラフィ調査、さらに打診調査を 21 構造物において行った。

今回の調査結果では、41 構造物の 2 割程度にあたる 8 構造物において浮き等の変状を確認した。表-1 に、変状のあった構造物の使用材料を示す。変状を確認した 8 構造物はすべて橋梁であり、橋脚 4、床版 3、桁 1 であった。橋脚は、保護材であるポリマーセメントモルタルのひび割れと浮きであり、床版と桁は、シートと上塗り剤の浮きであった。

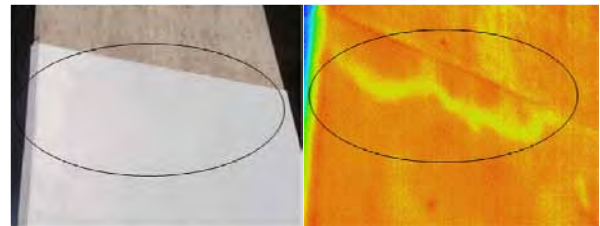


写真-3 目視では確認できない「浮き」
(サーモグラフィ調査による温度差から検出)

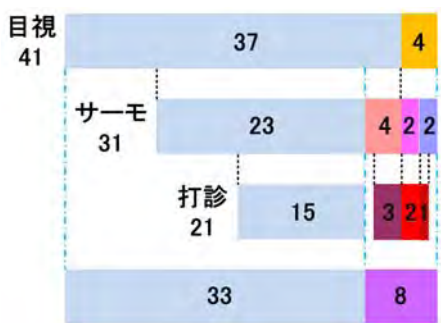


図-4 現状調査結果

(3) 事例調査結果

a) 保護材の変状

写真-4 に示すように、今回調査を行った橋脚のシート補強部分の保護材表面には、多数のひび割れと大きな浮きが発生しており、最も大きいひび割れ幅は0.5mm程度であった。打診調査により測定した浮きの範囲は、幅60cm程度、高さ170cm程度であった。浮き部分をはつた結果、浮きの範囲は、最大で幅78cm、高さ163cmであ



写真-4 保護材の変状状況と浮きはつきり後状況



写真-5 浮き高さの確認



写真-6 保護材と繊維シートとの接着状況

った。写真-5 に保護材の浮き状況を示す。保護材とシートとの間に浮きを確認され、浮きの最大高さは約3mm程度であった。また、写真-6 に保護材とシートとの接着面の状況を示す。シート表面の凸凹形状が保護材の接着面に刻まれていたことから、ポリマーセメントモルタルが固まるまでは少なくとも密着していたと考えられる。なお、保護材の除去範囲において、保護材が変状した影響によると思われるシートの変状は外観上特に見られなかった。またここで、写真-7 及び写真-8 に示すように、橋脚上部からの融雪水や雨水が、大きな変状が生じている保護材の箇所常に供給されている状況が確認された。なお、保護材上端のシーリング材に劣化や変状は見られなかったことから、融雪水は保護材の表面を伝って下に流れ、保護材のひび割れから内部に浸入していると考えられる。保護材に生じたひび割れや浮きは、ポリマー



写真-7 保護材への水分供給状況



写真-8 ひび割れた保護材の表面を伝う水の状況 (写真-7の点線部拡大)

セメントモルタルの乾燥収縮もしくはシートとの接着不足等が原因で発生したと考えられるが、特にひび割れから内部に浸入した融雪水の凍結融解作用によって、変状が更に拡大したものと推測される。これは、保護材を除去した箇所のシート下側の表面に、融雪水等の浸入が原因と思われる泥汚れが付着していたことから裏付けられる。このため、今後さらに、保護材の変状が更に進行し剥落が生じてシートが露出した場合、紫外線によるシートの劣化が発生し、耐震性能に影響を及ぼす可能性も考えられることから、保護材のひび割れ発生原因の究明と変状防止対策等の検討が必要である。

