

第4章 補修・補強工法

本章では、損傷した床版に対する補修・補強工法を解説する。解説する工法は施工実績や輪荷重走行試験による最新の情報や工法開発の現状を加味して選出した以下に示す工法で、各工法について概要や特徴、損傷対策としての効果や施工手順、使用材料等を示した。本章に示す工法他に、損傷が著しい場合に効果的な対策工法として打替え工法があるので、損傷状況にあわせて選定することが望まれる。

- | | | |
|------------------|---|------|
| 4.1 縦桁増設工法 | } | 補強工法 |
| 4.2 繊維シート接着工法 | | |
| 4.3 下面増厚工法 | | |
| 4.4 鋼板接着工法 | | |
| 4.5 上面増厚工法 | | |
| 4.6 アンダーデッキパネル工法 | } | 補修工法 |
| 4.7 外ケーブル工法 | | |
| 4.8 床版防水工 | | |
| 4.9 ひび割れ注入工 | | |

表-4.1は各工法の適用範囲をまとめたもので、表中に示す範囲の設定には、各機関での輪荷重走行試験の結果で得られた知見を反映させている。また、各工法を併用した場合についても適用範囲を示している。実際の工法選定では、表に示した損傷状況の他にも、環境条件や将来の維持管理負担等を考慮しなければならない。

以下に本書で示す補修と補強の定義を示す¹⁾。

・補修

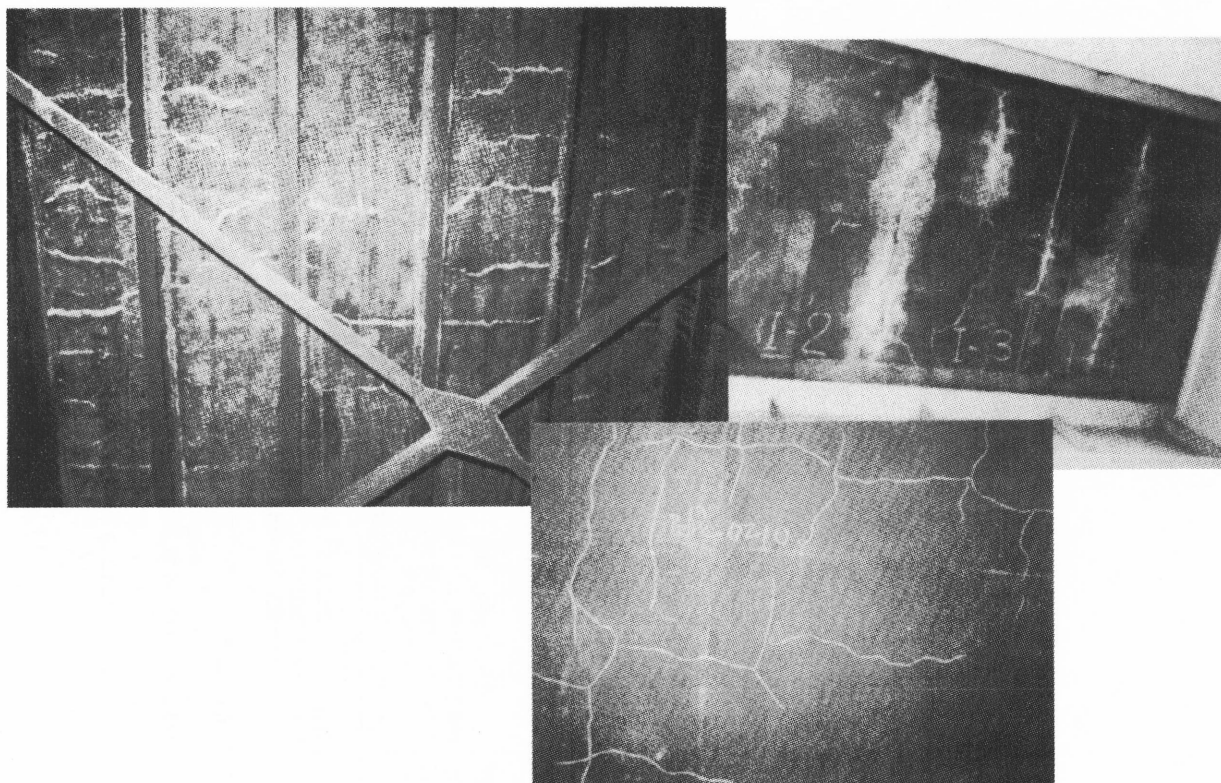
劣化した部材、構造物の今後の劣化進行を抑制し、耐久性の回復・向上と第三者影響度の低減を目的とした維持管理対策。なお、補修では、耐荷性の回復・向上は目的としていない。ここでいう耐荷性とは、部材の耐荷力に基づいて評価される構造物の性能のことである。

・補強

部材、構造物の耐荷力を当初設計された水準まで回復あるいはその水準以上に向上させることを目的とした維持管理対策。

参考文献

- 1) 土木学会:コンクリート構造物の維持管理指針(案), pp.1-2, 1995



床版の損傷事例(土木研究所資料第2652号)

表-4.1 道路橋 RC 床版の損傷状況を考慮した補修・補強工法の適用範囲

損傷段階	損傷度の目安	単独工法		併用工法						間接的補強	
		縦筋増設工法	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	アンダーデッキパネル工法	上面増厚+繊維シート接着	上面増厚+鋼板接着工法		外ケーブール補強工法
①	OK	曲げ補強 基本的に補強の必要はない	曲げ補強 予防保全と しての適用可能	曲げ補強 基本的に補強の必要はない	曲げ・せん断補強 基本的に補強の必要はない	曲げ・せん断補強 基本的に補強の必要はない	曲げ・せん断補強 基本的に補強の必要はない	曲げ・せん断補強 基本的に補強の必要はない	曲げ・せん断補強 基本的に補強の必要はない	曲げ・せん断補強 予防保全として の適用可能	適用可能
②	IV	適用可能	適用可能	適用可能	適用可能	適用可能	適用可能	適用可能	適用可能	適用可能	適用可能
③	III	適用可能	適用可能	適用可能	適用可能	適用可能	適用可能	適用可能	適用可能	適用可能	適用可能
④	II初期 (すり磨きが生じていない)	適用可能	適用可能	適用可能	適用可能	適用可能	適用可能	適用可能	適用可能	適用可能	適用可能
⑤	II	適用できない	適用できない	適用できない	適用可能	適用可能	適用可能	適用可能	適用可能	適用可能	適用できない
⑥	I	適用できない	適用できない	適用できない	適用可能	適用可能	適用可能	適用可能	適用可能	適用可能	適用できない

打ち替えまでの応急対策

4.1 縦桁増設工法

(1) 概要

縦桁増設工法は、床版を支持する既存の主桁または縦桁の間に縦桁を増設して床版を直接支持させ、床版の支間を短縮させることにより、床版に作用する曲げモーメントを減少させることにより、既設床版の曲げ耐力向上を図る工法である。一般に増設縦桁は鋼製であり、主桁剛性と差から、鋼製主桁による鉄筋コンクリート床版の補強に用いられることが多い。本工法は、1975年（昭和50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。¹⁾

本工法は、増設する縦桁の支持材として既存の横桁を利用するときは比較的容易に用いることができる。横桁がない場合には、新たにそれを設ける必要がある。図-4.1.1に本工法の概念図を示す。

(2) 特徴

本工法は、損傷が初期段階（2方向ひびわれが発達し、ひびわれが床版厚さ方向に進展し始める程度）の床版に対して補強効果が得られる。増設縦桁の設置位置が大型車の走行位置に一致する場合には、輪荷重の一部が直接縦桁に伝達され、縦桁の剛性を適切に選定することによりより大きな補強効果が期待できる。また、増設縦桁や増設分配横桁により床組をも補強されることから、床組の剛性が大きくなり、床版全体の変形、振動等を抑制する効果がある。

しかし、損傷が進展し、貫通ひびわれが形成されている床版に対しては、本工法は押抜きせん断耐力を増加させる効果はあまり大きくないため、大きな補強効果は期待できない。²⁾

施工上の特徴として、次のことが挙げられる。長所として、

- ① 施工は全て既設床版下で行なわれるため、交通を開放しながらの施工が可能。
- ② 増設桁は工場で作成されるため、現場での作業時間を短くできる。

③ 既設桁間、増設桁間の既設床版下面が見えるため、補強後の損傷状況の確認が容易。

④ 床版のたわみを軽減することができ、有害な振動の発生を抑制できる。

また、短所としては、

① 既設床版下に添架物が存在する場合に、増設桁の施工が困難な場合がある。

② 死荷重が増加することによる橋梁全体への影響を検討する必要がある。

等が挙げられる。

(3) 工法の詳細

a. 使用材料

使用する鋼板として、通常、SS400材およびSM400材が用いられる。注入用エポキシ樹脂は、各企業者で規格化されている。

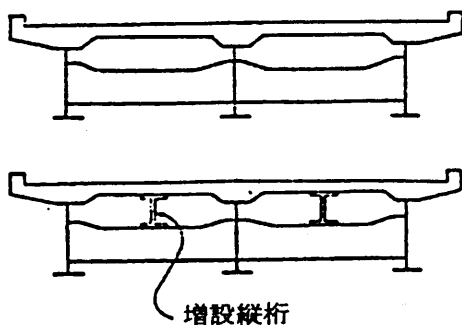
b. 設計法

鋼桁および鋼箱桁の場合の設計手順を、それぞれ図-4.1.2、図-4.1.3に示す。³⁾

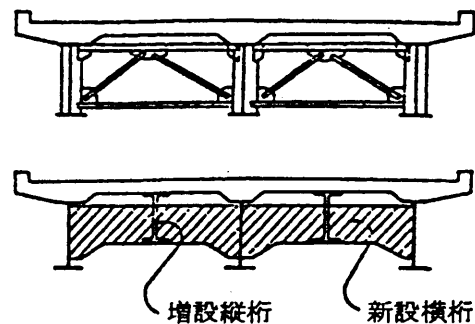
既設主桁と増設縦桁の剛度差により、床版に不等沈下が生じる。この影響を考慮し、床版の付加曲げモーメントを算出して応力照査を行い、増設縦桁の剛性、断面構成を決定する。

c. 構造細目

増設縦桁は、その上にフランジが床版下面に接するように設置することが困難なため、縦桁の上フランジ上面と床版下面との間に一定の隙間（4～6mm）を保つように縦桁を設置し、フランジ両縁をシールした後隙間を樹脂で充填し、床版と縦桁との密着をはかる。この場合、隙間はできるだけ小さくするのがよく、そのため、もし床版下面コンクリート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、できるだけ平に仕上げておくのがよい。



