

付録 5

対策工法の設計施工

目 次

《付録 5》対策工法の設計施工	付 5- 1
1. 一般	付 5- 1
2. 各種対策工法	付 5- 1
2.1 床版防水工法	付 5- 1
2.2 ひび割れ注入工法	付 5- 1
2.3 表面保護工法	付 5- 7
2.4 電気化学的防食工法	付 5- 16
2.5 縦桁増設工法	付 5- 26
2.6 炭素繊維シート接着工法	付 5- 30
2.7 下面増厚工法	付 5- 39
2.8 鋼板接着工法	付 5- 48
2.9 上面増厚工法	付 5- 56
2.10 水平ひび割れ注入工法	付 5- 65
2.11 部分打換工法	付 5- 67
2.12 床版取替工法	付 5- 70

付録5 対策工法の設計・施工

1. 一 般

対策工法の設計・施工は、劣化要因、劣化状態に応じて選定された補修・補強工法により、床版の要求性能を満足するような設計・施工および維持管理を行うことが重要である。さらに、対策工法の設計は、対象となる床版の形式、形状、構造細目を確認した上で行う。既設床版の補修・補強設計では、構造形状の把握が重要であるが、設計図書が現存しない場合も多い。また現存する場合でも現地踏査で図面と異なる形状を有する場合は、十分な現地の計測を行う。また、対策工法の設計は、既設道路橋床版の損傷履歴なども考慮して設計耐用期間にわたり要求性能を満足することを確認する。

対策工法の施工は、あらかじめ劣化部を確実に除去した上で、施工上の制約条件、交通に対する安全性、施工時期等を考慮して設計で想定した品質を確保できるように実施する。接着系の工法では、既設床版の接着面のコンクリート強度が所要の強度以上であることを確認する。施工計画においては、対象橋梁周辺の地形条件や搬入路を確認する必要がある。十分現地踏査を行い、適切な施工計画を検討する。また施工にあたっては、使用材料の特性に応じた施工基準などを参考に施工計画を策定するのがよい。なお、期待した対策効果が得られるように、床版の劣化状態を適切に把握し、劣化部の除去を確実に実施する必要がある。

炭素繊維シート接着工法、下面増厚工法、鋼板接着工法、上面増厚工法など接着系の工法では既設床版の接着面となるコンクリートが補強材との一体化に必要な強度を有していなければ補強効果が望めないことから、接着面のコンクリート強度を確認した上で施工することが肝要である。

2. 各種対策工法

2.1 床版防水工法

各種対策工法の設計・施工に際しては、適切な防水システムを整備する。床版防水システムは、床版のひび割れに起因する床版上面からの水分の侵入を防ぐための重要な役割を果たす。各種対策工法の設計・施工を実施する際には、適切な床版防水システムを整備することが重要である。床版防水システムの設計・施工については、道路橋防水システムガイドライン（案）¹⁾を参照のこと。

2.2 ひび割れ注入工法

(1) 概要

i) ひび割れ注入工法とは、ひび割れに樹脂系あるいはセメント系の材料を注入し、防水性および耐久性を向上させる工法である。躯体の一体化を図ることも可能であり、ひび割れ補修の最も一般的な工法である。本工法は、注入方法により以下の3工法に分類される。

ア) 自動式低圧低速注入工法

イ) 手動式注入工法

ウ) 機械式注入工法

従来、注入工法は、手動式や足踏み式の機械注入工法が行われていたが、注入の精度が作業員の熟練度に左右される、注入量管理が難しい、注入圧が高いとひび割れの奥へ注入することが困難であること等から、現在では自動式低速低圧注入工法が主流となっている。

図-付5.2.1に自動式低圧低速注入工法の概要を示す。これらはいずれもゴムの復元力やスプリング等のバネ圧、圧縮空気圧を利用した専用の注入器具を用い、0.4MPa以下の低圧かつ低速で注入するものである。注

入量管理が可能である、注入精度が作業員の熟練度に左右されない、ひび割れ深部の幅が 0.05mm と狭い場合でも注入できる等の特徴がある。

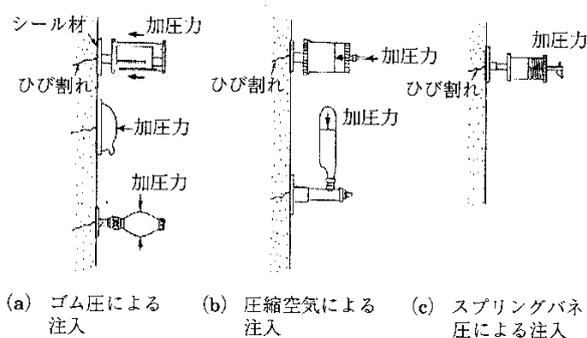


図-付 5.2.1 自動式低圧低速注入工法の概要²⁾

ii) ひび割れ注入工法の適用に際しては、ひび割れの幅、進行性の有無、乾湿状態など、事前調査に基づき、工法の適用性を検討した上で補修工法を適切に選定する。表-付 5.2.1 は、これらの選定のために用いられており、注入工法ではひび割れ幅が 0.2～1.0mm が適用対象となっている。

被覆工法は、微細なひび割れ（一般には 0.2mm 以下）の上に塗膜を構成させ、防水性、耐久性を向上させる目的で行われる工法で、ひび割れ部分のみを被覆する方法である。ひび割れ内部の処理ができない欠点がある。充填工法は、0.5mm 以上の比較的大きなひび割れに適用される工法で、ひび割れに沿って 10mm 程度の幅でコンクリートを U 字形にカットし、シーリング材、可とう性エポキシ樹脂、ポリマーセメントモルタル等を充填する。ここでは、ひび割れ補修工法の中の注入工法を主として説明する。

表-付 5.2.1 補修工法の分類²⁾

補修目的	ひび割れの現象・原因		ひび割れ幅 (mm)	補修工法 ^{※1}			
				被覆工法	注入工法	充填工法	その他の工法 浸透性防水材 の塗布工法
防水性	ひび割れ幅の変動 ^{※2} 小		0.2 以下	○	△		○
			0.2~1.0	△	○	○	
	ひび割れ幅の変動 大		0.2 以下	△	△		○
			0.2~1.0	△	○	○	
耐久性	鉄筋が腐食 していない 場合	ひび割れ幅 の変動 小	0.2 以下	○	△	△	
			0.2~1.0	△	○	○	
			1.0 以上		△	○	
		ひび割れ幅 の変動 大	0.2 以下	△	△	△	
			0.2~1.0	△	○	○	
			1.0 以上		△	○	
	鉄筋腐食					○	

※1 ○印 適当と考えられる工法 △印 条件によっては適当と考えられる工法

※2 ひび割れ幅の変動とは、劣化にともなうひび割れの進展や温度変化等による変動を意味しており、交通荷重などにもなうひび割れの開閉は対象外とする。なお、ひび割れ幅の変動は100%以上を「大」、100%に満たない場合を「小」とする。

(2) 設計

i) ひび割れ注入工法によるコンクリート床版のひび割れ補修においては、ひび割れの原因、その劣化機構と劣化予測、補修範囲と規模のほか、交通の状況、施工に際しての安全性、経済性等を総合的に検討した上で、適切に補修材料、補修時期などを選定するのがよい。調査結果によっては補修が必要でないと判定される場合もあり、調査および原因推定結果に基づいて補修の要否を判定する必要がある。日本コンクリート工学会「コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針」では補修の要否を定めている。内容をまとめると以下のとおりである。

ア) ひび割れに起因する角落、はく落、抜落ちの程度が明らかな場合には補修を実施する。

イ) 第三者への影響度に関する性能が問題となる場合、構造安全性能からの補強の要否を判定する場合等は技術者の高度な判断に基づく判定を行うのがよい。

ウ) 上記以外の場合でも、基本的には技術者が補修の要否を判断すべきであるが、一般に、表-付 5.2.2 と照合して補修の要否判定を行ってよい。

補修・補強が必要と判断された場合、補修方法の選定を行う。ひび割れ補修工法には前述のとおり、注入工法、被覆工法、充填工法があり、補修の目的およびひび割れ幅によって適切に選定する。次に補修材料をそれぞれの材料特徴と目的、施工環境等を検討し選定する。

表-付 5.2.2 耐久性または防水性からみた補修の要否に関するひび割れ幅の限度²⁾

区分		耐久性からみた場合			防水性からみた場合
		きびしい	中間	ゆるやか	—
環境 ^{*2} その他の要因 ^{*1}					
(A) 補修を必要とする ひび割れ幅 (mm)	大	0.4 以上	0.4 以上	0.6 以上	0.2 以上
	中	0.4 以上	0.6 以上	0.8 以上	0.2 以上
	小	0.6 以上	0.8 以上	1.0 以上	0.2 以上
(B) 補修を必要としない ひび割れ幅 (mm)	大	0.1 以下	0.2 以下	0.2 以下	0.05 以下
	中	0.1 以下	0.2 以下	0.3 以下	0.05 以下
	小	0.2 以下	0.3 以下	0.3 以下	0.05 以下

注)*1 その他の要因（大，中，小）とは，コンクリート構造物の耐久性および防水性に及ぼす有害性の程度を示し，下記の要因の影響を総合判断して定める。

ひび割れの深さ・パターン，かぶり厚さ，コンクリート表面被覆の有無，材料・配合，打継ぎなど。

注)*2 主として鉄筋の錆の発生条件の観点からみた環境条件。

ii) ひび割れ注入工法に使用する材料は，有機系材料，ポリマーセメント系材料，セメント系材料に大別される。補修目的や補修材料に要求される性能や使用環境，施工条件などを十分に検討し，材料を選定するのがよい。

有機系材料のうち，ひび割れ注入に使用する材料はエポキシ樹脂やアクリル樹脂などの合成樹脂であり，特徴としては以下の項目が挙げられる²⁾。

ア) コンクリートやモルタルとの接着性に優れる。

イ) 躯体の一体化を図ることができる。

ウ) 材料性状が 1000MPa・s 以下の低粘度なもの，ひび割れ幅が広い場合でも流下しないように揺変性を付与したもの，伸び率 50%以上の性能を有するものなど，種類が豊富である。

有機系注入材としては，エポキシ樹脂がもっとも広く使用されており，各機関・協会等で品質規格が示されている。表-付 5.2.3 に示すように建設省総合技術開発プロジェクトでもひび割れの進行区分とひび割れ幅によって使用する注入材の品質規格が示されており，道路橋床版のひび割れ注入材はこれに従うのが望ましい。アクリル樹脂は，低温でも安定した硬化性や湿潤面に対する接着性に優れた材料である。

一方セメント系およびポリマーセメント系材料の特徴としては以下の項目が挙げられる²⁾。

ア) 有機系材料に比較して安価である

イ) 熱膨張率がコンクリートに近い

ウ) 湿潤面に適用できる

エ) 超微粒子セメントを主材とし，これに接着性を付与するためにポリマーディスパージョンを配合した超微粒子セメントスラリーでは，0.05mm の微細ひび割れにも注入可能である

セメント系やポリマーセメント系注入材を使用する場合には，注入箇所が乾燥状態にあると躯体に水分が吸収され，ひび割れが閉塞し注入できない場合がある。このような場合には，注入に先立ちひび割れに注水し湿潤状態にすることが重要である。

表-付 5.2.3 建設省総合技術開発プロジェクト 注入材と充填材の品質規格³⁾

項目	材料の種類				
	土木補修用 エポキシ樹脂 注入材1種	土木補修用 エポキシ樹脂 注入材2種	土木補修用 エポキシ樹脂 注入材3種	土木補修用 充填材 ポリマーセメント系	土木補修用 充填材 シーラント系
ひび割れ進行区分 ¹⁾	B		A	B	A, B
ひび割れ幅 (mm)	0.2~5.0			5.0<	
粘 度 (mPa·s)	1000 以下	4±1 ²⁾	1000 以下	10000 以下	ゲレを認めず
可使時間 (分)	30 以上	30 以上	30 以上	30 以上	240 以上
硬化時間 (時間)	16 以内	16 以内	24 以内	16 以内	24 以内
硬化収縮 (%)	0.1 以下	0.1 以下	0.1 以下	0.1 以下	—
伸 び 率 (%)	—	50 以上	100 以上	—	800 以上
モルタル付着強さ (乾燥面) (N/mm ²)	6 以上	6 以上	6 以上	6 以上	たわみ量 10 mm 以上で破壊すること
付着力耐久性保持率 (%) ³⁾	60 以上	60 以上	60 以上	60 以上	60 以上

*1: A=ひび割れが進行している, B=ひび割れの進行が止まった
 *2: チキソトロピック係数 2 rpm/20 rpm の粘度で表わす。
 *3: 規格に対する百分率

(3) 施工と維持管理

i) ひび割れ注入工法は、ひび割れ内部へ注入材が十分充填がされるように、適切な工法、手順で施工および施工管理を行うのがよい。事前調査による補修の要否判定の結果、補修対象となるひび割れに対して補修を実施する。補修設計の段階で補修範囲および注入材料を決定しておく。標準的な施工工程を図-付 5.2.2 に、ひび割れ注入の概念図を図-付 5.2.3 に、具体的な注入工法の手順、要領および注意事項について表-付 5.2.4 に示す。

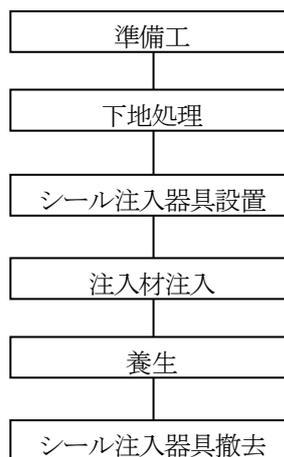


図-付 5.2.2 ひび割れ注入工法の標準的な施工工程

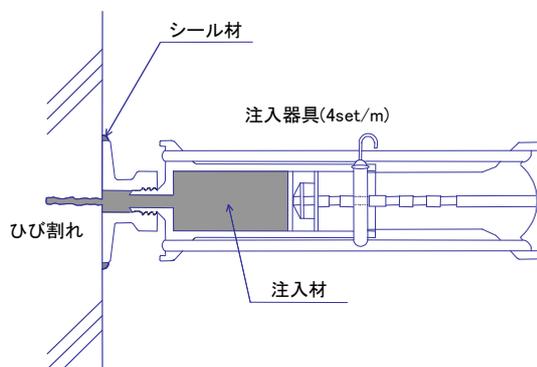


図-付 5.2.3 ひび割れ注入概念図と床版下面での注入工法

表-付 5.2.4 ひび割れ注入工法の施工要領（有機系注入材の場合）

工程	手順	要領	注意事項
準備工	補修箇所の確認	補修箇所の確認，マーキングを行う。	設計図書と照合する。
下地処理	補修箇所の清掃	汚れや付着物は，ブラシ・エア・水洗浄等で除去する。	ひび割れ周辺に浮き等がある場合は除去する。
シール注入器具設置	注入器具の設置	樹脂や急結セメント等を用いて，注入器具（座金）を取り付ける。	対象箇所が乾燥していることを確認し，所定の間隔で注入器具（座金）を設置する。
	シール材の塗布	ヘラ・ゴムベラ等を用いて，シール材（樹脂，急結セメント等）を押し付けるように塗布する。	対象箇所が乾燥していることを確認し，漏れが生じないようにシールする。 ※シール材を用いて注入器具を取り付ける工法もある。この場合は，シール材を塗布後に治具を取り付けることになる。
注入材注入	材料の調合，混練	専用の工具を使用し，所定の調合で混練する。	材料メーカーの指定する調合，混練方法に従う。
	注入器の設置 注入材の注入	注入器具（座金）に注入材を充填した注入器を取り付け，低圧にて注入する。注入が停止するまで注入作業を継続するが，注入器内の注入材が無くなった場合は，注入材の追加充填を繰り返す。	シール材が十分に硬化したことを確認し，保護具を使用して注入作業を行う。
養生	硬化養生	注入材が硬化するまで養生する。	使用材料，施工環境を考慮する。
シール注入器具撤去	注入器具 シール材の撤去	注入器，注入器具（座金）を取り外し，シール材をディスクサンダーやスクレパーを用いて撤去する。	保護具を用いて作業を行う。

ii) 補修工事前に行った調査診断および補修計画，補修実施時の工事記録，補修後の定期点検は今後の道路橋床版の維持管理を行う上で非常に重要な記録であり，適切に保存管理をする必要がある。特にひび割れについては，発生原因が多様であり，劣化の初期段階で認められる変状でもある。補修完了後も補修箇所のみではなく，構造物全般にわたり点検し，ひび割れ発生が認められた場合には調査・診断を行い，早期に適切な処理を行っていくことが重要である。

2.3 表面保護工法

(1) 概要

i) 表面保護工法は、コンクリートの劣化の原因となる劣化因子の侵入を防止・抑制することを目的として、コンクリート構造物の表面に保護的処置をする工法である。

表面保護工法の種類は、表面被覆工法、表面含浸工法、断面修復工法に大別される。なお、表面保護工法のうち、表面被覆工法および表面含浸工法を表面処理工法と定義される。

表面被覆工法は、床版コンクリートの表面または断面修復工法を適用した箇所に、有機系または無機系被覆材により被覆を施し、劣化因子の侵入を抑制、防止して、コンクリートの耐久性の向上または劣化因子の進行を抑制する効果をもたらす。表面被覆工法は、表面被覆材の種類により有機系被覆工法と無機系被覆工法に大別される。

表面含浸工法は、コンクリート表面に塗布した表面含浸材がコンクリート内部に含浸して、劣化因子の侵入抑制、または新たな性能を付与する効果をもたらす工法である。表面含浸工法に用いられる含浸材は、コンクリート表層部に吸水防止層を形成して水分や劣化因子の侵入を抑制するシラン系のものと、コンクリートへのアルカリ性付与や表層部、脆弱部などの強化あるいは緻密化を主目的としたけい酸塩系のものに大別される。

断面修復工法は、劣化または損傷によって喪失した断面や、コンクリートの劣化部を除去した断面を当初の断面寸法に復旧する工法であり、コンクリート床版の耐久性能を回復もしくは向上させる効果をもたらす。断面修復工法には左官工法、吹付け工法および充てん工法がある。また、断面修復材にはセメントモルタル、ポリマーセメントモルタル、ポリマーモルタルなどがある。

図-付5.2.4に表面保護工法概念図を示す。

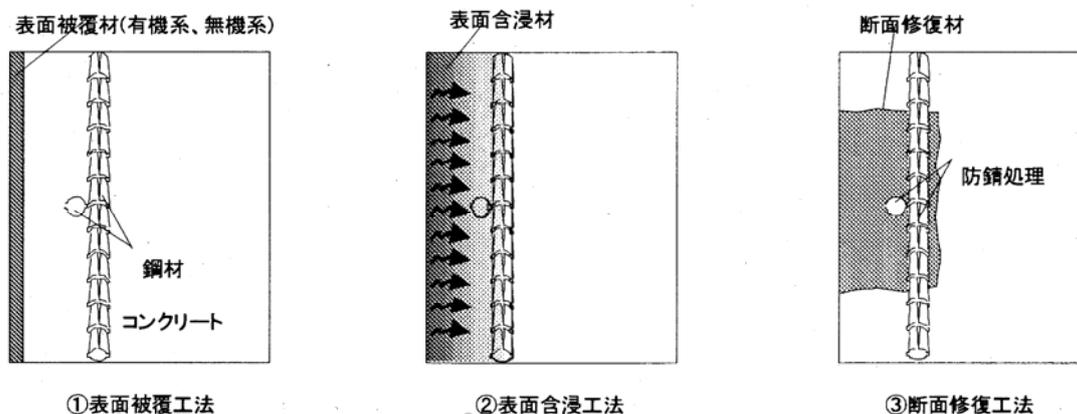


図-付5.2.4 表面保護工法概念図⁴⁾

ii) 表面保護工法の道路橋床版への適用に際しては、表面被覆、含浸および断面修復の目的、部位、部材の力学的特性、環境条件および予測される劣化要因に応じて、適用性について検討した上で工法の選定を行う必要がある。表面保護工法の適用効果について、工法の種類ごとに以下に示す。

有機系被覆工法は、コンクリート構造物の劣化因子である二酸化炭素、塩化物イオン、水分、酸素等の侵入を抑制する効果の高い有機系被覆材の特質を活かした表面保護工法である。有機系被覆材の大きな特徴のひとつとして、柔軟形エポキシ樹脂やゴム系材料など柔軟性の大きい材料を選択することが可能なことである。これは、繰返し荷重の作用を受けるコンクリート床版においてコンクリートのひび割れ幅が変動する場

合、劣化因子の侵入を抑制する効果を維持するために要求されるひび割れ追従性に優れた選択ができることを示す。

無機系被覆工法は、コンクリート構造物の劣化因子である二酸化炭素、塩化物イオン、水分、酸素等の侵入を抑制する効果の高い無機系被覆材の特徴を活かして、コンクリート表面を厚さが1～5mm程度の単層または複層によって構成される各種無機材料で被覆する表面保護工法である。有機系被覆材と比較して、紫外線劣化に対する抵抗性や耐候性に優れていると同時に難燃性に優れている特徴を有するが、ひび割れ追従性に劣るものもある。

表面含浸工法は、コンクリート表面の外観を著しく変化させることがなく、表面被覆工法と比較すると、少ない工程で、かつ短期間で施工できるという特長を有している。また、経年後に再施工する場合、表面含浸材を再度含浸させるだけで効果を発揮できる。中性化、塩害、凍害、ASRなどによるコンクリート構造物の劣化を抑制・防止する対策として有効な工法である。

断面修復工法は、左官工法、吹付け工法および充てん工法があり、採用する工法は、一般には、修復の対象となる断面の部位、範囲および規模などを考慮して選択される。これらの工法に用いる断面修復材は、一般にはモルタルの形態で適用され、セメントモルタル、ポリマーセメントモルタルおよびポリマーセメントモルタルの中から適切なものを選択する必要がある。

表面保護工法は以上のとおり各種の工法に大別されるが、各種の工法の組合せの形で適用される場合も多い。図-付5.2.5に組合せによる表面保護工の例を示す。

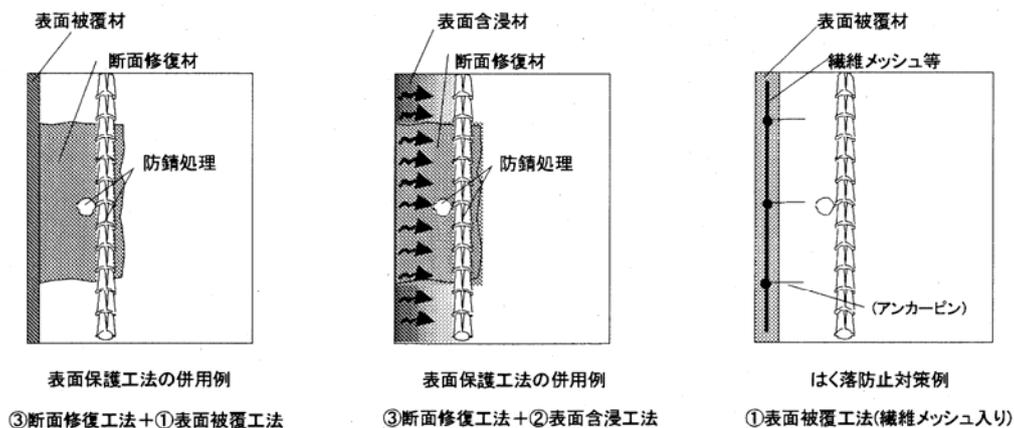


図-付5.2.5 表面保護工法の組合せ事例⁴⁾

(2) 設計

i) 表面保護工法を選定する段階では、それまでに行われた日常点検や定期点検に基づくコンクリート床版の現況、環境条件、劣化機構や劣化度などが明らかにされており、要求される性能が明らかとなっている。表面保護工法を選定する段階では、それまでに行われた日常点検や定期点検に基づくコンクリート床版の現況、環境条件、劣化機構や劣化度などに要求される性能が明らかとなっている。表面保護工法の選定は、これらの情報に基づいて候補の対象となる表面保護工法の特徴が活かされ、かつ所要の降下が十分に確保されるように適切に行う必要がある。いくつかの具体的な工法を採用候補に挙げて検討する際には、ライフサイクルコストや経済性を考慮しながら選定することも重要である。

図-付5.2.6に示すとおり、既設コンクリート床版に対しては、まず断面修復工の可否の検討を行い、次に表面処理工の可否の検討を行う。これらの検討にあたっては、表-付5.2.5に示す要求性能に対する各表面保

護工法の適用範囲，表-付 5.2.6～表-付 5.2.9 に示す各工法の期待される性能と適用効果を把握しておくことよ。

表面保護工法としての性能だけでなく，各工法の特徴を明確に把握しておくことが重要である。表面保護工法の性能には，劣化を抑制する性能，コンクリートとの付着性，浸透性および美観・景観などの基本的な性能，維持管理のしやすさなどがある。また，工法の特徴あるいは性能としては，施工の容易さおよび環境に関する性能がある。さらに，劣化因子を抑制する性能を持続的に発揮するための耐久性が重要であり，そのためにはコンクリートとの付着性に関して持続的にその性能が維持できることが重要である。

断面修復工法では，施工規模や補修対象の部位に応じて，左官工法，吹付け工法および充てん工法の選定を行う。道路橋の床版コンクリートを対象とした場合，施工部位の位置が下面の場合は吹付け工法，上面の場合には充てん工法の適用が多く，また，補修面積の小さいものは施工方向にかかわらず左官工法の適用が多い。図-付 5.2.7 に断面修復工法の適用範囲の概念図を示す。

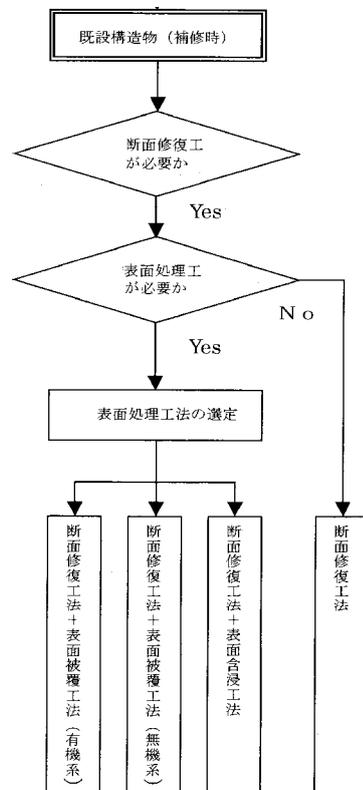


図-付 5.2.6 表面保護工法の選定の流れ⁴⁾

表-付 5.2.5 構造物の要求性能に対する表面保護工法の適用範囲⁴⁾

要求性能に関連する項目	表面保護工法	表面処理工			断面修復工(法)	メッシュ(工法)	シート(工法)
		表面被覆工法		表面含浸工法			
		有機系	無機系				
適用構造物		新設・既設	新設・既設	新設・既設	既設	新設・既設	新設・既設
劣化に対する抵抗性	中性化	○	○	○	○	*	○
	塩害	○	○	○	○	*	○
	凍害	○	○	△	○	*	*
	化学的侵食	○	△	-	○	*	○
	アルカリ骨材反応	△	△	△	○	*	*
	乾湿繰返し	○	○	○	○	*	*
	摩耗(キャビテーション抑制など)	○	○	△	○	*	*
	疲労によるひび割れ	-	-	-	-	△	△
	構造物中の劣化部分の除去	-	-	-	○	-	-
水密性	防水対策	○	○	○	○	*	○
美観・景観	落書き防止	○	△	△	-	*	-
	排ガス付着防止	○	△	△	-	*	-
	防藻・防かび	○	△	△	-	*	-
	意匠性向上	○	○	-	-	*	-
	外観維持	-	-	○	-	-	-
第三者影響度に関する性能	はく落抵抗性	-	-	△	-	○	○
機能性	耐火性向上(爆裂防止)	△	○	-	○	*	-
	収縮によるひび割れ抑制	○	○	-	○	*	-
	保温性向上	△	○	-	-	*	-
	海洋生物付着防止	△	-	-	-	*	-
	融雪溝の雪溜り向上	△	-	-	-	*	-
	車両走行安全性向上, 視認性向上	△	-	-	-	*	-
	ぜい弱部の強度回復(固化)	-	-	○	-	-	-

○は適用の対象, △は適用する場合に検討が必要(他の工種, 工法との併用など), -は適用の対象外を示す.

