

老朽化した橋やトンネルのコンクリート剥落防止技術 「ネットキーパー工法」

椎名 貴快¹

¹西松建設株式会社 技術研究所土木技術グループ

近年、老朽化した橋やトンネルなどの構造物におけるコンクリート片の剥落事案が多く報告されており、予防保全の観点から、剥落対策技術に対するニーズが高まっている。ネットキーパー工法は、コンクリート表面に繊維シートを接着剤で貼り付けて被覆することで、コンクリートの剥落を未然に防止する技術（繊維シート接着工法）である。従来同等品に比べて、材料の特性を改善し、実際の施工環境を想定した材料開発を行った。例えば、河川上の橋梁や湧水の多いトンネルなど、湿度が高くコンクリート内部の水分率が高い（飽水状態に近い）施工条件でも、所要の品質と施工性を確保することができる。

キーワード：コンクリート、剥落防止、繊維シート接着工法

1. はじめに

現在、国内にある道路構造物の内、橋梁は約70万橋、トンネルは約1万本あるとされ、特に、高度経済成長期に整備されたものの一部では劣化の進行が顕在化しているものもあり、効率的な維持管理と老朽化対策が急務である。このような現況を受けて、国は2014年7月から、全ての道路管理者に対して、道路施設の定期点検を5年に1回行うことを義務化し¹、試行からすでに2年が経過した。

全国で本格的な点検・調査が実施されていく中で、緊急または早期に更新や補修・修繕等の措置が求められるものが多数存在していることがわかり、その大半が市区町村の管理する構造物に含まれているとの報告もある。今後、これらの老朽化対策に優先的に財政支援が投じられるものと予想されるが、特に、事故が起こると大きな被害が出るリスクの高い緊急輸送道路上に架かる跨道橋への対応が急がれる。

劣化の進行した橋梁やトンネルで起こり得る第三者災害（公衆災害）の1つに、コンクリート片の落下による接触事故が挙げられる。小さなコンクリート片が剥落し、人や車両等に接触しただけでも、その被害は人命にかかわる重大なものとなる場合がある。このため、コンクリート片の剥落対策は、対症療法的な補修ではなく、より確実な方法で対策を講じることが望ましいと考える。

そこで著者らは、コンクリート片の剥落対策工法として、繊維シート接着工法に着目し、新たに「ネットキー

パー工法」を開発した。本工法は、従来よりも施工品質の改善に重点をおき、材料の改良を行った。本書では、同工法の概要について説明する。

2. ネットキーパー工法

(1) 工法概要

本工法は、コンクリートへの浸透・付着性を高めた無溶剤型エポキシ樹脂系のプライマーと接着剤を使用し、接着剤との親和性を高める特殊表面処理を施したポリプロピレン製3軸繊維メッシュシートをコンクリート表面に貼り付けて一体化し、コンクリート片の剥落を確実に防止する技術（繊維シート接着工法）である（図-1）。

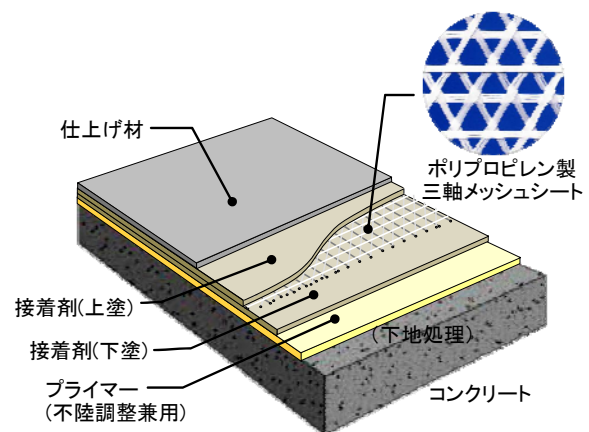


図-1 工法概要図

表-1 材料仕様（一般構造物用，トンネル覆工用）

工程	使用材料	標準使用量(kg/m ²)	
		一般構造物用	トンネル覆工用
プライマー塗布	無溶剤型エポキシ樹脂(二液混合)	0.15	0.10
接着剤(下塗)塗布	無溶剤型ポキシ樹脂(二液混合)	0.70	0.50
繊維シート貼付	ポリプロピレン製3軸繊維メッシュシート	—	—
接着剤(上塗)塗布	無溶剤系エポキシ樹脂(二液混合)	0.50	0.40
仕上げ材塗布	溶剤系アクリルウレタン樹脂(二液混合)	0.20	—
	シリコン樹脂バインダー水性無機質系(一液)	—	0.20