(a) 既設横桁を利用できる場合



(b) 横桁を新設する場合

図-4.1.1 縦桁増設による補強

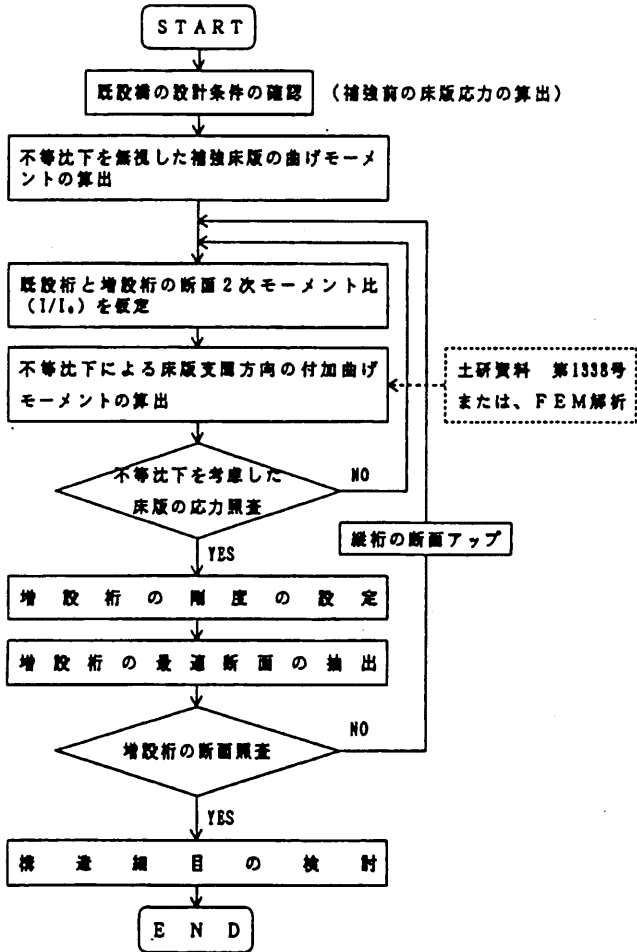


図-4.1.2 鋼I桁の場合

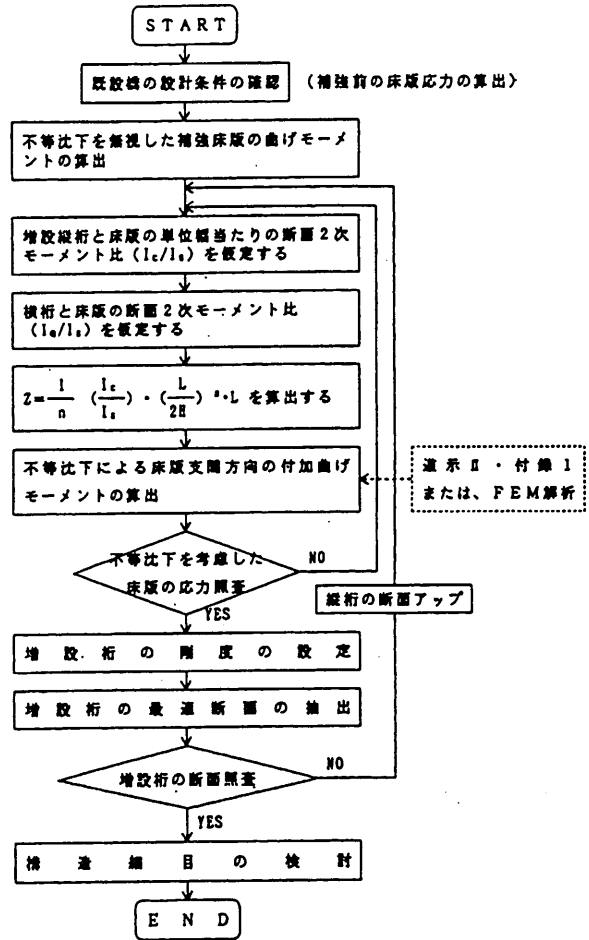


図-4.1.3 鋼箱桁の場合

d. 施工手順

一般的な施工手順を図-4.1.4に示す。³⁾

増設縦桁の設置前に床版の事前調査を必ず行う。その結果、必要に応じてひびわれの補修を行ったうえで、縦桁の設置を行う。

参考文献

- 1) 道路保全技術センター、道路構造物保全研究会:保全技術者のための橋梁技術の変遷、pp60、平成11年7月
- 2) 梶貝:床版の補修・補強の概要、橋梁と基礎 94-8、pp105-108、1994
- 3) 首都高速道路公団:RC床版の補強設計・施工要領(案)、平成6年5月

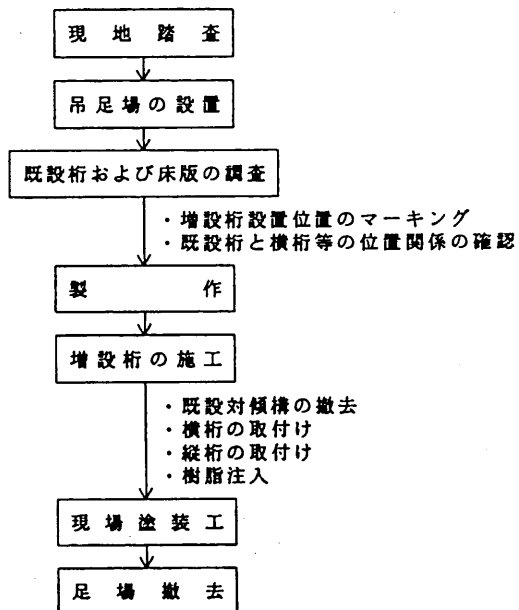


図-4.1.4 施工手順

4.2 繊維シート接着工法

(1) 概要

繊維シート接着工法は、炭素繊維やアラミド繊維を一方向に配列した繊維シートを損傷した RC 床版の引張応力作用面に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を拘束し、たわみや鉄筋の応力度を低減し床版の疲労耐久性の向上を図ることができる。炭素繊維シートについては多数の施工事例があるが、アラミド繊維シートについては近年研究がはじめられた段階で実績は少ない。図-4.3.1 に本工法の概念図を示す。

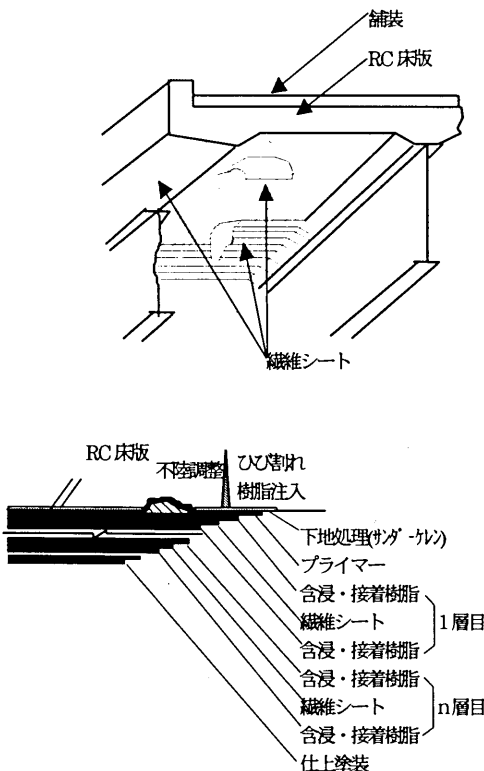


図-4.3.1 工法概念図

(2) 特徴

床版下面に引張剛性の高い繊維シートを貼り付けるため、版の曲げ剛性を高めると同時にひび割れ上の繊維シートがひび割れの活荷重による開閉を拘束する効果がある。本工法は、施工現場において軽量で柔軟な繊維シートを含浸接着剤で貼り付けて一体化する工法であるため、施工に重機を必要とせず、箱桁内部や吸音板上などの狭隘空間でも施工可能であるなど施工性に優れている。また重量や断面寸法の増加がほとんど無い、繊維シートや含浸接着樹脂は腐食しないため施工後の防食塗装の塗り替えの必要がないなど維持管理が容易であるなどの特徴がある。

一方、繊維シートのせん断剛性は小さくせん断耐力

自体の向上効果は少ないため、ひび割れ損傷が進行し、床版コンクリートのせん断耐力が不足する場合に適用することは適切でない。アラミド繊維シートは、紫外線や水分により経時的に劣化するので耐久性確保のため塗装などの保護工が必要である。また低温、結露などの環境条件下では樹脂が硬化不良を起こすことがあり、施工現場の温度や湿度が使用する樹脂に適した範囲である必要がある。鋼板接着と同様に補強後に床版上面から雨水が浸入すると、滞水するという指摘もあるが、この対策方法としては床版防水工が挙げられる。

(3) 損傷対策としての効果

本工法は、RC 床版の曲げに対する補強効果がある。すなわち曲げモーメントに対して引張材として機能し、ひび割れの拘束効果、たわみの抑制効果があり RC 床版の疲労耐久性を向上させることが可能である。繊維シートはせん断剛性が小さいので、RC 床版の静的押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、20%程度耐力が向上したとの報告もある¹⁾。

炭素繊維シート接着工法で補強した RC 床版の輪荷重走行試験が各所で行なわれ、炭素繊維シートで補強することにより RC 床版の疲労耐久性が向上することが報告されている^{1),2)}。松尾^{3),4)}らは、昭和 39 年道示床版を炭素繊維シートで補強した供試体の階段載荷および一定荷重載荷による輪荷重走行試験を建設省土木研究所において行なっている。初期損傷（2方向のひび割れ損傷が進行し一部貫通ひび割れが見られる程度）を与えた床版に、炭素繊維シート（ヤング係数 $2.4 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ 、目付 300g/m^2 ）を主筋方向×配筋方向各 2 層接着した場合一定荷重による輪荷重走行試験の結果、炭素繊維シートで補強した床版は無損傷の平成 8 年道示床版と同等程度の疲労耐久性を示すことを報告している。

また実橋で炭素繊維シート補強の施工前後の床版の応力度測定および追跡調査を行ない、炭素繊維シート補強より活荷重応力度の低減が図られること 5 年後の追跡調査でも補強効果が持続していることを確認している。以上の様に、炭素繊維シート接着工法は損傷した RC 床版の補強工法として、疲労耐久性の向上に有効であり、補強後の RC 床版は H8 道示床版と同等程度まで疲労耐久性を有するものと考えられる。

アラミド繊維シートは、当初鉄筋コンクリート橋脚の耐震補強などに利用されて来たが、近年道路橋の RC 床版の補強工法への適用を目指した研究が行なわれ始めている。建設省土木研究所で行なわれた、損傷を与えた S39 道示床版に 2 方向アラミド繊維シートを接着した供試体の疲労寿命は、S39 道示床版と H8 道示床版の中間に位置すること、載荷途中よりアラミド繊維シートの剥離が進行したことが報告されている⁵⁾。

