

SFRCボンド補強工法 (鋼床版とコンクリート床版)



○伊藤 清志¹, 松下 憲生², 横引 功三³

¹鹿島道路株式会社 生産技術本部技術部 (〒112-8566 東京都文京区後楽1丁目7番27号)

²鹿島道路株式会社 中四国支店 営業部 (〒730-0037 広島県広島市中区中町6番13号)

³鹿島道路株式会社 中四国支店 技術試験所 (〒738-0001 広島県廿日市市佐方4-9-16)

SFRCボンド補強工法とは、既設床版とフレッシュコンクリートとの確実な一体化が図れるよう専用開発したエポキシ接着剤を用いる接着接合による補修・補強工法である。鋼床版に用いる場合には、鋼部材溶接部の疲労対策ならびに舗装の長寿命化として、コンクリート床版に用いる場合には既設コンクリート床版と増厚コンクリートの完全一体化による疲労に対する耐久性の向上や、水の影響に対する長寿命化や、遮塩性の向上が図れる。このように既設床版(鋼床版、コンクリート床版)に適用する事により延命化とライフサイクルコストの低減化を図ることが可能となる本工法について紹介する。

キーワード 疲労対策, SFRC, 接着接合, 長寿命化, 鋼床版, コンクリート床版, エポキシ

1. はじめに

戦後の高度経済成長期以降、急速に整備された社会資本について、これまでストックされてきた国内の社会インフラ構造物はその多くが老朽化し、補修・補強、更新の時期を迎えている。一方で、少子高齢型社会の到来等の社会構造変化による投資ならびに整備余力の減退は明らかであり、老朽化した施設の更新にあたっては、建設当時にはなかった新しい社会的ニーズにも応え、且つ、経済性に優れた環境にも優しい維持更新技術が求められている。維持更新技術において重要なことは、いかに既設構造部と補修材料を接合させるかということである。近年、様々な産業分野において接着剤を用いた接合技術が導入されている。土木工学の分野における接合方法としては、ボルト・リベット・アンカーなどに代表される機械的・物理的接合や溶接による接合が多く用いられている。しかし近年では、連続繊維シートによる耐震補強や、コンクリート床版に対する増桁工法などコンクリート構造物の補修分野においても、付着の高度化やコスト低減の観点から、接着剤を用いた接合による補修事例が増えている。鹿島道路では、接着剤を用いた接着接合技術に着目し、接着剤ならびに新たな補修・補強工法の開発を行っている。本報では、接着接合技術を用いた補修工法の開発事例として、鋼床版上SFRC舗装工法ならびに接着接合技術を用いたコンクリート床版上面増厚工法の開発事例について紹介するものである。

2. 鋼床版上SFRC舗装の開発

近年、重車輛の走行する鋼床版をもつ橋梁において、疲労損傷き裂の発生が数多く報告されている。き裂は横リブと縦リブの交差部、縦リブとデッキプレートとの溶接部に多く発生している(図-1 参照)。

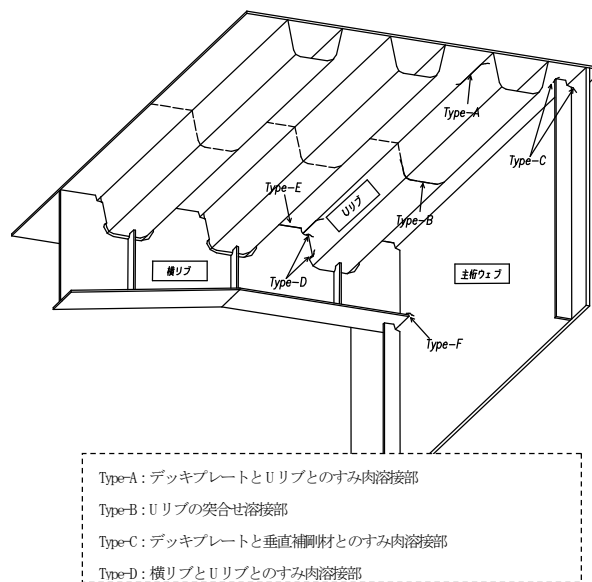


図-1 疲労損傷の主な発生位置

またデッキプレート近辺で生じるき裂は、まれにデッキプレートを貫通することもあり、路面陥没などの事例も報告¹⁾され、通過車輛の事故など路面管理上の大きな問題となっている。このような疲労損傷に対し、鋼床版と剛性の高いSFRCを一体化させて、鋼床版の局部変形

