

コンクリート剥落防止技術「ネットキーパー工法[®]」の開発 Development of “Net-keeper method” for preventing a spalling of cover concrete pieces from concrete structures

椎名 貴快* 西見 宣俊**
Takayoshi Shiina Nobutoshi Nishimi
藤波 亘*** 盛重 知也****
Takeshi Fujinami Tomoya Morishige

要 約

近年、老朽化した橋やトンネルなどでコンクリート片の剥落事故が増えており、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。当社とアオイ化学工業(株)が共同開発した「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し、コンクリートの剥落を未然に防止する連続繊維シート接着工法に分類される。本工法の開発では、実際の施工環境を想定した材料特性の改善を目指し、例えば、河川上の橋梁や湧水の多いトンネルなど、施工環境の湿度が比較的高く、コンクリートの含水率が高い（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できることを目標とした。本稿では技術の概要および施工事例を紹介する。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. ネットキーパー工法
- § 3. 施工事例
- § 4. まとめ

§ 1. はじめに

平成 24 年（2012 年）12 月に発生した中央自動車道上り線笹子トンネル内での天井板落下事故を契機に、国や地方公共団体、高速道路各社らはインフラの戦略的な維持管理の取り組みを推進している。平成 25 年（2013 年）6 月には道路法等が一部改正され、翌年（2014 年）の 7 月からは、すべての道路管理者に対して、国が定める統一的な基準により、道路施設（橋梁、トンネルおよび道路附属物等）の定期点検（近接目視）を 5 年に 1 度の頻度で行うことが義務化¹⁾され、試行からすでに 3 年近くが経過した。

現在、国内にある道路構造物の内、橋梁（2 m 以上）は約 73 万橋、トンネルは約 1 万本あり（図-1）、この内の多くを都道府県・政令市や市区町村が管理している。また建設後 50 年を経過した割合（建設年度不明は除く）

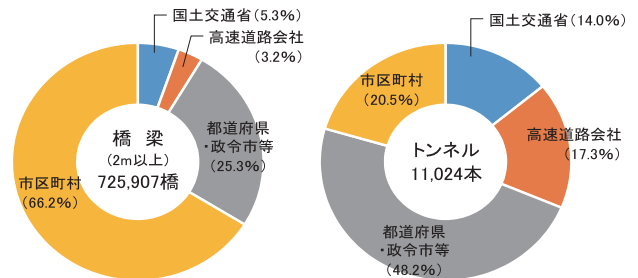


図-1 橋梁とトンネルの管理施設数と管理者比率

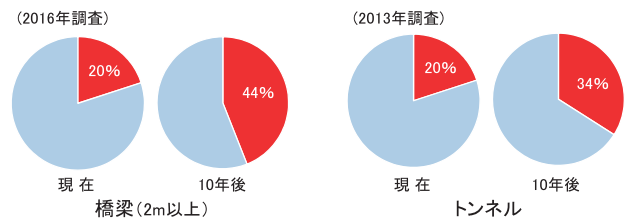


図-2 建設後 50 年経過した管理施設率

(図-2)は、現在、橋梁が 20%（2016 年時点²⁾、トンネルも 20%（2013 年時点³⁾であるが、10 年後には現在の 2.2～1.7 倍に達するとの統計データがあり、急速に高齢化が進行し、今後も急加速する予測である。

全国で本格的な点検・調査が実施されている中で、点検実施の途中経過をまとめた「平成 27 年度道路メンテナンス年報」（平成 28 年 9 月公表²⁾によると、平成 28 年 3 月（調査開始後 2 年）時点で点検が完了した割合は、橋梁が 28%、トンネルが 29%で概ね計画通り進行しているが、緊急または早期に更新や補修・修繕等の

