

報告

松島橋床版補修工事における 超緻密高強度繊維補強コンクリートの適用事例報告

植田健介*・三田村浩**・真鍋英規***・馬場弘毅****

*J-ティフコム施工協会技術委員（〒103-0027 東京都中央区日本橋 3-11-1）

**博(工), J-ティフコム施工協会技術委員長（〒001-0025 北海道札幌市北区北 25 条西 4-1-26）

***博(工), J-ティフコム施工協会技術委員会設計部会長（〒530-0047 大阪府大阪市北区西天満 1-2-5）

****J-ティフコム施工協会技術委員会施工部会長（〒329-0412 栃木県下野市柴 272）

松島橋は竣工後 55 年が経過した橋梁で、近隣の工場団地や発電所等を往来する大型車を含め交通量の多い路線のため床版の各部が損傷し、耐荷力の低下が認められる状況にあった。そこで、床版強度の向上と劣化因子の遮断を図ることを目的とし超緻密高強度繊維補強コンクリートを用いた工事が実施されている。以下にその工事の報告を行う。

キーワード：床版補修，超緻密高強度繊維補強コンクリート，工期短縮

1. はじめに

松島橋は、主要地方道舞鶴野原港高浜線の志楽川河口付近に架設された橋梁で、1962 年竣工の本線部と 1982 年竣工の左岸下流側バチ部及び歩道部で構成されている。本橋の一般図を図-1 に橋梁諸元を表-1 に示す。

本線部は供用後 55 年を経過し、橋面には舗装のひび割れ及びポットホール（写真-1）が確認され床

版下面には遊離石灰が生じている状態（写真-2）であった。これまで損傷部はその都度部分補修を実施してきた¹⁾が根本的な対策とはなっていなかった。このため今回の工事では比較的長期の供用に耐えることができるよう床版の全面補修を実施することとし、劣化因子の遮断ができかつ早期の交通解放が可能なことから超緻密高強度繊維補強コンクリートを採用して工事が行われた。

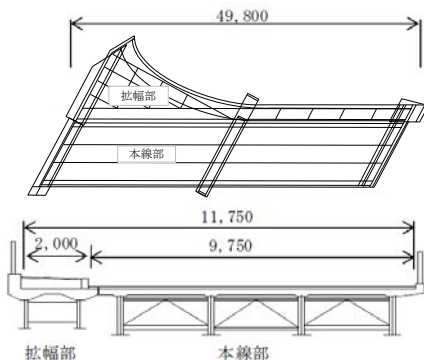


図-1 構造一般図

表-1 橋梁諸元

橋 梁 名	松島橋
路 線 名	舞鶴野原港高原線
交差条件	志楽川
橋 格	車道橋
橋 長	49.800m (支間長 L=24.125m×2連)
全 幅 員	12.4m (0.4+11.75+0.25)
有効幅員	11.75m
斜 角	62°00' 00"
上部工形式	本線 単純合成鉄桁 拡幅 A1-P1 単純非合成箱桁 P1-A2 単純合成鉄桁
下部工形式	重力式橋台、パイルベント橋台 パイルベント橋脚
適用示方書	本線 鋼道路橋の合成桁設計施工指針 (昭和34年) 拡幅 道路橋示方書(昭和55年)
竣工年度	本線：昭和37年 拡幅：昭和56年



写真-1 ポットホール



写真-2 床版下面の状況

2. 工法および材料の選定

本橋は重要度が高くかつ重交通の路線であることから本工事は10年以上にわたり補修効果を期待する恒久対策の位置付け²⁾とされた。事前に行われたコア採取による試験を含む調査および検討では、既設床版コンクリートに緊急性を有する致命的な変状は見うけられなかった。しかし平成24年道路橋示方書に基づいた照査では、コンクリート及び鉄筋双方が耐力不足となっており本工事では床版コンクリートの補修のみではなく床版の強度向上も考えられた。そこで幾つかの工法を比較検討し、床版上面2cmの打ち替えて死荷重の増加もなく床版の強度向上が期待でき、さらに防水層を必要としない超緻密高強度繊維補強コンクリートを用いた工法が採用された。