(2) 材料仕様

本工法は，一般構造物用（橋梁，ボックスカルバート等）とトンネル覆工用の2種類の製品がある．表-1と写真-1に，それぞれの材料仕様を示す．

(3) 施工手順

図-2に施工手順を示す．コンクリート表面の下地処理をした後，プライマーをローラーや刷毛等で塗布する．プライマー硬化後，下塗りの接着剤をコテ等で塗布し，繊維シートを一緒に貼り付ける．接着剤の乾燥具合を指触確認した後，上塗りの接着剤を塗布し，最後に仕上げ材を1層で塗布して完了となる．施工日数は約2～3日（標準）であるが，経年劣化等でコンクリート表面の不陸が大きい場合には，別途，不陸調整工を必要とする．

(4) 適用対象となる構造物・部位

道路や鉄道等の高架橋や跨道橋・跨線橋における床版や地覆及び桁，ボックスカルバートや共同溝，地下通路等における頂版や側壁，擁壁，橋台の堅壁，トンネル覆工の天端部等が適用対象となる（図-3）．なお，外力による変形やひび割れの発生等が生じる恐れのある箇所は，日常点検を行っていても，変状が急速に進展してコンクリートの剥離・剥落が突発的に引き起こされる可能性があるため，本工法は当該箇所にも有効である．

(5) 材料の改良

a) プライマー

従来の市販同等品に比べて，低粘度・高浸透性のプライマーを開発し，コンクリートへの浸透力が20%以上増加している．例えば，0.2mm幅のひび割れ界面への浸透深さは，従来品が30～35mmに対して，本材は40mm以上を有している．これにより，コンクリート表層に強固な下地層を作り上げることができ，接着剤との一体化により，良好な剥落抵抗性の発揮に寄与する（写真-2）．

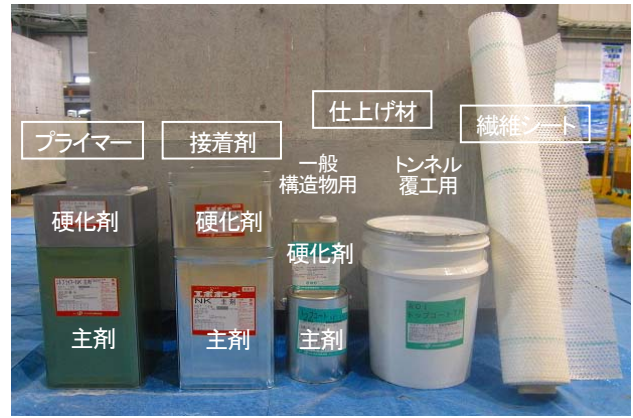
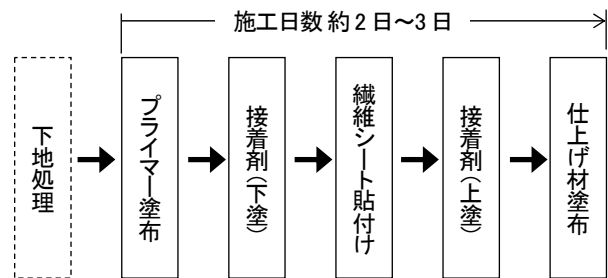