* 技術研究所土木技術グループ
** 土木設計部設計三課
*** 土木設計部
**** 土木部

措置が求められるものが多数存在していることがわかってきた。また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報告されている。今後、これらの老朽化対策に優先的に財政投資や支援が行われるものと予想されるが、特に、緊急輸送道路を跨ぐ跨道橋や緊急輸送道路を構成する橋梁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て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可能性がある。このため、コンクリート片の剥落対策は、単に落下防止ネットをコンクリート面に張っただけの対症的な補修ではなく、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の連続繊維シート接着工法に着目し、「ネットキーパー工法」をアオイ化学工業(株)（広島県安佐南区）と共同で開発した。本工法は、従来同種技術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。本稿では、同工法の概要について説明する。

§2. ネットキーパー工法

2-1 工法概要

本工法は、従来よりも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（PP）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-3）。最近ではビニロン（PVA）繊維を用いた同種工法が多く実用化されているが、ビニロン繊維は他の繊維よりも剛性が高く、押抜き性能の確保に優れているが、低温環境下では脆性的に引張破壊する傾向があるため、本工法では低温環境でも安定した性能を得られ、かつ安価なポリプロピレン繊維を選定した。

2-2 材料仕様

本工法は、屋外で紫外線や風雨等に直接曝されても高い耐久性を保持できる「一般構造物用」（橋梁、ボックスカルバート等）と、トンネル坑内での仕様に合わせた「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と荷姿例を示す。一般構造物用とトンネル覆工用では、表面の仕上げ材以外はすべて同じ成分の材料を使用しており、一般構造物用の方がやや使用量が多いのが特徴である。

2-3 施工手順

図-4に施工手順を示す。施工前の準備工として、コンクリート表面の下地処理（ひび割れ注入工、断面修

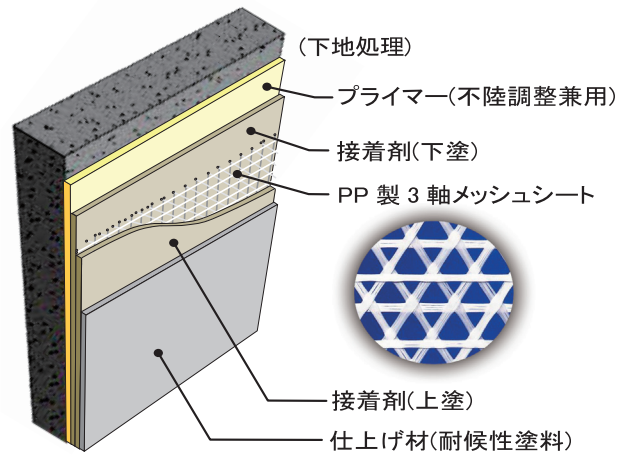


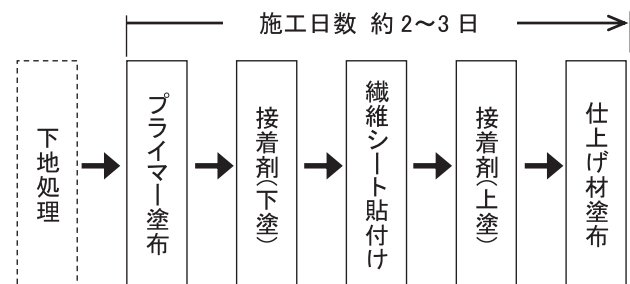
図-3 ネットキーパー工法 概略図

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)		施工方法
		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	ローラー 刷毛
接着剤(下塗)塗布	無溶剤型エポキシ樹脂(二液混合)	0.70	0.50	コテ ヘラ
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	コテ ヘラ
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	—	ローラー 刷毛
	シリコン樹脂バインダー 水性無機質系(一液)	—	0.20	



写真-1 材料の荷姿例



※ 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-4 施工手順

復工、ケレン工等）（写真-2）によって平滑化した後、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、下塗り用の接着剤をコテやヘラで塗り、さらに繊維シートを接着剤に押し込みながら一体化させる。次に、接着剤表面の乾燥具合を指触で確認した後、上塗り用の接着剤を塗布し、硬化後、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。なお、施工するコンクリート面の劣化進行が顕著な場合、例えば、雨水や風雨等によって摩耗が進行して骨材が表面に露出しているなど不陸が大きい時がある。この場合、プライマーのみでは不陸調整が困難で、接着剤の施工ロス率も大きくなるため、別途、不陸調整工を講じるものとする。