*: 本表では, メッシュ(工法)あるいはシート(工法)によって付加される効果のみを示す. メッシュ(工法), シート(工法)は, 表面被覆工法(有機系, 無機系)と併用して使用するために, その適用範囲は, 使用する表面被覆工法の適用範囲に準ずる.

表-付 5.2.6 有機系被覆工法に期待される性能と適用効果⁴⁾

	塗装工法				シート工法 ³⁾					
	中塗り材の種類				塗布接着形シート工法 (クロスシート, メッシュシート, 等)					張付け接着 形シート工法
	標準形	厚膜形	柔軟形	柔軟厚膜形	ガラス繊維シート (クロスシート, メッシュシート, 等)	ビニロン 繊維シート/エポキシ, アクリル, クロロブレンゴム	アラミド 繊維シート/エポキシ	カーボン繊維 シート/エポキシ, ア クリル	ガラス マット ⁴⁾ 1層/2 層/エポ キシ/ビ ニルエス テル/ポ リエステ ル	
樹脂および シートの種類 1)	エポキシ	エポキシ, アクリル, ビニルエステル, ポリエステル, アクリル	エポキシ, ポリウレタン, ふっ素	エポキシ, ポリウレ タン, アクリルゴム, クロロブレンゴム, ポリブタジエン, ポ リウレア	ガラス繊維 シート 1層/2層/ エポキシ	ビニロン 繊維シート/エポキシ, アクリル, クロロブ レンゴム	アラミド 繊維シート/エポ キシ	カーボン繊維 シート/エポキシ, ア クリル	ガラス マット ⁴⁾ 1層/2 層/エポ キシ/ビ ニルエス テル/ポ リエステ ル	ラミネートシート/ エポキシ
膜厚(μm)	100未満	100以上	100未満	100以上	500/1000	500	700	積層数に より変化	1000- 2000	1000
期待される性能 ²⁾										
中性化抑制	○	○	○	○	*	*	*	*	*	*
塩化物イオンの侵入抑制	○	○	○	○	*	*	*	*	*	*
凍結融解抵抗性	△	△	△	○	*	*	*	*	*	*
化学的侵食抑制	△	○	△	○	○	—	*	○	○	*
アルカリ骨材 反応抑制	△	△	△	△	*	*	*	*	*	*
ひび割れ追従性	△	△	○	○	*	*	*	*	*	*
美観・景観に 関する性能	○	○	○	○	*	*	*	*	*	*
はく落抵抗性	—	—	—	—	○	○	○	○	*	○

- 1) 樹脂系に記載のものは全てではなく、市販の代表的な有機系被覆材を載せた。
- 2) 期待される効果は主要なもののみ示した。表中の○は適用対象、△は適用する場合に検討が必要(他の工法との併用など)、—は適用対象外を示す。
- 3) はく落防止を主目的とする。それ以外の用途として下水道構造物の劣化防止に使用されることもある。*印は、同様の樹脂系のものを用い、かつ膜厚が同じ場合は、塗装工法と同様の適用効果を期待できることを示す。膜厚は目安を示した。
- 4) ガラスマットについては、日本下水道事業団編「下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術指針・同マニュアル(平成14年12月)」を参照した。

表-付 5.2.7 無機系被覆工法に期待される性能と適用効果⁴⁾

期待される性能	単層による塗装工法		複層による塗装工法		メッシュ工法 ⁴⁾
	柔軟形	標準形	柔軟形	標準形	
中性化抑制	○	○	○	○	*
塩化物イオンの侵入抑制	○	○	○	○	*
凍結融解抵抗性	○	○	○	○	*
化学的侵食抑制	△	—	△	△	*
アルカリ骨材反応抑制 ²⁾	△	—	△	△	*
ひび割れ追従性	○	△	○	△	*
美観・景観に関する性能	△	△	○	○	*
はく落抵抗性 ³⁾	—	—	—	—	○

- 1) 表中の○は適用対象、△は適用する場合に検討が必要(他の工法との併用など)、—は適用の対象外を示す。
- 2) アルカリ骨材反応抑制は、標準的な遮水性により判定した。
- 3) はく落抵抗性は付着性を基本に判定した。
- 4) メッシュ工法の「*」については、単層および複層による塗布工法と併用して使用するために、その適用範囲は、使用する無機系被覆の各工法の適用範囲に準ずることを示す。

表-付 5.2.8 表面含浸工法に期待される性能と適用効果⁴⁾

期待される性能	シラン系	けい酸塩系		その他の系
		けい酸リチウム系	けい酸ナトリウム系	
中性化抑制	△	△	○	
塩化物イオンの侵入抑制	○	—	○	
凍結融解抵抗性	△	—	△	
化学的侵食抑制	—	—	—	
アルカリ骨材反応抑制 ²⁾	△	△	—	
美観・景観に関する性能	—	—	—	
はく落抵抗性 ³⁾	△	—	△	

- 1) 表中の○は適用対象, △は適用する場合検討が必要(他の工法との併用など), —は適用対象外を示す.
 2) アルカリ骨材反応抑制は標準的な遮水性により判定した.
 3) はく落抵抗性は付着性を基本に判定した.

表-付 5.2.9 断面修復工法に期待される性能と適用効果⁴⁾

期待される性能	断面修復材の種類		
	セメントモルタル	ポリマーセメントモルタル	ポリマーモルタル
力学的性能	○	○	○
ひび割れ抵抗性	○	○	○
中性化抑制	○	○	○
塩化物イオンの侵入抑制	△	△	○
凍結融解抵抗性	○	○	○
化学的侵食抑制	△	△	○
アルカリ骨材反応抑制 ¹⁾	△	△	○
美観・景観に関する性能	△	△	○
はく落抵抗性 ²⁾	○	○	○

- 注) 表中の○は適用効果あり, △は適用効果を期待する場合検討が必要(他の工法との併用など), を示す.
 1) アルカリ骨材反応抑制は, 標準的な遮水性による判定.
 2) 付着性状による判定.

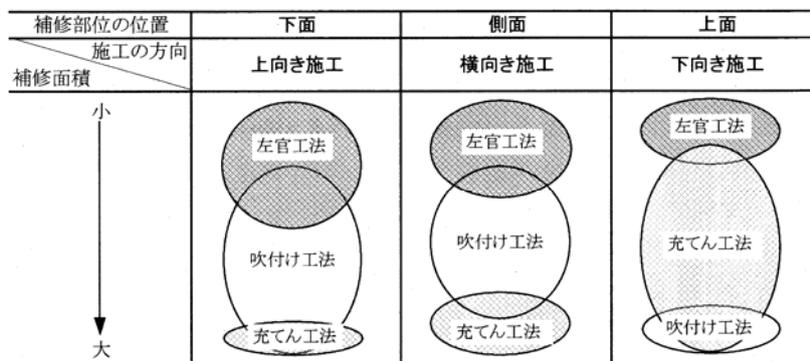


図-付 5.2.7 断面修復工法に期待される性能と適用効果⁴⁾

ii) 表面保護工法の適用にあたっては、構造物の性能を向上させる、現状における性能を維持する、要求される性能を下回ることのない程度に維持する、のうちのどれか1つの目標が想定される。したがって、表面保護工法に期待する目標を明確にした上で、目標に対する要求水準を定めてその水準が満足されるような設計を行うことが重要である。表面保護工法の設計では、期待される効果や要求性能に応じて、施工の範囲を適切に設定することも重要である。特に、断面修復工の設計では、劣化因子や劣化部の除去に当たって、はつりの範囲を設定することが基本であり、その施工範囲を適切に設定することが重要である。

表面保護工法の性能照査は、原則として、表面保護工法に期待される効果の持続期間中、表面保護工法を施したコンクリート構造物が所要の要求性能を満足することを確認することによって行う。構造物が有する性能を確認するためには、設計対象となる表面保護工法を用いた実構造物への適用事例や試験施工の結果などを踏まえて判断することが基本となる。しかし、試験施工などのデータが取得できない場合、表面保護工法の性能照査は、実際の施工条件を想定した表面保護システムを対象として行ってもよい。

表面保護システムとは、下地処理、素地調整、プライマー処理、中塗り、上塗り、含浸材塗布、断面修復などの方法ならびにそれらの程度、使用材料、施工条件など、表面保護工法の性能や機能に影響を及ぼす個々の条件を組み合わせた仕様のことである。したがって、使用材料が所要の性能を有することを試験などで確認するほか、実際に施工されるものと同様な条件などで性能評価をする必要がある。これには、表面保護工法が仕様通りに確実に施工されるよう、施工計画が適正に策定されることが重要である。

(3) 施工と維持管理

i) 表面保護工法の施工は、設計時に設定された性能が、表面保護工法に期待される効果の持続期間中に保持されるよう、これを入念に行う必要がある。表面保護工法の設計に基づいて適切な施工計画を策定し、これに従って施工する。表面保護工法の性能の良否は、施工状況にも大きく左右されるため、表面保護工法に関する十分な知識を有す技術者により入念な施工を行うことは、期待される効果を得るために重要である。そのために、施工のための調査を行い、劣化機構の確認、劣化の進行状況と範囲の確認、内部鋼材の腐食状況など構造物の現状を把握するとともに、適切な施工範囲、施工方法、施工手順などを定めた施工計画を策定し、その施工計画に従って施工を進めるのがよい。図-付5.2.8に標準的な施工フローを、図-付5.2.9に各表面保護工法の施工フローを示す。表面保護工法は、各工法により使用材料、前処理方法、施工方法が異なるため、施工にあたっては各工法の特徴や各工法特有の留意事項を理解しておく必要がある。

施工中は施工計画書や現場における管理記録表等を使用して、常に材料、施工状況、施工後の品質などを確認できるようにしておくのがよい。また、施工工程の実施状況を的確に把握し、状況に応じて必要な処置、対策を実施する。施工後は工事報告書を作成し、施工後の維持管理や追跡調査の資料とする。工事報告書には、使用材料、工程管理、品質管理記録、写真記録、協議書類、その他（表面保護工法適用時の初期の構造物の状態、設計通りに実施できたかどうかや施工の不具合や施工困難な部分の有無とその対応に関する記録）の内容が含むのがよい。

ii) 表面保護工法が適用されたコンクリート構造物において、表面保護層に「われ」、「ふくれ」あるいは「はく離」などの劣化が生じ、構造物の残存する予定供用期間内にその構造物の性能が所要の水準に維持されない事例もある。表面保護工法を適用したコンクリート床版に対しては、維持管理の手順を定め、残存する予定供用期間中に表面保護工法に期待した効果が失われないよう維持管理計画に基づいて維持管理を適切に行うのがよい。

日常点検などで表面保護層に何らかの異常が認められた場合には、表面保護工法が有する性能に及ぼす影響を速やかに検討し、必要に応じて対策を施すなどの処置をとるのがよい。表面保護工法の維持管理の手順を図-付 5.2.10 に示す。また、維持管理計画に基づいた点検に際し、標準的な点検項目を表-付 5.2.10 に示す。

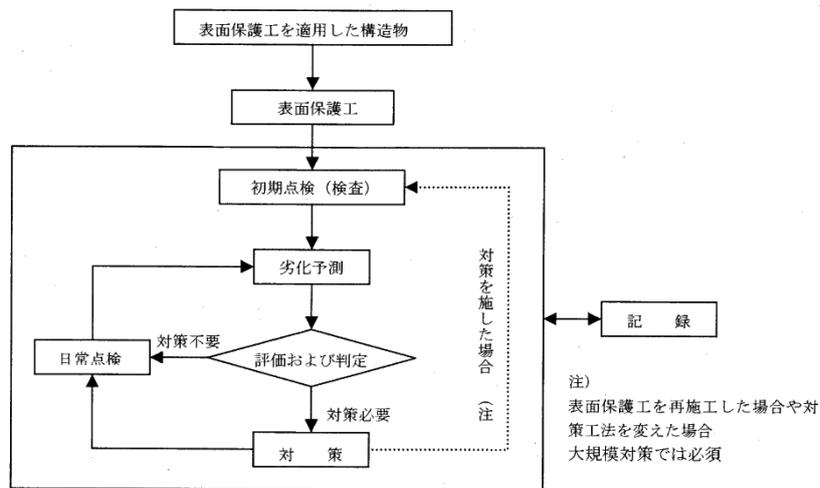


図-付 5.2.10 表面保護工の維持管理手順⁴⁾

表-解 5.2.10 表面保護工の標準的な点検項目⁴⁾

点検方法	点検項目
目視, 接触	白亜化, ふくれ, われ, はがれ, 磨耗, 汚れ, 変退色, 光沢度, 断面修復材の浮きなど
簡便な点検機器使用	断面修復材の浮きの程度
専用機器使用 部分的な破壊	付着強度, 劣化因子の侵入深さ, 劣化深さ, ひび割れ追従性, 断面修復材の圧縮強度など

2.4 電気化学的防食工法

(1) 概要

i) 電気化学的防食工法とは、防食対象であるコンクリート中の鋼材に電気を供給することで、コンクリート中の鋼材を塩害および中性化による腐食から保護する工法である。

土木学会コンクリートライブラリー107「電気化学的防食工法設計・施工指針（案）」⁵⁾においては、電気化学的防食工法として、電気防食工法、脱塩工法、再アルカリ化工法、電着工法の4工法が記載されている。これらの電気化学的防食工法の概要を以下に解説する。

電気防食工法は、コンクリート表面に設置した陽極をプラス極、防食対象である鋼材をマイナス極として、微弱な直流電流（5～20mA/m²程度）を継続的に通電することによって、腐食反応によって発生する腐食電流の流れを停止することで、腐食反応を抑制する工法である。

脱塩工法は、コンクリート表面に設置した仮設陽極を電解質溶液で覆い、これをプラス極とし、対極となる鋼材をマイナス極として、大きな直流電流（1～2A/m²程度）を2ヶ月間程度通電し、コンクリート中に存在する腐食の原因となる塩化物イオンを電気泳動によって除去もしくは低減することで、塩化物による鋼材表面の不動態被膜の破壊を阻止することで腐食反応を抑制する工法である。

再アルカリ化工法は、脱塩工法と同様に、コンクリート表面に設置した仮設陽極をアルカリ性溶液で覆い、これをプラス極とし、対極となる鋼材をマイナス極として、大きな直流電流（1～2A/m²程度）を1ヶ月間程度通電することで、電気化学的にアルカリ性を付与し、中性化（炭酸化）によるpHの低下を阻止することで鋼材の腐食反応を抑制する工法である。

電着工法は、海水中等に設置した仮設陽極をプラス極、構造物中の鋼材をマイナス極として、比較的大きな直流電流（0.5A/m²程度）を6ヶ月間程度通電することで、構造物に発生したひび割れを閉塞させたり、コンクリート表面への無機系物質を析出させることでコンクリート表面を密実化する工法である。

ii) 電気化学的防食工法は、上記の各工法で適用する目的が異なっているため、道路橋床版への適用に際しては、各種電気化学的防食工法の特性および適用の目的を十分に把握し、対象構造物の供用条件等を考慮して、目的に応じた工法を選定する必要がある。各工法の目的および道路橋床版への適用性について以下に解説する。

電気防食工法は、コンクリート中の鋼材の腐食反応を制御することを目的としているため、塩害および中性化による腐食対策として適用することができる。

脱塩工法は、塩化物イオンの除去が目的で、この目的を達成するためには、約2ヶ月の通電期間が必要であり、橋梁床版上面を防食対象とする場合には、橋梁の供用に支障をきたすことも想定され、本工法の床版上面への適用にあたっては、橋梁の供用条件への配慮が非常に重要である。

再アルカリ化工法は、中性化（炭酸化）に対する対策工法であり、道路橋床版で問題となっている飛来塩化物、凍結防止剤、内在塩化物等に起因する塩害に対しては、工法の有する目的の範囲外である。

電着工法は、コンクリート表面の緻密化が目的で、橋梁上面への適用は、通電期間（約6ヶ月）や供用条件等の考慮が必要である。また、本工法は海中の構造物への適用を基本として開発された工法であるため、道路橋床版の下面への適用に対しても電解質水溶液の容器をコンクリート表面に通電期間中、設置し、維持する必要がある等の制限が存在する。

これらの工法の目的や道路橋床版を対象とした塩害対策への適用性を考慮すると、本工法の道路橋床版への適用性は、表-付5.2.11のように取りまとめることができる。

表-付 5. 2. 11 電気化学的防食工法の道路橋床版の塩害対策への適用性

適用箇所 適用工法	塩害を対象とした適用箇所 (道路橋床版)	
	床版上面	床版下面
電気防食工法	○	○
脱塩工法	△ (×)	○ (△)
再アルカリ化工法	×	×
電着工法	×	×

○ ; 適用可能, △ ; 適用に検討が必要, × ; 適用対象外

表-付 5. 2. 11 において, 脱塩工法の床版上面への適用性を△ (×), 同様に床版下面を○ (△) としたのは, 床版上面への適用は橋梁の供用条件が大きく影響するため, また, 床版下面への適用での (△) は振動を伴う道路橋において電解質溶液を通電期間中, 脱落なく, 維持管理することの難易度を考慮した結果である.

表-付 5. 2. 12 にこれらの電気化学的防食工法の道路橋床版への適用実績を示す.

表-付 5. 2. 12 電気化学的防食工法の道路橋床版への適用実績

適用箇所 適用工法	塩害を対象とした適用箇所 (道路橋床版)	
	床版上面	床版下面
電気防食工法	国内なし (海外多数)	国内多数 (PC, RC, 鋼桁等)
脱塩工法	なし (試験施工 1 件)	数件 (主に桁部)
再アルカリ化工法	なし	なし
電着工法	なし	なし

上記を考慮し, 道路橋床版への電気化学的防食工法の適用性として, 電気防食工法について解説する.

コンクリート構造物へ電気防食工法を適用するための技術開発は, 米国において, 1970 年代に着手され, 1980 年代に実用化に至っている. この技術開発の原因としては, 1960 年代に米国において施行された「冬季道路網確保政策」が挙げられ, この政策の下, 多量の凍結防止剤が散布されることとなった. また, この頃の米国の構造物は, 1929 年の世界恐慌に伴うニューディール政策により, 多量に建設された構造物がその耐用年数に至り, 維持管理が非常に重要な時期に差し掛かっていたが, 米国経済の状況は悪化しており, 後に言われる, 所謂, 「荒廃するアメリカ」の時代であった.

コンクリート構造物の電気防食は, 米国における凍結防止剤散布に起因する道路橋床版の塩害対策工法として開発された技術であり, そのため床版上面の塩害対策技術としての適用性は, 優れていると判断できるが, 国内での施工実績は存在しない.

この理由としては, 我が国における凍結防止剤の大量散布は, 1990 年のスパイクタイヤの使用禁止以降であり, また, 米国では, コンクリート舗装が主流であるのに対し, 我が国では, アスファルト舗装が主流であることやアスファルト舗装に加えて床版上面への防水処理の施工が実施されているため, その被害は, 米国ほど深刻でないことが推察される.

しかしながら, 米国における凍結防止剤による塩害劣化損傷が大量散布を開始してから約 20 年後であったことを考慮すると, 今後, 凍結防止剤による塩害劣化損傷が増加することが推定され, 特に, 防水対策を実施していない床版や防水対策に損傷を受けた橋梁などの凍結防止剤による塩害が懸念される.

一方、周りを海で囲まれた島国である日本においては、海岸線近傍に建設された橋梁が非常に多く、これらの橋梁下面の飛来塩化物イオンによる塩害劣化損傷は、深刻である。

海岸線に存在する橋梁の飛来塩化物イオンによる塩害は、通常、より海水面に近い桁部が深刻であるが、床版下面においても、同様な塩害による損傷が認められており、このような場合、桁部および床版部の双方を防食対象として、電気防食を施工した事例は多数存在する。このような場合、部材中の鋼材量の違いや劣化損傷程度の違いを考慮して、電気防食の回路を分割することが多い。

図-付 5. 2. 11 および図-付 5. 2. 12 に塩害による劣化損傷の状況を示す。



図-付 5. 2. 11 道路橋上面の塩害劣化損傷事例（米国）



図-付 5. 2. 12 道路橋下面の塩害劣化損傷事例（日本）

(2) 設計

i) 電気防食工法には、種々の方式が存在するため、本工法の適用に際しては、目的とする要求性能を満足できる防食方式を選定しなければならない。

表-付 5. 2. 13 は、参考文献 5), 6) に基づき、これまでにコンクリート構造物の塩害対策に適用された各種電気防食工法の一覧であり、これらの防食方式の道路橋床版への適用性の判定結果を併記した。これらの工法の中には、現在は存在しない工法もあるため、適用された年次も記載した。

コンクリート構造物への電気防食工法は、2. 4 (1) に解説したように米国における凍結防止剤に起因する塩害の対策工法として開発が始められ、世界最初の適用実証試験は、1974 年に米国で実施された。防食対象は、鉄筋コンクリート橋梁の床版上面である。この時に適用された電気防食工法は、導電性オーバーレイ方式（表-付 5. 2. 13 の①）と呼ばれる方式で、直径 30cm 程度の円盤状の珪素鉄を 1 次陽極として設置し、床版全体を導電性アスファルト（2 次陽極）で舗装する方式である。本適用実証試験において、電気防食工法が凍結防止剤による塩害の対策工法として非常に効果的であることが実証されたが、この方式の電気防食は、耐用年数が短いことや 1 次陽極の重量が大ききことなどの理由で、本格的に実用化されることはなかった。

その後、橋梁床版に一定間隔で溝を切り、この中に白金メッキニオブ線（1 次陽極）を挿入、これを炭素を混入したペースト（2 次陽極）で覆う溝式ノンオーバーレイ方式（表-付 5. 2. 13 の⑨）や白金メッキニオブ線（1 次陽極）を線状にコンクリート表面に配置し、これを炭素繊維を混入したコンクリートやアスファルト（2 次陽極）で床版上面全面を覆うストリップオーバーレイ方式（表-付 5. 2. 13 の⑩）、炭素粉をポリエチレンなどの高分子樹脂と混合し、これで白金メッキチタン線の周りを被覆して電線状に加工した陽極を用いる導電性プラスチック方式（表-付 5. 2. 13 の②）などが開発され、道路橋床版上面に適用されたが、いずれも通電による炭素の劣化が問題で、寿命が短く、耐久性に問題があることが明らかとなった。

これらの電気防食方式における耐久性上の問題点の向上を目的とした開発された電気防食の方式がチタンメッシュ陽極方式（表-付5.2.13の③）と呼ばれる方式で、苛性ソーダの製造などに用いられている工業用電解プラントの電極技術を応用し、金属チタンをエキスパンドメタル状に加工し、これを白金系貴金属で焼付コーティングした高耐久性の陽極を適用する技術である。この技術開発によって、米国における凍結防止剤による橋梁床版上面の塩害対策技術は、ほぼ確立された。図-付5.2.13にチタンメッシュ方式（表-付5.2.13の③）の電気防食の橋梁床版上面への施工状況を示す。

また、我が国においては、橋梁床版上面への電気防食の適用事例は皆無であることを先に述べたが、下面への適用事例は、多数存在し、コンクリート桁と同時に施工される場合が多い。図-付5.2.14は、鋼桁橋梁の床版下面を防食対象とした電気防食（チタンリボンメッシュ方式）の施工状況である。

表-付5.2.13 各種電気防食方式

防食方式		電気防食方式	床版への適用		適用年次	土木学会 ⁵⁾ 記載
電源方式	形状		上面	下面		
外部電源 方式	面状 方式	①導電性オーバーレイ方式	△	×	73～85	
		②導電性プラスチック方式	△	△	85～91	
		③チタンメッシュ方式	○	○	84～現在	有
		④パネル陽極方式	×	△	93～現在	有
		⑤導電性塗料方式	×	○	85頃～現在	有
		⑥チタン溶射方式	×	○	00頃～現在	有
		⑦チタン亜鉛溶射方式	×	○	00頃～現在	有
		⑧導電性モルタル方式	×	○	95頃～現在	有
	線状 方式	⑨溝式ノンオーバーレイ方式	△	×	78～90	
		⑩ストリップオーバーレイ方式	△	×	78～90	
		⑪チタンリボンメッシュ方式	○	○	88頃～現在	有
		⑫チタングリッド方式	○	○	92頃～現在	有
	点状	⑬チタンロッド方式	△	△	90頃～現在	有
流電陽極 方式	面状	⑭亜鉛シート方式	×	△	86～現在	有
	方式	⑮亜鉛・アルミ擬合金溶射方式	×	△	80頃～現在	有

○；適用可能，△；適用に検討が必要，×；適用対象外



図-付 5. 2. 13 床版上面への電気防食適用例（米国） 図-付 5. 2. 14 床版下面への電気防食の適用例（日本）

なお、米国連邦道路局（FHWA, Federal Highway Administration）は、これらの電気防食技術に対して、以下のようなコメントを発表している。

FHWA Position on Cathodic Protection Systems ; April 23, 1982

「塩害で損傷を受けたコンクリート構造物の腐食を停止できる唯一の技術は電気防食である」

FHWA Position on Cathodic Protection Systems Revisited ; May 24, 1994

「塩害により損傷し架け替えが必要な段階に至る前の橋梁においても、電気防食は延命策として有効である。はく離は生じていないが明らかにコンクリート中に塩分が入っている橋床版の補修方法として、電気防食は強く推薦する工法である」

ii) 道路橋床版の塩害対策として適用する防食工法は、対象床版の損傷状況、損傷原因となる塩化物イオンの供給原因等を考慮して対策工法を設定するとともに選定した対策工法が有する防食能力が十分に発揮できるようにその設計を実施しなければならない。道路橋床版の塩害対策工法の選定および対策工法の設計に対する考え方について、以下に解説する。

1) 塩害対策工法の選定に対して考慮すべき事項

塩害対策工法の選定に対して考慮すべき事項としては、塩害対策を行う道路橋床版の損傷の程度およびその原因となる塩化物イオンが供給される原因が挙げられ、損傷の程度としては、以下のような状況がその対象となる。

ア) 塩害による劣化損傷が外観上認められる。

イ) コンクリート中に塩化物イオンの含有が認められる。

ウ) 今後の経年により、コンクリート中に塩化物イオンが含有される環境に存在する。

上記の状況を土木学会コンクリート標準示方書【維持管理編】⁷⁾の劣化過程（塩害）に当てはめると、ア)は加速期～劣化期、イ)は進展期、ウ)は潜伏期に位置付けることができる。ア)においては、劣化損傷している部位の修復を行うと共に、修復後の塩害の進行を妨げるような対策を施し、再劣化の対策を行うことが重要である。

また、イ)においては、含有している塩化物イオン量に基づき塩害による損傷が外観上の損傷に進展することを避けるための対策の検討を実施するが、土木学会コンクリート標準示方書【維持管理編】の腐食発生塩化物イオン濃度 1.2 kg/m^3 が目安となり、また、フィックの拡散則などに基づいた経年のシミュレーション

を行い、適用する防食対策を選定する場合も多々ある。

一方、ウ)においては、予防保全的な対策を実施するが、その際、塩害の原因となる塩化物イオンがコンクリート中に導入する原因となる以下の3つを考慮して、その対策を実施する。