b) シートの変状

保護材を除去した箇所のシート表面において、目視調査及び打診調査によって、直径5cm程度の浮きを3箇所確認した。また、サーモグラフィを用いた結果、写真-9 に示すように、目視及び打診では確認できない直径2～3cm程度の狭小な浮きもしくは樹脂溜まりを5箇所発見することができた。写真-10 に直径5cm程度の浮き箇所のシート断面を示す。シートの1層目と2層目の間に剥離があり、剥離の高さは最大で2mm程度であった。サーモグラフィにより検出された狭小な浮きも、同様にシートの1層目と2層目の間の剥離であった。これらの浮きは、シートの継ぎ手部に多く発生していた。これは、継ぎ手部の施工時において、接着剤の含浸不足による接着不良、もしくは空気溜まりの除去作業が不十分であったこと等の施工が原因であると考えられる。

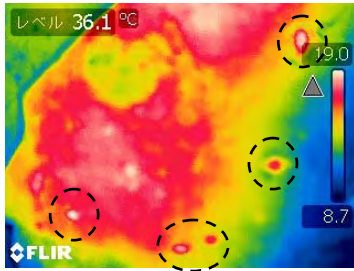


写真-9 サーマグラフィによるシートの浮きの検出



写真-10 シートの剥離状況



写真-11 付着強度試験位置



写真-12 付着強度試験位置（上側）



写真-13 付着強度試験後の状況一例

表-2 炭素繊維シート貼り付け状態の
合否判定の目安

浮き・膨れの大きさ	基準個数 (/m ²)	合否	対応
直径 10mm 未満	—	合格	なし
直径 10mm から 30mm 未満	10 個未満	合格	なし
	10 個以上	不合格	補修
直径 30mm 以上	すべて	不合格	補修

なお、施工時の品質検査として、シートの付着強度試験の他に、炭素繊維シート接着工法においては、シート貼り付け状態の検査⁷⁾がある。シート貼り付け直後と翌日に、硬化前硬化後の状態を目視及び打診によって不良箇所の有無を確認し、表-2 に示すような合否判定の目安によってシート貼り付け状態の管理が行われている。通常、この検査において浮きが確認された場合、合否判定や浮きの大小に係わらず、浮き箇所には樹脂注入等による処置を行うのが一般的であるが、本調査において、直径2~5cm程度の浮きが数ヶ所確認できたことから、これらの浮きは、施工当初の検査では発見できなかった、樹脂注入処置が不十分だった、もしくは極小の浮きが進化したと考えられる。このように、サーモグラフィ調査は、打診調査で確認できないシートの浮きも検出できることから、シート工法の施工管理にも非常に有効であることがわかった。

c) 付着強度試験

写真-11 及び写真-12 に示す位置において、シートと母材コンクリートの付着強度試験を行った。試験位置は

シート上側と下側の2箇所（各箇所3試料）とした。写真-13 に付着強度試験後の状況（一例）及び表-3 に付着強度試験結果の一覧を示す。表には、管理目標値及び施工当初の試験結果を併記した。試験結果より、シートと母材コンクリートとの付着強度は、すべてが目標値の1.5N/mm²以上（製品規格値）であり、施工当初よりも大きい値であった。すべての試料が母材コンクリートで破断しており、表中の3.13N/mm²は使用した試験器の最大計測荷重であることから、シートと母材コンクリートは

表-3 付着強度試験結果

	試料No.			平均値
	1	2	3	
目標値	1.5			
施工当初	3.06	2.88	2.56	2.83
上側	3.13	3.13	3.13	3.13
下側	3.13	3.13	3.06	3.11

十分な付着強度を有しており、現時点において、経年や水分等の影響による付着力低下は見られないと言える。なお、施工当初よりも大きい値となったのは、施工後に接着剤の硬化反応が進んだためと思われる。また、写真-14 に示すように、今回の調査において検出したシートの浮き面積は、露出した全シート面積に対して極めて小さいことから、耐震補強効果への影響はほとんどないものと考えられる。したがって、この橋脚においては、抜本的な補強対策等の必要はないと考える。しかしながら、保護材への水分供給が今後も続くことによってシートが変状する可能性もあることから、水分供給を遮断する等の対策は必要である。