写真-2 コンクリート表面の下地処理例
(左：研削前、右：カップホイール研削後)

2-4 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および桁、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、橋台の縦壁、トンネル覆工の天端部等が適用対象となる（図-5）。

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の発生を予測することは難しい。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もあるため、当該箇所には本工法の適用が有効である。なお、本工法は、東・中・西日本高速道路株式会社のはく落防止対策工の規定に適合しており、一般構造物用は構造物施工管理要領⁴⁾に、トンネル覆工用はトンネル施工管理要領⁵⁾に準じている。

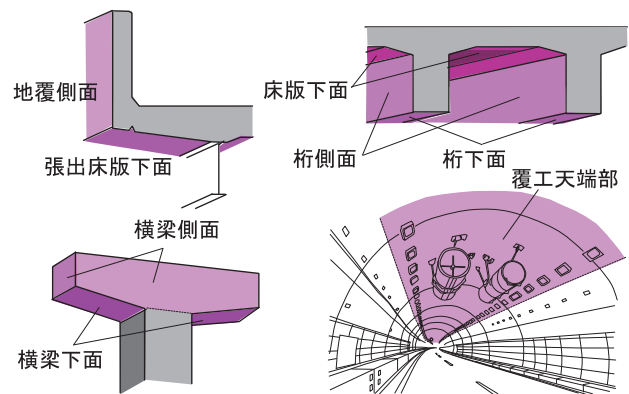


図-5 適用構造物・部位

2-5 材料の改良

(1) 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たことで、コンクリートへの浸透力が20%以上増加している。試験法 JHS426（ひび割れ含浸材料の試験方法）に準じて、0.2 mm 幅のひび割れに一面からプライマーを塗布して浸透深さを確認した（写真-3、表-2）。試験の結果、従来品で30～35 mm に対して、本材は40 mm 以上を有していた。また曲げ強度は、母材で6.19 N/mm² に対して、プライマーのひび割れ含浸効果によって3.19 N/mm² (≧2.0 N/mm²) となり、曲げ強度の保持率は0.52となった。以上より、本プライマーの使用により、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と考える。

(2) 接着剤

接着剤の施工可能温度は5～40℃で、夏冬関係なく1年間を通じて同材料で施工が可能である。また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、接着剤の粘度が急速に高くなって施工しにくいとの専門家の意見があった。そこで接着剤の配合調整を行い、気

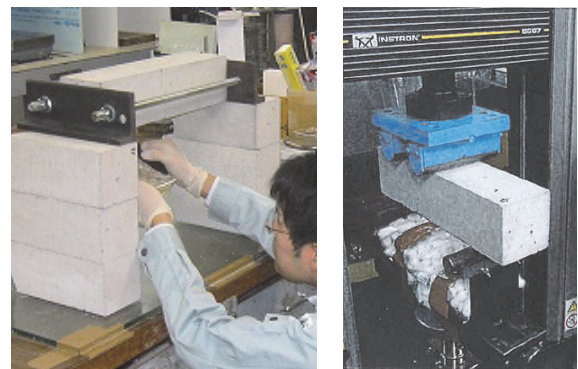


写真-3 プライマー塗布作業と曲げ試験の状況

表-2 プライマー浸透深さと曲げ強度試験結果

	含浸深さ (mm)	曲げ強度 (N/mm ²)	備考
塗布前	—	6.19 (1.00)	母材の曲げ試験時
塗布後	430	3.19 (0.52)	プライマー塗布後に曲げ試験

試験体5体の内、最大と最小を除いた3体平均

温の高い施工条件でも、従来品に比べて、施工可使用時間を2割程度延長できるように改良した。

(3) PP製3軸繊維メッシュシート

PP製3軸繊維メッシュシートは、PP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(コロナ放電処理)を施したことで、PP繊維と接着剤との親和性が増大して一体性が増し、剥落防止性能のさらなる向上を期待できる。