- ① 海洋性塩化物の浸透
- ② 凍結防止剤からの塩化物の浸透
- ③ 除塩不足の海砂や混和材の使用による内在塩化物

上記の①および②は、今後、含有塩化物イオン量が増加する環境であり、このような環境に存在する道路橋では、今後の塩化物イオンの浸透を考慮した予防保全的防食対策を塩害劣化が進行すると判断される床版上面または下面に実施しなければならない。

一方、③の環境に存在する構造物では、今後、塩化物イオン量が増加する可能性は小さいため、現時点でのイオン量に基づいた防食対策を選定することとなるが、この場合においても、イ)において述べたフィックの拡散則などに基づいた経年のシミュレーションを実施して、対策工法の選定を行う場合もある。

このように道路橋床版の塩害対策として電気化学的防食工法（電気防食工法）を選定する場合、対象床版の損傷状況や防食対象位置（床版上面または下面）を考慮し、表-付5.2.13等を参考として適用する方式を選定する。

2) 電気化学的防食工法の道路橋床版への適用事例

1) において解説した「塩害対策工法の選定に対して考慮すべき事項」などを考慮した電気化学的防食工法（特に電気防食工法）の各種構造物への劣化過程別の適用事例としては、下記のようなものがある。

ア) 新設時

塩害環境が非常に厳しく、電気防食以外の塩害対策では不十分と判断され、電気防食工法が適用された事例で、国内では3例がある。

イ) 潜伏期

対象とする部材には損傷・劣化は認められないが、他の同一部材において損傷・劣化が認められたため、対象構造物全体を補修対象として、予防保全として適用された事例がある。

ウ) 進展期

ひび割れや軽微なはく離・はく落が認められる状況で、はく離・はく落部の断面修復と併用して適用される事例がある。我が国における道路橋床版への適用事例としては、床版下面への適用で、PCT 桁橋梁の桁部および床版部への適用事例が多数で、鋼桁橋梁の床版部への事例も存在する。

エ) 加速期

進展期と同様であるが、鋼材位置での内在塩化物イオン濃度が大きく、他の補修工法での対策では、再劣化の可能性が非常に大きいことや断面修復部と非補修部でマクロセル腐食が促進されることなどを考慮して適用される場合が多い。

オ) 劣化期

各種補強工法での対策が必要な状況であるが、これらの補強と併用して電気化学的防食工法が適用される場合がある。

道路橋床版を対象とした電気化学的防食工法の我が国での適用事例は、床版下面への電気防食工法の適用事例のみであるが、これは、我が国での塩害の大部分が海洋性の飛来塩化物に起因するためである。

近年、1991年に施行されたスパイクタイヤ禁止による凍結防止剤の散布量の増加に伴い、床版上面の塩害が問題となって来ている。例えば、散布された凍結防止剤が伸縮装置部から床版下面へ流れ出て、床版下面

端部や遊間部の塩害が問題となっており、この対策としての電気防食の適用事例が増加している。

これらの凍結防止剤による塩害は、床版下面や側面が対象であり、上面への適用は今後の状況に応じての検討によるものと推察される。コンクリート構造物への電気防食の技術開発の根本は、米国における凍結防止剤による橋梁床版の凍結防止剤による塩害対策であり、コンクリート舗装が主流の米国では確実にその成果が発揮されていることを考慮すると、その適用性は高いと考えられる。

3) 道路橋床版へ電気化学的防食工法を適用する場合の防食設計の留意点

電気化学的防食工法のうち、道路橋床版の塩害対策として適用の可能性が最も大きい電気防食を対象として、適用時の防食設計に関する留意点を以下に解説する。

電気化学的防食工法の防食設計は、土木学会「電気化学的防食工法設計・施工指針（案）」⁵⁾等を参考として実施し、2.4(3)の防食基準を満足するように設計するが、道路橋床版上面への適用に関しては、橋面防水工への配慮が必要である。電気化学的防食工法では、通電する防食電流が大きくなった場合、電気分解により水素や酸素などのガスが発生する可能性がある。このガスは、橋面防水工の付着を阻害し、はがれを生じる原因となるため、これらのガスが発生しないように防食電位をコントロールするなどの配慮が必要である。同様に、下面への適用の場合、炭素繊維シート接着工法やはく落防止工法等との併用では、橋面防水の場合と同様に塗膜のはく離の可能性がある。このような場合の実際的な対応としては、塗膜の一部に塗装を行わない箇所を設け、ガス抜きとする対策が適用されている。

また、断面修復箇所への樹脂系埋め戻し材適用は、防食電流の均一性を阻害する一因となるため、これを考慮した材料の選定を行うと共に、すでに適用されている場合には、その調査を実施し、防食効果に支障をきたすと判断された場合は、これを撤去するなどの対策が必要である。

iii) 電気防食工法の設計は、適用する防食方式が適切な防食効果を発揮できるようにするため、それぞれの電気防食方式が標準とする使用材料を用い、各工法が標準とする設計に基づくことを基本とする。電気防食工法は、適用する電気防食方式によって使用材料（陽極材料等）が異なるため、その設計の考え方も異なる。各種電気防食工法に適用する主な構成材料としては、以下のようなものがある。

- ア) 陽極材料；適用する電気防食方式によって異なる
- イ) モニタリング用材料；照合電極、排流端子等
- ウ) 直流電源装置；流電陽極方式の場合は不要
- エ) 配線・配管材料；JIS等に準じる材料

電気防食の構成例として、図-付5.2.15および図-付5.2.16にチタンメッシュ方式およびチタンリボンメッシュ方式の概要図を示す。これらの電気防食方式は、表-付5.2.13に示すように、直流電源装置を用いる外部電源方式の電気防食であり、チタンメッシュ方式は防食電流の均一性に優れる面状陽極方式、チタンリボンメッシュ方式は線状陽極方式である。また、これらの陽極は、エキスパンド状に加工したチタンの基材に白金系の貴金属を焼付コーティングした材料で、陽極の耐用年数に優れる。なお、面状陽極方式の場合には、コンクリート表面全体に陽極を設置するが、線状陽極方式の場合、陽極の設置間隔の設定が非常に重要で、コンクリート中の鋼材量や鋼材腐食の進行状況等を考慮して決定することや試験やFEM解析等を行い決定されている。他の方式の電気防食の構造・構成は、土木学会「電気化学的防食工法設計・施工指針（案）」⁵⁾を参照されたい。

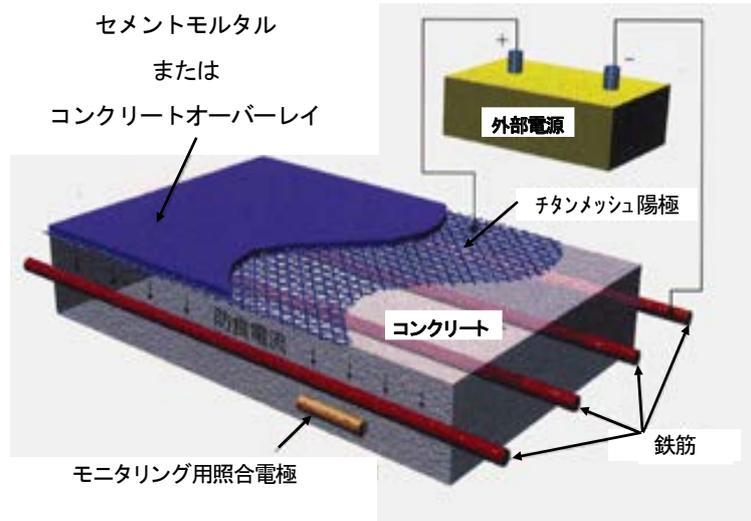


図-付 5. 2. 15 チタンメッシュ方式の電気防食システムの概要⁸⁾

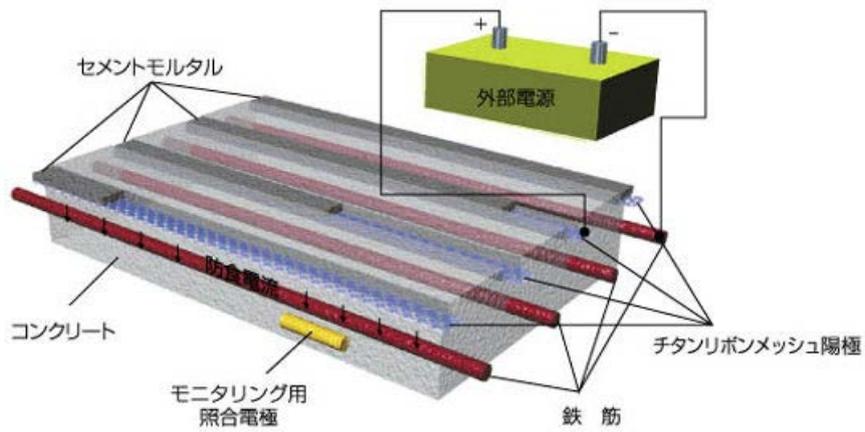


図-付 5. 2. 16 チタンリボンメッシュ方式の電気防食システムの概要⁸⁾

(3) 施工と維持管理

i) 電気化学的防食工法（電気防食工法）の施工および施工管理並びに維持管理は、土木学会「電気化学的防食工法設計・施工指針（案）」⁵⁾に準拠して実施するとよい。

各種電気防食工法の施工工程は、用いる陽極の種類によって、その設置方法が異なるが、基本的な施工工程はいずれも同様である。標準的な施工工程を図-付 5.2.17 に示す。

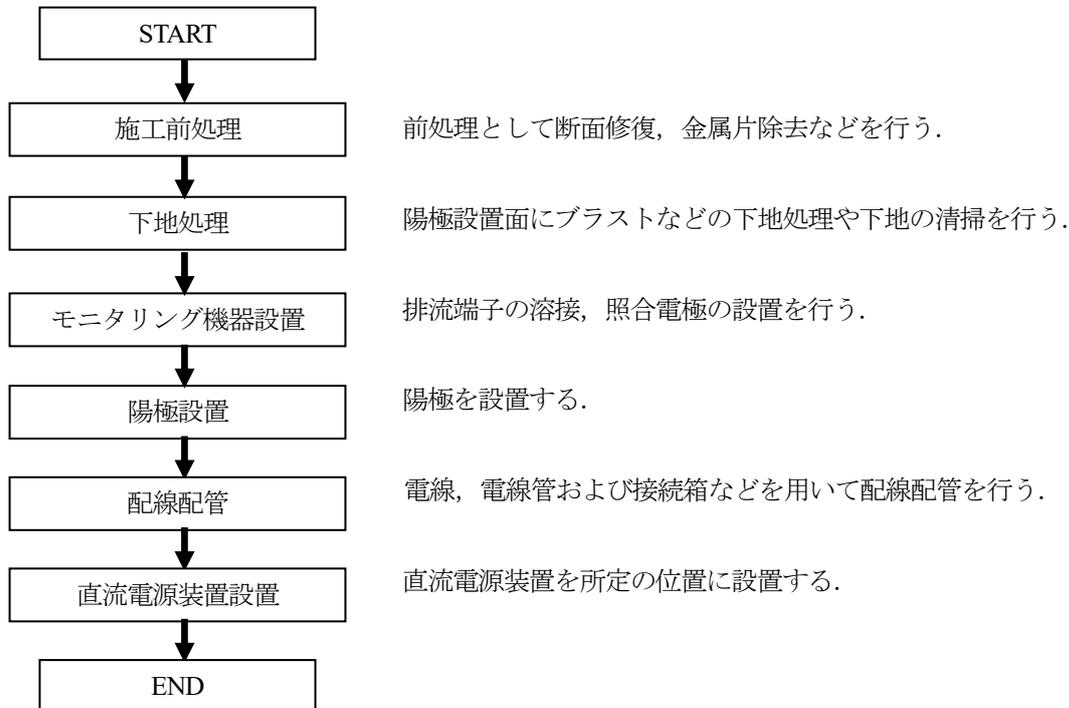


図-付 5.2.17 電気防食工法の一般的な施工工程⁶⁾

なお、米国において実施されている道路橋上面へのチタンメッシュ方式の電気防食の陽極設置は、以下のような工程で実施されている。

- ア) 橋梁上面の下地処理および清掃潜伏期
- イ) 通電点の橋梁下面への取り出し穴の削孔
- ウ) ディストリビュータ（電流分配用チタンバー）の設置
- エ) 陽極（チタンメッシュ）の設置（固定）
- オ) ディストリビュータとチタンメッシュ接続のためのスポット溶接
- カ) 付着確保用セメントペーストの塗布
- キ) コンクリートの打設

また、電気防食においては、防食が確実に実施できるようにするため、通常の施工管理に加えて、下記の電気防食施工時の管理を実施している。

- ア) 鋼材間導通確認試験

防食対象であるコンクリート中の鋼材の全てに防食電流を供給するためには、これらが電氣的に接続していることが必要で、これを確認する。電氣的接続がない場合には、これを接続する。

- イ) 照合電極作動確認試験

電気防食における防食効果の確認や維持管理を行うためのセンサーである照合電極が、設置後に

その目的を達成できる状態にあるかを確認する。

ウ) 陽極間導通確認試験

設置した陽極から防食電流が供給できるように、その全てが繋がっているかを確認する。

エ) 陽極鋼材間絶縁確認試験

設置した陽極と防食対象の鋼材が接触している場合、防食回路は短絡して、防食電流の供給ができないため、この短絡がないかを確認する。

オ) 仮通電試験

目的とする電気防食回路が構成されているかを確認するために、仮設電源を用いて短時間の通電を行い、照合電極の電位がマイナス方向に変化することを確認する。

カ) 通電試験

電源装置設置後に分極試験 (E-logI 試験) を実施し、防食状態での通電を行うための通電電流量を求める。

また、施工後の維持管理は、一般の場合と同様に、点検、評価および判定、対策、記録を合理的に組み合わせて実施する。土木学会「電気化学的防食工法設計・施工指針 (案)」⁹⁾では、維持管理の手順並びに電気防食の具体的な点検項目および点検内容を明記しており、電気防食の維持管理はこれに準じるとよい。

ii) 電気防食工法の適用・運用においては、想定される防食効果が得られる基準 (防食基準) を満足しなければならない。防食基準とは、電気防食において想定される防食効果が得るため満足しなければならない防食対象鋼材の電位を規定する基準であり、土木学会「電気化学的防食工法設計・施工指針 (案)」⁹⁾では、以下のように規定している。

ア) 防食電流を流す前後の鋼材の電位変化量を基準として、防食状態を管理する。電位変化量の基準は、鋼材の電位をマイナス方向に 100mV 以上変化させることを基準とする。

イ) PC 鋼材は、飽和硫酸銅電極 (CSE) 基準で、-1000mV より貴な電位に設定しなければならない。

これらの基準は、外部電源方式の電気防食においては、流す電流密度によってコントロールされる。すなわち、流す電流密度が大きければ、ア) の電位変化量 (分極量、復極量) は大きくなり、イ) の鋼材電位もマイナス側に大きくなる。また、防食基準イ) は、コンクリート中の PC 鋼材の水素脆化を避けるための基準であり、通電により、水が電気分解することで発生する水素によって PC 鋼材が破断する可能性を避けるために、水の電気分解が起こらない範囲での通電を規定したものである。このため、道路橋床版を防食対象とする場合、大半は RC 造であり、これを考慮する必要性は小さい。なお、流電陽極方式の電気防食においては、これらの電位をコントロールすることはできない。

これらの基準の管理は、電気防食の施工時にコンクリート中に埋め込んだ照合電極と呼ばれる鋼材の電位計測用のモニタリング装置を用いて実施する。このため、防食効果の把握が適切に実施でき、電気防食が長期的な塩害腐食対策として有用視されている理由でもある。

2.5 縦桁増設工法

(1) 概要

i) 縦桁増設工法は、鉸桁橋などにおいて既設の主桁間に縦桁を増設して床版を支持させ、床版支間を縮小して曲げモーメントを減少させることにより、既設床版の耐荷力の向上を図る工法である。本工法は、1975年頃から採用され始め、現在までに数多くの施工実績がある。

縦桁増設工法の概念図を図-付5.2.18に示す。床版と増設する縦桁の間には一定の隙間を保って樹脂などを充填し密着を図る。縦桁を配置する際には、それらを支持する横桁が必要となり、既設横桁を利用する場合と、横桁がなく、新たに設置する場合がある。施工は床版下面側で行われるため、交通を開放しながらの施工が可能である。また、床版下面の一部を覆うだけなので、補強後の損傷の変化を確認することが可能である。なお、桁増設による死荷重の増加があるため、既設部材への影響を検討する必要がある。

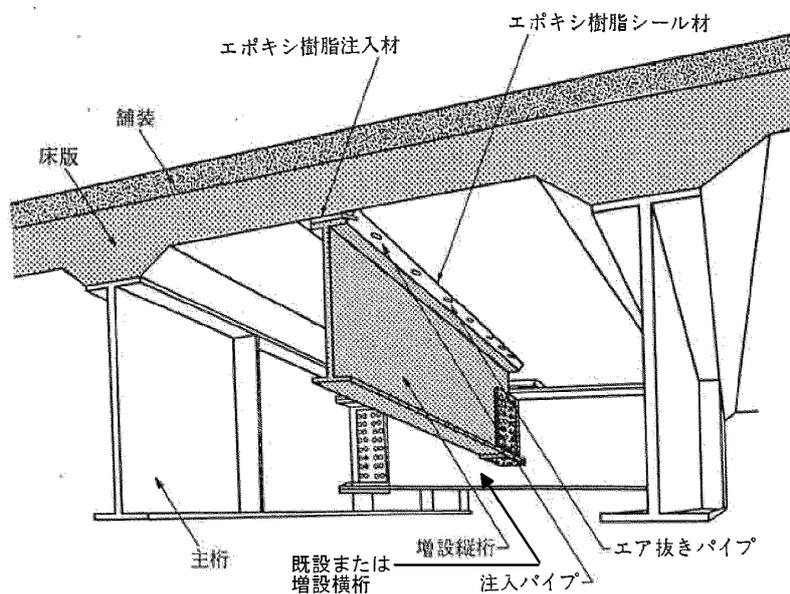


図-付5.2.18 縦桁増設工法概念図

ii) 縦桁増設工法は、床版支間が比較的長く、輪荷重による曲げモーメントが大きい場合に効果的な補強工法であり、輪荷重による疲労に対しても有効である。適用時期は、損傷がより初期の段階であるほど高い補強効果が期待できる。ただし、本工法は床版の押抜きせん断耐力の補強にはならないため、損傷が過度に進行し貫通ひび割れが形成されている床版に対する補強効果はあまり期待できない。押抜きせん断耐力に対する補強効果も期待した適用方法としては、路面のレーンマーク位置を事前に調査し、車輪の通過頻度が高い位置の直下に縦桁を増設することにより、輪荷重の一部を直接縦桁に伝達させ、床版自体に作用するせん断力を低減することが考えられる。なお、本補強工法は、特殊な構造や添架物の設置状況によっては増設縦桁あるいは増設横桁の設置が困難な場合があることに注意を要する。

(2) 設計

i) 鋼板桁および鋼箱桁に縦桁増設工法を適用する場合の設計手順を図-付5.2.19に示す。補強後の床版応力を照査する際には、一般的に、既設桁と増設縦桁の剛度差により床版に不等沈下が生じるため、この影響を考慮し、床版の付加曲げモーメントを算定して応力照査を行う必要がある(土研資料第1338号⁹⁾、道示II¹⁰⁾。また、増設縦桁上の床版には負曲げモーメントが発生する場合があるのでこれに対する応力照査を実施する。増設縦桁および横桁の断面設計は、載荷荷重に対する応力照査によるほか、主桁とのバランスを考慮し、主桁との剛度比およびたわみ制限により決定する。

ii) 床版支持部の一般的な断面を図-付5.2.20に示す。増設縦桁は、その上フランジが直接床版下面に接するように設置することが困難なため、通常、増設縦桁と床版との間に隙間(4~6mm程度)を確保するように縦桁を設置し、隙間の周囲をシーラ材でシーラした後、隙間に充填材を注入して床版と縦桁の密着を図る。増設縦桁と床版の隙間の充填材は、一般的に注入用エポキシ樹脂が使用される。

iii) 増設縦桁および増設横桁には、鋼製部材が用いられるのが一般的であるが、H形FRPはりを用いた工法も開発されている。増設桁が鋼製部材の場合は通常、ビルトアップされた鋼I桁あるいはI形鋼等が使用され、鋼種には、SS400およびSM400が用いられる。増設される鋼製の縦桁・横桁関係の部材連結は、一般的に高力ボルト摩擦接合による。

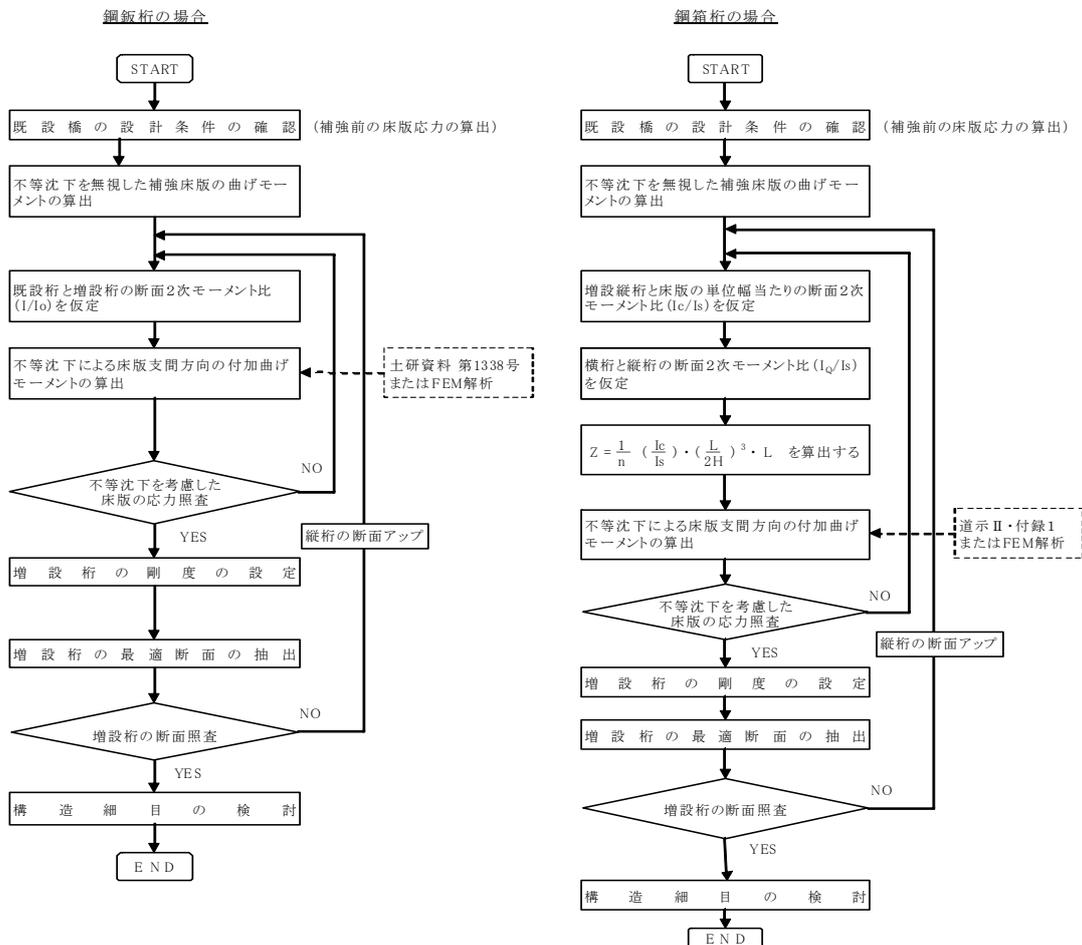


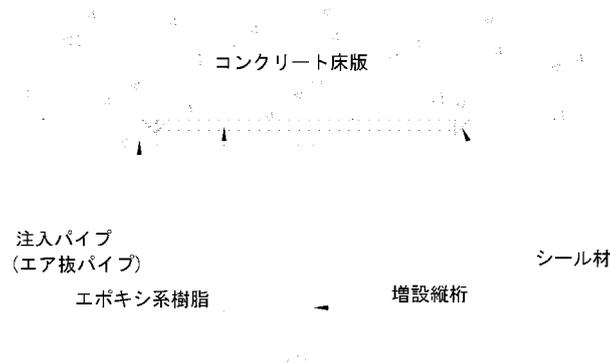
図-付 5.2.19 縦桁増設工法の設計手順¹⁾

図-付 5.2.20 縦桁増設工法標準断面図

(3) 施工と維持管理

i) 縦桁増設工法による補修・補強の施工は、増設縦桁による床版の支持が確実になされるように、適切な工法、材料の選定、施工および施工管理を行う。

縦桁増設工法の一般的な施工フローを図-付 5.2.21 に示す。

- ア) 床版調査の結果、ひび割れ幅が大きいものについては縦桁設置に先行してひび割れ補修を行うことを検討する。
- イ) 既設対傾構を充腹横桁に取替える場合は、一度に全てを撤去するのではなく、個別に対傾構撤去、横桁設置を繰り返すか、1日に施工する縦桁設置範囲に合わせて部分的に撤去、設置を行う等、構造物としての安全を計る必要がある。
- ウ) 増設縦桁と床版の隙間はできるだけ小さくするのがよく、もし床版コンクリート面に大きな不陸があるときは、縦桁のフランジ幅相当の範囲をグラインダーがけするなどしてできるだけ平滑に仕上げておくのがよい。充填作業は通常、増設縦桁と床版の隙間の周囲をエポキシ樹脂シール材等で密封し、隙間の程度に応じて適切な間隔で設けた注入パイプから注入ポンプを用いてエポキシ樹脂充填材を注入する形で行われる。注入パイプから注入した樹脂が隣接するエア抜きパイプ（注入パイプと兼用）から流出したら、順次隣接パイプからの注入に切り替えて、連続的に充填作業を行う。

ii) 縦桁増設工法により補強された道路橋床版の維持管理では、以下の項目等について主に下面からの目視による点検・調査を実施する。

- ア) 床版のひび割れ、漏水、白色析出物等の変状の進行状況
- イ) シール部分のはく離
- ウ) 増設桁の錆び、腐食および変形
- エ) その他損傷、欠陥、不良音

なお、増設桁に鋼部材を用いた場合は、主桁と同様に定期的な塗装塗り替え等が必要となる。

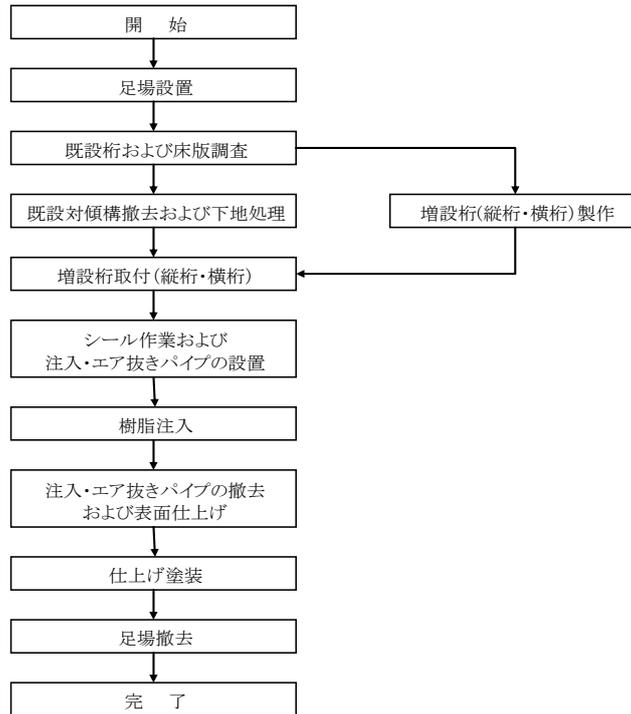


図-付 5. 2. 21 縦桁増設工法の一般的な施工フロー

2.6 炭素繊維シート接着工法

(1) 概要

i) 炭素繊維シート接着工法は、道路橋床版の耐荷力の増強を図るとともに、ひび割れの発生および進行を防止し疲労による劣化を抑制し長寿命化することを目的として、炭素繊維シートをエポキシ樹脂などの接着剤を含浸させながら接着し、床版コンクリートと一体化する工法である。この工法では、曲げひび割れの開口挙動を拘束し、たわみや鉄筋の応力度を低減し、道路橋床版の疲労耐久性を向上させる効果がある。炭素繊維シート接着工法は、道路橋床版の補強で多数の施工事例があり、各機関で設計・施工指針などの技術基準の作成が行われている。本工法は、鋼橋およびコンクリート橋いずれの RC 床版に対しても利用されている。