(局部応力)を抑えることで疲労耐久性を向上させる舗装による構造対策工法を検討した。舗装構造としては、都市内舗装として表層にアスファルト舗装を用いた二層構造の場合と、補強効果とコストに重点をおいて全断面をコンクリート舗装とした2種類を考えた。標準的な断面を図-2に示す。鋼床版上SFRC工法のために新たに開発した高耐久型エポキシ樹脂系接着剤(KSボンド)の性能ならびに工法開発のための主な検討事例について以下に示す。

(1) 専用接着剤の必要性と性能確認試験結果

鋼床版上SFRCに用いる接着剤には、短時間施工に対応できる良好な施工性を有し、コンクリートのひび割れから浸入する雨水による劣化がなく鋼床版の保護層としての機能が求められる。これまで、舗装分野において接着剤を構造部材として適用した事例はほとんどなく、実構造物と関連した評価方法も確立されたものがない。そこで、JIS K 6857で定められた暴露条件前後での強度比較と実環境下における最も厳しい条件設定での評価として、水に対する耐久性の確認試験を行った。なお、比較として実績のある従来品についても同様に評価した。

a) JIS耐水性試験条件での比較(水中高温暴露試験結果)

『JIS K 6857 接着剤の耐水性試験方法』で示されている条件において最も厳しい処理条件Eを選定した。なお、コンクリートは住友大阪セメント(株)販売のプレミックス型超速硬コンクリート(ジェットパック)を用いた。供試体(40×40×40 mm)のプラスチック容器の底面(40×40 mm)にあらかじめ据え付けた接着試験用アタッチメント上に接着剤を10 / m²塗布し、30分間放置した後にコンクリートを打ち込んだ。締固めは電動バイブレータにより10秒間程度の振動を与えて作成した。打ち込み後24時間は23℃の室内に設置し、その後熱水(50, 70, 98℃)の中に72時間浸漬させた後に、再度23℃の室内において、材齢5日で試験を行った。

耐水条件Eに加えて、50℃、70℃、98℃でそれぞれ72時間連続で水浸させた試験結果を図-3に示す。なお23℃は非水浸の条件で行い標準とした。この結果から従来品は水浸環境下においては付着強度が低下しているのに対し、KSボンドでは付着強度の低下は認められなかった。これは、別途従来品を用いた試験付着供試体を3ヶ月間程度水浸したところ、接着剤が泡状に吹いていたことから、従来品は硬化剤として用いている成分(ポリチオールメルカプタン)が水分を吸収して膨潤することが大きく影響していたためと考えられた。

b) 実環境下における最も厳しい条件設定での評価

夏季における鋼床版舗装の下側より5cm程度の箇所は、温度計測で45℃~50℃程度になることより、20, 45℃の2水準について、1, 2, 3ヶ月間の暴露期間におけるKSボンドと従来品との耐久性に関する比較をせん断試験ならびに付着試験により行った。なお、試験に用いたコンクリートは表-1に示す仕様のもを用いた。試験の結