(4) 工法の詳細

a. 設計法

従来は、繊維シートと既設 RC 床版の合成断面として活荷重を負担させ、鉄筋の応力度を照査して繊維シートの補強量を算定する方法が一般的であった。一方、最近の研究では繊維シートの補強効果は、そのひび割れ拘束効果によるところが大きく、許容応力度法により算定した繊維シートの補強量より少ない補強量でも、補強後の床版の疲労耐久性が大幅に向上すること、ある一定量以上の繊維シートの積層数を増やして補強量に応じた耐久性の向上効果が見られないことが確認されている。このため、許容応力度法によらず、標準的補強量を設定する設計法も提案されており、阪神高速道路路団⁶⁾では床版厚 17cm 以上の床版に対しては、ヤング係数 $3.9 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ 以上、繊維目付け量 300g/m^2 の炭素繊維シートを主筋方向・配力筋方向各 1 層接着するものとし、建設省土木研究所・炭素繊維補修補強工法技術研究会⁷⁾では TL20 荷重で設計製作された RC 床版に対しては、ヤング係数 $2.4 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ 、繊維目付け量 300g/m^2 の炭素繊維シートを主筋方向・配力筋方向各 2 層を標準補強量とし中弾性型炭素繊維シートや高弾性型炭素繊維シートを使用する場合は、炭素繊維シートの引張剛性 EA が標準補強量と同等となるようにするとしている。

b. 施工方法

床版コンクリートと繊維シートの一体性が確保されるように施工することが肝要であり、施工上の留意点としては、床版コンクリートの表面の下地処理を十分に行なうこと、不陸部分は、エポキシ樹脂パテ等で平坦にすること、プライマーや含浸接着樹脂は、原則として気温 5℃以上、湿度 85%以下の環境で行なうことなどがある。施工管理としては、躯体コンクリートと

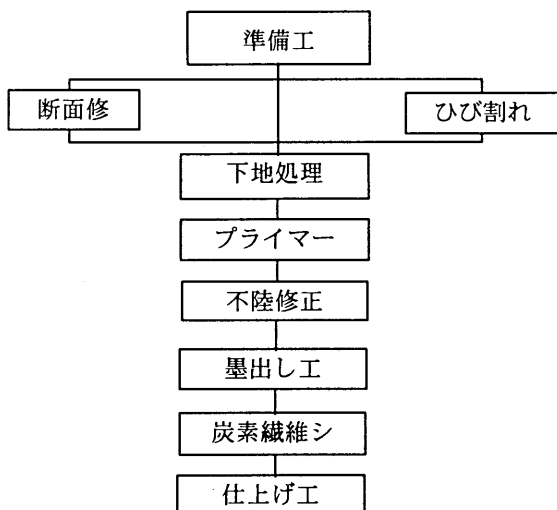


図-4.3.2 施工手順

炭素繊維シートの付着強度試験が一般的に行なわれており、これにより繊維シートがコンクリートに確実に接着され、繊維シートに含浸・接着樹脂が良好に含浸されていることを確認できる。

c. 構造細目

繊維シートの継手は、連続繊維方向の重ね継手とし継手長は 10cm 以上とする。継手の配置は、応力集中の起こらないように分散して配置するものとし、主筋方向には原則として継手を設けない。補強範囲は原則としてパネル全面とし、主筋方向はハンチまで接着するものとする。シートの配置は全面接着する方法と、間隔を空けて格子状に配置する方法が提案されている。

d. 使用材料

本工法では、繊維シート、プライマー、含浸・接着樹脂、不陸修正材が主要材料として使用される。繊維シートは、炭素繊維シートとアラミド繊維シートに大別され、炭素繊維シートでは炭素繊維のヤング係数、目付量が異なる製品が補強量に応じて選択使用されているが、近年床版補強に引張剛性が適した床版補強用グレードも開発されている。含浸・接着樹脂は、繊維シートに確実に含浸し、連続繊維シートのヤング係数、引張強度、接着強さ、継手強度を確保できるもので、作業に適した粘度を有するものでなければならない。

表-4.3.1 繊維シートの代表例

繊維種類	ヤング係数 × 10^5N/mm^2	引張強度 N/mm^2	目付量 g/m^2	密度 g/cm^3
炭素繊維	高強度型	2.4	200 ~600	1.80
	中弾性型	3.9	300 ~400	1.82
		4.3	2400	300 ~400
	高弾性型	5.4	1900	300
6.4		1900	300	2.10
アラミド繊維	アラミド 1*1	1.1	280~ 624	1.45
	アラミド 2*2	0.78	235~ 525	1.39

その他に炭素繊維、アラミド繊維ともに 2 方向に繊維を配置したクロスシートもある。*1: 全芳香族ポリアミド繊維、*2: 芳香族ポリアミドエーテル繊維

表-4.3.2 含浸・接着樹脂の品質規格 (炭補研)

項目	規格値	試験法
引張強度	29 N/mm^2 以上	JIS-K-7113
曲げ強度	39 N/mm^2 以上	JIS-K-7203
引張せん断強度	9.8 N/mm^2 以上	JIS-K-6850

参考文献

- 1) 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
- 2) 林秀侃, 林田充弘, 及川じゅん:「RC床版の炭素繊維シート補強に関する考察」, 第1回鋼橋床版シンポジウム講演論文集, 土木学会, 1998
- 3) 松尾伸二, 西川和廣, 内田賢一:「炭素繊維シート接着工法による既設RC床版の疲労耐久性に関する研究」, 第1回鋼橋床版シンポジウム講演論文集, 土木学会, 1998
- 4) 松尾伸二, 宇治公隆, 西川和廣, 小林朗, 内田賢一:「荷重一定載荷による炭素繊維シート接着床版の疲労耐久性に関する実験的検討」, 土木学会第54回年次学術講演会, 1999
- 5) 「道路橋床版の輪荷重走行試験における疲労耐久性評価手法の開発に関する共同研究報告書(その2)-標準試験方法および第2回試験報告-」, 建設省土木研究所・(財)土木研究センター他, 建設省土木研究所共同研究報告書第233号, 1999.10
- 6) 「CFシートを用いたRC床版補強要領(案)」, 阪神高速道路公団, 1999
- 7) 「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・炭素繊維補修補強工法技術研究会, 建設省土木研究所共同研究報告書第235号, 1999.12

4.3 下面増厚工法

(1) 概要

下面増厚工法は、床版下面に補強材（鉄筋、炭素繊維格子等）を配置し、これを接着性に優れたポリマーセメントモルタル（以下、PCM）で合成させることにより、床版の剛性を向上させる補強工法で、交通開放しながらの施工が可能である。

下面増厚工法の主要材料は、補強材（鉄筋、炭素繊維格子等）とPCMの2つに分けられる。補強材は、床版剛性を高める目的、PCMは主として補強材を既設床版に合成させる目的で使用される。PCMは、コテ塗り施工するPPモルタル（PAE系PCM）の実績が最も多いが、最近では吹付け用PCM（アクリル系PCM）も使用されている。以下にその概要図を示す。¹⁾²⁾

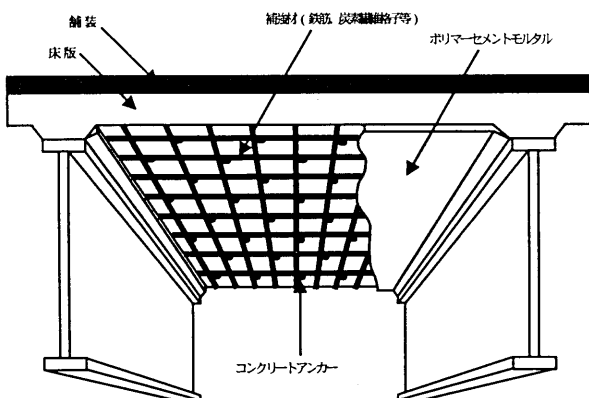


図-4.3.1 概要図

(2) 特徴

補強工事の大部分が下面からの施工であるため、交通規制がほとんどなく、雨天でも施工可能である。補強の効果としては、既設鉄筋応力、床版たわみおよびひびわれ変位等を抑制して疲労耐久性が増すことがあげられる³⁾。また、床版厚を増加させることによる、押抜きせん断耐力の増加も期待できる。

さらに、PCMは透水性を有しているため、上面からの雨水によって床版が滞水することを防止できる。

しかし、床版下面のケレン状態が悪い場合には、既設部と補強部の合成が不十分となるので、施工管理に注意が必要となる。また、浸透水は滞留させないが、橋面防水は必要である。

さらに、既設部と補強部の合成をPCMに依存しているた

め、PCM品質管理を緻密にする必要がある。

(3) 損傷対策としての効果

- a. 疲労耐久性（道路橋床版の輪荷重走行試験における疲労耐久性評価手法の開発：平成10年土木研究所）
 - ・ 輪荷重 235kN 約 17 万回で破壊。（吹付けPCM工法の場合）
 - ・ 輪荷重 235kN 約 17 万回で破壊。（PPモルタルの場合）

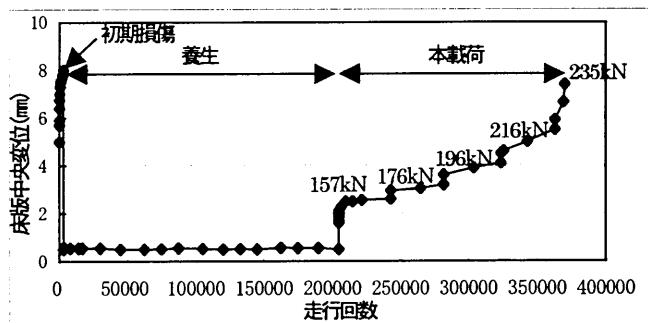


図-4.3.2 床版変位と走行回数の関係
(吹付けPCM工法の場合)

b. 適用できる損傷の範囲

- ・ 損傷ランク II まで。（建設省判定基準）⁴⁾

(4) 工法の詳細

a. 使用材料

表-4.3.1 下面増厚工法に使用されるPCMの規格値¹⁾²⁾

	PPモルタル	吹付けPCM
圧縮強さ (N/mm ²)	24.0 以上	30.0 以上
曲げ強さ (N/mm ²)	6.0 以上	6.0 以上
引張強さ (N/mm ²)	2.0 以上	2.5 以上
付着強さ (N/mm ²)	1.5 以上	2.0 以上
静弾性係数 (N/mm ²)	1.1~2.0×10 ⁴	1.47×10 ⁴ 以下

b. 設計法

設計法は、道路橋示方書・同解説に従って行う。検計断面は、既設床版と補強鉄筋が合成しているとして計算する。詳細は、参考文献¹⁾²⁾を参照のこと。

c. 構造細目

表-4.3.2 下面増厚工法の構造細目比較

	PSR工法 (PPモルタル)	吹付け工法 (吹付けPCM)
かぶり	特に定めていない	10mm以上 かつ鉄筋径以上
鉄筋継手長	30D以上	30D以上
補強鉄筋最小間隔	30mm以上が 望ましい	特に定めていない

(5) 施工法

a. 施工手順



図-4.3.3 施工手順

b. 施工上の留意点

- ・ 既設床版のケレンを十分行う必要がある。
- ・ PCMの品質管理を十分行う。
- ・ 橋面防水工等を十分行う。
- ・ 施工表面を十分に乾燥させる (PSR工法の場合)。

c. 施工管理項目

・ 工程管理

工程管理は、工程表に基づいて、材料の搬入時期等を十分検討し滞りのないよう行う。

・ 出来形管理

出来形管理は、一般的には横間等を1パネルとして行う。詳細は参考文献¹⁾²⁾を参照。

・ 品質管理

PCMの強度試験は、表-4.3.1に準じる。その他PCMでは、コンシステンシー試験を実施する。補強材は、材料メーカーの品質試験成績書(ミルシート)により確認する。

