

高強度高靱性緻密モルタルを使用した 上面増厚工法の現場適用性検討

弓木 宏之¹・藤井 洋志¹・石田 学²・赤江 信哉³

¹正会員 日本道路株式会社 生産技術本部 技術研究所 (〒146-0095 東京都大田区多摩川2-11-20)

E-mail : hiroyuki.yumiki@nipponroad.co.jp

²正会員 太平洋マテリアル株式会社 営業本部 (〒141-0014 東京都北区田端6-1-1)

³正会員 太平洋マテリアル株式会社 開発研究所 (〒285-0802 千葉県佐倉市大作2-4-2)

RC床版は大型車両の通行による繰り返し疲労作用に加えて、凍結防止剤の使用により劣化因子が床版内部へ浸入するなど過酷な環境下にある。そのため、経年により水平ひび割れやRC床版上面付近の土砂化といった、経年劣化が生じることが明らかになってきており、その補修対策の一つとして、床版の上面増厚工法が実施されている。本検討では、床版にかかる死荷重の軽減と補強の両立を目的に、20mmの薄層施工が可能であり、かつ耐荷力性能・耐疲労性の向上が可能な高強度高靱性緻密モルタルの現場適用性について評価した。本文では、その内容について報告する。

Key Words : Bending Strength, RC Slab, Top surface thickening

1. はじめに

橋梁を始めとするコンクリート構造物の多くは、高度成長期に建設され、そのうち約50%が供用後50年を経過している。そのため、社会インフラの維持管理費削減は喫緊の課題となっており、劣化損傷が深刻化しているコンクリート構造物の戦略的な維持管理を行うために、高い耐久性が期待できる新素材・新工法を用いた補修・補強技術の工法が求められている。

今後、特に効果的かつ効率的な措置技術の確立が求められる一つがRC床版である。RC床版は、車両の輪荷重を直接支持するため、車両の繰り返し走行による疲労を原因とした損傷が報告されている。また、凍害や融雪剤の散布による塩害の複合劣化が生じ、床版上面のコンクリートが土砂化するなどの損傷を受けている。このような損傷を受けたRC床版の補強対策として、一般的に鋼繊維補強コンクリート（以下、SFRCとする）を用いたSFRC上面増厚工法が採用されている。SFRC上面増厚工法は、RC床版の耐荷力性能・耐疲労性の向上を目的とした工法である。しかし、SFRC上面増厚工法の増厚コンクリート最小厚は50mmが標準であることから、橋梁にかかる死荷重の増大が懸念される。また、縦断線形の変化に伴い、段差の対策工事が必要となるなどの課題がある。このような課題を解決する目的で最小施工厚20mm

の薄層施工が可能であり、SFRCの代替補強が可能な高強度高靱性緻密モルタル（以下、高強度モルタル）を開発した。本文では、実施工に向け既設床版を模したコンクリート版上に試験施工を行った結果について報告する。

2. 高強度高靱性緻密モルタルの概要

高強度モルタルの配合例を表1に、代表的な品質を表2に示す。高強度モルタルは、一般的なセメントモルタルと比較して水セメント比を大幅に低減した配合となっており、材齢3時間で圧縮強度24N/mm²以上を発現する超速硬性と、材齢28日で90N/mm²以上に達する超高強度を有している。また、細骨材と結合材比率を調整することで、長さ変化が小さく、自己収縮や乾燥収縮に起因するひび割れを抑制する配合としている。さらに、セメント硬化体が緻密に形成されるため、高い防水性と遮塩性を有している（写真1）。なお、本材料は、各種骨材・混和材・鋼繊維の最適配合により、薄層で施工可能なワーカビリティを実現している。

高強度モルタルは、RC床版の上面に施工するため、単体での強度に加えて、既設コンクリート版と一体となるための強固な接着が要求される。表2より、高強度モルタルとコンクリート版との接着強度は4N/mm²以上を示しており、高強度モルタルは、既設コンクリート版に対