写真-1 材料荷姿例



※ 下地の状況により、別途、不陸調整工が必要
 ※ 断面修復工やひび割れ補修工は別途実施

図-2 施工手順

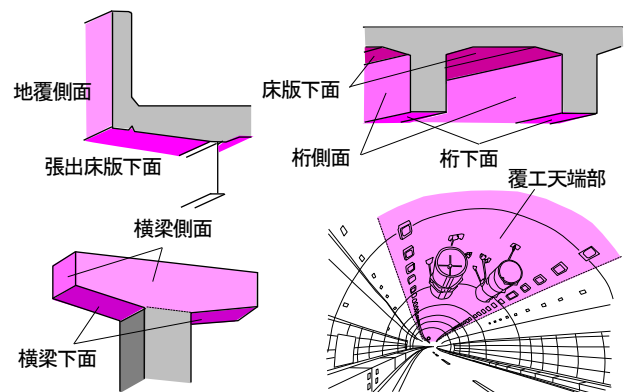


図-3 適用対象となる構造物・部位の例



写真-2 プライマー塗布作業の状況

b) 接着剤

本工法の接着剤は、施工可能温度が5～40℃で、夏冬関係なく、1年間を通じて同じ材料で施工することが可能である（写真-3）。また、このような通年タイプの従来同等品では、特に、気温の高い夏場の施工時に、接着剤の粘度がすぐに高くなって施工しにくいとの専門者の意見があった。そこで、接着剤の配合調整を行い、気温の高い施工条件でも、従来品に比べて、施工可使時間を2割程度延長できるように改良した。

c) PP繊維メッシュシート

PP繊維メッシュシートの製造方法として、PP（ポリプロピレン）繊維とPE（ポリエチレン）樹脂を高温・高倍率延伸処理することで、繊維シートの厚さを従来のPP繊維よりも30%程度薄くすることができた。また、シート表面に特殊な表面改質処理を施しており、PP繊維と接着剤との親和性が増大し、剥落防止性能のさらなる向上を期待できる。

写真-4は、2軸のPVA（ビニロン）繊維メッシュシートと本工法で使用している3軸のPP繊維メッシュシートをそれぞれ使用した時の、繊維と接着剤（下塗）との馴染み具合を観察した結果である。試験の結果、PVA繊維メッシュシートは、シート自体がやや厚くて硬いため、接着剤との馴染みが劣り、接着剤を多量に必要とした。一方、PP繊維メッシュシートは、薄くて柔らかいため、接着剤との一体性が良好で、接着剤も少量で済んだ。

d) 仕上げ材

仕上げ材は、塗装回数1回で完了できるように適度な粘度調整をおこなった。これにより、従来工法（2回仕上げ）よりも1工程短縮できた。

(6) 工法の主な特長

a) 施工環境・条件

一般的に、施工するコンクリート面が乾燥した状態ほど、塗布したプライマーは毛細管現象によって浸透性が増し、その後に塗布する接着剤の付着力も高くなる。しかし、実際には様々な施工条件に遭遇し、施工品質を確保することが困難な状況もある。例えば、河川の上にかかる橋梁や湧水の多いトンネルなどでは、湿度の影響でコンクリート表面は水分率が高く湿っており、一部では結露水が付着したような極めて厳しい施工条件になる場合もある。

本工法では、コンクリート表面が結露するような高い湿潤環境（飽水状態に近い）でも施工することができる。ただし、結露水は拭き取って施工することを推奨している。なお、結露水を拭き取らずに施工した場合、品質のばらつきが大きくなり、所要の剥落防止性能を得られない場合もあるため、注意が必要である。