・ 数量管理

・ 安全環境管理

(6) 参考文献

- 1) PSR工法(RC床版下面増厚工法) -基準編- (平成9年1月): 全国PSR工法研究会。
- 2) FRPグリッド増厚・巻き立て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) (平成12年6月): FRPグリッド工法研究会。
- 3) 軽尾、末田、松井、財津: PPモルタルを用いた下面増し厚工法の床版補強効果確認実験、橋梁と基礎 97-5、pp.23-29、1997。
- 4) 土木研究所資料第2682号。

4.4 鋼板接着工法

(1) 概要

鋼板接着工法は、損傷したRC床版の下面に鋼板を接着させて、床版の曲げ耐力向上を図るものであり、交通解放しながらの施工が可能である。一般に、厚さ4.5mmの薄鋼板を5mm程度の間隙を確保してホールインアンカーで固定し、鋼板周辺をシールした後にエポキシ樹脂注入材を注入するという施工がなされる。鋼板はエポキシ樹脂の接着力で既設床版と一体化し、RC床版との合成部材として活荷重に抵抗する。図-4.1.1に本工法の概念図を示す。

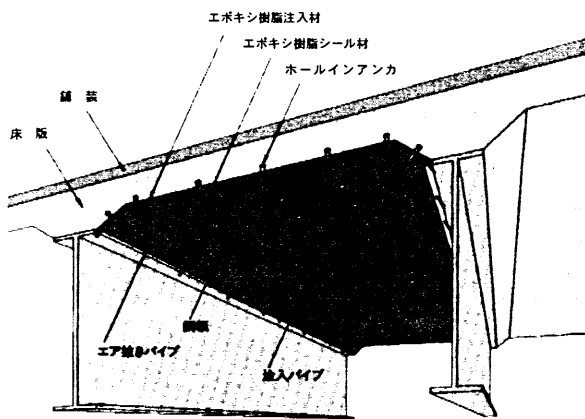


図-4.1.1 工法概念図

(2) 特徴

補強の対象となる床版は板構造であり、床版下面全体を1枚ものの鋼板で補強する本工法は合理的な補強方法である。一般に、鋼材の増加による曲げ剛性の向上のみが着目されるが、せん断耐力も向上すると言われている^{1) 2)}。ほかに、接着用エポキシ樹脂は流動性に富んでおり、施工時に圧力をかけて注入されるため、ひび割れにもエポキシ樹脂が充填され、ひび割れの動きを抑制する効果も得られる。

懸念事項として、補強後の床版の点検ができないことが挙げられることがあるものの、鋼板端部の挙動に着目すればそれで十分であるとの報告もされている³⁾。また、補強後に床版上面から雨水が浸入すると、滞水するという指摘もあるが、この対策方法としては床版防水工が挙げられる。しかし、水は下面側からの補強工法のみの問題ではなく、すべてのRC床版の劣化過程に影響を与える大きな要素であり、それぞれについて防水工が必要である。

(3) 損傷対策としての効果

鋼板接着工法は各種機関において疲労耐久性に関する研究が行われており、輪荷重走行試験を行った結果、鋼板接着補強床版は疲労寿命が2500倍程度延びたという報告²⁾や、未補強の床版に対して100倍程度の補強効果が期待でき、H8道示床版と同等な疲労耐久性

であるという報告もある⁴⁾。ほかに、建設省土木研究所の輪荷重試験機による階段状漸増荷重ではH8道示床版を上回る疲労耐久性を示したということ⁵⁾が報告されている(図-4.1.2)。これらは、初期損傷を与えた後に補強を行っており、走行実験は乾燥状態で行われたものである。そのほかにも、切り出し床版を用いた試験が行われている。この実験は、散水による湿潤環境下でのものであり、鋼板接着補強された供試体は、無補強供試体の約100倍の走行回数でも破壊しなかった⁶⁾。

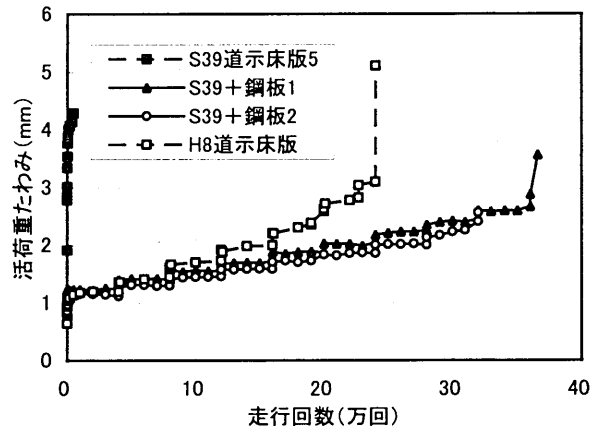


図-4.1.2 活荷重たわみの経時変化

(建設省土木研究所)

一方、本工法による補強済み床版の鋼板引剥し調査も行われている。引剥し調査の前に外観調査が行われ、損傷が著しいと判断された床版が選定された。そして、補強鋼板をはく離除去して損傷状況を調査した結果、エポキシ樹脂の充填状況は100%であり、ひび割れにもよく充填され、そして新しいひび割れの発生もなかったと報告されている⁷⁾。

以上のことより、本工法は損傷したRC床版に対して飛躍的な耐久性の向上が望めるといえる。耐久性向上の程度および耐荷性能はH8道示床版と同等以上と考えてよい。

(4) 工法の詳細

a. 設計法

設計は許容応力度法で行う。この時、コンクリートの引張り側を無視し、鋼板とコンクリートの弾性係数比を15として計算するのが一般的である。鋼板の有効高さは、樹脂厚を無視し、許容応力度は80N/mm²程度とすることが多い。この計算を行うと、抵抗断面が大幅に増加し、発生応力度は確実に許容値以内となるので、一部の補強設計要領では計算を行わなくてよいとするものもある⁸⁾。

b. 施工方法

鋼板と既設床版を確実に合成させるためには、接着面の埃や油脂分を確実に除去する必要がある。また、

欠損部や脆弱部を除去した後の断面修復では、修復部分が弱点にならないように、コンクリートの引張り強度以上の付着力があり、かつ強度も上回る材料を用いるのがよい。

エポキシ樹脂の注入時には注入圧力の管理が行われる。このとき、注入材料を少量現地で採取し、硬化状況を確認するのがよい。注入量の管理方法として、注入孔の位置で隙間を計測する方法がある。しかし、床版の不陸や既設床版のひび割れにも充填されるため使用量が多くなる場合が多い。そのため、風袋検収による管理が多くなると思われる。

施工手順は図-4.1.3のとおりである。

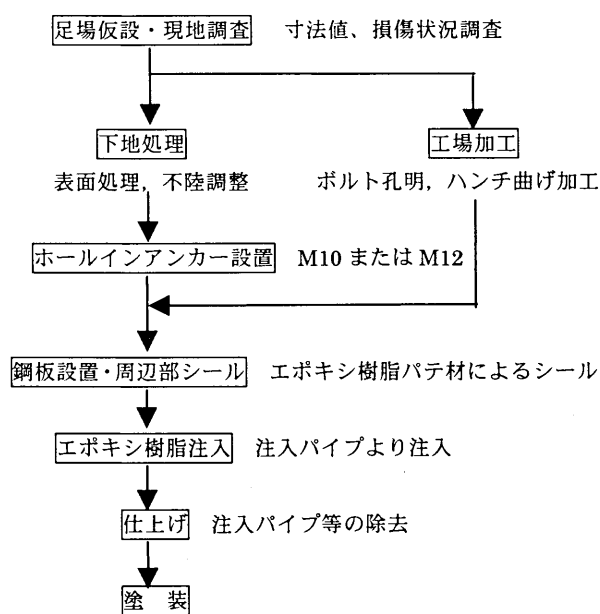


図-4.1.3 施工手順

c. 構造細目

鋼板厚さ 4.5mm、接着用樹脂厚さ 5mm 程度が一般的で、ホールインアンカーはピッチが 50cm 以内で、径が 10mm、もしくは 12mm のものが使用される。鋼板は主鉄筋方向には継手を設けず、配力鉄筋方向は人力施工を行う時の重量の限界から長さを 1.5m～2.0m とする例が多い。エポキシ樹脂の注入厚さは、理論的には薄い方がよく、経済的にもなるが既設床版には不陸があり、現実として平均 5mm 程度の樹脂厚さになり、設計樹脂厚さを 5mm とする例が多いようである。

d. 使用材料

使用する鋼板の材質は SS400 が一般的であり、注入用エポキシ樹脂の規格の一例として表-4.1.1 に示すものがある。エポキシ樹脂の長期耐久性に関しては阪神高速道路公団による試験結果があり、15 年の暴露供試体による評価から、耐久性について十分に高い性能を有していると報告されている⁹⁾。

表-4.1.1 注入用エポキシ樹脂の規格

(阪神高速道路公団)

試験項目	試験方法	養生条件	単位	規格値	
粘度(混合物)	JIS K 6833	---	Pa.s	2.0±1.0	
比重(硬化物)	JIS K 7112	20°C/7日間	---	1.0~3.0	
可使時間	温度上昇法	---	分	60 以上	
曲げ強度	JIS K 7203	20°C/7日間	N/mm ²	50 以上	
曲げ弾性率	JIS K 7203			1.5×10 ³	
圧縮降伏強度	JIS K 7208			60 以上	
圧縮弾性率	JIS K 7208			1.5×10 ³	
引張強度	JIS K 7113			30 以上	
引張弾性率	JIS K 7113			1.5×10 ³	
引張せん断強度	JIS K 6850			10 以上	
衝撃強さ	JIS K 7111			KJ/m ²	1.5 以上
硬さ	JIS K 7215			HDD	80 以上

※注入用エポキシ樹脂はこのほかに、日本道路公団、首都高速道路公団等でも規格化されている。

参考文献

- 1) 松井, 大田, 西川: 既存橋梁床版の維持管理 (その2), 橋梁と基礎 99-2, pp.45-51, 1999.
- 2) 堀川都志雄, 加藤暢彦, 吉川紀, 山口良弘, 園田恵一郎: 鋼板接着工法で補強されたひび割れ損傷 R C 床版の耐久性について, 構造工学論文集, Vol44A, pp.1083-1094, 1998 年 3 月.
- 3) 阪神高速道路公団, 阪神高速道路管理技術センター: 道路橋 R C 床版のひび割れ損傷と耐久性, pp199-200, 1991.
- 4) 関口幹夫: R C 床版の輪荷重走行疲労実験, 第一回鋼橋床版シンポジウム講演論文集, pp49-54, 1998.
- 5) 宮崎和彦, 西川和廣, 内田賢一, 松尾伸二: 上面増厚および鋼板接着工法で補強した R C 床版の疲労耐久性に関する検討, 第一回鋼橋床版シンポジウム講演論文集, pp293-298, 1998.
- 6) 辻本和敬, 長谷俊彦, 菅野匡: 実橋床版を用いた輪荷重走行実験による各種補修・補強工法の疲労余寿命比較, 第 23 回日本道路会議一般論文集(B), pp.374-375, 1999.
- 7) 阪神高速道路公団, 阪神高速道路管理技術センター: 道路橋 R C 床版のひび割れ損傷と耐久性, pp173-181, 1991.
- 8) 阪神高速道路公団: 道路構造物の補修要領第 2 部 コンクリート構造物, pp.15-18, 1990.
- 8) 川村勝, 林田充弘, 吉川紀, 石崎嘉明, 藤田洋佐: 施工 15 年経過した鋼板接着工法使用エポキシ樹脂の性能に関する調査研究, 構造工学論文集, Vol.44A, pp.1105-1110, 1998.