炭素繊維シートは、主として曲げモーメントに対して引張材として機能する。炭素繊維シート自体のせん断剛性は小さいので、道路橋床版の静的押し抜きせん断耐力の向上に対する効果は小さいものと考えられるが、炭素繊維シートを床版下面に接着補強することで20%程度押し抜きせん断耐力が向上したとする報告もある¹²⁾。本工法は道路橋床版下面に炭素繊維シートを接着することで、道路橋床版のたわみを抑制し、ひび割れの開閉を拘束することで床版コンクリートの劣化を抑制することで、道路橋床版の延命化を図る工法であり、2方向ひび割れが発生しているものの床版コンクリートのブロック化までは至っていない程度の劣化進行過程の道路橋床版に対して適用されている。炭素繊維シート接着工法は、劣化・損傷が認められる道路橋床版はもとより、現状では損傷が小さい場合でも、設計当時に比べて作用荷重が大きく、将来、劣化が進行すると予想される道路橋床版にも適用可能である。

また、アラミド繊維シートは、ヤング係数が炭素繊維シートの数分の1と小さいものの、絶縁体であることから鉄道架線上の跨線橋など電氣的絶縁性が要求される場合に使用されることが多い。

本項では、炭素繊維シート接着工法による道路橋床版の補強の設計・施工の基本的な考え方を示しており、道路橋床版の劣化・損傷状況やその要因、環境条件を十分考慮した上で、本項の規定を適用することができる。

ii) 炭素繊維シート接着工法による補修・補強は、道路橋床版の点検結果に基づき、その劣化・損傷要因、劣化進行過程を適切に評価した上で工法の適用性について検討し、実施するのがよい。なお、各種損傷要因と劣化の進行過程に対する本工法の適用性については本マニュアルの第5章を参照のこと。

橋面から水が浸透することにより、ひび割れ部のすり磨き作用が助長されて道路橋床版の劣化を促進することになる。また、床版下面に滞水して炭素繊維シートとコンクリートの接着に悪影響を及ぼすことが考えられ、橋面防水システムを整備することを原則とする。漏水の経路となるひび割れについても適切な処置を施す必要がある。塩害などの複合劣化により鉄筋腐食やかぶりコンクリートの浮やはく落がある場合には、不良部を除去して鉄筋の防錆処理、断面修復を行った上で炭素繊維シートを接着する。

(2) 設計

i) 炭素繊維シート接着工法による道路橋床版の補修・補強設計は、道路橋床版の構造諸元、交通の状況、道路橋床版の損傷状態を考慮して補強後の道路橋床版が所要の疲労耐久性を確保できるよう、炭素繊維シートの種類、積層数、貼り付け方法を決定する。

本工法は、床版支間中央部の下面の補強が主であるが、張出床版など主桁上の負曲げモーメントに対する補強として床版上面に適用された例もある。炭素繊維シート接着工法の標準的な施工断面を図-付5.2.22に示す。当初は床版下面全面に接着する事例が多かったが、近年、床版コンクリート内の滞水防止やひび割れ

観察など維持管理上の目的で炭素繊維シートの間隔をあけて格子状に接着する事例も増えている（図-付5.2.23）。なお、炭素繊維シートを格子状に接着する場合は、炭素繊維シートを接着しない窓部にはプライマーや仕上げ塗料などの樹脂類を塗布せず、水分が透過できるようにするのがよい。

道路橋床版の疲労耐久性は、床版厚や鉄筋量および床版支間などの構造諸元や、当該橋梁の交通量や大型車混入率などの交通状況、ひび割れなどの損傷状態に依存する。また補強の目的は、損傷の軽微な道路橋床版の予防保全、損傷の進行した道路橋床版の応急対策、車両の大型化に対応した恒久対策など種々あり、目的に応じて要求される補修・補強の程度も異なる。一般に、炭素繊維シートの引張剛性（炭素繊維シートのヤング係数×断面積）が大きなものほどその補強効果が高くなると考えられるが、炭素繊維シートの引張剛性を大きくするために積層数を多くしすぎると不経済となるほか、工事期間が長くなるなどの悪影響も考えられる。したがって対象となる床版の構造諸元、交通の状況、損傷状態、予定供用期間を考慮して補強後の道路橋床版が所要の疲労耐久性を確保できるよう、炭素繊維シートの種類、積層数を決定するのがよい。炭素繊維シートで補強した道路橋床版の疲労耐久性は、輪荷重走行試験など、道路橋床版の疲労損傷メカニズムを考慮できる適切な方法により確認するのがよい。

炭素繊維シートの単位幅（1mm）あたりの引張剛性は、次式で表される。

$$E \cdot A = E_{CF} \cdot t_{cf} \cdot n \quad (\text{付 5.2.1})$$

ここに、

$E A$ ：単位幅（1mm）あたりの炭素繊維シートの引張剛性（kN/mm）

E_{CF} ：炭素繊維シートのヤング係数（N/mm²）

t_{CF} ：炭素繊維シートの厚さ（mm）

n ：炭素繊維シートの積層数（層）

既往の研究成果によれば、S39 道示で設計された道路橋床版（以下、S39 道示床版）に初期損傷を与えた後に主鉄筋方向、配力鉄筋方向に各 2 層の繊維目付量 300g/m² の高強度型炭素繊維シート（引張強度 3400N/mm²、ヤング係数 2.45×10⁵N/mm²）を接着した場合、H8 年道示床版と同等の疲労耐久性を有することが確認されたので、この補強量を標準補強量としてよいとの報告ある¹³⁾。このとき炭素繊維シートの引張剛性は、主筋方向、配力筋方向それぞれ 82kN/mm 幅となる。中弾性型や、高弾性型の炭素繊維シートなど異なる種類の炭素繊維シートを使用する場合は、炭素繊維シートのヤング係数と設計厚さから算定した引張剛性（EA）が上記の標準補強量に相当するようにするのがよい。中高弾性型の炭素繊維シートでは、主筋方向、配力筋方向各 1 層に接着することで概ね 82kN/mm² の引張剛性が得られることから、近年では中高弾性型炭素繊維シートを主筋方向、配力筋方向に各 1 層接着することが多い。昭和 40 年代より順次示方書が改定され、鉄筋量や床版厚が増えているため、S39 以降の新しい基準（たとえば昭和 47 年道路橋示方書）で作成された道路橋床版をこの標準補強量の炭素繊維シートで補強すれば、十分な補強効果が得られるものと考えられる。

また、最近の研究事例では炭素繊維シートを主筋方向・配力筋方向各 1 層を格子状に接着し、格子間隔を考慮して炭素繊維シートの引張剛性を 45～70kN/mm² 程度とした場合で、無補強床版に対して数倍から 10 倍以上の延命効果が確認されている¹⁴⁾。中・高弾性型炭素繊維シートを筋方向・配力筋方向各 1 層を格子状に接着する事例が増加している。

コンクリート床版の耐久性を改善するために、ひび割れからの塩分や水分などの有害物質の浸入の防止、コンクリート小片のはく落防止などの目的で炭素繊維シートを床版下面や張出し部などに接着して補修を行なうことも可能である。炭素繊維シート接着工法による補修は、劣化の状況やその原因、環境条件について

調査し現状を的確に把握した上で行なう。補修に使用する炭素繊維シートは、繊維目付量 $200\text{g}/\text{m}^2$ の高強度型炭素繊維シート1層を最少とし、貼り付け方向はひび割れに直交する方向など最も補強効果が得られる方向とする。損傷劣化の状況によっては2方向に炭素繊維シートを接着してもよい。

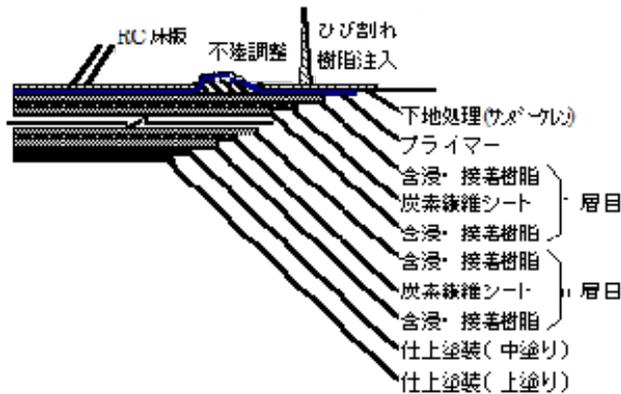


図-付 5. 2. 22 炭素繊維シート接着工法標準断面図

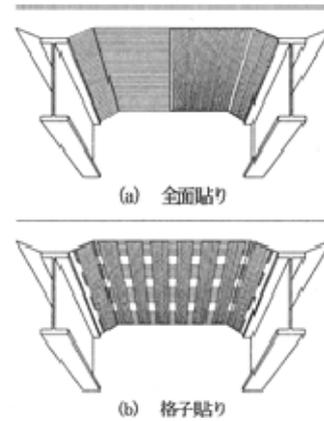


図-付 5. 2. 23 炭素繊維シートの接着方法¹⁴⁾

ii) 輪荷重の走行位置は床版支間の中央とは限らないので、床版パネル全体に炭素繊維シートを全面もしくは格子状に接着するのがよい。また、ハンチ入隅部からのひび割れ損傷を防止することを目的に主筋方向の炭素繊維シートはハンチ部まで連続して接着するのがよい。ハンチ部まで炭素繊維シートを接着することで、ハンチ入隅部での応力の不連続を防止し、また繰り返し荷重によるハンチ入隅部からのひび割れの進展を拘束する効果が得られるとも考えられる。ハンチと床版の境界の入隅部はエポキシ樹脂パテで半径 100mm 程度の緩やかな曲面とした後に炭素繊維シートを接着する。配力筋方向の炭素繊維シートは、その応力の伝達方向がハンチの隅角部に平行する方向であるので、ハンチ部まで貼り付ける必要はない。

iii) 炭素繊維シートの継手は、繊維方向の重ね継手とし、含浸接着樹脂でラップ部を接着して繊維方向に応力を伝達させる(図-付 5. 2. 24)。繊維直角方向には、応力を伝達しないので原則として継手を設ける必要はない。重ね継手の引張試験結果では、継手長さが 5cm 以下の範囲では継手長さに依存して継手強度は急激に変化するが、継手長さが 5cm 以上で継手強度はほぼ炭素繊維シートの引張強度に達して安定することが確認されている。また、設計上炭素繊維シートに生じる応力度は、炭素繊維シートの保証引張強度に比べて十分小さい。そこで、安定した継手強度を得るために最小継手長さは 10cm としてよい。床版の支間は一般に 3.5m 以下であり主鉄筋方向には継手を設けないのがよい。主鉄筋方向の炭素繊維シートに継手を設ける場合、原則として支間中央に配置するのを避ける。配力鉄筋方向については、一般に接着長さが長く継手を設けずに接着することは、施工上困難である。従って施工性を考慮して適切な長さ ($2\sim 4\text{m}$ 程度) の炭素繊維シートを重ね継手で接続しながら接着する。

多層積層する場合、同一位置で継手を設けると継手強度の低下、応力集中の原因となる。従って継手位置を 30cm 程度以上ずらして千鳥に配置するのがよい(図-付 5. 2. 25)。また平面内の継手配置も隣り合う炭素繊維シートの継手が同一線上にならないように配置するのがよい(図-付 5. 2. 26)。

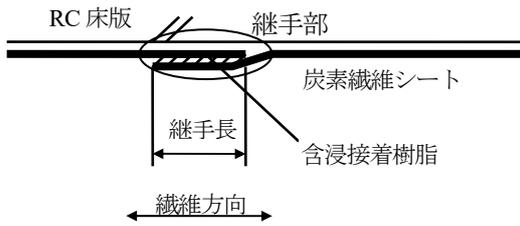


図-付 5. 2. 24 炭素繊維シートの継手

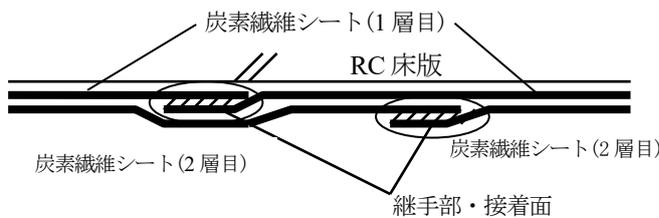


図-付 5. 2. 25 多層積層の場合の重ね継手

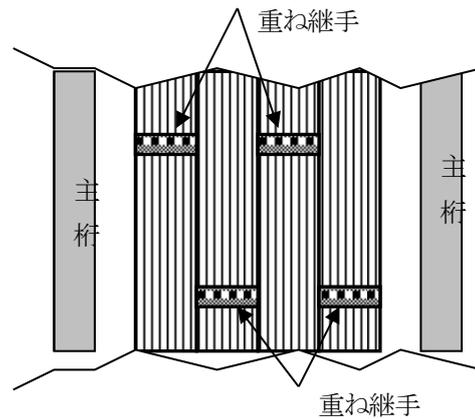


図-付 5. 2. 26 水平方向の継手の配置

iv) 炭素繊維シート接着工法に用いられる炭素繊維シートと、プライマー、不陸修正材、含浸接着樹脂などの樹脂材料は品質の確かめられたものを使用する。樹脂材料は、炭素繊維シート接着工法専用のエポキシ系の樹脂材料が用いられることが多い。低温環境下や急速施工が要求されるような場合には、メチルメタクリレート（MMA）樹脂などアクリル系樹脂が用いられることもある。これらの材料は、所要の材料特性を満たすとともに品質の確かめられたものを使用するのがよい。

ア) 炭素繊維

炭素繊維シートは炭素繊維を一方向に配列しシート状に成形したもの(図-付 5. 2. 27)で、表-付 5. 2. 14 に示すように高強度型、中弾性型、高弾性型などの種類があり、それぞれヤング係数や引張強度が異なっている。ヤング係数は、材料試験値の平均値として、引張強度は保証強度（一般に材料試験の平均値－標準偏差の3倍）が規格値となっている。また炭素繊維シートの厚さは、繊維目付量すなわち炭素繊維シート 1m^2 あたりの炭素繊維の質量で規定され、繊維目付量を炭素繊維の密度で除した設計厚さがヤング係数や強度などの材料特性値の算定および設計計算に用いられる。また、炭素繊維シートは、含浸接着樹脂の種類や使用条件の違いによって、発現する引張強度や弾性係数ヤング係数が異なっている。したがって、炭素繊維と含浸接着樹脂の個々の組み合わせについて、JSCE-E541「連続繊維シートの引張試験方法」により、その材料特性値を確認して使用するのがよい¹⁵⁾。

近年、炭素繊維束に工場で樹脂を含浸硬化させた直径 1mm 程度の炭素繊維強化樹脂（CFRP）ストランドを横糸で連結した CFRP ストランドシート（図-付 5. 2. 28）も開発され道路橋床版の補強に利用されている。この CFRP ストランドシートは、工場で樹脂が含浸・硬化した CFRP ストランドを用いるため、施工現場では炭素繊維への樹脂含浸工程が不要である。そのため、不陸修正材兼用のペースト状の接着剤でコンクリート表面に接着することが可能なため、プライマー塗布および不陸修正工程を省略でき施工期間の短縮が可能で、含浸不良や浮・膨れといった施工不良を低減すること可能である。CFRP ストランドシートは、コンクリート床版と一体化した状態では炭素繊維シートと同等の力学的特性を有するので、設計上は炭素繊維シートと同様にとり取り扱うことができる。

道路橋床版の補強では、引張剛性（ヤング係数×断面積）の大きい方が補強効果（床版の延命効果）は高くなる。一方、高弾性率、高目付け品の方が材料価格は高いので要求性能に応じてコストミニマムとなるように補強材料を選定するのが一般的である。



図-付 5. 2. 27 炭素繊維シート

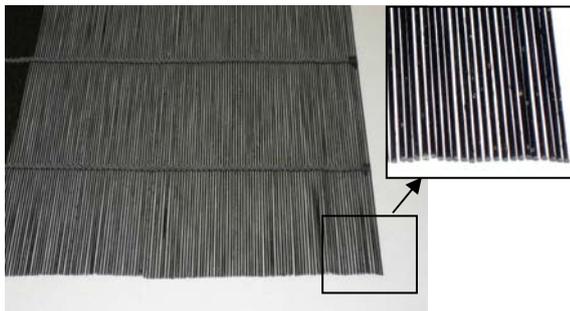


図-付 5. 2. 28 ストランド型炭素繊維シート¹⁶⁾

表-付 5. 2. 14 炭素繊維シートの種類の例

タイプ	ヤング係数 E_{cf} (kN/mm^2)	比重 P_{cf}	繊維目付量 W_{cf} (g/m^2)	設計厚さ t_{cf} (mm)	単位幅当りの 断面積 A_{cf} (mm^2/m)	引張強度 σ_{cf} (N/mm^2)
高強度型	245	1.80	200	0.111	111	3,400
			300	0.167	167	
			400	0.222	222	
			450	0.250	250	
			600	0.333	333	
中弾性型	390	1.82	300	0.165	165	2,900
			380	0.209	209	
	440	1.84	300	0.163	163	2,400
			400	0.217	217	
高弾性型	540	2.10	300	0.143	143	1,900
	640	2.10	270	0.128	128	1,900
			300	0.143	143	

イ) プライマー

プライマーは、コンクリート面と炭素繊維シートが確実に接着し一体化するために、あらかじめ、コンクリート面に塗布する樹脂材料であり、2液混合常温硬化型のエポキシ樹脂が用いられることが多い。炭素繊維シートとコンクリート面との間で所要の接着強度の発現を促すものである。含浸接着樹脂との組合せで接着強度を確認するのがよい。プライマーの品質規格の一例を表-付 5. 2. 15 に示す。

表-付 5. 2. 15 プライマーの品質規格の例

試験項目	試験用基板	規格値	試験法
接着強度	コンクリート板	$1.5N/mm^2$ 以上	JSCE E 545-2000 準拠

ウ) 不陸修正材

不陸修正材は、コンクリート表面の小さい凹部や急な段差に充填してコンクリート表面をなだらかにするとともに、コンクリートとプライマーおよび含浸接着樹脂との接着性などの性能を持つものを使用する。不陸修正材の品質規格の例を表-付 5. 2. 16 に示す。

表-付 5. 2. 16 エポキシ系不陸修正材の品質規格の例

項目	試験用基板	規格値	試験法
接着強度	コンクリート板	1.5N/mm ² 以上	JSCE E 545-2000 準拠

エ) 含浸接着樹脂

炭素繊維シートは、含浸接着樹脂が炭素繊維の素線（フィラメント）の間に確実に含浸して硬化し、炭素繊維相互を結合して十分な応力伝達を行なうことで、所要の強度やヤング係数などの品質を有する複合材料となるものである。したがって、含浸接着樹脂は、炭素繊維シートに対して確実な含浸性を有するとともに、炭素繊維シートの貼付け時にシートを保持するための適切な粘度を有することが必要である。施工の際に予想される温度で良好な粘度を有するものを選択するのが良い。炭素繊維シートの品質は、含浸接着樹脂が含浸して硬化した複合体の状態の評価する。含浸接着樹脂が十分に含浸していても、含浸接着樹脂の種類や成形方法の違いによって、発現する引張強度や弾性係数は異なる。それゆえ、炭素繊維シートとして所要の品質を確保できるよう、適切な含浸接着樹脂の選定を行い、JSCE-E541「連続繊維シートの引張試験方法（案）」により、その特性値を確認しておくのがよい。含浸接着樹脂の品質規格の一例を表-付 5. 2. 17 に示す。

表-付 5. 2. 17 含浸接着樹脂の品質規格の例

項目	規格値	試験法
引張強度	29 N/mm ² 以上 (20 N/mm ² 以上)	JIS K 7113 準拠
曲げ強度	39 N/mm ² 以上 (25 N/mm ² 以上)	JIS K 7203 準拠
引張せん断強度	9.8 N/mm ² 以上	JIS K 6850 準拠

オ) 仕上げ材

炭素繊維シート接着の仕上げ工として、紫外線による含浸接着樹脂の変色などの品質の変化や、外力による傷つき防止の目的で塗装やモルタルなどの表面保護材が用いられることがある。表面保護材は、所定の期間中、炭素繊維シートの品質を保持できるものであるとともに炭素繊維シートとの十分な付着強度をもつことを確認しておくのがよい。なおアラミド繊維シートを用いる場合、アラミド繊維が紫外線により劣化し強度低下を起こすので、紫外線を遮蔽する仕上げ層を設ける必要がある。

(3) 施工と維持管理

i) 炭素繊維シート接着工法，炭素繊維シートを，含浸接着樹脂を用いてコンクリート表面に接着させることにより，補強材と床版コンクリートが一体化して所要の補修・補強性能を発揮するものである．したがって，母材コンクリートの強度を確認した上で，これらの状態を満足するように適切な工法，材料の選定，施工および施工管理を行うのがよい．

ii) 施工計画は，環境条件や施工条件を考慮して工事の用件を満足させることができるように，施工手順，工程および品質管理の方法を示したものがよい．図-付 5. 2. 29～図-付 5. 2. 34 に標準的な施工フローを示す．

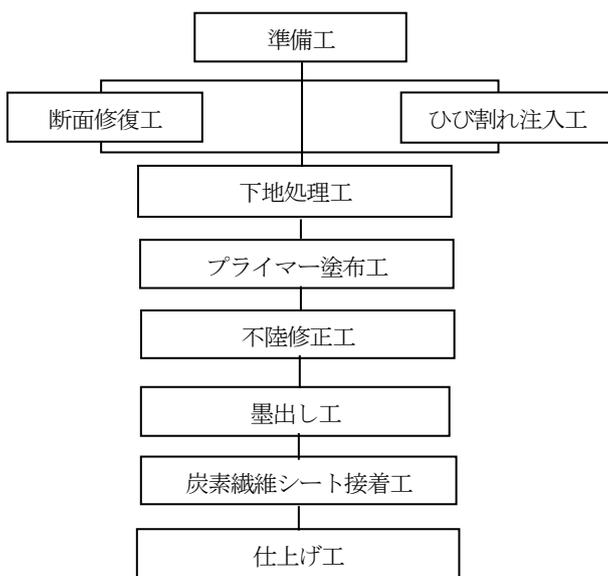


図-付 5. 2. 29 炭素繊維シート工法の標準的な施工フロー



図-付 5. 2. 30 下地処理工



図-付 5. 2. 31 プライマー工



図-付 5. 2. 32 不陸修正工



図-付 5. 2. 33 炭素繊維シート接着工



図-付 5.2.34 仕上げ工

iii) 下地処理工では、コンクリート表面の脆弱部および突起や段差などの不陸は、はつり、または研磨により除去し、平坦にする。コンクリート面の施工不良、著しい劣化、ひび割れ等は、これらを適切に補修する。

下地処理工として炭素繊維シートと既設コンクリート面の接着を確保するために、コンクリート面の劣化層・油脂分を取り除き、炭素繊維シートの接着に障害となる不陸や突起をはつり落とすか不陸修正材を用いて平坦にする必要がある。ディスクサンダーやサンドブラストにより床版コンクリートの表面の下地処理を十分に行ない、汚れや脆弱部の無い状態とする。既設のコンクリート面に豆板などの施工不良、著しい劣化やひび割れ等がある場合には、適切な方法を用いて既設コンクリート面を補修する。

iv) 炭素繊維シートの施工は、所要の補修・補強性能を発揮できるように実施する。確実な施工を行うためには、施工の各段階で下記の事項に注意するのがよい。

- ア) 環境条件が適切であること
- イ) 下地処理が適切になされていること
- ウ) プライマー、不陸修正材の混合と塗布が適切になされていること
- エ) 炭素繊維シートが所定の位置、方向、積層数で貼り付けられていること
- オ) 炭素繊維シートがコンクリート面に確実に接着していること
- カ) 含浸接着樹脂が適切に混合、塗布され、かつ、確実に含浸していること
- キ) プライマー、不陸修正材および含浸接着樹脂の養生を確実に行うこと

プライマー、含浸接着樹脂などは一般にエポキシ樹脂を用いており、その粘度、可使時間、硬化時間などは現場の雰囲気温度、コンクリート表面温度の影響を受ける。施工時の気温に合わせて夏用、冬用、春秋用のタイプがあり、施工条件によって選択する必要がある。エポキシ樹脂の場合、施工に適した環境条件は、温度5℃以上、湿度85%以下が原則である。初期硬化するまでに降雨、結露などにより水分が付着して白化が生じた場合には、当該部分を溶剤で拭き取るかサンドペーパーで除去する。現場の雰囲気温度やコンクリート表面温度が低い場合（5℃未満）、施工現場の保温を行うか低温用プライマーおよび含浸接着樹脂等を用いる。また、コンクリート表面が乾燥した状態でない場合は、湿潤面専用プライマーの使用などを検討するのがよい。

プライマー、含浸接着樹脂は所定の配合で正しく混合・攪拌する。一度に混合する量は可使時間内に使いきることができる量とする。一般にエポキシ樹脂などの可使時間は、混合量や温度によって変動するので、雰囲気温度、コンクリート表面温度には十分留意する。

炭素繊維シートは、含浸接着樹脂を繊維間に含浸させて硬化させることにより各々の繊維が一体化され、シート全体で均一に外力を受け所要の強度を発揮できる。そのためには含浸接着樹脂をシートに十分含浸させることが必要である。特に、重ね継手部は、繊維間・シート間に含浸接着樹脂が十分含浸され一体となる

ように施工する。炭素繊維シート貼付け後の浮き、膨れ、はがれ、たるみ、しわなどの不良箇所やエポキシ樹脂の含浸状態を目視あるいは打診により確認し、必要に応じ補修を行う。シートがだれ落ちたりしないよう、含浸接着樹脂の施工後、適切な養生期間を置いて次のシートを施工するのが望ましい。また、含浸接着樹脂が初期硬化するまでは、雨水や埃の付着を防止するとともに、気候の急変の影響を受けないよう、必要に応じてビニルシートで覆うなどの措置を施す。

v) 炭素繊維シートの接着後、必要に応じて塗装工、表面保護工、不燃被覆工、耐火被覆工などの仕上げを行う。表面の含浸接着樹脂は、紫外線、オゾンにより劣化して変色し、美観を損ないやすい。従って、直射日光が当たる環境で美観や照明効果性能が要求される場合には、保護塗装などの仕上げを行う必要がある。仕上げ工は、含浸接着樹脂の初期硬化を確認した後に施工するのが一般的である。

vi) 炭素繊維シート接着工法に使用する材料は、それぞれの材料が所要の品質を有することを確認するために、材料の受入れ時および施工に入る前にあらかじめ検査する必要がある。使用材料の検査は、製造者の発行する品質保証書（または、試験成績書等）により行う。施工中および施工後の炭素繊維シートの接着位置、浮き、はがれ、たるみ、しわなどの状態、継手長さ、積層数および含浸接着樹脂塗布量などを検査するのがよい。施工中および施工後の炭素繊維シートとコンクリートの接着状態は、必要に応じて接着強度試験で確認する。試験は、現場での作業と同一の材料を使用して、現場のコンクリート躯体で行うことを原則とするが、現場のコンクリート躯体での試験が困難な場合には、コンクリートの物性が明らかな平板を用いて試験を行ってもよい。

vii) 炭素繊維シート接着工法による補修・補強を行った道路橋床版は、道路橋床版は、供用期間を通じて適切な維持管理を行い、所要の性能を満足するように維持するのがよい。