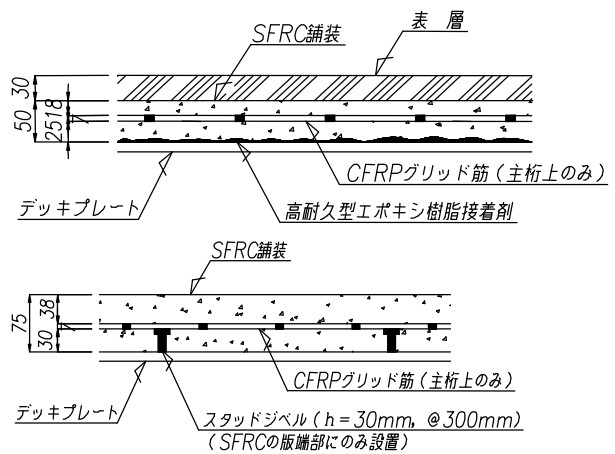


図-2 標準的な断面

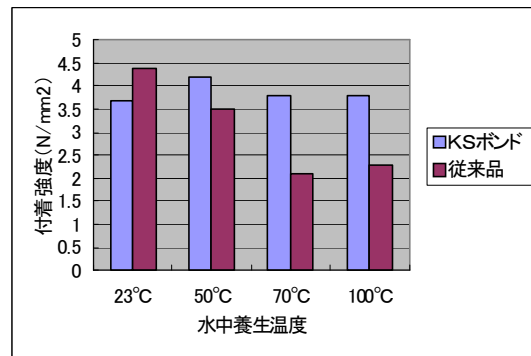


図-3 引張強度試験結果

表-1 用いたコンクリートの仕様

設計基準 圧縮強度 (3時間) N/mm ²	粗骨材 最大寸 法 mm	SF 混入後の スランプ cm	SFの 混入量 kg/m ³	ハンドリング タイム (可使用時間)
24	15~20	5.0±1.5	100	60分以上

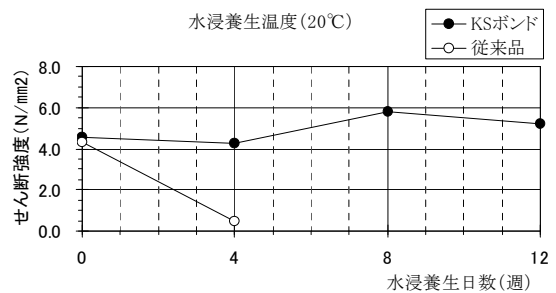


図-4 せん断試験結果(水浸養生温度 20℃)

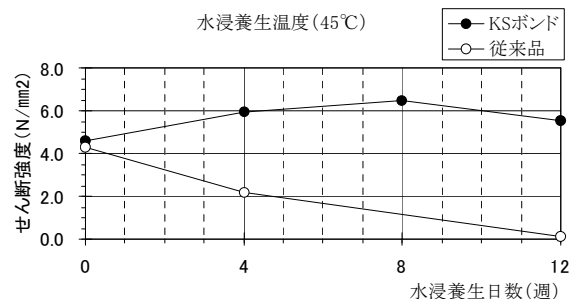


図-5 せん断試験結果(水浸養生温度 45℃)

果、従来品は水中養生1ヶ月で強度低下を生じたが、KSボンドでは45°Cで3ヶ月水中に浸けた場合でも強度低下は認められなかった。また、試験後の破断面を観察しても錆びなどが一切生じていないことから材料劣化もおきていないと判断された。現場を想定した室内試験条件の範囲において、水・熱に対する耐久性について、KSボンドは従来品よりも優れていることが確認できた。せん断試験の結果を図-4～5、引張試験結果を図-6～8に示す。

3. 接着接合によるコンクリート上面増厚工法の高度化

近年、耐荷力を向上させるために既設の鉄筋コンクリート床版の上面に増厚をした鉄筋コンクリート床版において、7～10年程度という比較的短期間ではく離損傷などの事例が報告されている。従来のコンクリート床版上面増厚工法では、付着の確保のために、乾燥した既設コンクリート床版面に投射密度 150kg/m²の研掃（ショットブラスト）を行うことが標準的に行われている。そこで付着の改善策として、鋼床版の疲労対策として行われている鋼床版上 SFRC 舗装の専用接着剤として開発した土木用高耐久型エポキシ接着剤『KS ボンド』をコンクリート床版上面増厚工法に用いることを検討した。KSボンドに期待する効果として、以下の項目について確認を行った。