写真-4は、PVA繊維の2軸メッシュシートと、本工法で使用しているPP繊維の3軸メッシュシートをそれぞれ用いた時の、各繊維とエポキシ樹脂系接着剤(下塗)とのコテ押さえによる一体性(馴染み具合)を観察した結果である。試験の結果、PVA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やや劣り、接着剤を多量に必要とした。一方、PP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。

(4) 仕上げ材

仕上げ材の塗布回数は、従来2回行う製品もあったが、本工法では塗装回数1回で完了できるように適度な粘度調整をおこなった。これによって1工程短縮できた。

2-6 工法の主な特長

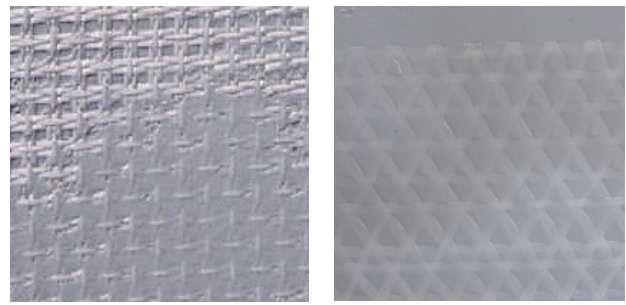
(1) 施工環境・条件

プライマーは、コンクリート面が乾燥した状態ほど毛細管現象によって浸透性が増し、次工程で塗布する接着剤の付着力も高くなる。しかし、現場で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、時として環境湿度の影響でコンクリート表層部は含水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。

そこで、コンクリートの含水状態の違いが材料(プライマー+接着剤)の付着強度に与える影響を確認するため、含水状態を、(i)乾燥状態、(ii)湿潤状態(飽水)、(iii)結露付着状態の3条件として、付着強度試験を行った。ここで、(ii)湿潤状態の試験体は、塗布作業の前に、あらかじめ24時間水に浸漬して飽水状態とし、(iii)結露付着状態の試験体は、さらに霧吹きで表面に結露を模擬した浮水を与えた(写真-5)。図-6に、コンクリートとプライマー+接着剤との付着強度試験結果を示す。試験の結果、コンクリート表面の含水率が大きくなると付着強度は減少傾向を示しているが、含水率が極めて高い湿潤状態でも、所要の付着強度1.5 N/mm²以上を確保できた。なお、結露水を拭き取らずに施工した場合、施工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、本工法では結露水を拭き取って施工することを推奨することとした。

(2) 剥落防止性能

環境温度が異なっても所定の剥落防止性能が発揮されることを確認するため、室温が-30℃(極寒)、+23℃(一般)、+50℃(極暑)の条件下で押抜き試験を実施して剥落防止性能を確認した。試験の方法は、試験法JHS424(は



PVA 繊維 (2軸メッシュ) PP 繊維 (3軸メッシュ)