本工法では、美観が要求される場合には、塗膜の変色が生じた場合は塗装塗り替えを行うが、補強材の腐食などによる経年劣化の恐れがないので、定期的な塗り替えなどの対策は不要である。補強後の点検としては、目視やたたき点検により炭素繊維シートのはく離の有無などの変状を確認するのがよい。点検により部分的にはく離などの損傷が生じた場合には、樹脂注入や部分的なシートの貼り直しなどの補修、全面的なシートの貼り直しなどの対策が考えられる。また、たわみ抑制のため上面増厚との併用も考えられる。

2.7 下面増厚工法

(1) 概要

i) 下面増厚工法は床版下面に所定量の補強筋を配置し、ポリマーセメントモルタル（以下、PCM）を吹付け工法などで増厚一体化する工法である。標準断面を図-付 5.2.35 に示す。本工法は PCM の高付着性能を利用し既設床版と下面増厚部を一体化し、合成機能を発揮させる工法である。その結果、床版の鉄筋応力度やたわみ量を低減させ疲労耐久性を向上させるものである^{17) 18)}。また、PCM の中性化進行速度が一般のコンクリートと比較して遅く、凍結融解作用などの外的環境に対して耐久性が高いことから、補強後の耐久性向上も期待できる。そのため下面増厚工法のかぶり厚さは耐久性から定まる値として 10mm 以上もしくは鉄筋径以上とし、一般のコンクリートのかぶり厚さより薄い構造となっている。吹付けによる増厚充填は充填性がよいことから、D6～D13 程度の細径鉄筋の場合、補強筋は床版下面に直接固定する手法が取られている（図-付 5.2.36）。一方、D16 以上の鉄筋を使用する場合は床版と鉄筋の間を 10mm 程度あけ、PCM 吹付けモルタルが充填しやすくするようにするとよい。

PCM の湿式吹付け工法は、ミキサにより PCM を所定時間練混ぜ、練りあがった PCM をポンプにより吹付けノズル先端まで圧送し、高圧力のエアで吹付けるものである。また、PCM の湿式吹付け工法はロス率が 1.25 程度と低く、吹付け作業時の粉塵も少なく作業環境は良好である。床版下面への一層あたりの吹付け厚さは 30mm 程度であり、増厚量が厚い場合は吹付けを積層し厚付けを行う。寒中の期間は施工後適切な養生を行い、所定の強度が得られるよう配慮する必要がある。

下面増厚工法による補修・補強の設計は、床版の点検結果に基づき、その劣化・損傷要因、劣化進行過程を適切に評価し、工法の適用性について検討した上で行うのがよい。

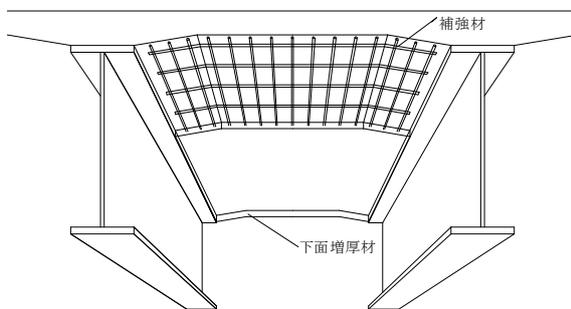


図-付 5.2.35 下面増厚工法概念図

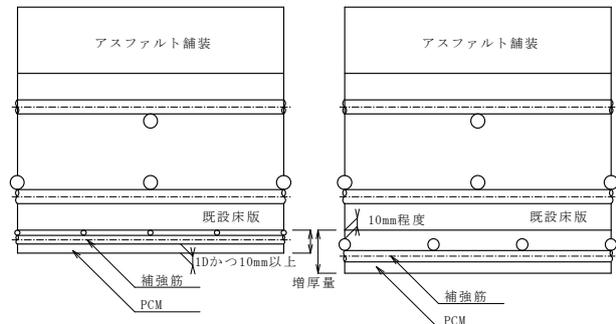


図-付 5.2.36 PCM を用いた下面増厚工法の標準断面

ii) 下面増厚工法は、床版の引張側となる下面に補強筋を配置し、既設鉄筋の応力を負担する補強工法である。このことから、主として床版の曲げ補強を目的に使用されている。補強筋を PCM を用いて増厚一体化するために床版厚さは増加し、増厚量分のせん断耐荷力の向上も期待できる。この曲げ補強とせん断補強により、下面増厚工法は床版の鉄筋応力度やたわみ量を低減させ疲労耐久性を向上させるものである¹⁹⁾。

下面増厚工法の床版の損傷要因と適用範囲については本マニュアルの第 5 章に記載されている。通行車両の荷重条件は、B 活荷重に対する床版の補強対策が可能であり、劣化進行過程としては加速期前期までの床版に対する補強対策である。床版の損傷段階が乾燥収縮により橋軸直角方向に貫通したひび割れが大きな間隔で発生する潜伏期の段階においても予防保全として下面増厚工法を実施することにより床版の疲労耐久性を向上させることから延命効果がある。過去の実績と実橋での載荷試験の結果から二方向ひび割れ、輪荷重により床版上面ではねじりモーメントによって橋軸直角方向にひび割れが発生し、下面から発生したひび割

れとつながり貫通し、並列の梁状になる加速期前期の段階においても下面増厚工法を実施することにより床版の剛性が向上し疲労耐久性を向上させ延命効果があることが報告されている。これらの範囲の損傷に対し下面増厚工法は適用可能である。

下面増厚工法などの下面対策は、床版上部等からの雨水の浸透があると、既設床版と補強部界面に浸透水が滞水する。その結果、雨水の浸透および滞水は補強後の床版の疲労耐久性を低下させる。以上のことから下面増厚工法を検討する場合は、床版防水システムを計画し、あわせて部分取替え、ひび割れ注入の検討もするのがよい。

塩害、凍害、中性化、ASRにより損傷を受けた床版に対する下面増厚工法の適用性については3章に示されている。下面増厚工法は輪荷重による床版の疲労損傷に加え、これらの劣化原因により床版が損傷しており、床版の損傷に対する補修と疲労耐久性向上が必要な場合に適用する。また、塩害、凍害、中性化、ASRにより床版が劣化損傷し既設鉄筋の断面が欠損している場合に、欠損した鉄筋分の耐荷力を回復する目的として下面増厚工法を適用することができる。

塩害を受けた床版の損傷は海浜部からの飛来塩分により塩化物イオンがコンクリート中に侵入するものと、施工時にコンクリートに使用された海砂により塩化物イオンがコンクリート中に内在する内部塩分によるものに大別される。いずれの場合も床版上面と下面側の鉄筋が発錆し、かぶりコンクリートの浮きやはく離が生じる。床版上面側と下面側の浮きやはく離が生じた箇所のコンクリート中の塩化物イオン濃度が発錆限界 1.2kg/m^3 以上である場合には、鉄筋の裏側までコンクリートを除去しポリマーセメントモルタルで断面修復する。さらに下面増厚補強することにより断面剛性が向上し床版の疲労耐久性が向上する。

凍害により損傷した床版は床版上面側の地覆、高欄、床版や張出し床版、床版下面等にコンクリートのスケーリングや断面欠損が生じる。中性化により損傷した床版は主に床版下面のかぶりコンクリートのはく落や浮きが生じている。耐荷力や疲労耐久性の向上が必要な場合には、床版上面側や張出し床版などの断面欠損部分の補修を施し床版下面増厚工法により補強する。補修方法は損傷部分のコンクリートを取り除きポリマーセメントモルタルで断面修復する。補修後に下面増厚することにより床版断面剛性が向上し床版の疲労耐久性が向上する。

ASRによる床版の損傷やその補修対策は十分な事例や研究が実施されていない。そのため、ASRにより損傷した床版の補修・補強を行う場合には、その適用性について十分検討した上で実施するのがよい。損傷状況はASRにより床版内部に層状のひび割れが発生し、特に雨水等が供給される床版上面と張り出し床版や床版下面のかぶりコンクリート部にひび割れが発生し内部からゲルが析出し、損傷が進行すると浮きやはく離が生じるものである。これらの損傷箇所の断面欠損部分の断面修復をポリマーセメントモルタルで施し、下面増厚することにより断面剛性が向上し床版の疲労耐久性向上を目的とする補強が可能である。

塩害、凍害、中性化、ASRによる床版劣化は補修・補強後に床版に雨水等が供給されることを防ぐことにより塩化物イオンの供給や劣化の進行を抑制し再損傷を防ぐことが可能となる。そのため、断面修復・下面増厚補強と同時に橋面防水工を実施する必要がある。また、伸縮ジョイントからの回り水や張出し床版からの回り水により床版下面に雨水や塩化物イオンが供給される場合は、供給される範囲をコンクリート表面保護工により塩化物イオンの侵入を防ぐことが必要である。

(2) 設計

i) 下面増厚工法は標準断面を基本とし、補強筋を設計計算により決定するのがよい。床版は、輪荷重を直接受け主桁などに比べ過酷な条件下にさらされているため、疲労耐久性性能を確保することが重要である。近年、床版の種々の研究成果として床版厚さと水分が疲労寿命に大きく影響することが判明してきた。特に、

床版の疲労劣化は、押抜きせん断耐力との関係性が明らかになってきている。このため、下面増厚により、既設床版のせん断耐力を確保するために必要な増厚量を決定する必要がある。このため、下面増厚量は、かぶり厚の設定、補強鉄筋量の設定およびせん断耐力の照査により決定する。なお、せん断耐力の照査は、補強床版厚が道路橋示方書に定める最小床版厚を満足する場合は、省略することができる。

下面増厚工法は、**図-付 5. 2. 37** の手順により設計を行うものとする。下面増厚により上部工の死荷重が増加するが、増厚さ 70mm 程度では橋梁の上部工全死荷重の 5~6% 程度の増加である。このため、下面増厚に伴う死荷重増加に対する主桁や床組みの補強は基本的に行わなくともよい。

既往の研究成果より既設コンクリートと下面増厚部は一体となり合成構造として機能する。このことから下面増厚工法を曲げ部材に適用する場合、補強材と既設コンクリート断面が一体化した合成断面として、部材断面に生じるコンクリート、既設筋の応力度は算定することができるものとする。また、本工法はすでに作用している永久荷重により既設構造物が変形した状態で施工が行なわれることから、補修・補強材は補強前に作用している永久荷重を負担することができない。したがって補強前に既に作用している永久荷重は、補強前の既設断面が負担するものとし、活荷重および補強後に作用する永久荷重は補強後の断面が負担するものとして、これらの荷重による応力度の合成応力度を算定する²⁰⁾。

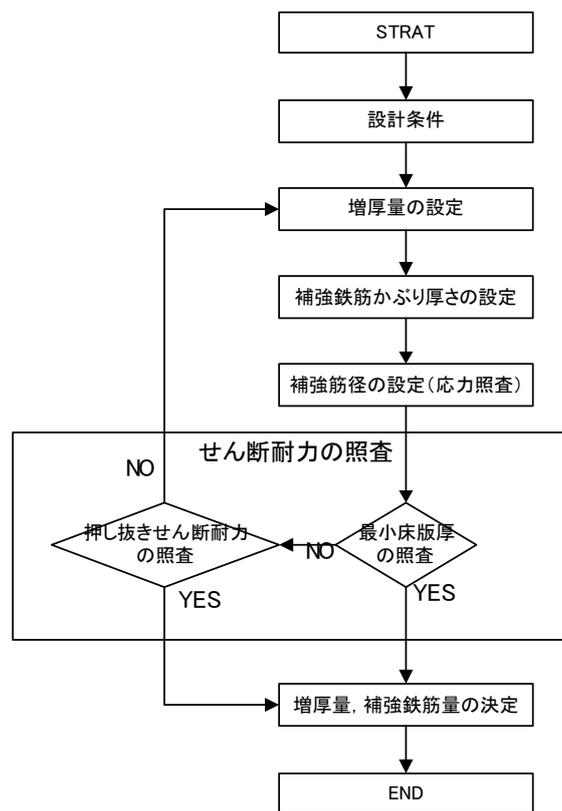


図-付 5. 2. 37 設計の手順

ii) 下面増厚工増厚の施工範囲はハンチ下端までとし、増桁が増設されている場合は増桁上フランジ端部までとする。

ハンチ角部の断面変化点は押抜きせん断破壊の端部となる場合がある。このため床版厚さはハンチ下端まで増厚した方が床版の押抜きせん断補強には有効であり、曲げ補強の端部定着としても有効である。このことから下面増厚補強範囲はハンチ下端までとした (**図-付 5. 2. 38**)

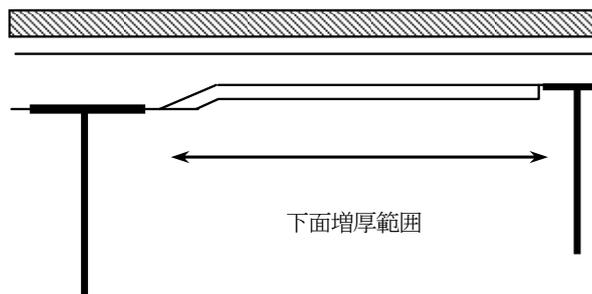


図-付 5. 2. 38 下面増厚補強範囲

iii) 下面増厚工法の標準的な構造細目を以下に示す。

- ア) 補強筋は主桁フランジ近傍まで配置し、鉄筋の場合は細径鉄筋を数多く配置するようにする。
- イ) かぶり厚さは、所定の耐久性が得られる厚さ以上とする
- ウ) 補強筋はアンカーボルトと取り付け金具を用いて床版下面に直接固定・配置する
- エ) 補強筋の継手は重ね継手とし、所定の継手長を確保する

必要断面積が同じであれば、補強筋の間隔を大きくすると補強筋の1本当りの必要断面積が大きくなり、増厚量も増加するため、不経済となる。また補強筋の間隔が適当に小さい方がひび割れの分散性も良好である。したがって、一般に必要な断面積が同じ場合には、できるだけ間隔が小さくなるよう補強筋の大きさを選定する（最大間隔 150mm）。

増厚部の厚さは、補強筋の外側に 10mm 以上かつ補強筋の径以上のかぶりを確保できる厚さが標準である。補強筋とモルタルとの付着を確保し補強筋に合理的に応力負担させるために、補強筋の最外面から径以上のかぶりを確保し、PCM の中性化進行速度が、通常のコングリートと比較して 1/5 以下であることから、耐久性上必要となる最小かぶり厚さを 10mm 以上としている。

さらに、塩害などで損傷した床版の補強を行う場合には、既設鉄筋および補強筋の必要かぶり厚さが確保できるように増厚量を決定する。また、鉄筋の腐食対策には PCM に防錆剤を混入することも、腐食対策として有効である²⁾。

使用限界状態内では、補強筋の既設コンクリート部材への定着は、増厚部のモルタルと旧コンクリートの付着により確保することができる。さらに補強筋をコンクリートアンカー（M8 以上）6 本/m² で固定することにより、終局性状が改善され、疲労耐久性が向上する。このことから、補強を目的とした場合には、コンクリートアンカー（M8 以上）を 6 本/m² 以上で、補強筋を固定する。

補強筋の継手は、重ね継手とし、必要な継手長を重ねた後、PCM を増厚し継手部を既設部材に一体化する。補強筋が鉄筋の場合には、必要継手長は、鉄筋径の 30 倍以上の長さとする。その他の補強筋を使用する場合には、その材料の仕様に従うものとする。また、主鉄筋方向には継ぎ手を設けない。

iv) 補強筋には、規格に適合した適切な材料を使用する。下面増厚に使用するモルタルは、既設床版と一体化し補強効果を発揮できる材料を使用する。PCM を用いた下面増厚工法に用いる補強筋は、異形鉄筋、または FRP（Fiber Reinforced Polymer）グリッドを用いる。補強筋に鉄筋を用いる場合には、「JIS G 3112 鉄筋コンクリート用棒鋼」に適合する SD295A 以上の異形棒鋼を用いる。過去の使用実績では、D6～D19 の補強鉄筋が使用されている。D6、D10 等の細径鉄筋は SD295A が多く用いられている。細径鉄筋の SD345 は、受注生産であり量産されていないことから、補強鉄筋として細径鉄筋を使用する場合は SD295A を使用して良い。また、施工の合理化を目的に工場で格子状に溶接加工した補強鉄筋が使用されている。溶接加工した

補強鉄筋は、輪荷重の繰返し作用による溶接箇所への破断が懸念されるが、補強筋に作用する応力レベルが比較的低いことと、輪荷重走行試験により補強鉄筋の溶接箇所への疲労損傷が無いことが確認されている。このことから、補強筋を格子状に溶接加工したものを使用することができる。

補強筋として用いる FRP グリッドは、連続繊維に樹脂系接着剤に含浸させながら連続的に格子などの形状に成形された連続繊維補強材で、道路橋床版の補強では炭素繊維を強化繊維とした CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) グリッドが主として用いられている。CFRP グリッドには、炭素繊維の種類によって高強度型 (引張強度 1400MPa, ヤング係数 100GPa) と高弾性型 (引張強度 1400MPa, ヤング係数 100GPa) がありそれぞれ断面積や格子間隔の異なるものが製造されている。

鉄筋と FRP グリッドの品質性能の違いは、補強筋の破断に至る荷重～ひずみの関係において、鉄筋が降伏点を有するのに対し、FRP グリッドでは降伏点を持たず、破断強度まで荷重～ひずみの関係が直線的で塑性変形を示さないことである²⁰⁾。また、CFRP グリッドは、素材の成分から中性化や塩害などによる発錆やアルカリなどによる劣化現象を生じない耐久性に優れた補強筋である。炭素繊維以外の強化繊維を使用する場合には、アルカリなどに対する化学的安定性や耐久性などに考慮した材料を選定が必要である。

下面増厚工法に用いる PCM は輪荷重試験により床版補強の疲労耐久性向上を確認した材料を使用する。下面増厚工法に用いる PCM の必要物性の例を表-付 5. 2. 18 に示す。下面増厚工法に使用する PCM は、主にプレミックスモルタルが使用されている。セメント成分、細骨材および粉末化された界面活性剤やポリマー成分と必要に応じて繊維などがあらかじめ製造元工場に配合され、一つの包装で供給される材料である。本材料は、水のみを混合することで下面増厚工法の PCM として用いることができる。試験または信頼できる資料により品質が確かめられるものを用いる。また、従来使用されていた乾式吹付け材料は粉塵が多いなどの問題点が指摘されていたが、近年技術改善が図られてきている。輪荷重走行試験などにより補強効果の確認が行われれば使用することも考えられる。

表-付 5. 2. 18 ポリマーセメントモルタルの必要物性の例

試験名称	規格	基準値 (4 週強度)
付着試験	建 研 式	1.7 N/mm ² 以上
圧縮試験	JIS R 5201	27.0 N/mm ² 以上
曲げ試験	JIS R 5201	6.0 N/mm ² 以上
引張試験	JIS A 1113	2.5 N/mm ² 以上
静弾性試験	ASTM C 469	1.5×10 ⁴ N/mm ² 以下

(3) 施工と維持管理

i) 下面増厚工法による床版の補強は、床版コンクリートと下面増厚部分の一体化が図れるように、適切な施工手順、材料の選定、施工および施工管理を行う。PCM による下面増厚工法の一般的な施工フローを図-付 5. 2. 39～図-付 5. 2. 43 に示す。図-付 5. 2. 39 に示した各工程の概要は次のとおりである。

ア) 施工計画書

施工計画書では、計画工事の目的を十分理解し、現地の状況を踏まえて、使用材料、施工機械、施工手順、安全衛生管理等を計画する。施工前調査や試験施工により得られた結果を施工管理手法や施工管理試験に用いる。

イ) 足場架設

下面増厚施工は床版下面の施工であることから、上向き作業が主となる。そのため足場は全面板

張りとし作業に支障の無いようにする。また、作業空間は表面処理工・補強筋の取付け・吹付け作業を通じて 1800mm 程度の作業空間が確保できるよう適切な足場を設置する。

ウ) 施工前調査

床版下面の変状調査及び既設床版形状を計測し、下面増厚工法の施工に必要な情報を得る。その結果を下面増厚工法の施工計画に反映させ、施工精度の向上と効率的で経済的な工程管理を行う。そのため下面増厚の施工前に実施する。

エ) 基準試験

基準試験は対象となる橋梁毎の条件下で、実際に使用するミキサとポンプを用い、材料・設備・施工に関する試験を実施し、下面増厚材料が所定の性能を有していることを確認する。基準試験は、施工規模や現場の状況を考慮して材料メーカーの品質証明により確認してもよい。

オ) 試験施工

計画される増厚断面の配筋が D19 程度以上で断面厚が厚くなるなど過去の実績が少ない場合、必要に応じて試験施工を実施する。試験施工は対象箇所や構造物の置かれている環境を考慮して行うものとし、実施工における施工管理方法・施工管理基準・品質管理基準に反映させることを目的とする。

カ) 桁等防護養生

ケレン工による桁の損傷や PCM 吹付けモルタルによる粉塵等の飛散防止を目的に桁や足場の防護養生を行う。

キ) 事前補修

事前調査の変状調査により確認されたひび割れのうち、漏水を伴っているものや、有害であると考えられるひび割れの補修を行っておく。また、変状調査により確認されたかぶりコンクリートの浮き、はく離やはく落箇所の補修対策として断面修復を行っておく。塩害などで劣化したコンクリートの補修を行う場合、高塩分部の除去や浮きや豆板などコンクリートの不良部を除いた後、既設鉄筋の防錆処理など適切な処置を行う。

床版下面に発生しているひび割れは、ひび割れ注入などのひび割れ補修を実施することを基本とする。この場合、漏水が生じているか貫通ひび割れの可能性の高いひび割れを対象に、下面増厚工事に先立ち補修を実施すると良い。

下面増厚にて床版の性能を回復できないような劣化が著しい箇所は、下面増厚に先立ち劣化部を部分的に打ち替えることを基本とする。

ク) 表面処理

下面増厚に使用される PCM 吹付けモルタルの接着力を確保するために、床版下面の脆弱層を取り除く。施工方法は橋梁立地条件等を考慮し、ウォータージェット工法 (P 処理または S 処理) またはバキュームブラスト工法により行う。

ケ) 補強筋の取付け

補強筋を床版下面にコンクリートアンカーを用いて固定する (コンクリートアンカー M8 6 箇所 /m²)。

コ) 吹付けプラント設置 : PCM 材料, ミキサ, 吹付け機, コンプレッサー, 発電機等を適切な場所に設置する。

サ) プライマー塗布

PCM 吹付けモルタル材料個々に指定された素地調整材料として、水やプライマー材を所定の方法

で塗布する。

シ) 吹付け

PCM 吹付けモルタルをミキサで練混ぜ、PCM 吹付けモルタルをポンプにより床版下面まで圧送し、吹付けガンにより吹付け増厚を行う。

ス) 仕上げ

コテ仕上げにより施工面を仕上げる。

セ) 養生

必要に応じ仕上がり面に養生剤を散布し、足場内を適度な環境温度に保つ。

ソ) 留意事項

下面増厚工法は、既設コンクリートと補強筋が接着一体化されることにより補強効果が得られる。しかし、既設コンクリートと補強筋の接着部に床版からの浸透水等により滞水等があるとその接着効果が得られず、十分な補強効果が期待できないこともある。また、床版のひび割れに雨水等が侵入すると上面側の鉄筋の発錆及び床版の疲労寿命が急激に低下することが確認されている。このため、下面増厚工法の施工に先立って床版防水システムを整備することを原則とする。

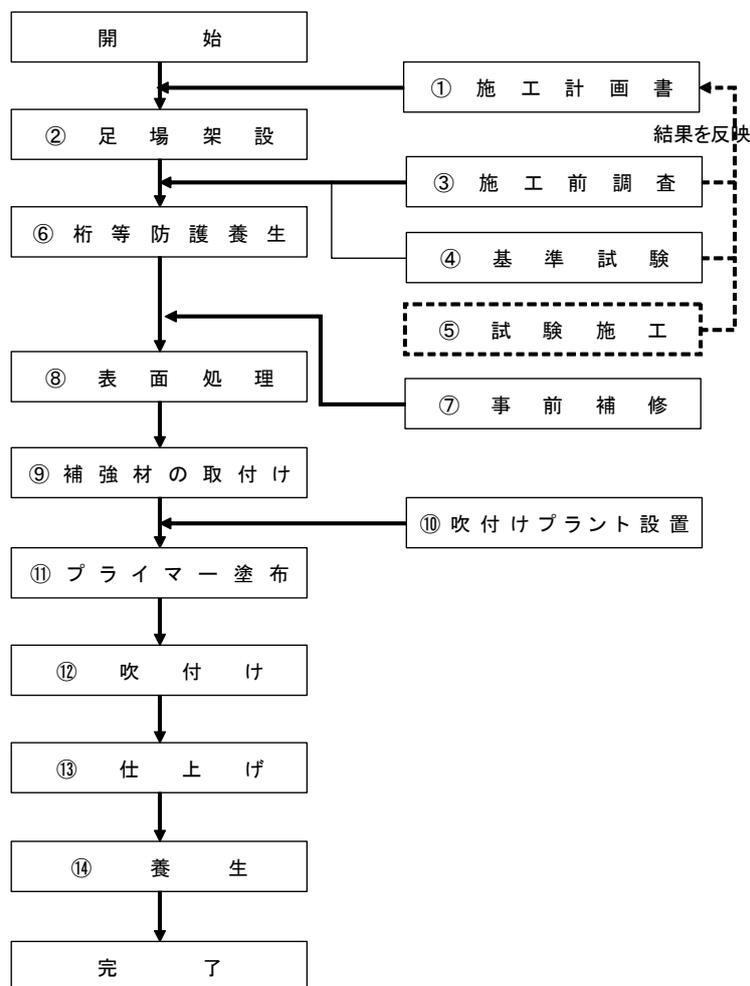


図-付 5. 2. 39 下面増厚工法の施工フロー



図-付 5. 2. 40 表面処理状況 (バキュームブラスト)



図-付 5. 2. 41 補強筋取付け状況



図-付 5. 2. 42 PCM 吹き付け状況



図-付 5. 2. 43 下面増厚補強完了

ii) PCM の品質管理は、硬化する前の性状と硬化後の性状を確認することにより実施する。品質管理試験として以下の試験を行うのがよい。

ア) 材料のフレッシュ性状試験

PCM のフレッシュ性状はモルタルの配合および流動性状を確認することにより行う。PCM は、所定配合を適切な練混ぜ方法により行うことにより、所定の流動性、ポンプ圧送性、厚付け性、良好な強度発現が得られる。このことから練混ぜを開始する時点および配合変更時にモルタル配合及び流動性状、モルタル温度、外気温等を確認し硬化前の品質を管理する。PCM のフレッシュ性状試験の例を表-付 5. 2. 19 に示す。

イ) 硬化した後の強度性状試験

硬化した後の PCM の強度性状は付着強度試験、圧縮強度試験により強度等を確認することにより行う。硬化した後の強度試験は PCM 吹付けにより下面増厚した材料品質の安定性と性能確保を確認するために、200m² ごとに 1 回、付着強度試験、圧縮試験により強度等を確認することにより行うのがよい。PCM の硬化した後の強度試験の例を表-付 5. 2. 20 に示す。

表-付 5.2.19 PCMのフレッシュ性状試験の例

試験項目	試験規格	試験頻度	備 考
モルタル配合		練混ぜ開始時および配合変更時	適正配合であることを確認する。
流動性状	JIS R 5201	練混ぜ開始時*	フロー試験 JIS R 5201 等により流動性状を確認する。練混ぜ開始時以降は目視により流動性を確認する。
モルタル温度		練混ぜ開始時*	
外気温等		練混ぜ開始時*	