3. 補修材料

超緻密高強度繊維補強コンクリートは、専用ミックスセメント、補強用メゾ繊維、補強用マイクロ繊維、専用混和剤および水で構成され、補強用繊維を4.0vol.%以上を混入した超緻密かつ高強度で流動性と材料分離抵抗性に優れており、さらに粘

性に対する時間依存性を保持することで施工勾配の変化に対応できる高性能マトリックスを有する材料である。表-2に本工事で用いた仕様と補強用鋼製メゾ繊維および補強用鋼製マイクロ繊維を5.0vol.%以上を混入した超緻密高強度繊維補強コンクリートの特性値を示す。本材料は一般的なコンクリートの5倍以上の圧縮強度を有しており、引張強度も3倍程度の強度を有している。図-2は本材料の引張応力-ひずみ関係を示したもので、高い引張強度とともに降伏後も強度が上昇するひずみ硬化域と、ピーク後に急激な強度低下を起すことなくひずみが伸びるひずみ軟化域を有していることから一般的なコンクリートに比べエネルギー吸収能力が極めて高いことが分かる。この特性により本工事では考慮していないが本材料に引張力を分担させた設計も行うことができる。さらに本材料はその緻密性により水、炭酸ガス、塩化物イオン等の劣化因子を遮断するため、床版の耐久性を向上させる効果が期待できると共に防水層は必要としない。

また、図-3は同バッチで練混ぜされた本材料による材齢1日、3日、7日および28日の圧縮強度を示したもので、材齢1日で100N/mm²という高い強度特性を発現している。

表-2 超緻密高強度繊維補強コンクリートの特性値

項目	特性値	備考
圧縮強度(設計)	130 N/mm ² 以上	1日で高強度発現(基本材齢28日)
引張強度(設計)	9 N/mm ²	ひび割れ発生強度6 N/mm ² (材齢28日)
曲げ強度	35 N/mm ²	試験JIS A 1171(材齢28日)
ヤング係数	4.0 × 10 ⁴ N/mm ²	繊維混入率5vol.% (材齢28日)
フロー値	打設条件に適合する範囲	試験JIS R 5201 エルメルフロー
付着強度 [*]	2.7 N/mm ² 以上	試験JIS A 1171(材齢28日)
長さ変化率	収縮111 × 10 ⁻⁶	試験JIS A 6202(材齢28日)
塩化物イオン浸透深さ	0mm	試験JIS A 1171(材齢28日)
中性化深さ	0mm	試験JIS A 1171(材齢28日)
透気係数	0.001 × 10 ⁻¹⁶ m ² 以下	透気係数試験(トレント法)

^{*}付着強度はコンクリート母材での破壊

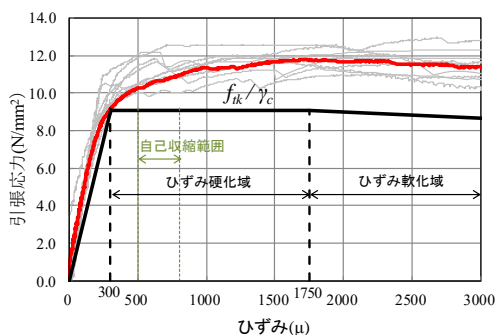


図-2 引張応力-ひずみ関係

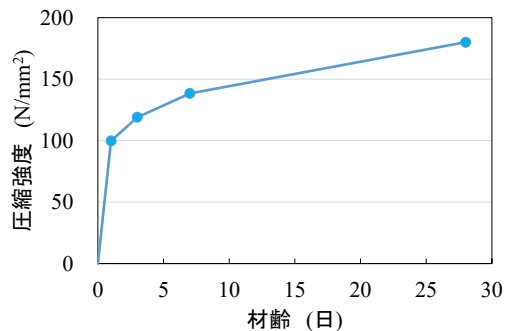


図-3 材齢による圧縮強度の発現例

4. 施工

4.1 補修方法

床版補修の作業フローを図-4 に示す。まず舗装切削機でアスファルト舗装 50mm 及び床版コンクリート 10mm を切削し、その後ウォータージェット（以下 WJ）で床版コンクリートをさらに 10mm はつり。ここで WJ を使用するのは既設床版コンクリートと超緻密高強度繊維補強コンクリートの付着性の向上と既設床版コンクリート表面のマイクロクラックや脆弱部の除去を目的としている。次に床版コンクリートの表面をはつりとした部分に超緻密高強度繊維補強コンクリート 20mm を専用の敷均し機を用いて打込み、平坦に仕上げをした後に珪砂を散布してビニールシートにより表面部を養生する。養生後、本材料の表面部にプライマー及び専用の接着剤を使用してアスファルト舗装（t=50mm）を舗装して作業は完了となる。