写真-4 繊維シートと接着剤との一体性

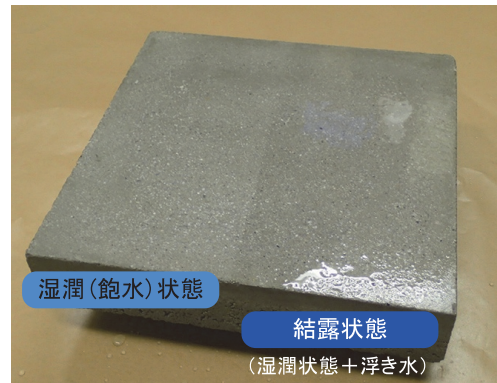


写真-5 試験体の含水状態

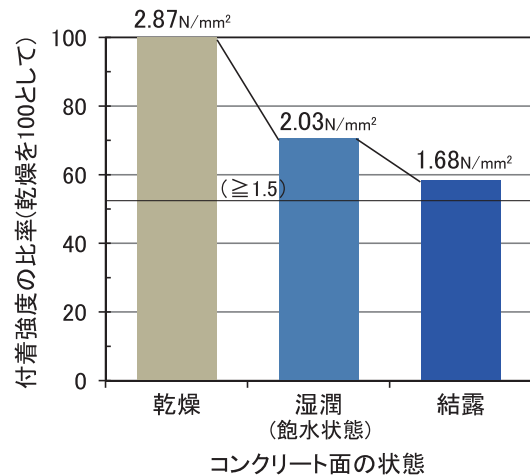


図-6 含水状態の違いが付着強度に与える影響

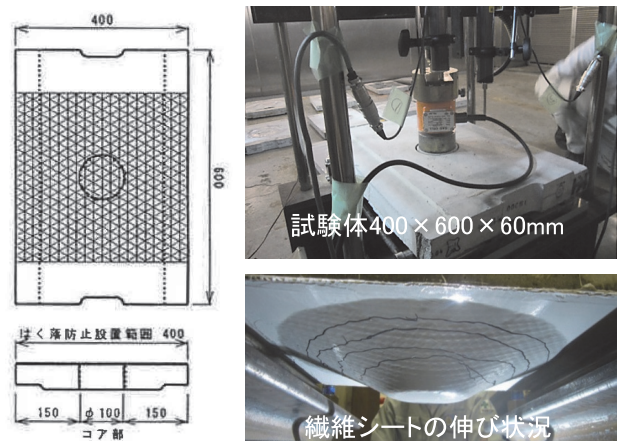


図-7 押抜き試験の概要

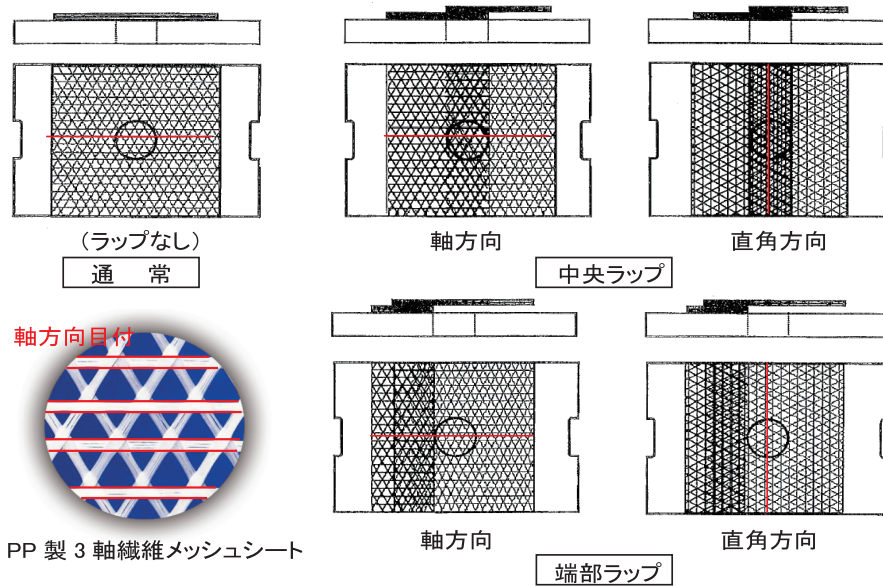


図-8 試験ケース

く落防止の押抜き試験方法) に準じて行った。試験体は、JIS A 5372 に規定する上ふた式 U 形側溝 (ふた) の I 種呼び名 300 (400 × 600 × 60 mm) を使用し、中央部に直径φ 100 mm のコア溝を裏面から深さ 55 ± 0.5 mm まで切り、表面に所定の方法で剥落対策工法を施工した後、裏面から油圧ジャッキでコア部を押し抜き、荷重と変位を測定して剥落防止性能を確認した (図-7)。ネットキーパー工法で使用する PP 製 3 軸繊維メッシュシートは、繊維の目付が 3 方向にあり、繊維メッシュシートの重ね合わせ (ラップ長 100 mm) の向きにより、ラップ部での繊維の目付量が異なる。そこで、ラップの向きの違いが押抜き性能に与える影響を確認するため、試験では図-8 に示した全 5 ケースを実施した。各ケースでの試験結果 (表-3) から、すべての試験ケースで試験基準 (最大荷重 1.50 kN 以上、変位: 10 mm 以上) を満足する結果を得られた。また、各温度環境で最大荷重が最小値となった条件を網掛け表示したが、この中で最も値が小さかったのは、温度 +50℃ の時の端部ラップ (直角方向) で、最大荷重は 2.53 kN であったが、同値は基準値の 1.69 倍あり、十分な安全率を有していた。図-9 に、各温度で最大荷重が最小となった時の値を、従来同等品と比較して示す。同図より、本工法は、剥落防止性能が従来同等品と比較して平均上位に位置していることがわかる。