4.5 上面増厚工法

(1) 概要

上面増厚工法は旧床版上面にスチールファイバーコンクリートを打設し、新旧コンクリートを一体化させ、床版厚の増加によって補強する工法である（図-4.5.1）。

新旧コンクリートを一体化させるため、旧床版との付着性の確保が重要となるが、旧床版上面を切削・研掃し水セメント比の小さいスチールファイバーコンクリートを十分に締固めることによって付着性を確保する。ただし、旧床版の損傷度が激しい場合は新旧コンクリートの一体化が困難であるため、損傷度を考慮して選定する必要がある。

また、床版上面からの施工となるため交通規制が必要となる。そのため、急速施工を必要とするケースが多く、超速硬スチールファイバーコンクリートの使用を基本としている。

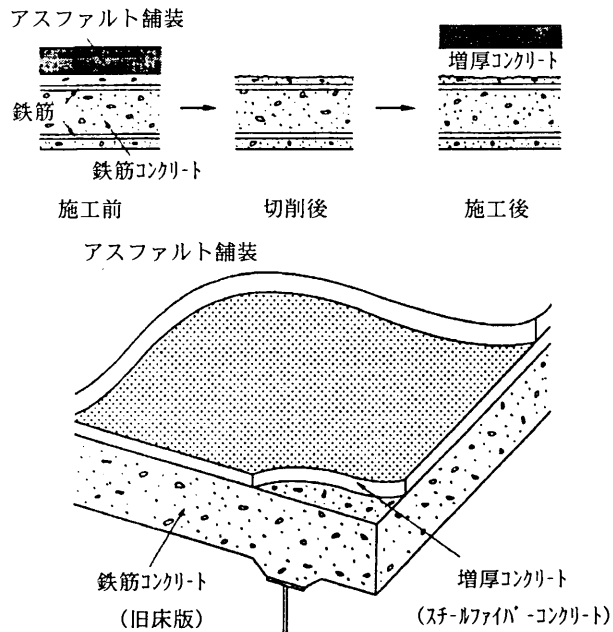


図-4.5.1 工法概念図¹⁾

(2) 特徴

上面増厚により有効厚が増し、曲げ剛性・せん断耐力は向上する。さらに、増厚材料にスチールファイバーコンクリートを用いるため、ひび割れを抑制でき、防水効果がある。

懸念事項として、上面からの補強のため交通規制を必要とすることが挙げられる。また、増厚により桁の死荷重応力が増加することも懸念事項の一つである。しかし、桁の曲げ剛性は向上し、桁の活荷重応力は減少することが実測で確認されている^{2)~6)}。したがって、合成作用では桁の応力増加は小さい。

(3) 損傷対策としての効果

上面増厚の効果を確認するため輪荷重走行実験が行われ^{7), 7)~11)}、上面増厚による疲労耐久性の向上が確認されている。

文献 7), 8)では実橋の損傷床版と補強を加えた床版の疲労耐久性を比較している。その結果、文献 7)ではH8 道示床版を上回る疲労耐久性を示したことが報告されている（図-4.5.2）。また、文献 8)では上面増厚および炭素繊維シートの併用補強で実験が行われ、実験終了時の走行回数を比較すると、補強床版は損傷床版の4.5倍となっている。しかも、補強床版は実験終了時に未破壊であり、実際はさらに補強効果があると推定される。

一方、文献 9)ではスチールファイバーコンクリートによる効果を乾燥状態および水張り状態で実験しており、疲労耐久性はどちらの状態でも同厚のRC床版と比較して100倍程度向上していると述べている。また、疲労耐久性の向上はスチールファイバーによる効果であり、水張り状態ではスチールファイバーによるひび割れ防止が防水工の役目も果たしていると言える述べている。

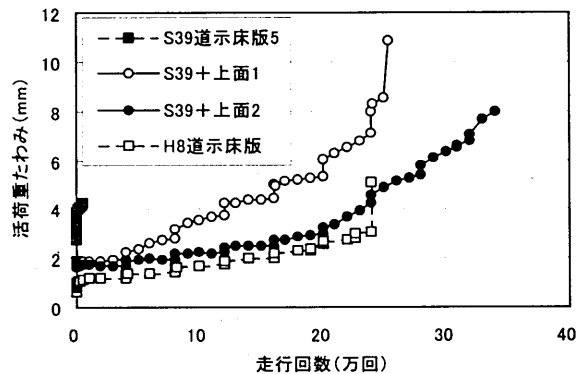


図-4.5.2 活荷重たわみの経時変化
(建設省土木研究所)

(4) 工法の詳細

工法の詳細については、例えば文献 13), 14)で詳しく記されている。ここでは文献 13)から代表的な内容を引用した。

a. 設計法

設計手順のフローチャートを図-4.5.3に示す。

b. 施工方法

施工手順のフローチャートを図-4.5.4に示す。

c. 構造細目

増厚コンクリートの最小厚は50mmで、旧床版の表面切削深さは新旧コンクリートの一体化を考慮して最小10mmとしている。また、アスファルト

舗装の最小厚は文献 13)で 50mm, 文献 14)で 40mm としている。

d. 使用材料

上面増厚に使用する超速硬スチールファイバーコンクリートには以下に示す規格・基準に合致する材料を使用する。

- ①セメントは、超速硬セメントを使用することを原則とする。
- ②細骨材は、JIS A 5308 レディミクストコンクリート「付属書 1 レディミクストコンクリート用骨材」の規格に適合するものでなければならない。
- ③粗骨材は、JIS A 5005 コンクリート砕石および砕砂の規格に適合するものとし、最大骨材寸法は 20mm とする。
- ④スチールファイバーは土木学会基準の品質規格に準拠した長尺ファイバーとし、混入量 60kg/m^3 を標準とする。
- ⑤混和剤は、JIS A 6204 レディミクストコンクリート用化学混和剤の規格に適合するものとし、高性能減水剤（高性能 AE 減水剤）および凝結遅延剤を使用する。
- ⑥練混ぜ水は、JIS A 5308 レディミクストコンクリート「付属書 9 レディミクストコンクリートの練混ぜに用いる水」の規格に適合するものでなければならない。

スチールファイバーについて、文献 13)では長さ 50~60mm のもので混入量 60kg/m^3 を標準としているが、文献 14)では長さ 30mm のものがこれまで使用され、混入量 100kg/m^3 を標準としている。

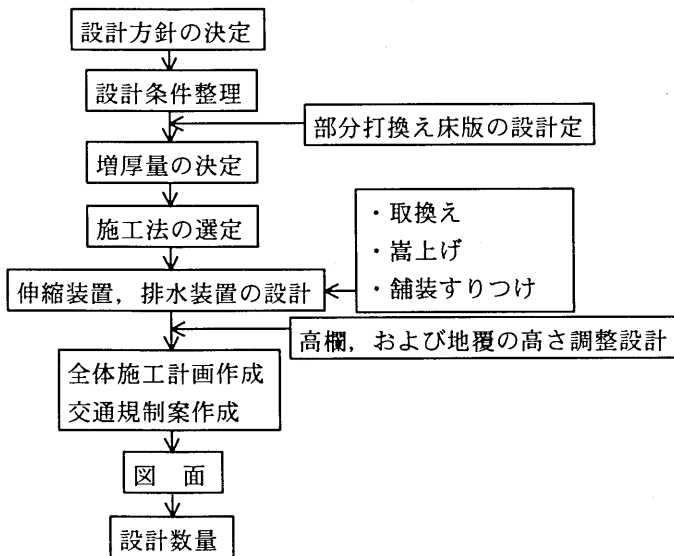


図-4.5.3 設計手順
(建設省 近畿地方建設局)

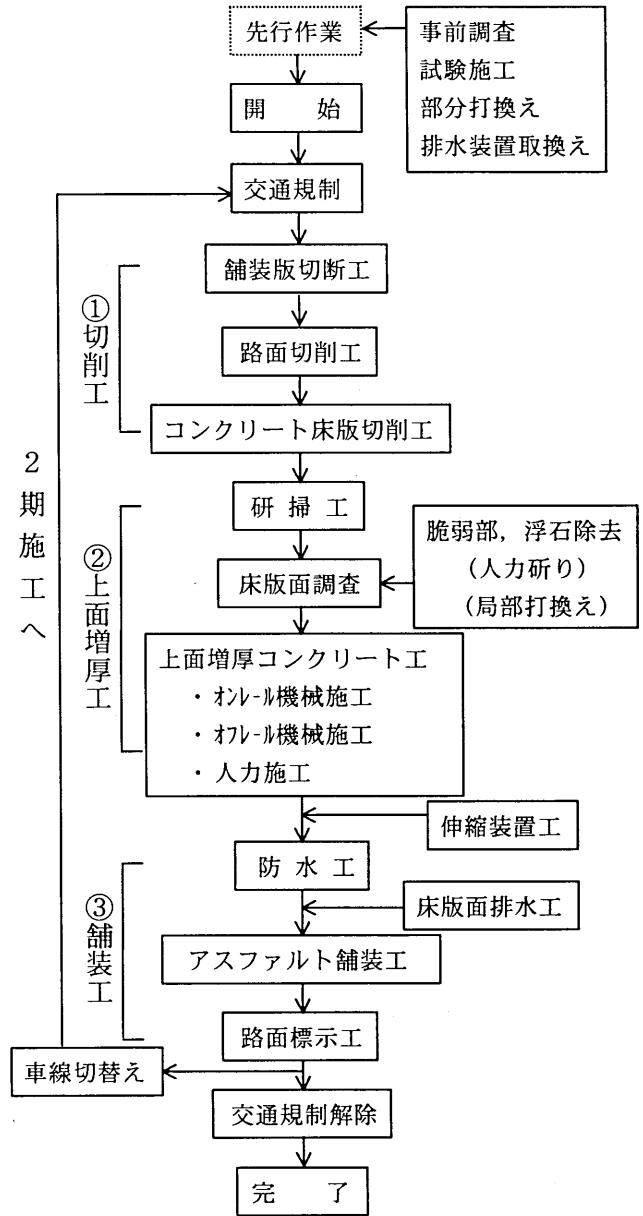


図-4.5.4 施工手順
(建設省 近畿地方建設局)

(参考文献)