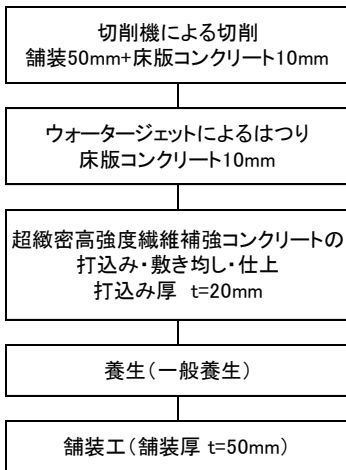


図-4 床版補修フロー

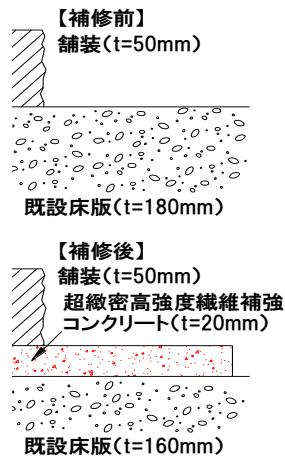


図-5 補修前後の断面

補修前後の断面構成を図-5 に示す。超緻密高強度繊維補強コンクリートの必要最小厚は 10mm 以上とし、打込み面の凹凸を考慮して施工厚は平均 20mm としている。

4.2 施工

本橋周辺は市街地であるため、騒音・振動に配慮して作業は日中とし、かつ近隣に火力発電所がある重交通路線であることから交通止めが不可能であった。そのため、路面を図-6 に示すように 4 つの区画に分割し車両の対面通行を常時確保しながら施工を実施した。施工工程を図-7 に示す。超緻密高強度繊維補強コンクリートは前述のように材齢 1 日で約 100N/mm² の強度発現が得られることから、超緻密高強度繊維補強コンクリートの施工翌日には交通解放し、次の区画の施工に移行することができるため最短 2 週間の交通規制で工事を完了することができた。

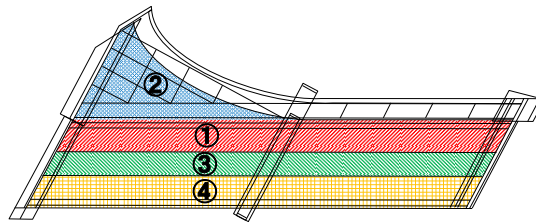


図-6 補修面の区画割

項目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	日	日	日	日	日	日	日	日	日	日	日	日	日	日	日	日	日	日
準備工				①-④														
路面切削 [①-④] (As舗装+床版Co上面切削)					①-②					③		④						
床版上面WJはつり工 [①-④]						①-②							④					
床版上面超緻密高強度繊維補強コンクリート練混ぜ・施工[①-④]																	①-④	
床版上面As舗装工・区画線 [①-④]											③							
片付け・撤収																		

図-7 施工工程

(1) 切削工およびWJ工

アスファルト舗装 50mm と床版コンクリート 10m の切削はアスファルト用切削機により施工した。本線部は大型の切削機を使用し、図-6 の②のバチ部は小型の切削機と手はつりにより実施した。特に WJ によるはつり作業では常時の交互交通車両を意識してはつりコンクリート片が飛散しないよう特段の注意と配慮が必要であった (写真-3)。

切削後の状況については、床版の抜け落ちなどの損傷は見られなかったが、床版コンクリートの一部が土砂化により脆弱化しているため、これらのはつり部分に表れた露出鉄筋には錆取りと防錆処理を施した。WJ によるはつり後の床版表面の状況を写真-4 に示す。