- ①打継ぎ目地部の剥離の抑制
- ②押し抜きせん断耐力の向上
- ③遮塩性能の向上

(1) 打継ぎ目地部の剥離の抑制

a) 使用材料

床版コンクリートは、普通ポルトランドセメントと最大寸法 20 mmの粗骨材を使用し、コンクリートの圧縮強度は 35N/mm²とした。鉄筋には SD295A D10 を用いた。増厚コンクリートの配合条件を表-2に、示方配合を表-3に示す。用いた土木用高耐久型エポキシ接着剤（KSボンド）の仕様は表-4に示す。

b) 供試体寸法

床版供試体の寸法は、現行の道路橋示方書の規定²⁾に基づいて、大型自動車の1日1方向の計画交通量を2,000台以上と想定して床版厚を決定し、その1/2モデルとした。よって供試体は、全長1,470mm、支間長1,200mmの等方性版とし、鉄筋は複鉄筋配置とした。鉄筋量は、引張側の軸直角方向及び軸方向にD10を100mm間隔で配置し、圧縮側には引張鉄筋量の1/2を配置した。増厚施工法は、RC床版上面のかぶり10mmの厚さを切削機（範多機械 CRP-120F）により切削し、その後、研掃をショットブラストにて投射密度 150kg/m²で行った。次に増厚コンクリートの打込みは壁打ちパイプレーターを用いて、内継ぎ目を輪載荷位置から 30 mm離れた位置とし

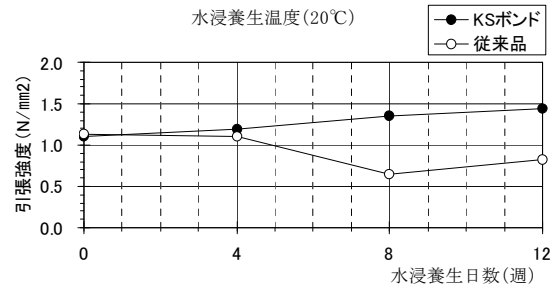


図-6 引張試験結果(水浸養生温度 20°C)

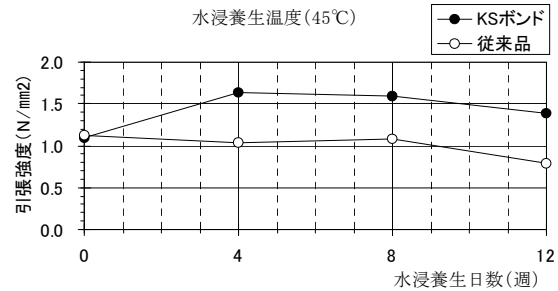


図-7 引張試験結果(水浸養生温度 45°C)

表-2 増厚コンクリートの配合条件

設計基準強度	24N/mm ² (材齢3時間)
粗骨材の最大寸法	15mm
セメントの種類	超速硬セメント
鋼繊維混入後のスラブ ^o	6.5±1.5cm
鋼繊維混入後の空気量	3±1.5%
鋼繊維の混入量	100kg/m ³ (1.27vol.%)
ハンドリングタイム	60分以上

表-3 増厚コンクリートの示方配合

Gmax (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				SF
			C	W	S	G	
15	39.5	51.2	430	170	851	858	100

C: 超速硬セメント、S: 茨城県産陸砂、G: 栃木県産石灰岩、混和剤: 単位セメント量×2.0% (高性能減水剤)

表-4 高耐久型エポキシ系接着剤の仕様

項目	基準値	備考
外観 主剤 硬化剤	白色ペースト状 青色液状	異物混入なし
混合比(主剤:硬化剤)	5:1	質量比
硬化物比重	1.4±0.2	JIS K 7112
圧縮強さ	50N/mm ² 以上	JIS K 7181
圧縮弾性係数	1,000N/mm ² 以上	JIS K 7181
曲げ強さ	35N/mm ² 以上	JIS K 7171
引張せん断強さ	10N/mm ² 以上	JIS K 6850
コンクリート 付着強さ	1.6N/mm ² 以上 または母材破壊	JIS K 6909