b) 剥落防止性能

環境温度が、-30℃（極寒）、23℃（一般）、50℃（極暑）の3ケースにおける剥落防止性能を押抜き試験（JSCE-K533



写真-3 接着剤の塗布作業の状況

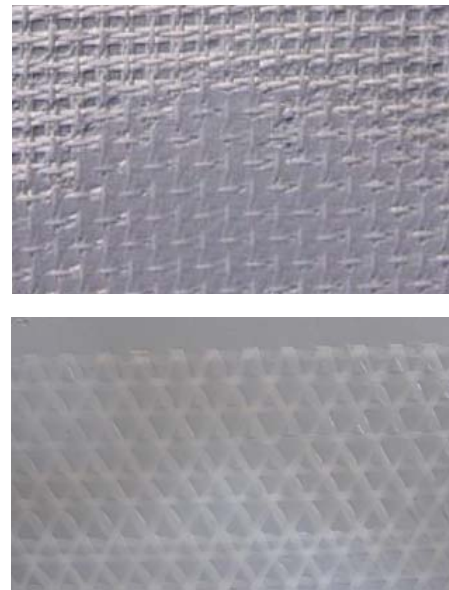


写真-4 繊維シートと接着剤（下塗）との馴染み具合の観察
（上：PVA繊維，下：PP繊維）

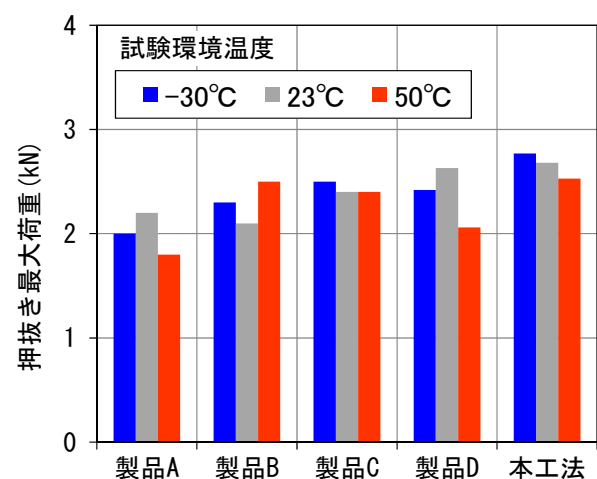


図-4 押抜き試験結果の比較

）で確認した。図-4に、従来同等品との比較試験結果を示す。同図より、本工法は、従来同等品と比較して、剥落防止性能が平均上位に位置していることがわかる。



写真5 延焼性試験の状況



写真6 跨道橋補修工事の状況

c) トンネル内での延焼防止・自己消火性

トンネル坑内で不測の火災が発生した場合の耐火性能を実験で検証した。試験は、延焼性試験（延焼性，自己消火性：NEXCO試験法738）及びガス有害性試験（建築基準法）の2試験である。試験の結果，両試験ともに所定の基準を満足する結果を得られ，耐火性を有していることが確認された。



写真7 繊維シート貼付工

3. 適用事例

千葉県内の国道上を横断する民間保有の跨道橋補修工事（写真6）において，コンクリート床版下面（中央部，張出部）や地覆側面の約200m²に対して，コンクリートの剥落対策として，ネットキーパー工法を適用した。本工事は，2014年7月に施行された定期点検要領に基づく近接目視点検の結果，実施された補修工事である。

同橋は，供用から数十年が経過し，一部でひび割れやかぶりコンクリートの脱落等の劣化箇所が確認されたものの，コンクリート自体の耐久性性能は比較的健全な状態であった。しかし，橋下を通行する車両や歩行者に対する安全性確保の観点から，剥落対策工が実施された。

工事期間中の日平均気温は，約3～9℃の冬期施工で，国道上のため道路占用期間の限られた工程であった。また，風雨による摩耗の影響で粗骨材が露出した箇所が多く，国道を走行する車両の排ガスによる汚れなど，剥落対策工を行う前の処理（下地処理）に時間を要したが，計画した工程内で施工を完了することができ，また本工法の施工性を検証することができた（写真7～写真9）。



写真8 施工完了（床版下面）



写真9 施工完了（張出床版下面，地覆側面）

謝辞：本工法の開発及び施工にあたり，材料や技術面でご協力を頂いたアオイ化学工業(株)殿及び宇部エクシモ(株)殿に心より謝意を表します。

参考文献

1) 国土交通省：「定期点検要領」の策定について，2014年6月25日報道発表資料より

- 2) 例えば，東日本・中日本・西日本高速道路(株)：構造物施工管理要領，平成27年7月
- 3) 例えば，東日本・中日本・西日本高速道路(株)：トンネル施工管理要領，平成27年7月