- 1) 松井, 大田, 西川: 既存橋梁床版の維持管理 (その2), 橋梁と基礎 1999.2
- 2) 建設省三重工事事務所: 平成6年度23号四日市高架橋動的載荷調査報告書, 1995.3
- 3) 建設省兵庫国道工事事務所: 平成6年度28号桑間橋他1橋床版載荷調査(Ⅱ)報告書, 1995.3
- 4) 建設省大阪国道工事事務所: 平成7年度一般国道163号菟橋床版補強工事に伴う補強調査作業報告書, 1996.3
- 5) 愛知県豊橋土木事務所: 橋梁修繕工事の内設計業務委託 一般県道平井牟呂大岩線(新橋)成果報告書, 1995.10
- 6) (財)道路保全技術センター: 平成8年度床版上面増厚効果確認調査報告書, 1997.2
- 7) 宮崎, 西川, 内田, 松尾: 上面増厚および鋼板接着工法で補強したRC床版の疲労耐久性に関する検討, 第一回鋼橋床版シンポジウム講演論文集, pp.293-298, 1998.11
- 8) 建設省名古屋国道工事事務所: 平成7年度23号北頭高架橋床版疲労試験報告書, 1996.3
- 9) 松井, 木村, 蓑毛: 増厚工法によるRC床版補強の耐久性評価, 構造工学論文集, Vol.38A, pp.1085-1096, 1992.3
- 10) 建設省三重工事事務所: 平成5年度23号四日市高架橋動的載荷調査報告書, 1994.3
- 11) 建設省名古屋国道工事事務所: 平成6年度床版上面増厚およびカーボンシート補強工法の疲労試験報告書, 1995.3
- 12) 森, 松井, 若下, 西川: 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, pp.25-32, 1995.3
- 13) 建設省近畿地方建設局: 橋梁床版上面増厚工法設計・施工マニュアル(案), 1999.4
- 14) (財)高速道路調査会: 上面増厚工法設計施工マニュアル, 1995.11

4.6 アンダーデッキパネル工法

(1) 概要

アンダーデッキパネル工法は、損傷した RC 床版の下面を主桁に機械的に支持された鋼製パネルで覆い、活荷重の曲げおよびせん断に抵抗する補強工法である。鋼製パネルは、図-4.6.1 の工法概念図に示すとおりデッキプレートと縦リブと横リブで構成する溶接構造で、横リブを主桁フランジにブラケット介して高力ボルトで取り付け床版下面を覆う。また、床版下面とパネルの隙間には、エポキシ樹脂または無収縮モルタルを充填して床版と一体化させる施工方法がとられる。

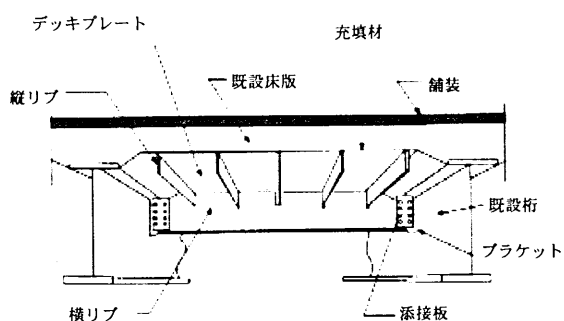


図-4.6.1 工法概念図

(2) 特徴

本工法は、主桁に機械的に支持される鋼製パネルで損傷した RC 床版を覆い支持する構造であり、鋼板接着など他の補強工法では、補強が困難な損傷判定区分Ⅱに進んだ床版「土木研究所資料橋梁点検要領（案）建設省土木研究所昭和 63 年 7 月」であっても、確実に曲げおよびせん断に対して補強できる。

鋼板接着工法同様に交通規制の必要がほとんどなく、道路交通に支障なく施工できる。床版下面を主桁に高力ボルトで固定された鋼製パネルで覆うため局所的な抜け落ちを完全に防ぐことが可能であり、跨線橋や陥没の可能性がある場合の緊急補強などに採用する例が多い。また、補強後床版が傷んで打ち換えを行う場合には、パネルは型枠として再利用できるとされている。

一方、リブ付き鋼製パネルは重量があり施工性が悪いほか、死荷重が増加するため主桁断面に余裕がないと適用できない。鋼製パネルの横リブと主桁の接合は、ブラケットを介して高力ボルトで剛結する構造であり、ブラケットや横リブの形状に配慮しないと、疲労クラックの発生が懸念される。鋼製パネルは、耐久性確保のため塗装が必要である。床版上面から雨水が浸透した場合に滞水する懸念があり、床版上面の防水層やひび割れエポキシ樹脂注入を併用するなどの対策が必要となる。

(3) 損傷対策としての効果

主として曲げモーメントに対して重ね梁（版）として機能し、たわみの抑制効果があり、RC 床版の疲労耐久性を向上させる効果がある。リブ付き鋼製パネルは、他の下面補強工法（鋼板接着工法、炭素繊維接着、下面増厚工法）に比べるとせん断剛性が大きく、RC 床版の押抜きせん断耐力の向上効果も期待できる。

実橋の損傷した床版（損傷判定区分Ⅱ）の補強例では、載荷実験によるたわみの補強効果は、補強前に比べ補強後のたわみが 27%¹⁾ に低減した例や、また陥没直前の補強例では 86%²⁾ に低減した例が確認されている。また、補強後の活荷重による部材応力度の測定値が「設計マニュアル」³⁾ に示されている方法で計算した値に比べ約 40% と小さく安全であることが確認されている。

(4) 工法の詳細

a. 使用材料

使用する鋼材は、表-4.6.1 に示す構造用鋼材と接合用鋼材であり、構造用鋼材は溶接性に適した SM400A または SS400 が一般的で板厚は 6 mm が標準である。また、充填材は 2 mm 程度の隙間にも充填できる流動性の優れた無収縮モルタルとエポキシ樹脂を用いる。床版の損傷度が特に著しい場合には、エポキシ樹脂を使用することが望ましい。吸水防止材、シール材、充填材の規格値は、表-4.6.2 のとおりである。

表-4.6.1 鋼材規格の規格値⁴⁾

鋼材の種類	規格		鋼材記号
構造用鋼材	JIS G3101	一般圧延鋼材	SS400
	JIS G3106	溶接構造用圧延鋼材	SM400A
接合用鋼材	JIS B1186	摩擦接合用高力ボルト	F10T
	道路橋示方書・同解説	摩擦接合用トルシャ形高力ボルト	S10T

表-4.6.2 吸水防止材、シール材、充填材の規格値⁵⁾

材料	物性	最低規格値	試験方法
吸水防止材	浸透深さ	2 mm 以上	ALC 板での試験
	吸水比	30% 以下	浸漬期間 10 日
シール材	圧縮強度	30N/mm ² 以上	JIS K6911
	引張強度	15N/mm ² 以上	JIS K6911
エポキシ樹脂充填材	圧縮強度	30N/mm ² 以上	JIS K6911
	引張強度	15N/mm ² 以上	JIS K6911
無収縮モルタル充填材	圧縮強度	30N/mm ² 以上	JIS K6911
	ブリージング率	1% 以下	JASS 5 T-701

b. 設計法

パネルの縦リブ、横リブの設計は、部材に最も不利な応力が働くような位置に後輪荷重を載荷する。設計計算上の仮定では、縦リブ横リブに作用する曲げモーメントに対しては、RC 床版とパネルとの重ね梁として抵抗するものとする。また、縦リブ横リブに作用するせん断力に対しては、各々のウェブプレートで抵抗

するものとする。縦リブ横リブの間は、RC 床版で抵抗するものとして、デッキプレートの設計計算は行わない。

パネルと RC 床版を重ね梁として断面二次モーメントを求める場合の鋼材とコンクリートの弾性係数比は 10 とする。版の有効幅は、道路橋示方書の規定による。RC 床版の断面二次モーメントは、鉄筋の仕様が判明している場合、単鉄筋矩形断面として計算し、鉄筋の仕様が不明の場合は、床版厚による換算係数を考慮して算定する。

鋼材の死荷重・活荷重・衝撃荷重を載荷した時の全荷重による応力度に対する許容応力度は、道路橋示方書の規定により、材質 SM400A・SS400 の場合では、許容軸方向引張応力度、許容曲げ引張り応力度は 140N/mm^2 、許容せん断応力度は 80N/mm^2 。活荷重による応力範囲に対する許容値は、SM400A・SS400 の場合、鋼板（縦リブ下縁など） 140N/mm^2 、横リブ下フランジ 84N/mm^2 とする。

b. 構造細目

デッキプレートの板厚は 6 mm を標準とする。無収縮モルタル充填材の厚さは 10 mm、エポキシ樹脂充填材の厚さは 5 mm を標準とする。

デッキプレートとデッキプレートの橋軸方向の間隔は、40 mm を標準とする。ただし、対傾構、横桁のある場合では床版厚程度の間隔まで許容できる。

縦リブはウェブのみ、横リブはウェブと下フランジで構成する。縦リブと横リブの連結部は、縦リブからのせん断力を確実に横リブに伝えることができる構造とし、縦リブは横リブのウェブを貫通させ、縦リブと横リブのウェブを溶接することが望ましい。

横リブと主桁の連結では、横リブは主桁ウェブに取り付けたブラケットに高力ボルトで連結する。ブラケットと主桁ウェブとの連結は原則として高力ボルトとし、溶接は主桁に悪影響を与えるおそれがあるので用いない。

ブラケットには原則 H 形鋼を使用する。ブラケットと主桁ウェブとの連結用高力ボルトの取り付け位置は、疲労クラックの発生を防ぐため主桁上フランジ下面からできるだけ離すことが望ましい。

デッキプレート上面の処理方法は、無収縮モルタルを充填する場合にはジンク系プライマーを塗布し、エポキシ樹脂を充填する場合にはブラスト処理を施すものとする。また、無収縮モルタルを使用する場合は、床版下面に吸水防止材を塗布しなければならない。

床版のひび割れから浸透してきた雨水は、パネル上面に滞留しやすいため、パネルに排水孔を設けるなど水抜き対策をするほか、ひび割れの程度に応じて、床版上面の防水層の施工やひび割れエポキシ樹脂注入を併用するなどの対策を行う必要がある。

一般的な施工順序のフローを図-4.6.2 に示す。

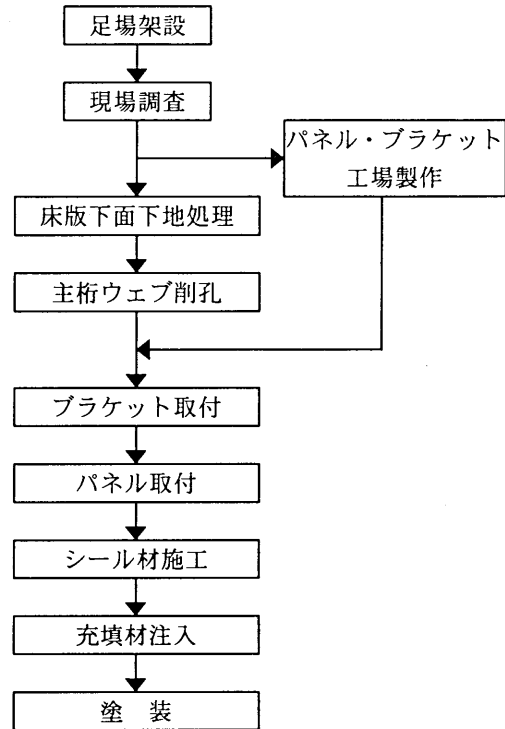


図-4.6.2 施工順序

参考文献

- 1) 道路保全技術・技術審査証明報告書：鋼橋鉄筋コンクリート床版下面補強工法（IS パネル工法），（財）道路保全技術センター，1997
- 2) 関口幹夫：RC 床版補強工法の評価について，第 22 回日本道路会議論文集，pp1034-1035，1997
- 3) 1)と同じ，付属資料-1「設計マニュアル」
- 4) 1)と同じ，付属資料-1「設計マニュアル」
- 5) 1)と同じ，付属資料-1「設計マニュアル」

