

鋼床版橋梁の疲労耐久性向上技術に関する 共同研究(その 2・3・4) 報告書

—SFRC 舗装による既設鋼床版の補強に関する設計・施工マニュアル(案)—

平成 21 年 10 月

独立行政法人土木研究所
(株) 横 河 ブ リ ッ ジ
(株) N I P P O
鹿 島 道 路 (株)
大 成 ロ テ ッ ク (株)

Copyright © (2009) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、独立行政法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、独立行政法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

鋼床版橋梁の疲労耐久性向上技術に関する 共同研究(その 2・3・4) 報告書

—SFRC 舗装による既設鋼床版の補強に関する設計・施工マニュアル(案)—

平成 21 年 10 月

独立行政法人土木研究所 構造物メンテナンス研究センター
株式会社横河ブリッジ 技術研究所
株式会社 NIPPO 技術研究所
鹿島道路株式会社 生産技術本部
大成ロテック株式会社 生産技術本部

村越 潤
春日井 俊博
根本 信行
加形 護
中丸 貢

(いずれも代表者のみを記す)

要 旨

土木研究所では、既設鋼床版橋梁の疲労耐久性を向上させるために、剛性の高い鋼繊維補強コンクリート (SFRC) を舗装することで溶接部に発生する局部応力を軽減する工法の開発を目的として、民間企業 4 社と共同研究「鋼床版橋梁の疲労耐久性向上技術に関する共同研究(その 2・3・4)」(平成 16~20 年度)を行ってきた。本報告書は共同研究の成果の一部をマニュアル(案)としてとりまとめたものである。

キーワード：鋼床版、疲労耐久性向上技術、鋼繊維補強コンクリート (SFRC)、舗装、接着材、設計・施工マニュアル

まえがき

近年、大型車の交通条件の厳しい路線を中心に、U型の縦リブ（以下、Uリブ）を使用した鋼床版の疲労損傷事例が報告されている。このうち、輪荷重直下のUリブとデッキプレート間の溶接部では、デッキプレート板厚方向に進展しデッキプレート表面に到達するき裂（以下、デッキ進展き裂）と、溶接ビード内に進展しビードを貫通するき裂（以下、ビード進展き裂）の2種類のき裂が報告されている。前者のデッキ進展き裂は、目視では発見困難な部位に発生するため損傷実態について不明な部分が多い。一方、後者のビード進展き裂は目視可能であり、のど厚不足等に起因しき裂が数10cmと長く進展した状態で発見される事例も報告されている。いずれのき裂も、き裂が発見された部位のみならず、輪荷重載荷位置直下の同一構造の部位における将来のき裂発生の可能性を踏まえて、適切な対策を講じることが必要である。

このような背景から、土木研究所では民間企業4社と、共同研究「鋼床版橋梁の疲労耐久性向上技術に関する共同研究（その2・3・4）」（平成16～20年度）を実施し、既設鋼床版の疲労耐久性向上の一方策として、鋼繊維補強コンクリート（以下、SFRC）舗装を対象に、構造安全性や耐久性に関する実験的・解析的検証を行いつつ、設計、施工法の検討を行ってきた。本報告書は、これまでの研究成果や既存の関係機関の調査研究、施工実績等の技術的知見を踏まえ、既設鋼床版の疲労対策としてSFRC舗装を適用する場合の基本的な考え方、概ね妥当と考えられる使用材料、構造細目、施工方法等についてマニュアル（案）の形でとりまとめたものである。

SFRC舗装は鋼床版の疲労対策として期待される場所であるが、その耐久性については、実橋での様々な条件に対して必ずしも十分に確認できていない部分もある。適用に際しては、これまでの施工事例の経過や関係機関の調査研究の動向も参考にしながら、適宜改良を行っていくことが重要である。また、本マニュアル（案）に具体的に示されていない事項については、実験や解析等の妥当と考えられる検証等適切な技術的知見に基づいて検討を行う必要がある。