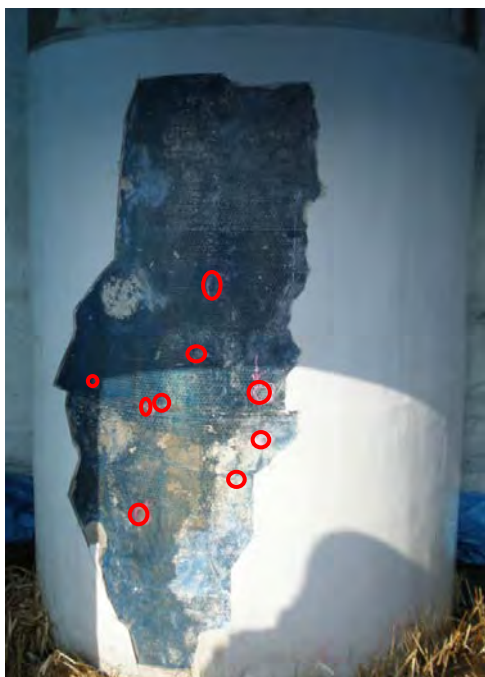


写真-14 シートの浮き

4. まとめ

本調査で得られた結果は、以下の通りである。

- (1) 現地調査の結果、全体の約2割の繊維シート接着工法に何らかの変状を確認した。
- (2) 事例調査の橋脚において、保護材のひび割れと浮きが広範囲に拡大した原因は、保護材とシートとの間に浸入した融雪水等の凍結融解作用によるものと考えられる。

Isao Naitoh, Fumio Taguchi, Yoshinori Nonomura

- (3) シートの浮き等の変状はシートの継ぎ手部に多く、接着剤の含浸不足による接着不良、もしくは空気溜まりの除去不足が原因であると考えられる。
- (4) サーモグラフィ調査は、シート工法の変状調査及び施工管理に非常に有効な手法である。

今後更に、シート工法の他の事例調査を行い、浮きの発生原因と長期的な変状の可能性について検討を行うとともに、室内実験による変状原因の究明や劣化機構の整理、変状を防止するための対策や変状に対する対処方法などについて研究を進め、積雪寒冷地に適した設計施工法、予防対策や変状に即した対策手法の提案などを行っていく予定である。

最後に、今回の調査にあたり、前耐寒材料チーム研究員の安達優氏（現愛知県尾張旭市役所）、及び国土交通省北海道開発局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) 土木学会：表面保護工法設計施工指針(案) [工種別マニュアル編]，コンクリートライブラリー119，2005.4
- 2) 日本コンクリート工学協会：コンクリート診断技術'02 [基礎編]，p.190，2002.1
- 3) 高羅信彦，魚本健人：サーモグラフィ法によるコンクリート構造物の検査手法の開発，東京大学生産技術研究所生産研究54巻3号，p.242-245，2002
- 4) 財団法人土木研究センター：コンクリート構造物のはく落防止用赤外線サーモグラフィによる変状調査マニュアル，2005.3
- 5) 合田裕一，田口史雄，遠藤裕丈，榊茂樹：苛酷環境下におけるコンクリートと無溶剤型ウレタン防水材料との付着性能，コンクリート工学年次論文集，第24巻，No.1，pp.747-752，2002.6
- 6) 土木学会：連続繊維シートを用いたコンクリート構造物の補修補強指針，コンクリートライブラリー101，2000.7
- 7) 土木研究所，炭素繊維補修・補強工法技術研究会：コンクリート部材の補修・補強に関する共同研究報告書(Ⅲ)－炭素繊維シート接着工法による道路橋コンクリート部材の補修・補強に関する設計・施工指針(案)一，1999.12