4.7 外ケーブル工法

(1) 概要

本工法は鋼主桁に取り付けた外ケーブルにプレストレスを導入し、鋼主桁から床版に伝達される橋軸方向の軸力により床版のひび割れ制御を行い耐久性を向上させるものである。図-4.7.1に工法概要図を示す。

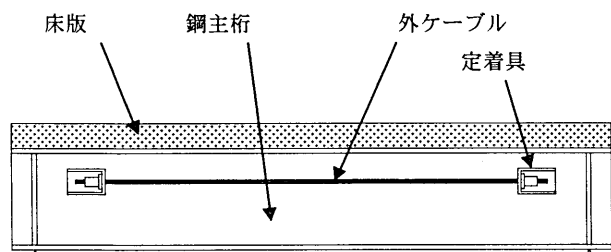


図-4.7.1 補強概要図

(2) 特徴

本工法は桁下作業で処理できるため、交通規制を必要としない。また、プレストレスの効果により床版の耐久性の向上がはかれる。施工は容易で、補強後は追跡調査が可能であり、必要な場合には外ケーブルの再緊張が可能である。

(3) 損傷対策としての効果

静的押し抜きせん断耐力は増大し、床版のたわみ低減がはかられ、床版表面のひび割れが抑制できたことが実験結果として報告されている¹⁾²⁾。疲労耐久性に関しては、ひび割れ発生・進展の抑制、橋軸直角方向ひび割れ面相互擦り合わせの抑制、さらに貫通ひび割れによる梁状化の抑制が報告されている。

本工法は、床版の耐荷力向上を目的としているため、材料劣化した床版（塩害等）を補強する場合は、床版の材料的改善を行った後に本工法を適用すべきである。

(4) 工法の詳細

a. 使用材料

原則的にはJISに規定されているPC鋼材を使用する。外ケーブルとして使用するため、十分な防蝕処置の施されたものを選定する。

b. 設計法

所定のプレストレスを床版の橋軸方向に導入できるように、緊張材の設計を行う。その際に鋼主桁が座屈を起こさないように配慮する必要がある。定着部の配置は鋼桁の中立軸付近が望ましい。

c. 構造細目

外ケーブルは定着体を鋼桁に取り付けて定着する。よって、定着体を通して局所的に大きな力が鋼桁に伝わる

ことになる。よって、鋼桁の定着体周辺部の補強を十分に行う必要がある。

(5) 施工法

施工に関するフローチャートを図-4.7.2に示す。施工に際しては、現場条件等を十分に考慮し、最適な管理を行うことを心掛ける必要がある。一般に、鋼桁に外ケーブルを配置する場合、鋼桁の両側に定着体を設けることが一般的であるが、2本のケーブルを同時緊張する場合も十分な緊張管理を行う必要がある。

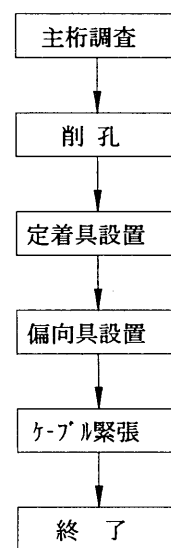


図-4.7.2 施工フロー

参考文献

- 1) 松井、東山：外ケーブル方式によるコンクリート床版へのプレストレス導入に関する研究、プレストレストコンクリート技術協会第6回シンポジウム論文集、pp.159-162、1996
- 2) 松井、東山、林：外ケーブルによりプレストレスした合成桁橋プレキャストRC床版の力学性状の向上に関する研究、鋼構造論文集、第4巻13号、1997

4.8 床版防水工

(1) 概要

床版防水工における防水層は、床版への水分の進入を防ぐことを目的として床版と舗装の間に設ける層で、防水材、接着剤で構成される。一般的な防水層の構成断面を図-4.8.1に示す。

防水層に要求される性能を以下に列挙する。

- ①舗装の損傷部、路肩、中央分離帯などから水が浸透しても、コンクリート床版には水を進入させない不透水性を有していること。
- ②コンクリート床版にひび割れが発生した場合でも、これに対する追従性があること。
- ③車両の発進、停止などによる力学的作用に対して十分抵抗性があること。
- ④コンクリート床版および舗装との接着性に優れていること。
- ⑤舗装時の熱影響によって材質が変化しないこと。
- ⑥施工性に優れていること。
- ⑦化学的作用に対して安定であること。

図-4.8.2 は国内で一般的に用いられている床版防水を分類したもので、シート系、塗膜系、舗装系に分類される²⁾。

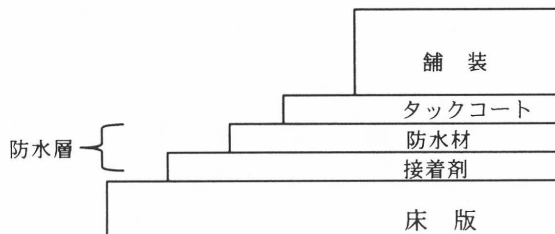


図-4.8.1 防水層構成断面図

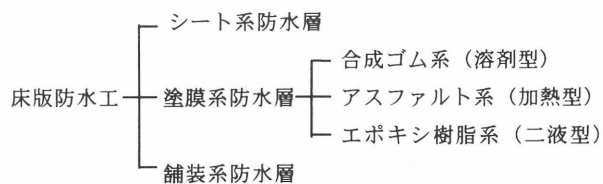


図-4.8.2 床版防水工の分類

(2) 防水層の解説

各防水層の概要を以下に示す。表-4.8.1は各防水層の特徴をまとめたものである。

・シート系防水層

シート系防水層の防水材には、合成繊維不織布に特殊アスファルトを含ませて成型したものや、クロロプレンゴム、ブチルゴムなどの未加硫ゴムを圧延成型した合成ゴム系のものである。施工方法には溶融アスファルトを接着層上に流しながら貼り付ける流し貼り工法（図-4.8.3）と、防水材の裏面をガスバーナーで溶融しながら貼り付ける溶着工法がある。

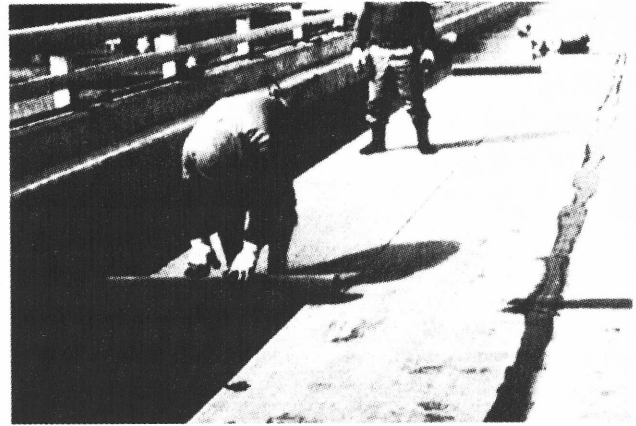


図-4.8.3 シート系防水の施工

表-4.8.1 各防水層の特長²⁾

防水層の種類 項目	シート系防水層	塗膜系防水層		舗装系防水層
		溶剤型	加熱型	
組成	不織布にゴム入りアスファルトを含ま	クロロプレンゴムを溶剤に溶解	アスファルトおよび合成ゴム	硬質アスファルト、粗骨材、細骨材フィラーなどからなるアスファルト混合物
防水層の厚さ	1.5-4.0mm	0.4-1.0mm	1.0-1.5mm	15-25mm
施工法	流し貼りあるいは溶着	数回重ね塗り	数回重ね塗り	一層舗設機械仕上
床版との接着性	良好	良好	良好	良好
舗装との接着性	良好	良好	良好	良好
不透水性	高い	普通	普通	普通
ひび割れ追従性	良好	良好	良好	普通
プリスタリング発生の可能性	比較的高い	材料により比較的高いものと低いものがある	比較的低い	なし
施工性	普通	普通	良好	良好
床版面の不陸に対する施工性	劣る	劣る	良好	良好
施工時(後)養生	なし	長時間必要	なし	なし
舗設時の防水層損傷の可能性	なし	薄いので損傷に対する注意が必要	なし	なし
施工実績(車道)	多い	多い	少ない(歩道では多い)	少ない

・塗膜系防水層

塗膜系防水層の防水材には合成ゴム系のもや加熱型のアスファルト系のも、エポキシ樹脂系のもがある。塗膜系の防水材は床版に数回の重ね塗りを行うことで防水層とするものが多く、塗膜厚は0.4～1.5mm程度である。

・舗装系防水層

舗装系の防水層には、シートアスファルトと称されるアスファルト混合物が使われている。そのアスファルト混合物には、バインダーにストレートアスファルトに精製トリニダットアスファルトを添加した硬質アスファルトが用いられ、防水層の厚さは15～25mmである。施工には通常の舗装用機械が用いられる。

このほかに、防水層の耐久性を向上させる試みとして、シート系防水層に碎石マスチック舗装を加えた施工も行われている。

・その他（ドイツの防水層⁶⁾)

ヨーロッパにおける床版の損傷は、塩化物を含む凍結防止剤の内部浸透による鉄筋の腐食膨張によるものであり、その対策として床版防水が重要視されている。その中でドイツでは、床版防水工の設計・施工指針を定めており、我が国にない防水層が採用されているので以下に紹介する。

ドイツの指針で認定されている防水工は、シート系防水（1，2層）と塗膜系防水である。シート系は国内のものに類似しているようであるが、塗膜系は異なっている。指針で認定されているものは柔軟型合成樹脂塗膜で、具体的にはポリウレタン樹脂の吹き付け施工による防水層である（図-4.8.4，4.8.5）。この防水層は20年を経過しても問題がないと報告されており、シームレスである利点を生かして適用範囲が広く、橋梁の形状、交通量を選ばず使用可能とされている。防水工としての費用は、国内で一般に用いられている防水層よりも増加するようであるが、耐久性が見込めるため打替えが困難な床版への適用を検討する価値はあろう。