注) *必要に応じて実施する。

表-付 5.2.20 PCMの硬化した後の強度試験の例

試験項目	試験規格	試験頻度	基準値 (4 週強度)
付着強度試験	建研式付着強度試験	200m ² に1回	1.7 N/mm ² 以上
圧縮試験	JIS A 1149-2001	200m ² に1回	27 N/mm ²

iii) 本工法では、床版上面からの浸透水や補強筋の腐食などによる経年劣化が補強後の床版の劣化として考えられる。床版上面からの浸透水や補強筋の腐食などは、一般の床版の損傷と同様に床版下面の補強面の外観変状を観察することにより把握できる。部分的に浸透水や補強筋の腐食などが確認される場合には、増厚部分の浮きが生じている場合があるので、たたき検査により確認し、必要に応じて適切な対策を講じるのがよい。

2.8 鋼板接着工法

(1) 概要

i) 鋼板接着工法は、補強鋼板を機械定着式アンカーなどで床版の引張応力作用面に固定し、接着剤を注入することで床版コンクリートと接着・一体化させる工法である。一般に接着剤にはエポキシ樹脂が用いられる。この工法では鉄筋量の不足を補うことができ、曲げ耐荷力が大幅に増加する。

鋼板接着補強床版の補強効果の確認試験は各種の機関で実施されており、劣化床版の疲労耐久性が改善されると報告されている。例として国土技術政策総合研究所では、比較的大きな損傷を与えた39年道示床版に鋼板接着し、輪荷重走行試験による階段荷重を実施した結果、47年道示床版もしくは一部の平成8年道示床版と同等の破壊時走行回数であることを報告している。

なお、接着用エポキシ樹脂を低圧で注入することで、ひび割れにもエポキシ樹脂が充填され、ひび割れ発生によって低下したせん断耐力が回復するという効果も得られる。ただし、他の床版補強工法と同様に既設床版に対して面的に接着、一体化されることから、表面状態に施工の良否が左右されることになる。

鋼板接着工法の特徴をまとめると以下のようになる。

- ア) 交通量の多少に関係なく、昼夜を問わず交通開放化で施工が可能である。
- イ) 損傷によるコンクリート片の落下を防ぎ、高架下の安全が確保できる。
- ウ) 補強後の損傷の確認が困難である。
- エ) 鋼板で床版下面を覆うため橋面防水システムが必要となる。

ii) 鋼板接着工法による補修・補強の設計は、床版の点検結果に基づき、その劣化・損傷要因、劣化進行過程を適切に評価し、工法の適用性について検討した上で行うのがよい。劣化床版への鋼板接着工法の適用では、点検結果に基づきその劣化・損傷要因、劣化進行過程を適切に評価した上で適用性を検討することが重要である。

(2) 設計

i) 補強設計では鋼板の断面積を鉄筋コンクリートとして引張補強材断面に換算してよい。なお、鋼板厚さを4.5mmとしてハンチ下端までの全面を広幅鋼板で接着し、橋軸方向に連結することで径間端部まで連続した場合には設計計算を省略することができる。

鋼板接着工法では補強鋼板の一体化により曲げ剛性が大幅に増加するので、一般的な許容応力度法の設計ではコンクリート内部の既設補強材の発生応力度が許容値を超過することはない。したがって、床版下面の全体を補強する際には設計計算を省略してよい。計算が必要となる際には、補強鋼板を引張鋼材として抵抗断面に換算して算入してよい。その際、接着層となる樹脂厚さは無視し、補強鋼板が床版下面に配置されているものとして計算する。補強鋼板の許容応力度はエポキシ樹脂接着剤による一体化であることを考慮して80N/mm²とするのがよい。

ii) 鋼板接着工法の構造細目は以下を標準としてもよい。

- ア) 鋼板は主鉄筋方向には継手を設けない一枚物とし、配力鉄筋方向には添接板を設けて接続する。
- イ) ハンチも補強鋼板を折り曲げ加工して接着補強する。
- ウ) 主桁間の橋軸方向では、1径間を単位として連続して補強し、部分的な接着補強は行わない。
- エ) 機械定着式アンカーボルトの使用本数は7本/m²以上、最大間隔は500mm以下とする。

鋼板接着工法の標準的な施工断面を図-付5.2.44に示す。図は一般部と添接部を示しており、用途に応じ

て機械定着式アンカーボルトを使い分けている（オネジタイプ、カットアンカー）。図に示している添接板の幅は、補強鋼板 $t=4.5\text{mm}$ に発生する応力を伝達できる付着長さを確保した上で決定されたものであり、何らかの理由で鋼板厚さを変更する際には計算による確認と添接板幅の変更が必要である。

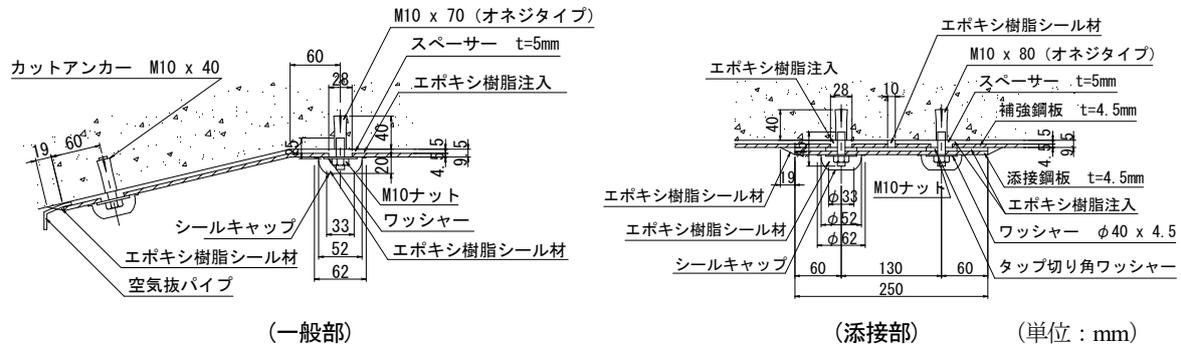


図- 5.2.44 鋼板接着工法詳細図

iii) 鋼板接着工法の使用材料については、次の点に留意するのがよい。

- ア) 鋼板接着工法に用いられる、補強鋼板、エポキシ樹脂接着剤、機械定着式アンカーボルトなどの使用材料は品質が確かめられたものを使用する。
- イ) エポキシ樹脂は、コンクリートと補強鋼板を一体化するための所要の接着強度が得られるものを使用する。
- ウ) 補強鋼板は日本工業規格の規定を満足するものを使用する。
- エ) 補強鋼板には必要に応じて表面保護を行うのがよい。

鋼板接着工法では補強鋼板と接着・一体化するためのエポキシ樹脂接着剤、鋼板を仮固定するための機械定着式アンカーボルトが使用される。何れも補強効果を得るための主要な材料であることから、品質が確認されたものを使用する必要がある。

エポキシ樹脂接着剤は、鋼板周囲をシールして注入時の圧力を確保するためのパテ状のシール材と液状の注入材が用いられるが、何れも所要の材料特性を満たすとともに品質の確かめられたものを使用する。鋼板接着工法では、接着剤の厚さとして 5mm が確保されるように施工されるのが一般的である。これは、床版下面のコンクリート表面の不陸を考慮した平均的な厚さとしての設定である。参考として表-付 5.2.21～表-付 5.2.23 に注入用エポキシ樹脂接着剤の規格²²⁾を示す。これは阪神高速道路株式会社によるもので、全ての樹脂材料に適用する 1 次試験、鋼板接着用に用いるエポキシ樹脂はさらに 2 次試験、3 次試験を行ってその物性値を確認することとしている。2 次試験に関しては現場適用性能として目標値が設定されているので、それを考慮する必要があるれば参考文献²²⁾を参照されたい。

補強鋼板は原則として日本工業規格 (JIS) に規定される SS400 を用いるものとする。補強鋼板には必要に応じて鋼橋と同様の表面保護を実施する。その際には 鋼道路橋防食便覧 (日本道路協会)²³⁾を参考にするとよい。

表-付 5. 2. 21 エポキシ樹脂接着剤の規格 (阪神高速道路-1 次試験) ²²⁾

(標準試験温度: 20°C±2°C)

試験項目	養生条件	単位	パテ・シーラー材	接着剤(超速硬)	接着剤(普通)	グラウト材	樹脂モルタル、樹脂コンクリート結合材
粘度 (混合物)	—	Pa・S	ダレ認めず (スランプ試験)	5.0±2.0	5.0±2.1	5.0±2.2	5.0±2.3
比重 (硬化物)	20°C/7日間	—	1.5~1.9	1.1~1.4	1.1~1.4	1.0~1.3	1.0~1.4
可視時間			60以上※※	—	—	60以上※※	—
曲げ強度*	—	分	35以上	35以上	40以上	50以上	15以上
曲げ弾性率*	20°C/7日間	N/mm ²	2×10 ³ 以上	—	—	1.5×10 ³ 以上	—
圧縮降伏強度*	20°C/7日間	N/mm ²	60以上	50以上	50以上	60以上	30以上
圧縮弾性率*	20°C/7日間	N/mm ²	2×10 ³ 以上	1.5×10 ³ 以上	1.5×10 ³ 以上	1.5×10 ³ 以上	(0.5~2.0)×10 ³ 以上
引張強度*	20°C/7日間	N/mm ²	20以上	15以上	20以上	30以上	15以上
引張弾性率*	20°C/7日間	N/mm ²	2×10 ³ 以上	—	—	1.5×10 ³ 以上	—
引張せん断強度	20°C/7日間	N/mm ²	10以上	7以上	7以上	10以上	10以上
衝撃強さ*	20°C/7日間	KJ/m ²	1.5以上	1.5以上	1.5以上	1.5以上	1.5以上
硬さ	20°C/7日間	HDD	80以上	80以上	80以上	80以上	80以上
硬化時間	—	時間	—	5以下	—	—	—

(注) 1. 試験方法はこの編第18章「エポキシ樹脂試験方法」による。
 2. 硬化時間は、20±2°Cで7日間養生の圧縮降伏強度規格値の60%に至るまでの時間とする。
 3. パテシーラー材(冬用)およびグラウト材(冬用)の使用にあたっては、※印の項目について、養生条件が5°Cの試験も行う。この場合の規格値は上表(20°C試験)の90%とする。
 4. パテシーラー材(冬用)およびグラウト材(冬用)の場合、※※の規格値は42分以上とすることができる。

表-付 5. 2. 22 鋼板接着用エポキシ樹脂接着剤の規格 (阪神高速道路-2 次試験) ²²⁾

(標準試験温度は、養生温度と同等とする。)

試験項目	試験方法	グラウト材・パテシーラー材共通		単位	グラウト材		パテシーラー材	
		試験条件(夏用)	試験条件(冬用)		規格値(20°C試験)	規格値(5°C試験)	規格値(20°C試験)	規格値(5°C試験)
硬化収縮率 (線収縮率)	JIS A5204-5.5	—		%	2.0以下	—	2.0以下	—
熱膨張係数	JIS K6911-5.25 準用	-10°C~T _{ig} 点		—	1×10 ⁵ ~10×10 ⁵	—	1×10 ⁵ ~10×10 ⁵	—
ガラス転移点	JIS K7121	T _{ig} 点		°C	40以上			
可使時間	温度上昇法	20°C試験/1000g	5°C試験/1000g	分	60以上			
粘度	JIS K6833	20°C試験/500g		Pa・S	1.0~3.0		ダレ認めず	
圧縮弾性率	JIS K7181	20°C養生/7日養生	5°C、20°C養生/7日養生	N/mm ²	1.5×10 ³ 以上	1.35×10 ³ 以上	2.0×10 ³ 以上	1.8×10 ³ 以上
曲げ弾性率	JIS K7171			N/mm ²	1.5×10 ³ 以上	1.35×10 ³ 以上	2.0×10 ³ 以上	1.8×10 ³ 以上
圧縮強度	JIS K7181	20°C養生/7日養生	5°C、20°C養生/7日養生	N/mm ²	60以上	54以上	60以上	54以上
曲げ強度	JIS K7171	20°C養生/3日養生	5°C養生/3日養生	N/mm ²	7日規格値の50%			
		20°C養生/7日養生	5°C、20°C養生/7日養生		50以上	45以上	35以上	31.5以上
		20°C養生/14日養生			5°C養生/14日養生	7日試験値の80%以上かつ7日規格値以上		
引張強度	JIS K7113	20°C養生/3日養生	5°C養生/3日養生	N/mm ²	7日規格値の50%			
		20°C養生/7日養生	5°C、20°C養生/7日養生		30以上	27以上	20以上	18以上
		20°C養生/14日養生			5°C養生/14日養生	7日試験値の80%以上かつ7日規格値以上		
引張せん断強	JIS K6850	20°C養生/3日養生	5°C養生/3日養生	N/mm ²	7日規格値の50%			
		20°C養生/7日養生	5°C、20°C養生/7日養生		10以上	9以上	10以上	9以上
		20°C養生/14日養生			5°C養生/14日養生	7日試験値の80%以上かつ7日規格値以上		

(注) 1. 試験方法はこの編第18章「エポキシ樹脂試験方法」による。
 2. ガラス転移点試験は20±2°Cで14日養生した供試体を使用する。
 3. 5°C可使時間試験において温度が上昇しなかった場合は、10°C可使時間試験を行い、規格値を66以上とすることができる。

表-付 5. 2. 23 鋼板接着用エポキシ樹脂接着剤の規格（阪神高速道路-3 次試験）²²⁾

(標準試験温度：20 ± 2℃)

試験項目	試験目的および試験方法	目 標 値
クリープ試験	床版下面と鋼板のずれせん断による樹脂のクリープ特性を確認する。JIS K 7115 の引張クリープ試験に準拠してもよい。	応力レベルが引張強度（1次試験規格値）の33%以上で、1000時間以上破断しないこと。
曲げ疲労試験 [※]	鋼板接着した供試体の曲げ疲労特性を確認する。JIS K 7119 のエポキシ樹脂単体の曲げ疲労試験に準拠してもよい。	樹脂単体の試験では、20 ± 2.5N/mm ² の応力で200万回以上破壊しないこと。RCによる大型供試体の場合は、曲げ耐力の30%の荷重に対して100万回以上破壊しないこと。
硬化樹脂に対する新樹脂の接着性試験 ^{※※}	エポキシ樹脂の打ち増しを行っても、境界面に十分な接着性が発揮されることを確認する。JIS K 7113 引張強度、JIS K 7171 曲げ強度試験に準拠してもよい。	規格値に対して、90%以上の曲げ強度、33%以上の引張強度を示すこと。

※ コンクリートに鋼板を接着した試験を行う場合は、破壊形態がせん断破壊にならない

(参考) 鋼板の定着長の計算

鋼板とコンクリート表面との間に作用する平均付着応力度が許容値に達したときに、はく離による破壊が起こると仮定した引張抵抗力から求める。

$$T_r = b \cdot L \cdot \sigma_b \dots\dots\dots (付 5.2.2)$$

ここに、

T_r : 補強鋼板の引張抵抗力 (N)

(鋼板の断面積と設定した引張応力の積によって求められる)

b : 補強鋼板の幅 (一般には単位幅とする) (mm)

L : 鋼板の貼付け長で鋼板継手開始位置から添接板端部までの距離

σ_b : エポキシ樹脂の鋼板に対する許容付着応力度で引張せん断強度に安全率を見込んだ値 (N/mm²)

(一般には、安全率を3として計算して良い)

(3) 施工と維持管理

i) 鋼板接着工法による補修・補強の施工は、床版コンクリートと補強鋼板との一体化が図れるように、適切な工法、材料の選定、施工および施工管理を行う。鋼板接着工法は足場上の狭隘な空間で施工されるため、人力による施工が主体となる。そのような施工でも品質を確保できるように適切な施工が行う必要がある。そのためには入念な施工計画の立案が肝要であり、それを確実に施工に反映することで補強効果が得られることになる。なお、母材コンクリートとの接着強度を確認し、必要に応じて適切な処理を行う必要がある。

ii) 施工にあたっては、床版の損傷状況、周辺環境を調査してそれらを反映させた適切な施工計画を立案する。その際には、適用する床版の損傷状況のみならず周辺環境も加味して立案することが大切である。また、施工計画では品質を確保するための施工管理（検査）も立案する。施工計画で検討すべき内容を列挙すると以下のものとなる。

- ア) 施工の目的
- イ) 施工対象の概要と周辺環境
- ウ) 施工工期
- エ) 使用材料と規格値
- オ) 施工体制
- カ) 施工手順
- キ) 現場での検査項目
- ク) 検査手法と確保すべき基準値

鋼板接着工法の施工現場での検査項目としては、鋼板の設置状況（施工範囲、注入厚さ）などの出来形の計測と使用するエポキシ樹脂接着剤の品質である。エポキシ樹脂接着剤は製造ロット毎に圧縮強度、引張強度などの主要な物性試験を現場抜き取り材料にて実施し、日々の施工単位毎に硬化確認するのが一般的である。図-付 5.2.45 は標準的な施工フローである。以下に施工上の留意点を示す。

ア) 原寸調査

原寸調査では鋼板加工のための床版の寸法計測だけでなく、床版の損傷状況も把握する。その際、必要に応じて断面修復を行うこと。断面修復材料の規格は既存床版コンクリートと同等以上とする。鋼板接着工法ではエポキシ樹脂注入時の圧力でひび割れ内部にも樹脂が充填されるので、前処理としてのひび割れ注入は必要ない。

イ) 下地処理

下地処理ではエポキシ樹脂接着剤による一体化が確実に図れるように、表面に付着している油脂分などを除去する。

ウ) 工場製作

工場製作では原寸調査の結果を受けて作図された加工図をもとに、ボルト位置の孔明、ハンチ加工を行う。加工後にはブラストによる塗装前処理後に現場へ搬入する。

エ) 鋼板取付け、シール工

工場製作された鋼板を現場に搬入し、先行打設された機械定着式アンカーボルトによって床版下面に固定する。固定後にはパテ状のエポキシ樹脂シール材で鋼板の周囲を注入時に液状の注入用エポキシ樹脂が漏れないように入念にシールする。

オ) エポキシ樹脂注入工

一般的な鋼板接着用エポキシ樹脂注入材は主剤と硬化剤の 2 液混合型であるため、十分に混合攪

押し可使時間内に注入施工する。注入にあたっては鋼板内部にエア溜まりができないように注意する必要がある。施工では専用の注入用ポンプが使用されるが、施工規模に応じて適切な機材を選定する。

カ) 仕上げ工、塗装工

エポキシ樹脂注入材の養生後に、パイプ類を撤去し鋼板の表面に付着した樹脂等を除去する。塗装は設計で指定された仕様で実施するが、足場内での施工であることから塗装面に傷がつきやすいので、下塗りまでを工場塗装として、現場で補修塗り後に中塗り、上塗りを行う場合が多いようである。施工条件が整う場合には鋼橋塗装に準じる方法を採用する例もある。

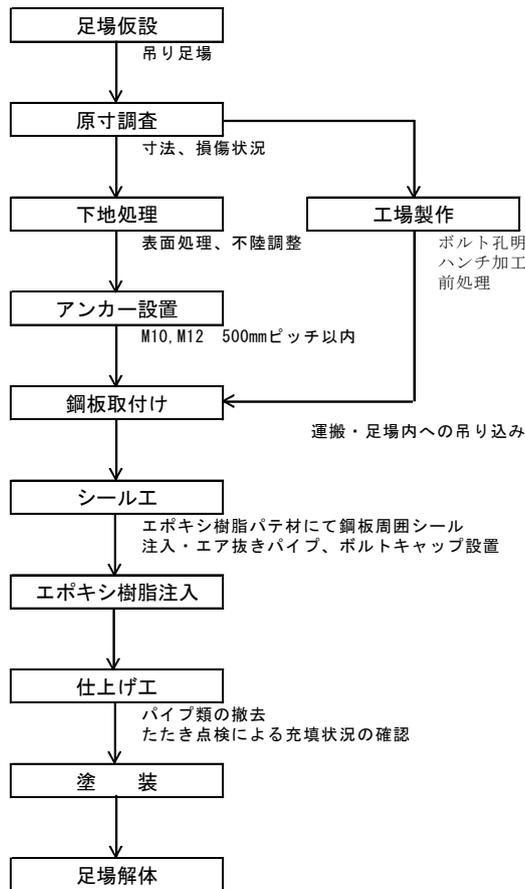


図-付 5. 2. 45 施工フロー

iii) 鋼板接着工法による補修・補強を行った床版では供用期間を通じて適切な維持管理を行い、所要の性能を満足するように維持するのがよい。鋼板接着工法による補強済み床版の維持管理では、目視による変状確認で錆びや漏水・白色析出物が顕著になれば足場を仮設し、たたき点検で浮きの状態を把握する調査が行われている。表-付 5. 2. 24 に示す阪神高速道路株式会社の鋼板接着補強済み床版の損傷度判定²⁴⁾では、点検項目を不良音、漏水および遊離石灰、錆びおよび腐食、鋼板の変形の 4 種類を設定して、それぞれの項目で評価している。なお、阪神高速道路株式会社における判定区分を表-付 5. 2. 25 に示している。

関口の研究²⁵⁾では表-付 5. 2. 26 に示すように衝撃荷重の載荷試験の結果で鋼板接着済み床版の健全度を評価する試みが行われている。この方法によれば、足場を仮設する必要がないので、維持管理でのコスト縮減に寄与することになる。

表-付 5. 2. 24 阪神高速道路株式会社の鋼板接着補強済み床版の健全度評価²⁴⁾

工種	判定区分		S	A	B	C
	点検項目					
補修済み床版	不良音			たたき点検において、鋼板 1 枚の 1/2 程度以上の範囲に不良音がある。	たたき点検において、鋼板 1 枚の 1/2 程度以下の範囲に不良音がある。	たたき点検において不良音がわずかにある。
	漏水および遊離石灰			① 泥水や錆汁を伴った著しい漏水または遊離石灰の流出が見られる。 ② 鋼構造物に、A ランクの腐食を生じさせている。	① 顕著な漏水または遊離石灰の流出が見られる。 ② 鋼構造物に、B ランクの腐食を生じさせている。	漏水または遊離石灰の流出がわずかに見られる。
	鋼板のさびおよび腐食	路下が第三者の用に供されており、かつ落下防護ネットが未設置箇所において以下の状況が確認される。	① 鋼板の腐食が著しく、腐食片が欠落する恐れがある。 ② 鋼板端部シール材にわれまたは挙動が見られ剥落する恐れがある。 ③ ボルトシール部にき裂や挙動があり、ボルトまたはシール材が落下する恐れがある。	① 鋼板に腐食(合計 0.2m ² 以上)があり、床版機能を喪失する恐れがある。 ② 広範囲(パネルの 1/2 以上)にさびがあり美観を著しく阻害している。	① 鋼板に腐食がある。 ② 広範囲にさびがある。	鋼板にさびが点在している。
	鋼板の変形		鋼板の著しい変形や、ずれが認められる。			変形はあるが軽微である。
	シール部の剥離		広範囲にシール部のはく離が見られ、かつ、車両通過時に鋼板が挙動している。	広範囲にシール部のはく離が見られる。		シール部のはく離が見られる。
	アンカーボルトおよびシール部の異常		アンカーボルトに破断または抜け落ちが見られ、かつ、車両通過時に鋼板が挙動している。	アンカーボルトに破断または抜け落ちが見られる。		アンカーボルトのシール部が欠損している。
	その他の損傷		① 主桁上フランジおよび端横桁からのずれまたは浮きがあり、車両通過時に挙動している。 ② 床版相互が接触している。	① 主桁上フランジからのずれまたは浮きがある。 ② 床版遊間が不良である。		端横桁との間にすき間はあるが、挙動していない。

【解説】

1. 桁連結化を行っている箇所の床版は、単純桁と連続桁との中間的なたわみ性状を示すため、ノージョイント周辺の床版には負の曲げモーメントが作用することとなり、過酷な応力状態となる。したがって、点検にあたってはひび割れの発生などに十分注意する必要がある。
2. 床版の部分打ち替えを行っている箇所については、新設床版と既設床版との設計荷重の違いにより剛度差がある場合がある。このような場合、打ち継ぎ部近傍の既設床版の損傷が懸念されるため入念な点検が必要であり、特に打ち継ぎ目周辺における下面補強鋼板の接着状況ならびに漏水、遊離石灰の流出などに注意する必要がある。
3. 漏水および遊離石灰が見られる場合において、泥水や錆汁を伴う場合は、その後の劣化進行が懸念されるとともに、現状において耐荷力・耐久性に問題が生じている可能性がある。したがって、このような場合は、耐荷力・耐久性評価の観点から舗装面の状態やその他の損傷状況(補修済み床版においては、不良音やアンカーボルトの状態など)を確認する必要がある。

表-付 5. 2. 25 阪神高速道路株式会社による判定区分の内容²⁴⁾

判定区分		損 傷 状 況
S	S1	機能低下が著しく、道路構造物の安全性から緊急に対策の必要がある場合
	S2	第三者への影響があると考えられ、緊急に対策の必要がある場合
A		機能低下があり、対策の必要がある場合
B		損傷の状態を観察する必要がある場合
C		損傷が軽微である場合
OK		上記以外の場合

表-付 5. 2. 26 関口の研究による鋼板接着補強済み床版の健全度評価²⁵⁾

健全度 ランク	IIS健全度 (HI_d)	鋼板剥離 面積率(%)	上面ひび割れ 密度 (m/m^2)	劣化進行 過程	判定内容
A	2以上	0	2未満	潜伏期	補強設計で想定した状態を維持
B	1.6~1.9	10未満	2~4未満	進展期	軽微な損傷を生じている可能性がある
C	1.2~1.5	10~20未満	4~6未満	加速期	明らかに損傷を生じはじめているので、再補修する必要がある
D	0.8~1.1	20~30未満	6~8未満	劣化期	押抜きせん断破壊などの重大な損傷を生じる可能性が大きいので、再補強又は取替えが必要である
E	0.7以下	30以上	8以上	-	使用限界 (交通規制等)

2.9 上面増厚工法

(1) 概要

i) 上面増厚工法は、床版上面の劣化や耐荷力性能および耐疲労性の向上を図るために既設 RC 床版上面を切削し、増厚コンクリートと付着性を高めるために研掃を行い、鋼繊維補強コンクリートを増厚して一体化を図り床版を厚くする補強法である。本工法は、ア) RC 床版の上面コンクリートの劣化に対する補強、イ) 耐荷力性能および耐疲労性の向上を図るための補強、ウ) 既に一次補強として下面補強した RC 床版の二次補強、の3つに分類できる。

ア) RC 床版の上面コンクリートの劣化に対する補強：橋梁点検において、アスファルト舗装にポットホールやひび割れの発生が見られる場合は、RC 床版の上面コンクリートに何らかの損傷が発生していることが多い。とくに、積雪寒冷地域の RC 床版は疲労劣化に加え、塩害・凍害によって上面コンクリートのスケーリングや骨材露出が生じ、下面に遊離石灰が発生する。この時点では劣化進行過程は進展期から加速期前期に相当する。RC 床版の上面コンクリートの劣化に対する補強には図-付 5.2.46 に示すように、床版上面を切削し、鋼繊維補強コンクリート（以下、SFRC）と付着性を高めるためにショットブラスト（投射密度 150kg/m^2 ）で研掃を行う。部分的にコンクリートにスケーリングが見られる場合は、脆弱部をウォータージェット等で完全に除去し、その後、SFRC で増厚補強し、新旧コンクリートを一体化させる補強法である。最後に表面を平滑に仕上げ、橋面防水を行い、舗装を施す。なお、既設 RC 床版を切削し、元の床版厚まで修復する施工法は補修であり、元の床版厚まで修復した後、耐荷力性能の向上を目的として増厚した場合が補強となる。