して非常に高い接着性能を有していることがわかる。

表 1 高強度モルタルの配合例

単位量 (kg/m ³)			W/C (%)
パウダー	鋼繊維	水	
2,101	42	177	32.9

表 2 高強度モルタルの品質

試験項目	材齢	試験結果
フロー値 (mm) (15打)	-	175
単位容積質量 (kg/L)	-	2.32
凝結時間 (分) 始発	-	72
圧縮強度 (N/mm ²)	3時間	26.7
	1日	56.4
	7日	80.7
	28日	99.8
静弾性係数 (kN/mm ²)	28日	42.2
曲げ強度 (N/mm ²)	28日	15
曲げ靱性係数 (N/mm ²)	28日	5
付着強度 (N/mm ²)	28日	4.7
長さ変化 (μ)	28日	-374
塩化物浸透深さ (mm)	26W	3
凍結融解抵抗性 (%)	300サイクル	101.50%

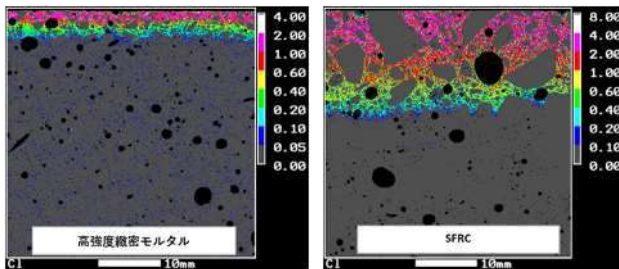


写真 1 塩化物イオンの浸透深さ

また、写真 2 に示す大型の供試体を用いた曲げ載荷試験の結果 (表 3) から、高強度モルタルを 20mm 増厚することで曲げ強度は 38~54%増加しており、薄層でありながら高い増厚効果が確認されている。



写真 2 大型供試体を用いた曲げ載荷試験

表 3 曲げ載荷試験結果

供試体床版厚	終局荷重 (kN)		
	補強前 (a)	高強度モルタル20mm厚補強後 (b)	補強効果(b/a)
220mm	189	260	1.38
200mm	158	232	1.47
180mm	124	191	1.54

2. 試験施工

通常の SFRC 上面増厚工は、専用のコンクリートフィニッシャーで敷きならし・締固めの施工を行うが、使用機械が大型となり施工編成が煩雑になる。また、専用のコンクリートフィニッシャーは特殊性が高く、調達が困難なことがあるため、施工にあたり様々な制限がかかる。今後、膨大な老朽化した RC 床版を効率的に修繕する必要性を考慮すると、簡易な施工で適切に品質を確保することが可能な工法の確立が求められる。以上のことを鑑み、高強度モルタルの上面増厚工法への適用性を検討するため、実施工に向け既設床版を模したコンクリート版上での試験施工を行った。

(1) 試験施工概要

試験施工の平面図を図 1 に示す。

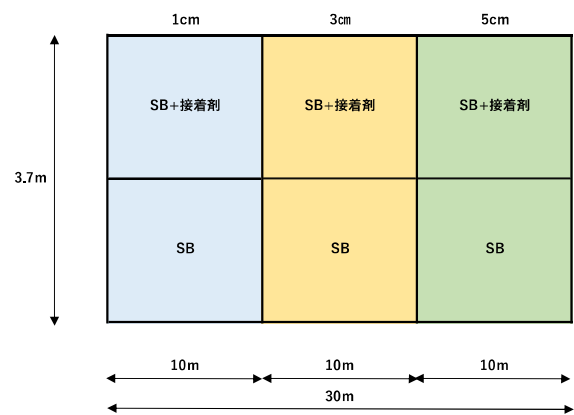


図 1 試験施工平面図

本検討では、施工機械の違いによる高強度モルタルの施工性ならびに品質への影響を確認するため、一般的な SFRC 上面増厚工法に使用している機械と簡易に施工できる簡易コンクリートフィニッシャー (トラス型ブリツスクリーン) を用い、試験施工を実施した。また、実現現場では、床版不陸の状態により施工厚さにムラがあり一定の厚みでの施工は難しい。そのため、実施工を想定して 10mm から 50mm の敷きならし厚さを設定して施工性の確認を行った。また、コンクリート版と高強度モルタルの接着性を確認するため、図 1 に示すとおり、下地コンクリート版上面の前処理条件を複数設定した。