表-5 走行疲労試験に用いた供試体の水準 (N=1)

供試体	床版 コンクリート厚	切削 深さ	研掃	接着剤	増厚 コンクリート厚
1	130mm	10mm	150 kg/m ²	塗布なし	40mm
2				1.4kg/m ²	

て2回に分けて打込んだ。供試体の寸法を図-8に示す。

c) 供試体水準

実験に用いた供試体の水準を表-5に示す。なお、打継面に接着剤無し供試体の記号を1、接着剤を塗布した供試体の記号を2とする。

d) 走行振動疲労試験

本実験に用いた走行振動疲労試験装置は、鋼製の反力フレーム (400KN) のほりに、鋼製の車輪 (幅 250 mm, 直径 450 mm) と油圧式の振動疲労試験機 (300KN) を固定し、供試体を設置した台車をモーターとクランクアームにより水平方向へ往復運動 (走行速度 0.18m/秒) させて荷重の走行状態を実現したものである。なお、輪荷重による疲労実験は一定荷重での疲労実験を行った。

e) 走行振動疲労試験における破壊のメカニズム

載荷荷重は 60KN (50KN×1.2) を基準荷重とした。載荷は 80KN, 100KN, 120KN, 130KN と 20,000 回ずつ行い、供試体が破壊するまで走行を繰り返し行った。供試体1は荷重 120KN, 供試体2は荷重 130KN で走行中に押抜きせん断破壊に至った。ここで、押抜きせん断破壊時における打継目の破壊状況について写真-1, 2に示す。打継目に接着剤を用いない供試体1は写真-1に示すように、破壊時には走行荷重が作用しなくても打継目の分離と増厚面は部分的にはく離している。一方、接着剤を用いた供試体2は写真-2に示すように RC 床版が押抜きせん断破壊後においても打継目および増厚面のはく離は認められなかった。従って、接着剤を用いることにより雨水浸透の抑制が期待でき、現在多くの損傷が散見される打継ぎ目の周辺部の損傷に対して有効な対策であると期待される。

(2) 押抜きせん断耐力の向上

打継ぎ目地部の剥離の抑制と同時に押抜きせん断耐力の評価も行った。使用材料と試験方法は全て「(1) 打継ぎ目地部の剥離の抑制」と同様である。ここでの供試体の作製は、「(1) 打継ぎ目地部の剥離の抑制」での供試体作製と異なり、増厚コンクリート内部には打継目を設けず一体物として増厚コンクリートを打ち込んだ。さらに、比較としてCFRPグリッド筋 (炭素繊維強化プラスチック, 筋断面積 392 mm², 筋材引張強度 1,400N/mm², 筋材ピッチ 100 mm) を全面に敷設した供試体も作製した。試験水準を表-6に、試験結果を表-7, 図-9に示す。先に示したように本実験の床版モデルは、現行示方書の規定に基づいて設計し、その 1/2 モデルとしたものである。そこで本実験における作用荷重は、現行示方書に規定するT荷重 100kNの 1/2の 50kNである。また、現行示方書に規定する活荷重曲げモーメント式には約 20%の安全率が含まれていることから、本実験の基準荷重は 60kN としている。等価繰り返し回数は、大西らの提案している式1を用いて算出した。