イ) RC 床版の耐荷力性能および耐疲労性の向上を図るための補強：橋梁点検において、耐荷力性能の不足により RC 床版下面に2方向のひび割れが発生し、劣化進行過程が加速期前期の床版や平成14年改定の道路橋示方書・同解説²⁶⁾（以下、道示）に規定する床版厚に対して床版厚が不足している床版は、耐荷力性能および耐疲労性の向上を図るために上面増厚工法による補強が有効である。耐荷力性能や耐疲労性の向上を図るための上面増厚工法は、上面劣化が見られないことから図-付 5.2.46 (①, ②, ③, ⑥, ⑦) に示すように、既設 RC 床版上面を切削機で10mm 切削し、ショットブラストによる研掃（投射密度 150kg/m^2 ）を行い、新たに既設 RC 床版上面に SFRC を増厚して、新旧コンクリートを一体化させて床版を厚くする補強法である。

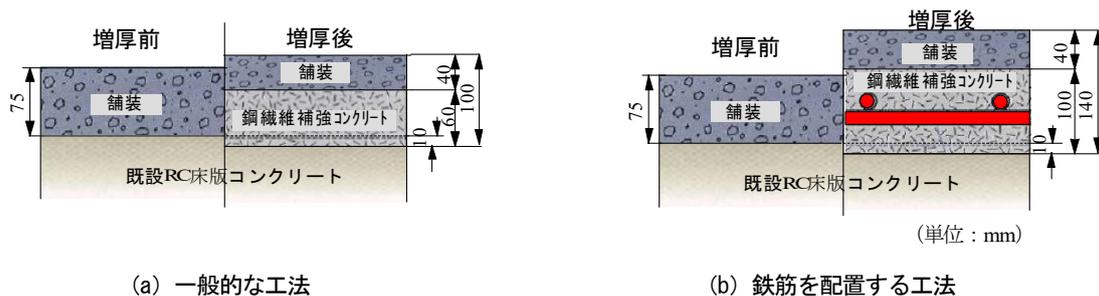
ウ) 既に補強された RC 床版の二次補強：昭和30年代から40年代に建設された RC 床版は、交通量の増大や過積載の通行により、2方向のひび割れの発生や疲労寿命の低下により、RC 床版の下面からの補強法（炭素繊維シート接着工法、鋼板接着工法、下面増厚工法など）が施されてきた。RC 床版の下面補強法について既に20年を経過し、再劣化が生じているものもある。このように既に一次補強が施された RC 床版の二次補強として上面増厚工法が検討されることがある。二次補強における上面増厚工法は図-付 5.2.46 に示すように、上面劣化による補強法と耐荷力性能および耐疲労性の向上を図るための補強対策と同様な補強法となる。また、一次補強として SFRC による上面増厚が行われてきた RC 床版の二次補強法としては、旧 SFRC 上面増厚部を撤去し、再度10mm 切削・研掃して、SFRC を上面増厚補強することにより耐荷力性能および耐疲労性の向上が図られることになる。



図-付 5. 2. 46 SFRC 上面増厚工法

1) 東・中・西日本高速道路（株）（NEXCO）における上面増厚工法の一例

NEXCO の一般的な上面増厚工法²⁷⁾は、図-付 5. 2. 47 (a) 示すように、RC 床版上面を 10mm 切削し、その上に厚さ 60mm の SFRC を増厚している。また、連続橋の中間支点部の負の曲げ耐力の向上や負の曲げモーメントが作用する張り出し床版にも対応するために、上面増厚工法は図-付 5. 2. 47 (b) に示すように、床版上面を 10mm 切削し、研掃した後、橋軸直角方向および橋軸方向に鉄筋を配置し、厚さ 100mm の SFRC を増厚する方法である。なお、上面増厚床版の中には、施工目地部の増厚層のはく離に伴って、アスファルト舗装にポットホールなどの路面変状が発生する事象²⁸⁾があり、近年では、施工目地の両側に幅 500mm で接着剤を塗布し、付着性を高めて早期劣化を抑制する方法²⁹⁾が用いられている。

図-付 5. 2. 47 NEXCO における上面増厚工法²⁷⁾

2) 各種 SFRC 上面増厚工法

RC 床版の上面増厚工法には、既存 RC 床版上面を切削・研掃後、直接 SFRC を増厚する工法と切削・研掃後、既設 RC 床版と SFRC の付着性を高めるために増厚界面に接着剤を塗布して増厚する工法、さらには、SFRC 内に鉄筋の代わりに炭素繊維強化プラスチック（CFRP）格子筋を配置した工法が提案されている。

a) SFRC 上面増厚工法の概要

SFRC 上面増厚工法は、1980 年頃から耐荷力性能および耐疲労性の向上を目的として採用された補強法である。施工法は図-付 5. 2. 46、図-付 5. 2. 48 (a) に示すように、切削機により切削後、研掃を行い、SFRC を直接上面増厚する補強法である。1980 年当時は付着性を高める目的で増厚界面にせん断筋（RC 床版に 50mm 程度挿入）が配置された事例もある。最近では、付着性を高めるためにショットブラストによる研掃（投射密度 150kg/m²）が行われ、既設 RC 床版と SFRC との付着性を高めきた。しかし、SFRC 上面増厚工法においては、輪荷重の走行により、SFRC と既設 RC 床版の界面が早期にはく離し、上面から侵入した雨水が増厚界面に滯水して、その影響によりアスファルト舗装にポットホールや増厚界面がはく離するなどの損傷が生じ、早期に再補修・補強された事例も報告されている。

使用材料は、鋼繊維を配合したコンクリート（SFRC）が用いられている。一般的に、8 時間程度で交通開

放する場合の SFRC のセメントには、材齢 3 時間で設計基準強度 (24N/mm²) が確保できる超速硬セメントを使用する。骨材には、最大寸法 20mm もしくは 15mm の粗骨材、鋼繊維には長さ 30mm の鋼繊維を混入率 1.27Vol.% (100kg/m³) で配合されている。一方、10 日間以上の通行止めが可能な場合の SFRC のセメントには早強セメントが使用されている。超速硬セメントを用いた SFRC の配合例を表-付 5. 2. 27 に示す。

増厚コンクリートの厚さは、現行道示の床版厚さで決まる場合と、骨材最大寸法の 2.5 倍から決まる場合がある。骨材最大寸法 20mm では最小厚さは 50mm、骨材最大寸法 15mm では最小厚さは 40mm となる。SFRC 上面増厚工法は、図-付 5. 2. 48 (a) に示すように既設 RC 床版を 10mm 切削して、その上に適切な厚さを増厚するものである。耐荷力性能および耐疲労性の向上を図るためには SFRC の増厚全厚は 60mm が必要となる。増厚全厚が薄い場合には、増厚界面が早期にはく離し、一体性が失われ、上面増厚部と既設 RC 床版との 2 層床版となることから十分な厚さ (60mm 以上) を確保する必要があると考えられる。

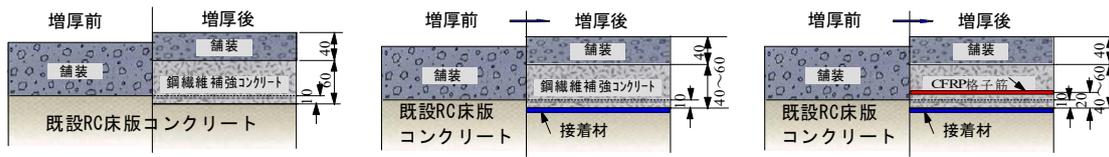
b) 接着剤塗布型 SFRC 上面増厚工法の概要³⁰⁾

SFRC 上面増厚工法は、輪荷重走行により増厚界面が早期にはく離し、上面から雨水が浸入して増厚界面に滞水して、はく離することもある。この問題を解決し、さらに耐疲労性を高めるために増厚界面には上面増厚専用接着剤を塗布して、直ちに SFRC を増厚する補強法 (以下、接着剤塗布型 SFRC 上面増厚工法) が近年実施されている。

本工法は、図-付 5. 2. 48 (b) および図-付 5. 2. 49 に示すように、SFRC 上面増厚工法と同様に、既設 RC 床版上面を切削機で切削し、ショットブラストによる研掃を行った後、接着剤を約 1mm の平均厚で塗布して SFRC を上面増厚するものである。また、上面コンクリートが劣化した部分については脆弱部をウォータージェット等で完全に除去した後、接着剤を塗布して SFRC を増厚する。なお、接着剤塗布型 SFRC 上面増厚工法における耐疲労性の評価については、阿部らによる輪荷重走行試験³²⁾では、接着剤を全面に塗布することで、塗布しない場合と比較し、輪荷重の等価繰返し回数が 2.4~3.5 倍になり、床版の耐疲労性が向上することが確認されている。また、ウォータージェット等により増厚界面が湿潤状態で接着剤を塗布した場合についても耐疲労性が評価されている³³⁾。接着剤塗布型 SFRC 上面増厚工法は、跨線橋の補強法³³⁾と部分的に界面がはく離した上面増厚工法の再補修に用いられた実績がある。また、首都高速道路においては鋼床版の補強方法としても接着剤塗布型 SFRC 上面増厚工法が採用されている³⁵⁾。

使用材料は、SFRC については SFRC 上面増厚工法に用いた材料および配合は同様である。接着剤については、耐久性に優れているだけでなく、コンクリート切削面への塗布性や打継可能時間に配慮された SFRC 上面増厚工法専用の土木用高耐久型エポキシ系接着剤を用いる。土木用高耐久型エポキシ系接着剤の仕様例を表-付 5. 2. 28 に示す。

床版上面コンクリートのスケーリングが生じている場合は、ウォータージェットにより脆弱部を除去した後、接着剤を平均厚 1.0mm で塗布して、SFRC を上面増厚する。増厚コンクリートの最小厚さ 40mm は、都道府県が管理している道路橋 RC 床版は NEXCO が管理している高速道路と比較して重車両の交通量が少ないことと、接着剤を塗布することで一体性が確保されることから、SFRC 上面増厚工法の最小厚 60mm よりも薄くできる。ただし、現行道示に基づいて設計された床版厚を確保する必要がある。



(単位 : mm)

(a) SFRC 上面増厚工法
(NEXCOにおける上面増厚工法)

(b) 接着剤塗布型 SFRC
上面増厚工法³⁰⁾

(c) 接着剤と CFRP 格子筋併用
SFRC 上面増厚工法³¹⁾

図-付 5. 2. 48 各種 SFRC 上面増厚工法

表-付 5. 2. 27 超硬セメントを用いた SFRC の配合例

スランプ (cm)	W/C (%)	S/a	単 位 量 (kg/m ³)				
			セメント	水	細骨材	粗骨材	鋼繊維
6.5 ±1.5	39.5	51.2	430	170	851	858	100.0

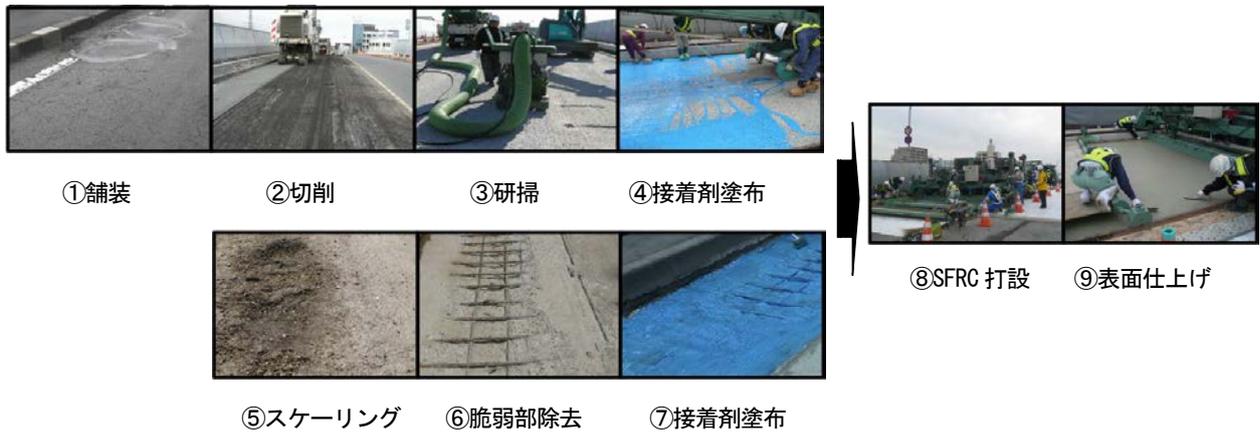


図-付 5. 2. 49 接着剤塗布型 SFRC 上面増厚工法³⁰⁾

表-付 5. 2. 28 土木用高耐久型エポキシ系接着剤の仕様例

		冬 用 (被着体温度 : 5℃~20℃) 春・秋用 (被着体温度 : 15℃~30℃) 夏 用 (被着体温度 : 25℃~60℃)	
		性状と物性	備 考
外 観	主 剤	白色ペースト状	異物混入無し
	硬化剤	青色液状	異物混入無し
混合比 (主剤 : 硬化剤)		5 : 1	重量比
硬化物比重		1.40±0.20	JIS K 7112
圧縮強さ		50 N/mm ² 以上	JIS K 7181
圧縮弾性係数		1000 N/mm ² 以上	JIS K 7181
曲げ強さ		35 N/mm ² 以上	JIS K 7171
引張せん断強さ		10 N/mm ² 以上	JIS K 6850
コンクリート付着強さ		1.6 N/mm ² 以上または母材破壊	JIS K 6909 (JIS 412)
標準塗布量		1.4 kg/m ² 以上 (人力塗布)	被着体の種類によって塗布量は異なる

3) 数値解析による上面増厚工法の評価

上面増厚工法の補強時期と補強効果については、非線形有限要素解析を用いた数値解析による評価が試みられている。支間 2.5m、厚さ 190mm の RC 床版の解析例では、活荷重たわみが支間長の 1/1000 を越えてすぐに上面増厚（普通コンクリート 30mm）を行った場合、補強後のたわみの進展に関して言えば、早期に補強したもののほうが補強による抑制効果が高かった。数値解析では補強前のはつりを考慮せず、既に損傷を受けた上面コンクリート上に新たなコンクリートを増厚しているため、補強時期が遅い場合の補強効果が過小評価された可能性はあるが、走行安全性や防水の観点からも上面コンクリートは健全に保たれることが望ましいことから、上面増厚工法を早期に実施したほうがよいと考えられる。

ii) 上面増厚工法の設計・施工は、橋梁点検における RC 床版の損傷状況による劣化進行過程から、施工条件、環境条件を適切に評価した上で工法の適用性について検討し、実施するのがよい。

上面増厚工法の対象としている RC 床版は、主として昭和 39 年および昭和 48 年改定の道示で設計された床版である。また、昭和 50 年代に建設された RC 床版においても融雪剤の散布による塩害に加え、凍害の影響を受け、RC 床版の上面コンクリートがスケーリングや砂利化が生じ、供用開始後 30 年程度で撤去された床版など、コンクリートの劣化による損傷事例が年々増大している。

上面増厚工法においては、床版上面の劣化状態を調査することが重要であるが、橋梁点検では床版上面にアスファルト舗装されていることから、劣化の範囲や状態、規模が調査しにくいのが現状である。橋梁点検においてはアスファルト舗装にポットホールが発生した状態は、上面コンクリートに劣化が生じている可能性が高い。その場合、床版下面には漏水や遊離石灰が発生している。したがって、上面増厚工法により補強する場合は、橋梁点検結果をもとに診断を適切に行う必要がある。

(2) 設計

i) 増厚コンクリートの厚さは、増厚後の床版厚が最新の設計基準などで必要とされている床版厚さ以上となるように決定するのがよい。

上面増厚工法が対象としている RC 床版は、主として昭和 39 年および昭和 48 年改定の道示で設計された床版である。昭和 30 年代の基準では、活荷重が 80kN であり、床版厚が 160mm、鉄筋には丸鋼が使用されている。配力筋は主鉄筋の 25%が配置されている。昭和 43 年の暫定基準では、鉄筋には異形棒鋼が使用され、配力筋も主鉄筋の 70%が配置されている。一方、平成 8 年に改定した道示の活荷重は 100kN であり、床版厚も大型車両の計画交通量による割り増しがなされている。したがって、古い基準で建設された RC 床版は、平成 14 年改定の道示の活荷重および床版厚を確保し、耐荷力性能および耐疲労性の向上を図るのがよい。

RC 床版の増厚コンクリートの最小厚さは、平成 14 年改定の道示²⁹⁾に基づいて、床版支間、大型車両の交通量による床版厚を算定し、同等以上の厚さを確保するように厚さ決定する必要がある。ここで、平成 14 年改定の道示における最小床版厚は式（付 5.2.3）として与えられている。上面増厚工法は、既設床版を現行道示の床版厚と同等以上に増厚することで、疲労寿命が大幅に向上することが輪荷重走行試験にて確認されている。土木研究所での輪荷重走行試験³⁰⁾では、昭和 39 年道示仕様の床版に初期損傷を与えた後に上面増厚を行った供試体は、平成 8 年道示仕様の供試体の一部および昭和 49 年道示仕様の供試体と同等の破壊時走行回数を有していることが確認されている。なおこの上面増厚供試体は、増厚界面のはく離の進行に伴って、たわみが徐々に増加し破壊に至っていること、端部にせん断補強筋を設けることにより疲労寿命が伸びていることから、接着剤等を用いて増厚界面のはく離を抑制することが有効と考えられる。

一方、高野らは、47 年間共用され、1980 年に SFRC 上面増厚補強された RC 床版を用いて、旧 SFRC 上面

増厚部を撤去し、既設 RC 床版を 10mm 切削して、新たに接着剤を塗布して SFRC 上面増厚補強を行い、耐疲労性についての輪荷重走行試験を実施している³⁷⁾。その結果、平成 14 年改定の道示に準拠して製作した RC 床版と比較して 2.4～3.5 倍の耐疲労性が確保されている。ここでは、二次補強法においても接着剤塗布型 SFRC 上面増厚補強における耐疲労性が評価されている。

NEXCO では、上面増厚工法は RC 床版を増厚することにより押抜きせん断耐力を向上させることが主目的であり、室内試験等で上面増厚による疲労に対する延命効果が確認されていること、実橋の主鉄筋における最大発生応力度は既往のデータでは設計値よりも大幅に小さいことを考慮して、RC 床版の曲げ応力度の照査は一般に行わなくて良いとされている²⁷⁾。その理由の一つとして、輪荷重走行試験では、鉄筋応力度は 10～20N/mm² (試験荷重 110kN 換算) を示しており、その値はコンクリートを全断面有効とした値 (約 10 N/mm²) と引張応力度を無視した値 (約 35 N/mm²) の中間を示しているが、全断面有効とした値に近い傾向であることが挙げられる²⁷⁾。なお、著しく強度の低い床版に上面増厚を行った場合、早期劣化の恐れがあるため、必ず床版の強度を確認するとともに、強度が低い場合には部分取替工法を併用するなどの対策を講じる必要がある。

$$d = k_1 \times k_2 \times d_0 \quad \dots\dots\dots \text{(付 5.2.3)}$$

ここに、 d : 床版厚 (mm) (第 1 位を四捨五入する。ただし、 d_0 を下回らないこと)

d_0 : 表-付 5.2.29 に規定する床版の最小全厚 (mm) (小数第 1 位を四捨五入し、第 1 位まで求める。 $d_0 \geq 160\text{mm}$)

k_1 : 大型の自動車の交通による係数で、その値を表-付 5.2.30 に示す。

k_2 : 床版の支持するけたの剛性が著しく異なるため生じる付加曲げモーメントの係数。

表-付 5.2.29 車道部分の床版の最小全厚²⁶⁾

床版の区分	床版の支間方向	
	車両進行方向に直角	車両進行方向に平行
単純版	40L+110	65L+130
連続版	30L+110	50L+130
片持版	0 < L ≤ 0.25	280 L + 160
	L > 0.25	80 L + 210
		240 L + 130

表-付 5.2.30 係数 k_1 ²⁶⁾

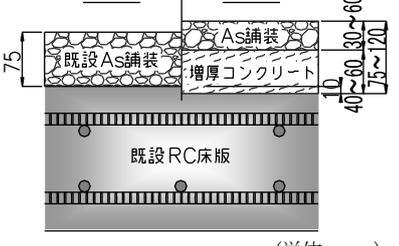
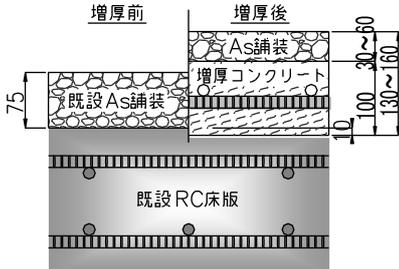
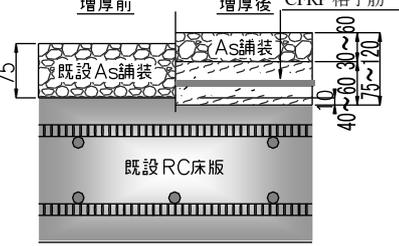
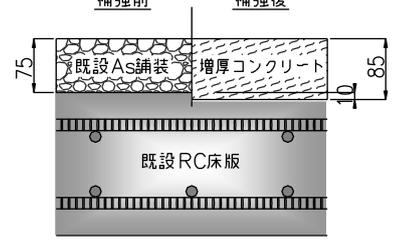
1 方向あたりの大型車の 計画交通量 (台/日)	係数 k_1
500 未満	1.10
500 以上 1000 未満	1.15
1000 以上 2000 未満	1.20
2000 以上	1.25

ii) 死荷重増による桁の応力照査は、一般には、死荷重増分が主桁に及ぼす影響は比較的小さく、床版と主桁の合成作用を考慮すると応力増分は無視できる程度となり、主桁補強を要するほどではないため主桁等の応力照査を省略してよい。ただし、たとえば合計厚の増分が 50mm 程度 (全厚の約 20%) 以上と死荷重の増分が大幅に大きくなるような場合には応力照査をするのが望ましい²⁷⁾。

昭和 47 年版の鋼道路橋施工便覧では、「補強工事または歩道などの添加を行う場合、現在の荷重系と許容応力度を用いて計算し、引張材については 30%、圧縮材については 20% 程度ではむしろ部材の補強を行わないのが良い。ただし鋼橋脚など地震で部材が決まる場合は、地震時の割増 (70%) をさらに割りますことができないのは当然である。」との記述もあり、桁の補強を行う場合には十分留意する必要がある。

iii) 上面増厚工法は、アスファルト舗装を設ける構造と、コンクリート舗装を兼ねる構造に大別される。さらに、通常の上増厚、鉄筋を用いる増厚、CFRP 格子筋を用いる増厚に分けられる。上面増厚工法の標準的な断面図を表-付 5.2.31 に示す。それぞれの特徴を踏まえ、床版の劣化状況、道路の使用環境、経済性、維持管理などを考慮して、上面増厚のタイプおよび増厚界面への接着剤の適用等を決定する必要がある。アスファルト舗装の厚さは、40～50mm が一般的に用いられているが、鋼床版上 SFRC 舗装では死荷重の軽減を目的に厚さ 30mm で施工されている。なお、NEXCO では、平成 22 年から上面増厚上のアスファルト舗装厚さは 60mm が用いられている²⁹⁾。

表-付 5. 2. 31 上面増厚工法の標準的な断面図

増厚のタイプ	断 面 図	特 徴
上面増厚	 <p>(単位：mm)</p>	<p>①増厚コンクリート上にアスファルト舗装を設けた構造で、道路橋床版の上面増厚で最も一般的な構造である。</p> <p>② 路面高さの変更を行わない構造となるように、増厚コンクリート厚さとアスファルト舗装厚さを決定した方が安価となる。</p>
アスファルト舗装を設ける 上面増厚	 <p>(単位：mm)</p>	<p>① 上面増厚の、床版張出部や中間支点上の負荷対策に用いられる。</p> <p>② 増厚コンクリート厚が比較的厚くなる傾向であることから、死荷重の増加が大きい。そのため、桁の応力照査や下部工の地震時の照査が必要となる。</p> <p>③ 近年は増厚界面のはく離対策として接着剤が用いられている。</p>
CFRP 格子筋 増厚	 <p>(単位：mm)</p>	<p>① 床版張出部や中間支点上の負荷対策に用いられる。</p> <p>② 鉄筋増厚に比べ増厚コンクリート厚を薄くできる。</p> <p>③ 近年は増厚界面のはく離対策として接着剤が用いられている。</p>
コンクリート舗装を兼ねる 上面増厚	 <p>(単位：mm)</p>	<p>① 路面高さを変更せずに、全厚をコンクリート舗装とした構造で、増厚コンクリートが厚いため補強効果が高く安価である。</p> <p>② 雨上がりにおいて、車線部に滞水が生じないような路面排水とする必要がある。</p> <p>③ 死荷重が増加しない。</p> <p>④ 近年は増厚界面のはく離対策として接着剤が用いられている。</p>
CFRP 格子筋 増厚	 <p>(単位：mm)</p>	<p>① 床版張出部や中間支点上の負荷対策に用いられる。</p> <p>② 雨上がりにおいて、車線部に滞水が生じないような路面排水とする必要がある。</p> <p>③ 死荷重が増加しない。</p> <p>④ 近年は増厚界面のはく離対策として接着剤が用いられている。</p>

(3) 施工と維持管理

i) 上面増厚工法は、既設床版と増厚コンクリートが一体化することで、所要の補修・補強性能を発揮するものである。したがって、これらの状態を満足するように、材料の選定、施工および施工管理を行う必要がある。

ii) 上面増厚工法は、路面上の交通規制が必要であることから、環境条件や施工条件を考慮して交通規制の形態や規制日数を決定し施工計画に反映させる必要がある。図-付 5.2.50 に標準的な施工フローを示す。

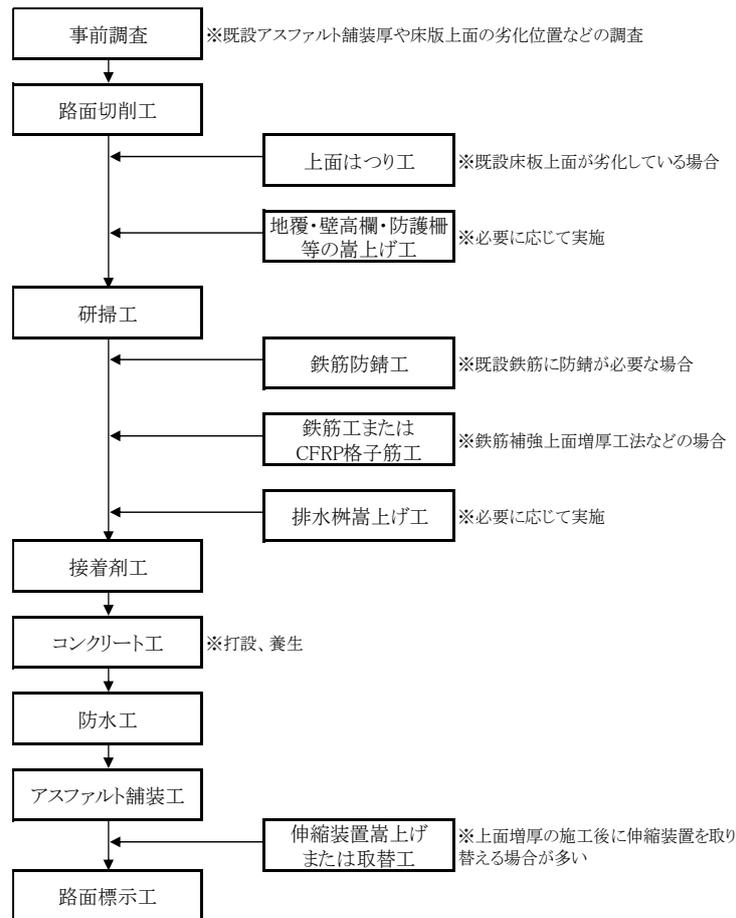


図-付 5.2.50 上面増厚工法の標準的な施工フロー

iii) 床版コンクリート表面の脆弱部は、増厚コンクリートとの一体化を阻害する要因であることから、ウォータージェット等を用いて完全に除去する必要がある。

iv) 上面増厚による補強を行ったことによる特別な維持管理方法は規定されておらず、一般的な路面からの日常点検（舗装の状態点検）、橋梁の定期点検による維持管理が行われる。点検において、舗装面の異常や床版下面の変状が認められた場合には、必要に応じて上面増厚コンクリートのはく離の発生の有無などの調査を行い、適切な対策を行うのがよい。