(2) 超緻密高強度繊維補強コンクリートの練混ぜと施工

超緻密高強度繊維補強コンクリートの練混ぜは現場近隣に専用ミキサー2台を設置して行った (写真-5)。本工事で使用したミキサーは 500ℓ の内容量であるが、セメント量が多い本材料では 250ℓ を 1 バッチの標準とした。

超緻密高強度繊維補強コンクリートの練混ぜ作業フローを図-8 に示す。1 回の練混ぜに使用する材料の計量を行った後、専用のミックスセメントと

補強用マイクロ繊維をミキサー内に投入して 2 分空練りを行う。次に水と専用混和剤を投入して 10 分程度本練りし、材料がフロー状に進展したことを確認したのち補強用メゾ繊維をミキシング状態で投入して、更に繊維が均等に混ざるまで攪拌したのちミキサーより専用運搬機に搬出し現場に運搬する。

超緻密高強度繊維補強コンクリートは、専用のミックスセメントと補強用繊維を配合設計に基づき適性に混入することで高強度を発現させる材料である。よって、超緻密高強度繊維補強コンクリートの管理は専用のミックスセメントと補強用繊維及び水等の単位体積 (m³) あたりの混入量を精度よく投入し、さらに練り上がり材料による圧縮強度で管理する。特に、超緻密高強度繊維補強コンクリートは水結合材比が限りなく小さいため、現場の練混ぜ環境 (温度・湿度) に影響を受けやすい。本工事では天候に恵まれ気温が 30℃ を超えており、施工開始時の最初の試験練りでミキシング時のフロー性状を調整して施工におけるワーカビリティの確保を行った。なお、フロー値と圧縮強度の関係については、図-9 に示す実験データよりフロー値が 150mm 以上 350mm 以下の範囲内では設計値を十分満足できることを確認している。



写真-3 WJ 作業状況



写真-4 WJ 後の床版面



写真-5 練混ぜプラント

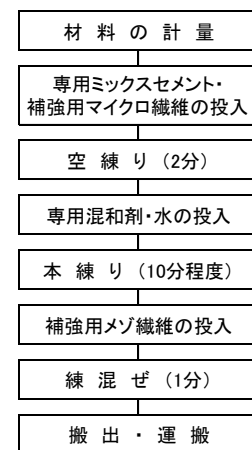


図-8 練混ぜフロー

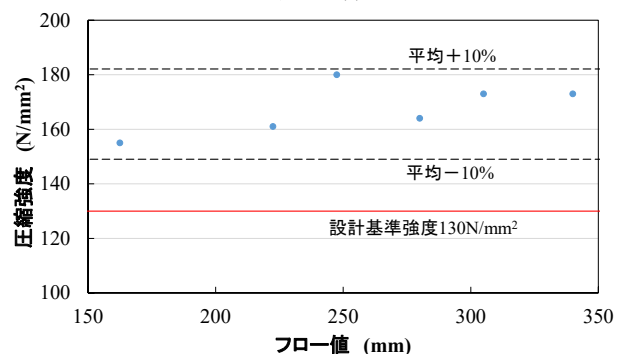


図-9 フロー値と圧縮強度の関係

本工事における超緻密高強度繊維補強コンクリートの標準配合例を表-3に、現場での管理結果を表-4に示す。

現場施工に先立ち、まず超緻密高強度繊維補強コンクリートと既設コンクリートの地覆部および伸縮装置前面の立ち上がり境界部には、図-10に示すような切れ込みを入れて端部境界からの水の侵入を遮断できる配慮を施した(写真-6)。

また、超緻密高強度繊維補強コンクリートの打ち継ぎとなる施工境界部には打ち継ぎ界面の一体性向上を目的としてワイヤーマッシュを配置している(写真-7)。

超緻密高強度繊維補強コンクリートの打込み面には事前に飽和状態に相当する散水養生を行う必要がある(写真-8)。これは、水結合材比の小さい超緻密高強度繊維補強コンクリートが充分水和反応できるように、つまり、既設側コンクリートへの水分の逸脱を防ぐことで付着破壊を生じさせなくするためである。

練り上がった超緻密高強度繊維補強コンクリートは速やかに現場まで運搬し施工面に打込んだのち高周波振動機を有する専用の敷均し機を使用して施工した(写真-9)。拡幅されたバチ部(図-6の②の区画)は人力敷均しを行った(写真-10)。