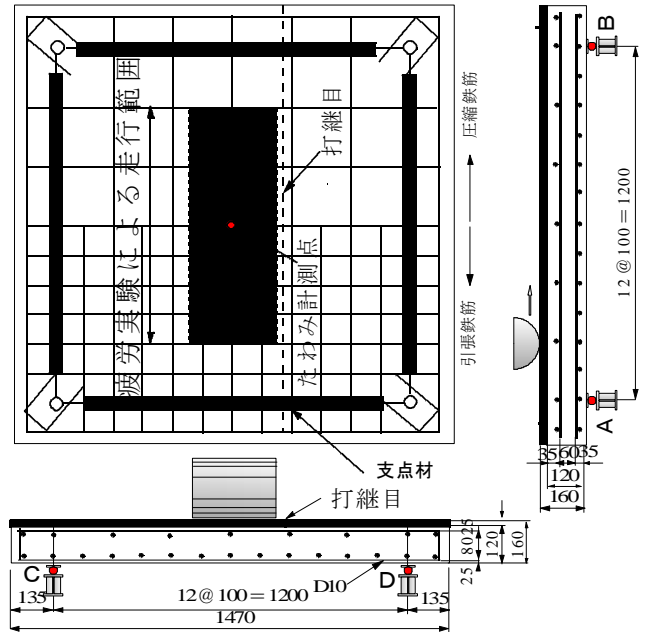


図-8 増厚 RC 床版供試体の寸法

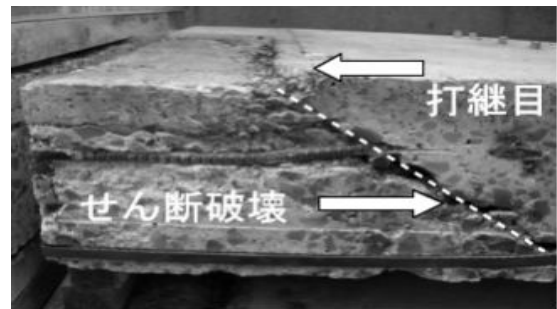


写真-1 供試体1の打継目(矢印位置の開口あり)

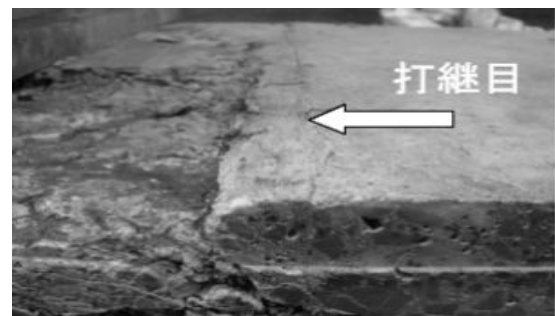


写真-2 供試体2の打継目(矢印位置の開口なし)

表-6 押抜きせん断耐力試験に用いた供試体の水準 (n=1)

供試体	床版 コンクリート 厚	切削 深さ	研掃	接着剤	増厚 コンクリート 厚
RC-F-1	130mm	—	—	塗布なし	40mm
SFRC-1		10mm	150kg /m ²		
SFRC-S1					
SFRC-S3*					

*CFRP グリッドを全面に敷設

$$N_{eq_i} = (P_i/P_0)^{12.76} \times N_i \dots \text{式1}$$

N_{eq_i} : 基準輪荷重
 P_0 に変換された等価繰り返し回数
 P_i : 輪荷重 (kN)
 P_0 : 基準輪荷重 (kN)
 N_i : 輪荷重 P_i の走行回数

増厚していない基準供試体の等価繰り返し回数を基準とすると、接着剤を用いない従来方法で増厚した供試体 (SFRC-1) は約10倍の等価繰り返し回数の増加であるのに対し、接着剤を用いて増厚した供試体 (SFRC-S1) は約36.5倍、さらにCFRPグリッド筋を用いた供試体 (SFRC-S3) は46.6倍に伸びることが確認された。今回は乾燥状態での比較結果であり、疲労に対して影響が大きいとされている水浸状態での動的疲労評価については今後、改めて実施したいと考えている。

(3) 遮塩性能の向上

電位差自動測定装置は、京都電子工業(株)製「AT-500N」を用いた。塩化ナトリウム水溶液の濃度は海水と同様となるよう 2.925% に調整したものをを用いた。またこの時の塩化ナトリウム水溶液のモル濃度は 0.5 (mol/l) であることから、塩化物イオン濃度 (mol/l) は以下のとおり求められる。