(3) 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) およびガス有害性試験 (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。

表-3 押抜き試験結果

試験温度	種類	繊維シート の方向	最大荷重時 の変位 (mm)	最大荷重 (kN)
-30℃	通常	—	11.9	2.81
	中央ラップ	軸方向	15.1	3.63
		直角方向	15.2	3.75
	端部ラップ	軸方向	12.5	2.77
		直角方向	13.4	3.06
+23℃	通常	—	38.0	2.68
	中央ラップ	軸方向	43.4	3.69
		直角方向	46.2	3.81
	端部ラップ	軸方向	37.4	2.98
		直角方向	26.0	3.39
+50℃	通常	—	41.4	2.66
	中央ラップ	軸方向	51.0	2.99
		直角方向	51.4	3.64
	端部ラップ	軸方向	35.8	2.70
		直角方向	41.1	2.53

備考) 網掛け部が各温度での最大荷重の最小値

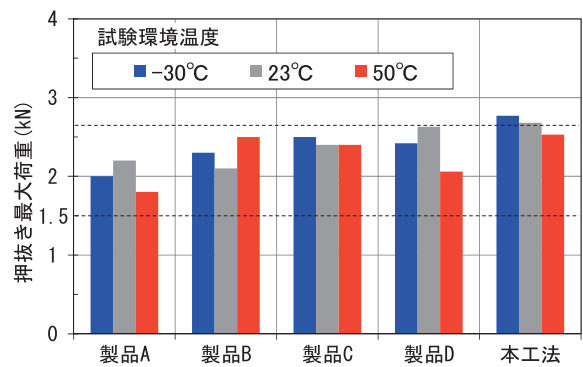


図-9 従来同等品との押抜き最大荷重の比較



写真-6 延焼性試験の状況

§3. 施工事例

3-1 概要

千葉県内の国道上に架かる跨道橋（I型鋼製桁橋、橋長32m、総幅員6m）（表-4）において、コンクリート床版下面（中央部、張出部）および地覆側面の約200m²にコンクリートの剥落対策工としてネットキーパー工法を適用した（図-10）。本工事は、2014年7月に施行された道路構造物の定期点検要領に基づく近接目視点検の結果を受けて実施された補修対策工である。

本橋は、供用から約40年が経過し、床版や地覆の一部等でひび割れの発生やかぶりコンクリートの剥落、鉄筋の露出等の劣化箇所が確認された。そこで必要な補修対策を講じた後、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（写真-7）。

3-2 施工状況

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。工事では、剥落対策工以外の工種（鋼製桁の防錆塗装工、橋面防水工等）と並行しながら実施した。

剥落対策工では、特に地覆側面部において、風雨による摩耗の影響で骨材が露出した箇所が多くみられ、さらに国道を走行する車両の排ガスによる汚れなどもあり、剥落対策工を行う前の処理（下地処理）に時間を要した。写真-8～写真-10に剥落対策工の施工状況を示す。床版下面はコンクリート面の摩耗が軽微であったため、施工は比較的やすかった。一方、地覆側面は、経年劣化による表面の凹凸もあり、プライマーや下塗り