2.10 水平ひび割れ注入工法

(1) 概要

i) 水平ひび割れ注入工法は、床版に注入孔を削孔し、この注入孔から水を流して水平ひび割れ内部の洗浄を行ったのち、水中硬化型エポキシ樹脂を充填する工法である。輪荷重による道路橋床版の劣化では、外観の調査により把握できる舗装面のポットホールや床版下面のひび割れといった劣化現象以外に床版内部に水平ひび割れが生じている場合がある。本工法はこの床版内部の水平ひび割れの補修を対象としたものである。樹脂注入により、床版内部の水平ひび割れが充填され床版剛性が回復する。また、活荷重による損傷・劣化対策として上面増厚工法、下面増厚工法、鋼板接着工法、炭素繊維シート接着工法を併用することにより床版補強が可能であり、耐久性の向上効果が期待される。

ii) 水平ひび割れ注入工法の設計・施工は、床版内部の調査結果に基づき、その劣化・損傷要因、劣化進行過程を適切に評価した上で工法の適用性について検討し実施するのがよい。水平ひび割れ注入工法は、床版内部の水平ひび割れに対し樹脂注入を行い、床版剛性が回復することが期待できる場合に適用する。また、必要に応じ上面増厚工法、下面増厚工法、鋼板接着工法、炭素繊維シート接着工法を併用することにより床版の補強が可能である。その結果、耐久性の向上効果が期待される。

対象となる道路橋の交通規制が可能であれば、床版上面から削孔し施工を行うのが一般的である。交通規制が困難な場合には床版下面から施工を行うことも可能である。また、対象となる床版内部の水平ひび割れ以外にも、上面増厚の浮き、床版上面のポットホールの補修部分の浮きに対しても同様に樹脂注入を行うことにより補修が実施されている。

(2) 設計

i) 水平ひび割れの発生位置（床版内部の深さ）や発生範囲を把握し、補修計画を立案する。水平ひび割れは床版内部の上鉄筋近傍、下鉄筋近傍、もしくは上面増厚の浮き、床版上面のポットホールの補修部分の浮きなどが対象である。水平ひび割れの発生位置（床版内部の深さ）や発生範囲により注入孔の深さや注入孔の位置を決定する。したがって、施工に先立ち水平ひび割れの位置、範囲を把握する必要がある。

水平ひび割れが生じている範囲は打音法や超音波法、電磁波レーダ、微破壊検査、コア抜き供試体の観察などが実施されているが、まだ研究段階である。そのため水平ひび割れの範囲は複数の調査を併用するなどして慎重に行う必要がある。その位置や範囲が合理的に把握できるものであれば新工法を採用するのもよい。

ii) 水平ひび割れ内に充填する樹脂は適切な材料を使用する必要がある。水平ひび割れ内に充填する樹脂は、先行して水平ひび割れ内部を水により洗浄した後に、樹脂を充填することから水中硬化型の樹脂を使用する。

(3) 施工と維持管理

水平ひび割れ注入工法は、床版内部の水平ひび割れ充填が適切に図れるように、適切な施工手順、材料の選定、施工および施工管理を行う。水平ひび割れ注入工法の標準的な手順と留意点を以下に示す(図-付5.2.51)。

ア) 水平ひび割れ範囲の把握

水平ひび割れの発生位置や発生範囲が設計段階で詳細に把握されていない場合は、施工前に事前調査を行い水平ひび割れの発生位置や発生範囲を把握するのがよい。水平ひび割れの調査方法は2.10(2)を参考にするとよい。

水平ひび割れが生じている範囲を 1m 格子でマーキングし注入孔を削孔する。削孔する注入孔は 1m 格子の格子点とする。孔の径は $\phi 28\text{mm}$ 、最大深さは床版が貫通しない 150mm 程度が適当である。

イ) ひび割れ洗浄

この注入孔から水を流しひび割れ内部の洗浄を行う。1m 格子の注入孔毎に洗浄水がセメント分を含まない清水となることを確認する。

ウ) 樹脂充填工

洗浄した 1m 格子の注入孔毎に水中硬化型エポキシ樹脂を注入し、水平ひび割れ内部を充填する。

エ) 充填状況確認

打音調査等により水平ひび割れ内部に樹脂が充填されたことを確認する。

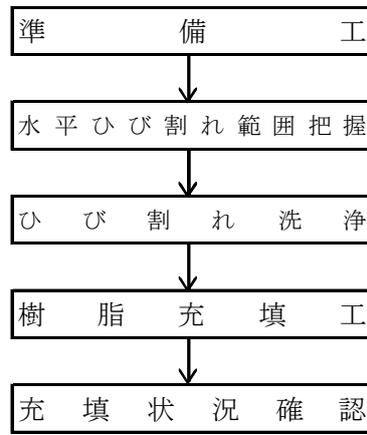


図-付 5.2.51 施工フロー

2.11 部分打換工法

(1) 概要

i) 部分打換工法は、輪荷重の繰り返し作用による疲労劣化や材料劣化等による耐荷性能の低下により、局部的に供用に支障が生じた、もしくは生じる恐れがある場合に、劣化部分を撤去後に既設床版と同様な材料で断面修復することにより床版を補修する工法である。この工法は原形復旧が基本であることから耐荷性能ならびに耐久性能が最新基準の要求レベルに改善されない。

ii) 部分打換工法は、局部的な耐荷性能の低下に対して採用される対策であり、劣化床版の状態を的確に判定する必要がある。床版の損傷段階として「橋梁定期点検要領（案）」（国土交通省国道・防災課）³⁸⁾による床版ひび割れの評価ランクに適用範囲を示したものを表-付5.2.32に示す。局部的に、ひび割れが進展し、ひび割れ相互のすり磨き作用による角落ちが支持桁近傍まで広がっている外観状態では、耐荷性の低下による部分的な抜け落ちが懸念されるため、部分打換工法による補修を検討する必要がある。ただし、劣化範囲や補修発生頻度によっては、信頼性及びライフサイクルコストの面から床版取替が優位となる可能性もある。

表-付5.2.32 床版の損傷区分と適用範囲

区分	ひびわれ幅 に着目した程度	ひびわれ間隔 に着目した程度
a	【ひびわれ間隔と性状】 ひびわれは主として1方向のみで、最小ひびわれ間隔が概ね1.0m以上 【ひびわれ幅】 最大ひびわれ幅が0.05mm以下(ヘアークラック程度)	
b	【ひびわれ間隔と性状】 1.0m~0.5m, 1方向が主で直交方向は従、かつ格子状でない 【ひびわれ幅】 0.1mm以下が主であるが、一部に0.1mm以上も存在する	
c	【ひびわれ間隔と性状】 0.5m程度, 格子状直前のもの 【ひびわれ幅】 0.2mm以下が主であるが、一部に0.2mm以上も存在する	
d	【ひびわれ間隔と性状】 0.5m~0.2m, 格子状に発生 【ひびわれ幅】 0.2mm以上が目立ち部分的な角落ちもみられる	
e	【ひびわれ間隔と性状】 0.2m以下, 格子状に至る 【ひびわれ幅】 0.2mm以上がかなり目立ち連続的な角落ちが生じている	



(2) 設計

i) 部分打換工法では、既設床版に及ぼす影響を把握し必要に応じそれらも含めて安全性を確保するための設計を実施する。部分打換部の耐荷性能は、建設時の適用道路橋示方書に準じた耐荷性能を確保できるが、例年的に劣化が進んだ既設部と部分打換部は剛性が異なるため、境界部に応力集中が生じ、構造的な弱点になる可能性がある。このため、既設部と部分打換部との剛性が大きく異なる場合は、打換え範囲をパネル単位としたり、打継目を支持桁上に配置したりすることが望ましい。

ii) RC床版、PC床版における構造細目は建設時の適用道路橋示方書に準じて設計する。道路橋示方書に該当しない構造の細目は、示方書の保証するレベルに応じて個々に設定された仕様とする。

iii) 断面修復に使用するコンクリートの仕様は、現場の施工条件や経済性を考慮して選定するのがよい。セメントの種類は規制時間の制約により選定され、早期に交通開放が必要な場合は超速硬セメントが、7日間以上の連続規制が可能な場合は早強セメントが用いられる。また、近年では、材令24時間で所定の圧縮強度が得られる超早強セメントの使用事例もある。部分打換工法は現行の規格に準じた耐荷性能を有しており、品質も確保されることになるが耐久性を確保し、延命化を図るためにも適切な橋面防水システムを整備する必要がある。橋面防水工法は、現場の施工時間および経済性を考慮して選定するのがよい。

(3) 施工と維持管理

部分打換工法による施工は、既設床版コンクリートと断面修復部のコンクリートの一体化が図れるように材料の選定、施工および施工管理を行う。また、この工法は路面上の交通規制が必要であることから、交通規制の形態や規制期間を決定し、施工計画に反映させる必要がある。そのため、舗装面および床版下面の点検結果などから事前に補修範囲を計画する。

図-付5.2.52に部分打換工法の一例として、ウォータージェットはつり工による施工フローを示す。施工上の留意点を以下に示す。

ア) カッター工

カッターの深さは、舗装厚と上側鉄筋のかぶりを考慮して決定し、鉄筋を切断しないように注意する。

イ) 補修範囲の特定（舗装撤去後）

舗装撤去後に床版上面の打音調査等を行い、補修範囲を特定する。補修範囲が計画より大規模になる場合は、工事時間および劣化度合い（補修の優先順位）を考慮して補修範囲を決定する。

ウ) はつり工

劣化床版の撤去には、ブレーカによる手はつりとウォータージェット工法が用いられることが多い。ウォータージェット工法の場合は、はつりガラが飛散しないように床版下面に鉄板を固定する等の養生を行う。ウォータージェットを行う際に使用する水も集水できるよう養生を行う。また、作業が路面から行われることから鉄筋下部に既設コンクリートが付着したまま残ることもあるため、床版下面側から鉄筋に付着した既設コンクリートの有無を確認して必要に応じて除去する。

部分打換工法による更新済床版の維持管理では、一般的な新設橋梁と同様に点検による維持管理が行われることになる。打換部と既設床版との境界部は構造的な弱点となりやすいため再劣化の起点となる可能性がある。そのため、境界部を重点的に点検することが望ましい。

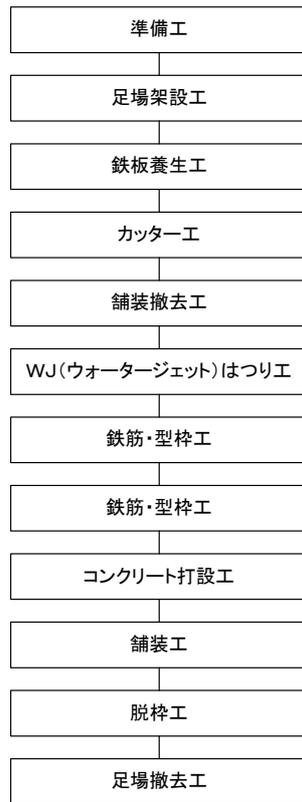


図-付 5. 2. 52 施工フローの一例

2.12 床版取替工法

(1) 概要

i) 床版取替工法は、輪荷重の繰り返し作用による疲労劣化や材料劣化等による耐荷性能の低下により供用に支障が生じた、もしくは生じる恐れがある場合に最も効果的かつ抜本的な対策工法であり、劣化床版の撤去後に新設橋梁と同様な場所打ち工法やプレキャスト床版を架設することにより新規に床版を構築する。この工法では、現行の道路橋示方書に準拠した床版構造となることから、耐荷性能ならびに耐久性能が最新の要求レベルに改善されることになる。しかしながら、支持桁を継続使用することが多いため、橋梁全体の耐荷性では、支持桁に加え下部構造を含めて検討する必要がある。

ii) 取替用床版には以下に示す種類があり、現場の施工条件を考慮しながら経済性を比較し個々に最適な工法が選定されている。なお、輪荷重走行試験による性能照査での商品開発が活発に行われており、鋼・コンクリート合成床版を中心に数多くの取替用床版が市場に提供されている。

ア) 場所打ち RC・PC 床版

イ) ハーフプレキャスト床版 — PC 埋設型枠

ハーフプレファブ床版 — 鋼・コンクリート合成床版

ウ) フルプレキャスト床版 — RC 版, PC 版, 鋼床版

これらの各種取替用床版を、施工条件を考慮して適切に選定し、適用することが重要である³⁹⁾。

床版取替工法の適用に当たっては、点検結果に基づき劣化・損傷要因、劣化進行過程を適切に評価した上で工法の適用性を検討する必要がある。

本工法の適用に当たっては、一般的な点検では耐荷性能は評価できないことから、コアボーリングなどによる採取試料での材料試験や載荷試験を実施することで、より精度の高い判定を実施することが望ましい。留意点として、材料試験は試料採取位置のデータであることから、全体を代表する位置であるかどうかを現地調査の結果などで確認する。載荷試験は大がかりな調査となるが、最近になって衝撃荷重載荷による簡便で経済的な方法も行われており、それらの調査法の採用も検討するとよい。

なお、床版の性能が現行の耐荷性レベルに改善されることからライフサイクルコストを考慮した際には、その供用期待年数が長期となるほど早期の取替対策が効果的となる。ただし、対策を施す時点のコストが増大化するので、軽微な補修・補強による延命化を図ることで取替費用の調達期間を確保することも考慮する場合が生じる。

(2) 設計

i) 取替床版の設計は、最新の道路橋示方書に規定されている耐荷性能に加えて、施工方法を考慮することで完成後の床版が所要の耐久性能を確保できるようにすることを目的に実施する。なお、架設方法により床版を分割する際の接合部分など、構造的な弱点が避けられない場合でも道路橋示方書が保証する性能を保持するように配慮する必要がある。ただし、特殊な構造などで実験による確認で疲労耐久性が確認されている場合にはそれを採用してよい。ここでいう実験による確認とは、輪荷重走行試験による走行疲労試験で耐久性を評価すること等を指す。

床版取替設計では、その計画の際の検討項目が多方面に影響する。表-付5.2.33に計画の対象とその影響範囲を示す。表によれば検討すべき内容が単独ではなく、それぞれが互いに影響していることが判る。

表-付5.2.33 計画の対象と影響範囲

計画の対象	内 容	影響する範囲
支持桁	平面形状（斜桁、曲線桁）	床版種類、床版パネルの割付け、連結方法、交通規制
	支持桁の種類（合成、非合成）	固定方法、支保工、交通規制
	耐荷性	床版種類、補強
交通規制 (施工時間)	全面通行止め	支持桁
	一時交通解放	床版種類、支持桁、橋面高さ、路面段差
撤去および 架設方法	取り壊し	支持桁、運搬、撤去、交通規制、産廃処理
	据え付け	支持桁、運搬、架設、交通規制
仮設構造物	支保工	支持桁、足場、建築限界、河積阻害
	足場	建築限界、河積阻害

ii) 床版の取替では既設の支持桁を継続使用することが多く、その際には支持桁の種類や耐荷性が計画に際しての重要な検討項目となるため、支持構造に及ぼす影響を把握し、必要に応じてそれらも含めて安全性を確保するための設計を実施する必要がある。支持桁を補強する際には、その補強時期や荷重状態の変化なども考慮する必要がある。

施工時の交通条件の制約から取替中に交通仮開放が必要となる場合も生じる。その際、支持桁が合成桁である場合には、主桁支間中央付近に仮設ベントなどの支保工を設置するなどの対策が必要となる。支保工を設置した場合には、完成後の構造系が死活荷重合成桁となる場合もあり、それを考慮した設計が必要となる。なお、既設橋梁の構造が3主桁の合成桁である場合には、既設床版撤去時の中桁の合成断面が減少することから交通開放化での施工が最も困難となるため、特に入念な計画が必要となる。

なお、床版重量が増加する場合には下部工にも影響を及ぼすので耐震性などに問題がないかを確認する必要がある。

iii) 床版取替工法では、RC床版、PC床版における構造細目は最新の設計基準などに準じて設計する。鋼・コンクリート合成床版などでは個々に構造細目が設定されており、それらを採用する際にはそれぞれの設定に準じて設計を行う。

iv) 床版取替工法では、コンクリートや補強鉄筋のほか工法の種類に応じて鋼板や形鋼、FRPも用いられることになる。何れも床版を構成するための主要な材料であることから、品質が確認されたものを使用し、

以下の点に留意するのがよい。

- ア) 取替床版の連続化や支持桁との固定に用いられる材料には、品質が確かめられたものを使用する。
- イ) 取替床版上面には防水層を設置する。
- ウ) 鋼・コンクリート合成床版のように補強鋼材が露出する構造では、必要に応じて鋼橋と同様に表面保護を実施する。その際には鋼道路橋防食便覧（日本道路協会）²³⁾を参考にするとよい。

(3) 施工と維持管理

i) 床版取替施工では最新の設計基準などが保証する耐荷性能、耐久性能などの要求性能を満たせるように、適切な材料・施工方法の選定ならびに検査を行わなければならない。なお、施工時間に制約を受ける際には工法選定にも影響を及ぼすことから入念な検討が必要となる。

ii) 床版取替の施工にあたっては、橋梁の現況だけではなく周辺環境を調査し、それらを反映させた適切な施工計画を立案する。また、施工計画では品質を確保するための施工管理（検査）も立案する。施工計画で検討すべき内容を列挙すると以下のものとなる。

- ア) 施工の目的
- イ) 施工対象の概要と周辺環境
- ウ) 施工工期
- エ) 使用材料と規格値
- オ) 施工体制
- カ) 施工手順
- キ) 現場での検査項目
- ク) 検査手法と確保すべき基準値

床版取替工の施工現場での検査項目としては、プレキャスト床版の工場製作時ならびに現場施工における品質と仕上がり精度などの出来形が必要となる。品質証明が得られる材料でも現場での使用状況に応じて品質試験を実施することが耐久性の観点からも有効であることから、積極的な確認が望まれる。

図-付 5.2.53 に床版取替の一例としてフルプレキャストのコンクリート床版における標準的な施工フローを示す。施工上の留意点を以下に示す。

- ア) 原寸計測
原寸計測では支持桁の施工精度を把握し、その出来形形状に合わせた取替床版の施工が必要となる。その際には撤去・架設に障害となる架空線などの制約条件にも配慮する必要がある。
- イ) 劣化床版の撤去
劣化床版の撤去では交差条件によりコンクリート片の落下を最小限にしなければならない場合も少なくない。図-付 5.2.54 は劣化床版をはつり作業無しに撤去する反力ビームと油圧ジャッキを組み合わせた支持桁とのはく離機材による作業状況である。この方法では事前にロードカッターで撤去に適した形状に切断する必要がある、その際の水処理も計画することになる。近年、無水切断による撤去方法も開発されており、都市部で実績を有している。
- ウ) 取替床版の架設
取替床版の架設では一般にラフテレーンクレーンが用いられているが、クレーンを設置するスペースがない場合やトラス橋など上空に制限を受ける際には、組み立て式のクレーンが適用された例がある（図-付 5.2.55）。

iii) 床版取替工法の維持管理では、再劣化の状態を適切に評価する必要がある。床版取替工法による更新済み床版の維持管理では、一般的な新設橋梁と同様に点検による維持管理が行われることになる。取替床版に鋼・コンクリート合成床版を採用した場合でも、橋梁定期点検要領に準じた点検を行うことで、劣化の進行が把握できることになる。

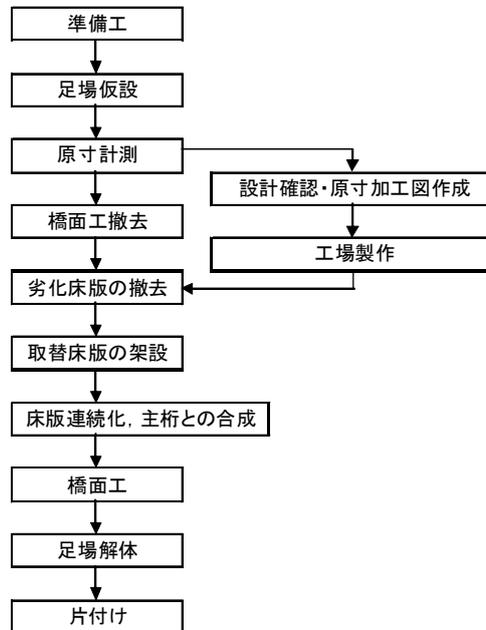


図-付 5. 2. 53 施工フローの一例（フルプレキャストのコンクリート床版）



図-付 5. 2. 54 撤去床版の支持桁とはく離用機材



図-付 5. 2. 55 組立式クレーンによる取替床版の仮設

参考文献

- 1) 土木学会 鋼構造委員会道路橋床版の維持管理評価に関する検討小委員会：道路橋防水システムガイドライン（案），2012.6
- 2) 日本コンクリート工学協会：コンクリートのひび割れ調査，補修・補強指針 - 2009 - ， 2009
- 3) 建設省：建設省総合技術開発プロジェクト コンクリートの耐久性向上技術の開発（土木構造物に関する研究成果），平成元年 5 月

- 4) 土木学会：コンクリートライブラリー 表面保護工法 設計・施工指針（案），2005
- 5) 土木学会：電気化学的防食工法設計・施工指針（案），コンクリートライブラリー107，2001.11
- 6) 日本エルガード協会：コンクリート構造物電気防食 Q&A，新建新聞社，2008
- 7) 土木学会：2007年制定コンクリート標準示方書【維持管理編】，2007
- 8) 電気化学的防食工法研究会パンフレット
- 9) 建設省土木研究所：床版支持げたの不等沈下によって生じる床版の曲げモーメント計算図表 その3，土木研究所資料 第1338号，昭和53年2月
- 10) 日本道路協会：道路橋示方書 II 鋼橋編，平成24年3月
- 11) 土木学会 鋼構造委員会 鋼橋床版の調査研究小委員会：道路橋床版の新技術と性能照査方設計，平成12年10月
- 12) 森成道，若下藤紀，松井繁之，西川和廣：炭素繊維シートによる床版下面補強効果に関する研究，橋梁と基礎 (95-3)，pp.25-32，1995.3
- 13) 建設省土木研究所，炭素繊維補修補強工法技術研究会：「コンクリート部材の補修・補強に関する共同研究報告書(Ⅲ)-炭素繊維シート接着工法による道路橋コンクリート部材の補修・補強に関する設計・施工指針(案)-」，建設省土木研究所共同研究報告書第235号，1999.12
- 14) 岡田昌澄，大西弘志，松井繁之，小林朗：格子配置された炭素繊維シートによる床版補強効果，第三回道路橋床版シンポジウム講演論文集（土木学会），pp.175-180，2003.6
- 15) 土木学会：連続繊維シートを用いたコンクリート構造物の補修補強指針，2000.3
- 16) 土木学会：事例に基づく複合構造の維持管理技術の現状評価，複合構造レポート04，2010.4
- 17) 川間重一，内田賢一，西川和廣：既設 RC 床版の階段状荷重漸増増載荷における疲労耐久性評価手法に関する研究，土木学会第55回年次学術講演会，CS-257，2000.10
- 18) 横山和昭，佐藤貢一，日野伸一：下面増厚した RC 床版のせん断補強効果と疲労耐久性の評価に関する実験的研究，土木学会論文集 A，Vol. 63，No.4，pp.768-779，2007.12
- 19) 佐藤貢一，檜作正登，肥田研一，引地健彦：吹付け下面増厚補強した道路橋 RC 床版の補強効果，コンクリート工学協会年次学術論文報告集，Vol.22，No.3，pp.517-522，2000.6
- 20) 佐藤貢一，小林朗，関根健一，財津公明：FRP グリット工法により床版下面増厚補強した道路橋 RC 床版の輪荷重走行試験による補強効果の確認，土木学会第56回年次学術講演会講演概要集，2001.9
- 21) RC 構造物のポリマーセメントモルタル吹付け補修・補強工法協会：ポリマーセメントモルタル吹付け工法によるコンクリート構造物の補修補強設計・施工マニュアル（案）（増厚補強編），平成19年7月
- 22) 阪神高速道路株式会社：土木工事共通仕様書 第4編 関係規準，平成21年2月
- 23) 日本道路協会：鋼道路橋防食便覧，平成26年3月
- 24) 阪神高速道路株式会社：道路構造物の点検要領 共通編・土木構造物編，平成23年12月
- 25) 関口幹夫：重錘落下たわみによる RC 床版の健全度評価要領（案），東京都土木技研年報，pp.257-262，平成17年
- 26) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編，2002.3
- 27) 高速道路調査会：上面増厚工法マニュアル，1995.11
- 28) 長谷俊彦，和田圭仙，後藤昭彦：上面増厚床版における劣化要因の検証と耐久性向上対策の検討，日本コンクリート工学会，コンクリート工学誌 Vol.50，No.3，pp.245-253，2012.3
- 29) 東日本高速道路株式会社，中日本高速道路株式会社，西日本高速道路株式会社：設計要領 第二集 橋

梁保全編, 2011.7

- 30) 阿部忠：RC床版の劣化診断技術と補修・補強対策，[第4回]鋼繊維補強コンクリート（SFRC）上面増厚補強の耐疲労性，セメント・コンクリート誌，No.779，pp.44-52，2012.1
- 31) 阿部忠：RC床版の劣化診断技術と補修・補強対策，[第5回]SFRC上面増厚補強とCFSS底面接着補強を併用したRC床版の耐疲労性，セメント・コンクリート誌，No.780，pp.44-51，2012.2
- 32) 阿部忠，木田哲量，高野真希子，小森篤也，児玉孝喜：輪荷重走行疲労実験におけるRC床版上面増厚補強法の耐疲労性の評価法，構造工学論文集，Vol.56A，pp.1270-1281，2010.3
- 33) 伊藤清志，阿部忠，児玉孝喜，山下雄史，一瀬八洋：乾燥・湿潤状態で接着剤を塗布したSFRC上面増厚補強法の耐疲労性の評価，構造工学論文集，Vol.58A，pp.1178-1188，2012.3
- 34) 伊藤清志，松下憲生，横引功三：SFRCボンド補強工法（鋼床版とコンクリート床版），国土交通省中国技術事務所，平成21年度中国地方建設技術開発交流会（鳥取会場），2009.10
- 35) 梶原仁，山口達也，伊藤清志，松本公一：一車線規制に対応した鋼床版上SFRC施工事例，第62回セメント技術大会，pp.100-101，2008.6
- 36) 国土交通省 国土技術政策総合研究所：道路橋床版の疲労耐久性に関する試験，国土技術政策総合研究所資料 第28号，2002.3
- 37) 高野真希子，阿部忠，木田哲量，小森篤也，児玉孝喜，小川洋二：47年供用したRC床版のCFSS下面補強およびSFRC上面増厚補強による耐疲労性，構造工学論文集，Vol.57A，pp.1286-1296，2011.3
- 38) 国土交通省 国道・防災課：橋梁定期点検要領（案），平成16年3月
- 39) Tatsuo OGATA, Yasuo FUKUNAGA, Shigeyuki MATSUI: RECENT BRIDGE DECK REPLACEMENT AT EXPRESSWAYS UNDER SEVERE ENVIRONMENT IN JAPAN, Proceedings of 8th Japan-Korea Joint Seminar on Bridge Maintenance, 2011.10