求める塩化物イオン濃度 (mol/l)

$$= 0.5 \text{ (mol/l)} \times \text{測定濃度 (\%)} \div 2.925 \text{ (\%)}$$

ここでは、さらに得られた塩化物イオン濃度を以下のとおり変換しコンクリート 1 m³ 当りの塩化物量とした。

$$0.5 \text{ mol/l} = 29.25 \text{ g/l} = 29.25 \text{ kg/m}^3$$

試験は、表-8の配合を用いφ100 mm、高さ 100 mmの円柱供試体を作成し、試験水準は層間 (50+50 mmの間) に接着剤を用いない一体物供試体と、層間に土木用高耐久型エポキシ接着剤をそれぞれ 0.7kg/m³、1.4 kg/m³塗布した3水準で比較した。試験結果を図-10に示す。

図-11より、コンクリート内部の深さ 50 mmの位置において塩化物濃度が 1.2kg/m³まで達する時間を表-9に示す。ここでは、図-10で得られた傾きを拡散係数として式-2で表わされるフィックの拡散方程式を用いた。

$$C = C_0 \left(1 - \operatorname{erf} \left(\frac{0.1x}{2\sqrt{D_{ap}t}} \right) \right) \dots \text{式2}$$

C_0 : 初期塩化物濃度 (13kg/m³)
 x : 深さ (cm)
 D_{ap} : 拡散係数 (cm²/年)
 t : 経過時間 (年)

表-9より、海水と同程度の塩分濃度の環境下において、従来 6~9 年程度で錆の発生が予想されるが、接着剤を用いる場合には、0.7kg/m³塗布した場合には 28~30 年、1.4kg/m³塗布した場合には 50~90 年程度と大幅に遮塩性能が向上することが確認できた。

表-7 輪荷重走行試験結果

	等価繰り返し回数	走行回数比率 ()内は換算年数を示す
RC床版のみ(26cm相当)	7,155,596	1 (9.8年)
RC床版+増厚6cm相当 (接着剤無)	73,976,114	10.3 (101年)
RC床版+増厚6cm相当 (接着剤有)	261,284,849	36.5 (360年)
RC床版+増厚6cm相当 (接着剤+CFRPグリッド有)	333,112,545	46.6 (460年)

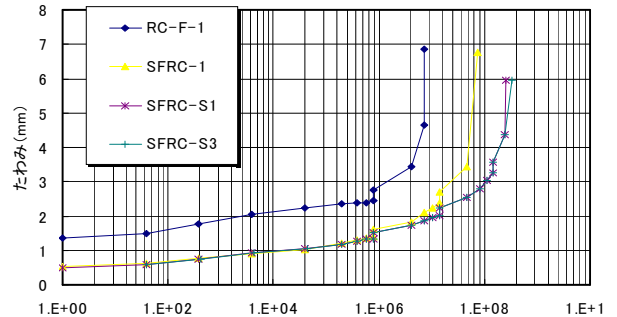


図-9 繰り返し回数とたわみの関係

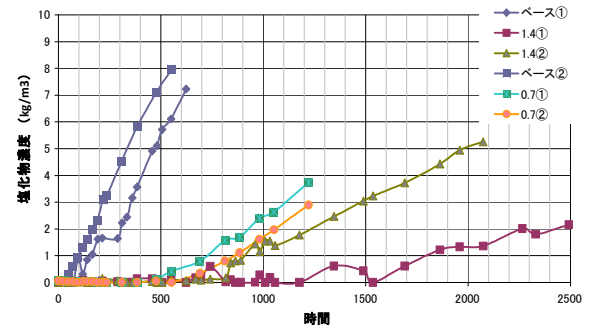


図-10 遮塩性試験結果

表-8 コンクリートの配合

G _{max} (mm)	W/C (%)	S/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
			W	C	S1	S2	G
20	47.0	44.4	157	334	472	325	1030

C : 早強セメント, Gの岩質 : 石灰岩

表-9 深さ 50mm で塩化物濃度 1.2kg/m³に達する時間

	実効拡散係数		経過年数 (年)		合計年数 (年)
	初期	浸透	初期	浸透	
ベース 供試体	—	0.492	—	9.0	9.0
	—	0.757	—	5.8	5.8
0.7 kg/m ³	0.061	0.197	5.1	22.4	27.5
	0.031	0.221	10.0	20.0	30.0
1.4 kg/m ³	0.012	0.107	51.5	41.2	92.7
	0.029	0.156	21.3	28.3	49.6