(2) 試験施工

試験施工のフローを図2に示す。本試験施工では、既設 RC 床版の修繕を模擬しているため、コンクリート上面を切削した。また、切削後、既設 RC 床版と高強度モルタルの十分な一体性が得られるように、接着性に支障をきたす有害物質と脆弱層の除去を目的にショットブラスト工法（投射密度 150kg/m²）の施工を行った。なお、SFRC 上面増厚工法では、ショットブラスト工法による前処理が標準になっているものの、繰り返し作用するたわみなどの影響により既設床版の界面が早期に剥離し、雨水等の浸入を許すことで、RC 床版の破壊につながる事象も散見される。そのため、接着剤を塗布し既設 RC 版と一体化させ床版の疲労耐久性の向上を図っている場合もある。以上のことから、本試験施工では、下地条件の違いによる接着性を評価するために、コンクリート版上面をショットブラストのみの場合と接着剤の塗布を併用した場合で比較した。

準備	
切削工	
下地処理	
プライマ・接着剤塗布	
コンクリート製造	
運搬・打設	
運搬・敷均し・締め	
仕上げ	
養生	
完了	

図2 試験施工フロー

本試験施工では、コンクリートの製造時の制約条件や運搬ルート、施工面積等を勘案し、フレキシブルブルコンテナパックを用いた材料貯蔵と公称容量 0.5 m³のバッチ式二軸練りミキサを搭載する車両を組み合わせたシステムを採用し、高強度モルタルの製造を行った。なお、本システムにおける材料の練り混ぜ時間は、フロー試験により流動性を確認して3分とし、ミキサへの材料投入から排出まではおおよそ 10 分程度で完了することを確認した。また、製造した高強度モルタルは、ショベルローダによって運搬し、SFRC 増厚機と簡易コンクリートフィニッシャーにて敷きならしを行った。

各機械の振動機による十分な敷きならしおよび締めを行い、コテおよびトロウエルによる仕上げを行った。また、仕上げ後の養生は、シート養生とした。

高強度モルタルの打設は、0.3m/分程度の速度で施工が可能であった。また、施工開始からおおよそ 2.5 時間で総面積 111m²の仕上げまで完了した。なお、施工厚や使

用機械の違いによる施工性の違いは見られず、施工時のプラスチック収縮ひび割れや硬化後の収縮・温度ひび割れ等の欠陥は認められなかった。



写真1 コンクリートミキサ



写真2 高強度モルタル敷きならし状況

3. 試験施工後の評価

本試験施工における評価試験・調査項目を表4に示す。強度特性については、試験施工時に高強度モルタルの供試体をJIS A 1108に準拠して作製（寸法φ100×200mm）し、圧縮強度により評価した。また、付着性能および物質透過抵抗性については、試験施工箇所での測定とし、付着性能については、上面増厚層と既設コンクリート版の一体性を確認するため、建研式引張試験により評価した。一方、物質透過抵抗性については、透気試験機による表面透気係数により評価を行った。

表4 評価項目

調査項目		調査方法
強度特性	圧縮強度	JIS A 1108
付着性	引張付着試験	建研式
物質浸透抵抗性	表面透気係数	トレント法

(1) 強度特性

高強度モルタルの圧縮強度と材齢の関係を表5に示す。

材齢 3 時間で交通開放の目安とした 24N/mm² 以上の圧縮強度を満足した。なお、気中養生状態で材齢 28 日では、90N/mm² 以上の圧縮強度となり、高い強度特性を有することを確認した。

表 5 高強度モルタル強度特性

試験項目		SFRC増厚機	簡易フィニッシャ
モルタル温度 (°C)		20.4	23.5
フロー値 (mm)	1 5 打	136×1 3 5	146×143
圧縮強度 (N/mm ²)	3時間	—	24.0
	4時間	32.8	—
	1日	64.0	49.3
	7日	69.0	55.6
	28日	96.4	93.8