表-3 超緻密高強度繊維補強コンクリートの標準配合

設計強度 (N/mm ²)	水結合材比 (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
		専用 ミックスセメント	水	補強用鋼製 メゾ繊維	補強用鋼製 マイクロ繊維	専用混和剤
130以上	21	1750以上	250~300	190以上	190以上	25~35

表-4 超緻密高強度繊維補強コンクリートの管理結果

練混ぜ日	フロー値 (mm)	空気量 (%)	圧縮強度(φ 50×100)	
			材齢7日 (3本平均)	材齢28日 (3本平均)
1日目	245	3.1	144	162
2日目	240	3.3	144	168
3日目	245	3.3	153	172
4日目	215	2.8	143	173
平均	236	3.1	146	168.75



写真-7 打ち継ぎ部処理



写真-8 散水状況



写真-9 敷均し機施工

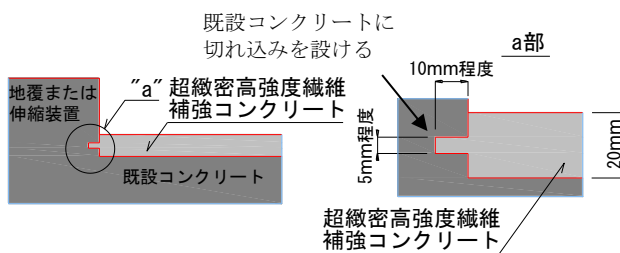


図-10 既設コンクリートとの境界部



写真-6 既設コンクリートの下処理



写真-10 人力による施工



写真-11 養生



写真-12 床版補修完了



写真-13 洗浄



写真-14 プライマー塗布



写真-15 接着剤塗布



写真-16 舗装工完了

打込んだ超緻密高強度繊維補強コンクリートの打設後の直表面はできるだけ散水養生を行わず振動により内部からの湿り気で速やかに左官コテ等により仕上げた。その後、珪砂を散布し乾燥による収縮ひび割れを防止するため十分な散水を行なって後ビニールシートによって保湿養生を行った（写真-11）。超緻密高強度繊維補強コンクリートの施工完了の状況を写真-12 に示す。

(3) 舗装

舗装工は全区画への超緻密高強度繊維補強コンクリートの施工が完了した翌日に実施した。表面部は一般交通を共用していたため超緻密高強度繊維補強コンクリートの直表面の塵埃等を WJ の低圧噴射によって表面洗浄（写真-13）を行った。超緻密高強度繊維補強コンクリートは水の浸透を遮断するためブロアーを用いると数分で乾燥が可能となる。その後専用プライマーと専用接着剤を塗布（写真-14、写真-15）したあと舗装を敷設し補修工事は完了した（写真-16）。

5. まとめ

竣工から 55 年が経過し床版の損傷が確認された松島橋に対し、短期間で交通を止めることなく、高いクオリティを有する材料を使用しての工事が完了した。本編では触れていないが床版の剛性や

たわみの改善効果も確認されている¹⁾。このような工法を用いることで、床版の打ち換えが必要な既設橋の負担減に少しでも役に立てることは本望である。但し、プラントヤードの確保、安定したマトリックスの保持、装置のコンパクト化およびコストの低廉化など多くの課題も有しており、検討事項が沢山あることも事実である。膨大な社会基盤の根幹にあるコンクリート構造物の劣化が進んでいる今日、荒廃するアメリカにならないように、一度の補修補強で、コンクリート構造物の長期耐久性を確保できる工法の確立が急務となっており、そのための材料の一助になれば幸いである。

今後は、超緻密高強度繊維補強コンクリートの構造自体が舗装として適用できることで、アスファルトの死荷重分を低減して、主桁や橋脚・基礎等の分担比を抑えた橋梁保全の寄与を目指していく予定である。

参考文献

- 1) 常岡：超緻密高強度繊維補強コンクリートによる床版補修工事について、近畿地方整備局研究発表会 論文集、イノベーション部門 I , No.08, 2018
- 2) 日本コンクリート工学協会：コンクリート診断技術 '17, 2017.2

(2018 年 7 月 20 日受付)