4. 施工への適用事例

(コンクリート上面増厚工法の高度化)

川口跨線橋は JR 常磐線の跨線橋として昭和 42 年に建設され、片側 1 車線の 2 車線道路として供用されている。当該工事は、既設のコンクリート床版厚さ 170 mm に対し、現行の道路橋示方書で必要となる厚さ 230 mm となるよう、10 mm の切削厚さを考慮して厚さ 70 mm で増厚したものである (図-11 参照)。

(1) 概要

発注者：茨城県土浦土木事務所
 工事名：橋梁補修工事 (川口跨線橋)
 路線名：一般県道 土浦港線 (土浦市川口)
 施工箇所：川口跨線橋 P4~P5,
 延長 39.05m, 幅員 10.09m

(2) 施工方法

施工フローを図-12 に、施工状況写真を写真-3、4 に示す。

- ①路面切削工においては、既設床版を 10 mm 程度切削し、端部や脆弱部および As 残渣を人力によりハツリとった。
- ②下地処理としてショットブラストによる研掃を行った。研掃は投射密度 $150\text{kg}/\text{m}^2$ で行い、処理後の床版面は汚さないように防炎シートにて養生した。
- ③接着剤塗布は床版上面増厚機の進捗に合わせ、縦取り機の縦送りベルコンの下側で行った(写真-3、4)。
- ④SFRC 舗装はジェットモービルにて製造した SFRC をタイヤショベルで縦送り機に運搬し、縦送り機にて材料供給を受けた床版増厚機で均一に敷均し・締固めを行った。養生は防炎シートとエアキャップによる二重シートとした。

5. まとめ

鹿島道路ではエポキシ系接着剤の付着性能に着目し、独自にフレッシュコンクリートとの接合に適した接着剤の開発を行い、鋼床版上 SFRC 舗装ならびに接着接合型コンクリート床版上面増厚工法など新たな補修・補強工法を開発、施工実績を積み重ねている。現段階において、現場における作業性や供用後の補強効果についても良好な結果を得られている。今後も供用後の追跡調査による性状確認、施工方法の改善、接着剤の改良などに努め、更なる付着の高度化やコスト低減について検討を重ねていく予定である。

参考文献

- 1) 西川和廣：SFRC による鋼床版舗装—鋼とコンクリートの新しい関係—, 橋梁と基礎 2005-8
- 2) (社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編, 平成 14 年

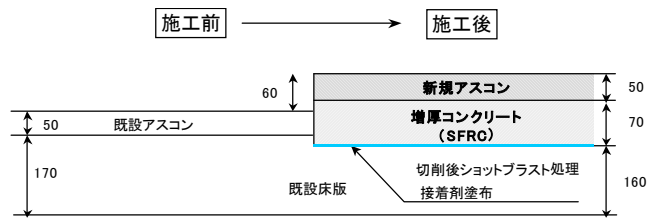


図-11 補強詳細図

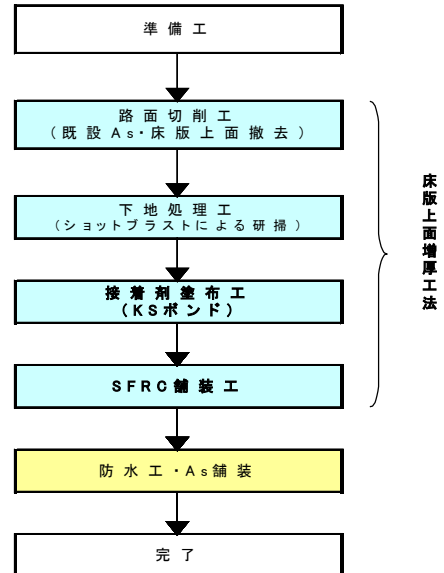


図-12 施工フロー図



写真-3 接着剤塗布工



写真-4 縦取り機による SFRC 供給と接着剤塗布