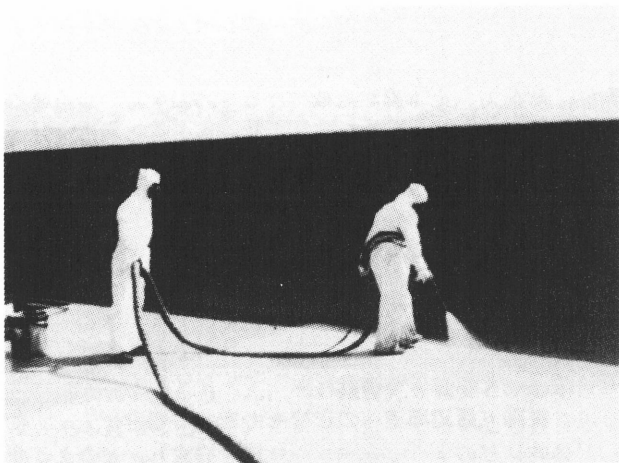


図-4.8.4 塗膜系防水の吹き付け施工

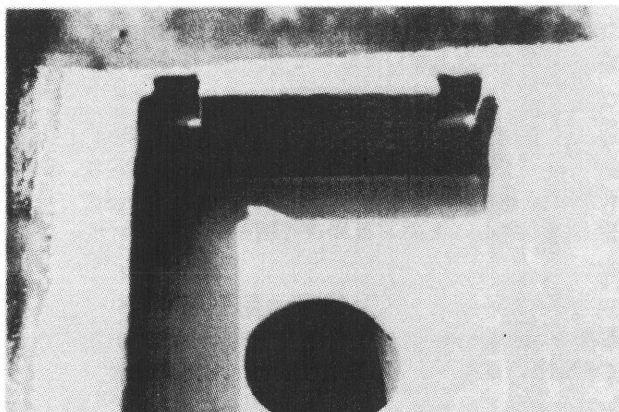


図-4.8.5 複雑な形状に吹き付けられた防水層

(3) 防水工の効果

防水工の必要性に関しては過去の実験で確認されており、RC床版の水張り環境下での輪荷重試験の結果では、乾燥状態と比較して、50倍～300倍早で破壊するという報告⁵⁾がある。よって、防水工を施すことで床版の耐久性が向上することは明らかであるが、現状では防水層の耐久性が不明なため、防水工による床版の耐久性向上の程度はわかっていない。

早急に防水層の耐久性を把握するための試験方法を含めた、評価法の確立が望まれる。

(4) 滞水の防止

床版防水工は、適切な排水処理と併用されることでより効果的な工法となる。よって、設計段階において床版上面における縦横断方向の排水勾配の確保や、低くなる箇所への舗装内水抜きを設置など（図-4.8.6），床版上面に滞水しないように配慮することが必要である。

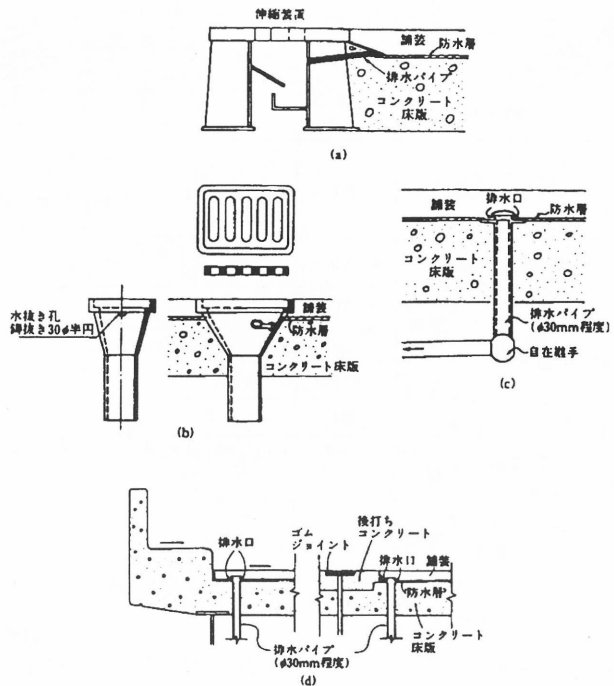


図-4.8.6 排水処理の例

(5) 施工上の留意点

防水工の施工は、下地処理、接着層の施工、防水層の施工という手順で進められる。下地処理では防水層の接着性能に悪影響を及ぼさないように、コンクリートのレイタンス、塵埃、油脂等の有害物を除去し、接着層の施工前には表面を乾燥させる。

接着層の施工にはローラーバケ、金ゴテ、ゴムベラ、散布機等が用いられる。塗布の際には塗りムラのないように注意し、有機溶剤が含まれている場合には養生し、揮発分を十分に蒸発させなければならない。

防水層の施工では、使用する材料により施工法が異

なるが、各材料の特性を十分に理解して均一な防水層が得られるように注意しなければならない。施工中に降雨があった時には、作業を中断する。降雨後の作業開始の際には残留水分は除去し、降雨による悪影響が生じた箇所は撤去して再施工しなければならない。

(6) 使用材料

防水層の規格には、日本道路協会の「道路橋鉄筋コンクリート床版防水層設計・施工指針」や日本道路公団試験研究所の「材料施工資料（第4号）コンクリート床版防水工」、阪神高速道路公団・材料学会による「コンクリート床版防水工設計施工指針（案）・同解説」に示されているものがある。その中で代表的なものとして、日本道路協会の「道路橋鉄筋コンクリート床版防水層設計・施工指針」に示されている防水層の品質基準を表-4.8.2に示す。他のものも類似しているが、ひび割れ追従性に関する項目が追加されている。

表-4.8.2 道路橋鉄筋コンクリート床版防水層設計・施工指針（日本道路協会）の規格値

試験項目	試験温度(℃)	規格値	試験方法	
防水性試験	20	減水量 0.5ml 以下	付録 2-1 コンクリート床版防水層試験方法による	
低温可撓性試験 ¹⁾	-10	防水材の折損が生じないこと	〃	
せん断試験 ²⁾	強度	-10	8.0kgf/cm ² 以上	〃
		20	1.5 kgf/cm ² 以上	
	伸び	-10	0.5%以上	
		20	1.0%以上	
引張接着試験 ²⁾	強度	-10	12 kgf/cm ² 以上	〃
		20	6 kgf/cm ² 以上	
水浸7日後の引張接着試験	強度	20	水浸前の50%以上	〃

注 1) エポキシ樹脂塗膜系防水層および舗装系防水層には適用しない。

注 2) 試験は 50℃についても行っているが、防水層の種類による強度差があまりないこと、防水層に起因する破壊は生じないことから、試験温度として 50℃は規定しなかった。

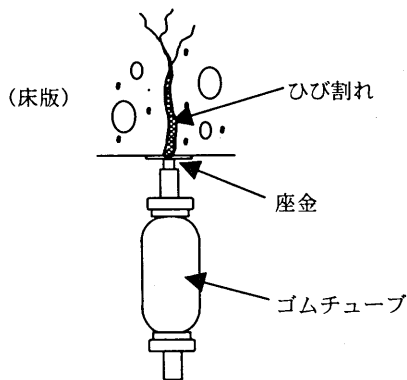
・参考文献

- 1) 道路橋示方書・同解説 I 共通編, 日本道路協会, 平成 8 年 12 月
- 2) 道路橋鉄筋コンクリート床版防水層設計・施工指針, 日本道路協会, 昭和 62 年 1 月
- 3) 材料施工資料(第 4 号)コンクリート床版防水工, 試験研究所技術資料第 124 号, 日本道路公団試験研究所, 平成 6 年 3 月
- 4) コンクリート床版防水工設計施工指針(案)・同解説, 阪神高速道路公団・日本材料学会, 平成元年 3 月
- 5) 松井繁之, 大田孝二, 西川和廣: RC 床版とその損傷(その 2), 鋼橋の床版③, 橋梁と基礎, pp47-50, 1998.6
- 6) 上坂康雄: ドイツにおける橋面防水工設計・施工指針の紹介と作成の背景, 土木施工 39 巻 11 号, pp.78-82, 1998.11

4.9 ひび割れ注入工

(1) 概要

ひび割れ注入工は、コンクリートの収縮、活荷重の影響などで発生したひび割れに、樹脂系や無機系の注入材を、専用器具を用いて充填する工法で、実施例は樹脂系材料が多い。注入の目的は床版の水密性を向上させるため、すなわち内部鉄筋の防錆とする場合が多く、その理由は樹脂系注入材の弾性係数がコンクリートのそれに比べて小さいからである。



※注入器具のピッチは30cm間隔が多い。

図-4.9.1 ひび割れ充填状況

注入材に求められる性能を以下に列挙する。

- ①ひび割れへの充填性に優れること
- ②コンクリートとの接着性に優れていること
- ③施工性に優れていること
- ④化学的作用に対して安定であること

図-4.9.1に例として、ゴムチューブを用いたひび割れ注入用の専用器具による充填状況を示す。

(2) 注入工の効果

ひび割れ注入は耐荷性の回復を目的としない工法であるが、輪荷重走行試験でエポキシ樹脂を用いたひび割れ注入供試体は、無補強より走行回数が増加したという実験結果¹⁾がある。増加の理由としては、エポキ

シ樹脂を注入することで床版剛性がほぼ全断面有効まで回復したことを挙げている。よって、せん断耐力の向上に寄与すると考えられるので、縦桁増設工法や炭素繊維シート接着工法等との併用が効果的である。特に炭素繊維シート接着工法²⁾では、交通振動によるひび割れの開閉がシートへの応力集中となり悪影響を及ぼすことが懸念されるため、事前調査のうえひび割れ注入の適用を検討すべきである。

(3) 施工上の留意点

ひび割れ注入の施工は、注入位置の決定、注入器具固定用の座金の取り付け、ひび割れ表面のシール（目止め）、注入器具の取り付けによる注入という手順が一般的である。

ひび割れが貫通している場合には、漏水やそれに起因する遊離石灰が発生している場合があり、その際には接着性や充填性を考慮した材料選定が必要で、ウカットコーキング処理等の処理が適当な場合もある。

(4) 使用材料

ひび割れ注入材の性能の例として、エポキシ樹脂系材料のものを表-4.9.1に示す。この例は参考文献²⁾に紹介されているものである。

・参考文献

- 1) 辻本和敬，長谷俊彦，菅野匡：実橋床版を用いた輪荷重走行実験による各種補修・補強工法の疲労余寿命比較，第23回日本道路会議一般論文集（B），pp.374-375，1999。
- 2) 建設省土木研究所構造橋梁部橋梁研究室，炭素繊維補修・補強工法技術研究会：共同研究報告書，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）一，平成11年12月

表-4.9.1 エポキシ樹脂の品質（JIS A 6024 建築補修用注入エポキシ樹脂）

試験項目	試験条件	低粘度形		中粘度形		高粘度形			
		一般用	冬用	一般用	冬用	一般用	冬用		
粘性	粘度 mPa・s	23±0.5℃		100~1,000		5,000~20,000			
	チキソメータインデックス	23±0.5℃		—		5±1			
	スランプ性	15±2℃		—		—			
30±2℃		—		5以下					
接着強さ N/mm ²	標準条件		6.0以上		6.0以上		6.0以上		
	条件	低温時		—		3.0以上		—	
		湿潤時		3.0以上		3.0以上		3.0以上	
		乾湿繰返し時		3.0以上		3.0以上		3.0以上	
硬化収縮率 %		標準条件		3以下		3以下			
加熱変化	質量変化率 %	—		5以下		5以下			
	体積変化率 %	—		5以下		5以下			
引張り強さ N/mm ²	標準条件		15.0以上		15.0以上		15.0以上		
引張り破壊伸び %	標準条件		10以下		10以下		10以下		
圧縮強さ N/mm ²	標準条件		—		—		50.0以上		

（注）土木補修用エポキシ樹脂注入材1種も同等の性能を有する材料として使用できる。