写真-7 施工中の外観



写真-8 プライマー塗布工



写真-9 接着剤塗布工



写真-10 繊維シート貼付工

表-4 跨道橋の諸元

構造形式	I型鋼製桁橋
構造寸法	橋長 32,000mm, 支間長 31,200mm 総幅員 6,000mm, 車道幅員 5,000mm 地覆幅 500mm, 地覆高 250mm 主桁高 1,500mm, 主桁間隔 2,100mm

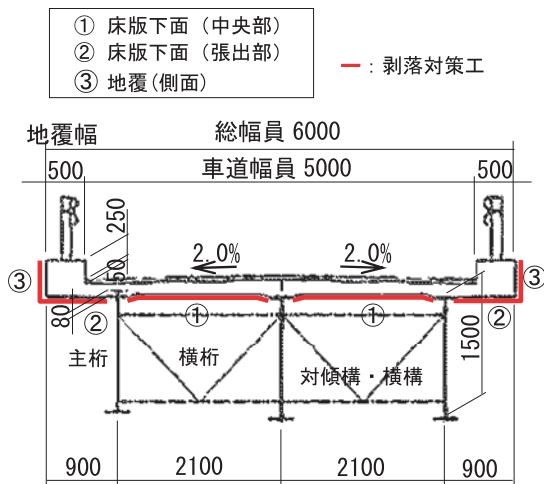


図-10 剥落対策工の適用箇所

用接着剤の使用量がやや多くなった。なお、施工自体は、計画した工程内で施工を完了することができた。

3-3 施工完了

写真-11 および写真-12 に、床版下面（中央部）および床版下面（張出部）と地覆側面における施工完了後の状況を示す。ネットキーパー工法を適用した箇所は、補修面が平滑で光沢のある仕上がりとなっている。

竣工前、床版下面や地覆側面などで現地付着強度試験を実施し、コンクリートと補修材との付着強度を確認した（写真-13）。試験の結果、床版下面での値は 3.03 N/mm^2 で、測定したすべての箇所でも 1.5 N/mm^2 以上を確保した。

施工完了から1年後、補修箇所の経過観察を現地にて実施した（写真-14）。調査の結果、表面仕上げ材の膨れや破れ等の損傷はなく、紫外線による退色もほとんど見られず、健全な状態を保持していることを確認した。

§4. まとめ

コンクリートの剥落対策工法「ネットキーパー工法」の開発および現場適用結果から得られた知見を以下にまとめて示す。

- (1) 開発したプライマーは、コンクリートへの浸透性が高く、コンクリート表層に強固な下地層を作ることが期待できる。
- (2) PP繊維メッシュシートは、一般的なPVA繊維のメッシュシートよりも薄く、接着剤との親和性を高める特殊な表面処理を施しているため、接着剤との一体性が良く、施工性も良好であった。
- (3) コンクリートの含水率が高い湿潤状態で施工しても、所定の付着強度を得ることができ、高湿潤環境での施工に有利である。
- (4) 剥落防止性能（押抜き性能）は、従来同等品と比べて、平均的に高い性能を得られた。
- (5) 現場調査の結果、補修完了から1年後も補修箇所は健全な状態を保持していた。

謝辞. 本技術の開発にあたり、多大なご協力を頂いたアオイ化学工業(株)殿の関係各位に心より謝意を表す。

参考文献

- 1) 道路法施行規則(昭和三十七年建設省令第二十五号) (平成26年3月31日公布)
- 2) 国土交通省道路局：道路メンテナンス年報(平成27年度), 2016年9月
- 3) http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/yobo1_1.pdf
- 4) 東・中・西日本高速道路株式会社：構造物施工管理要領(平成27年7月)「2-7はく落防止対策」
- 5) 東・中・西日本高速道路株式会社：トンネル施工



写真-11 施工完了（床版下面（中央部））



写真-12 施工完了（張出床版下面・地覆側面）



写真-13 現地付着強度試験の状況（床版下面）



写真-14 補修完了から1年後の状況

管理要領(平成27年7月)「10. 覆工のはく落対策 繊維接着系工法 小片はく落対策工(無筋区間)」