(2) 接着性

施工 24 時間後に、現地にて実施した引張試験の結果を表 6 に示す。引張付着試験は、打設面から既設コンクリート版に 10mm 程度の深さまで削孔し、建研式接着はく離試験機を用いて行った。強度のばらつきは見られるが、接着剤の有無にかかわらず 2.5N/mm² 以上の値を示しており、上面増厚工法で一般的に求められている 1.0N/mm² を大きく上回ることを確認した⁵⁾。

表 6 付着強度試験

使用機械	SFRC増厚機		簡易フィニッシャ	
	SB + 接着剤あり	SB	SB + 接着剤あり	SB
下地条件	SB + 接着剤あり	SB	SB + 接着剤あり	SB
付着力 (N/mm ²)	2.62	2.52	3.12	2.56
破壊箇所	母材コンクリート	母材コンクリート	母材コンクリート	母材コンクリート

(3) 物質透過性

施工 24 時間後に測定した表面透気試験の結果を表 7 に示す。表面透気試験の判定基準を表 8 に示す。表面透気係数は、トレント法により算出した。測定箇所は、5 段階の判定基準の中で最も高い「優」（表面透気係数：0.001~0.01×10⁻¹⁶m²）であった。この結果から、高い緻密性が確認され、直接的な評価ではないものの、物質透過抵抗性に優れることが期待できる⁶⁾。

表 8 表面透気試験結果

使用機械	SFRC増厚機	簡易フィニッシャ
表面透気係数：kT	0.002	0.005
判定	優	優

表 7 表面透気試験判定基準

判定	優	良	一般	劣	極劣
透気グレード	1	2	3	4	5
kT(10 ⁻¹⁶ m ²)	0.001 ~ 0.01	0.01 ~ 0.1	0.1 ~ 1	1 ~ 10	10 ~ 100

4. まとめ

高強度モルタルを用いた上面増厚工法の現場適用性を評価することを目的に試験施工を実施し、得られた知見は次のとおりである。

- ・フレキシブルコンテナパックに材料貯蔵した材料でバッチ式二軸練りミキサを使用して現場で高強度モルタルの製造が可能であった。
- ・10mm~50mm の厚みを汎用機械である簡易コンクリートフィニッシャで施工が可能であることが確認できた。
- ・施工時のプラスチック収縮ひび割れや硬化後の収縮ひび割れは認められなかった。
- ・既設コンクリート版との付着は、ショットブラストの場合と接着剤の塗布を併用した場合で差は見られない。
- ・交通開放強度の目安である圧縮強度 24N/mm² を材齢 3 時間で満足した。



写真 3 表面透気試験状況

参考文献

- 1) 石田学, 赤江信哉, 大垣賀津雄 他: RC 床版表面における薄層の高強度高靱性緻密モルタルの試験施工, 第 76 回土木学会年次講演会, 2021, 9
- 2) 大垣賀津雄, 鈴木仁士, 中島裕, 大久保藤和, 石田学, 広瀬剛, 豊田雄介: RC 床版表面における高強度緻密モルタルの適用に関する基礎実験研究, 第 10 回道路橋床版シンポジウム論文報告集 土木学会, 2018
- 3) 大垣, 関, 原田, 柴崎, 石田, 中島, 赤江: RC 床版表面における高強度緻密モルタルの適用に関する基礎的研究, 第 75 回土木学会年次学術講演会, 2020.9
- 4) 渡邊健也, 大垣賀津雄, PHAM NGOC VINH, 石田学, 赤江信哉: 劣化させた RC 床版の高強度緻密モルタルによる補強に関する実験的研究, 第 14 回複合・合成構造の活用に関するシンポジウム, 2021. 11
- 5) 財団法人 高速道路調査会: 上面増厚工法 設計施工マニュアル, 1995. 11
- 6) 氏家勲, 長瀧重義: コンクリートの透気性の定量評価に関する研究, 土木学会論文集 第 396 号/V-9, 1998. 8