共同研究担当者名簿

機 関	氏 名	所 属	担当期間
独立行政法人土木研究所	村越 潤	構造物メンテナンス研究センター 上席研究員	H17.2～
	梁取 直樹	構造物メンテナンス研究センター 主任研究員	H18.8～
	宇井 崇	構造物メンテナンス研究センター 専門研究員	H18.7～H21.7
	石澤 俊希	構造物メンテナンス研究センター 交流研究員	H20.4～
	有馬 敬育	現 本州四国連絡高速道路株式会社	H17.2～H18.7
(その2) 株式会社横河ブリッジ	春日井 俊博	技術本部技術研究所 部長	H17.2～
	石井 博典	技術本部技術研究所 課長	H18.4～
	井口 進	技術本部技術研究所 課長	H17.2～
	西野 崇史	現 橋梁工事本部工事第二部 課長補佐	H17.2～H19.9
(その3) 株式会社 NIPPO	根本 信行	研究開発本部 技術研究所 所長	H17.2～
	尾本 志展	研究開発本部 技術研究所 課長	H17.2～
	石垣 勉	研究開発本部 技術研究所 主任研究員	H17.2～
(その4) 鹿島道路株式会社	加形 護	技術研究所 所長	H17.2～
	岩下 幸生	現 横浜支店長	H17.2～H21.3
	東 滋夫	技術研究所 次長	H17.2～
	児玉 孝喜	技術部 構造物解析・対策グループ 課長	H17.2～
	伊藤 清志	技術部 構造物解析・対策グループ 技術主任	H19.3～
	一瀬 八洋	技術部 構造物解析・対策グループ	H19.3～
(その4) 大成ロテック株式会社	中丸 貢	生産技術本部 技術部 工事支援室長	H17.2～
	辻井 豪	生産技術本部 技術部 部長	H17.2～
	越川 喜孝	生産技術本部 技術部 課長	H17.2～
	中塚 将志	生産技術本部 技術研究所 係長	H20.8～

目 次

1章 総 則	
1.1 適用の範囲	1
1.2 SFRC 補強工法の適用の基本的な考え方	2
1.3 用語の説明	4
2章 調 査	
2.1 一 般	6
2.2 構造条件の調査	6
2.3 損傷状況の調査	7
2.4 施工条件の調査	8
3章 設 計	
3.1 一 般	9
3.2 使用材料	10
3.2.1 一 般	10
3.2.2 コンクリート材料	10
3.2.3 鋼繊維	11
3.2.4 補強材	12
3.2.5 接着材	13
3.2.6 スタッド	15
3.3 鋼繊維補強コンクリートの配合設計	16
3.4 構造細目	20
3.4.1 一 般	20
3.4.2 打継目および舗装端部	21
3.4.3 補強材の配置	22
4章 施 工	
4.1 一 般	23
4.2 施工前調査	23
4.3 施工手順	24
4.4 施工計画	28
4.4.1 一 般	28
4.4.2 施工計画書	28

4.4.3	車線規制による施工	30
4.4.4	既設舗装撤去工	30
4.4.5	研掃工	31
4.4.6	接着材塗布から SFRC 打設までの工程	31
4.5	施工標準	33
4.5.1	材料の保管	33
4.5.2	既設舗装撤去工	33
4.5.3	研掃工	34
4.5.4	スタッド設置工	35
4.5.5	型枠設置工	36
4.5.6	接着材塗布工	36
4.5.7	補強材設置工	38
4.5.8	コンクリートの打込み	39
4.5.9	コンクリートの締固め	41
4.5.10	表面の仕上げ	42
4.5.11	コンクリートの養生	43
5章	維持管理	44
	参考文献	46
	付属資料	
付属資料-1	鋼床版の疲労耐久性向上技術の概要	47
付属資料-2	SFRC 舗装による実橋鋼床版のひずみ軽減効果に関する検討	52
付属資料-3	鋼床版の疲労対策としての SFRC 舗装の適用事例	56
付属資料-4	SFRC 舗装の疲労耐久性に関する検討	61
付属資料-5	接着材の性能確認のためのせん断強度試験	70
付属資料-6	鋼床版上 SFRC 舗装の FEM 解析例	85

1章 総 則

1.1 適用の範囲

本マニュアル(案)は、既設鋼床版の疲労耐久性の向上を図ることを目的として、アスファルト舗装の全厚を鋼繊維補強コンクリート（以下、SFRC）舗装に置き換える場合の設計、施工に適用する。

【解説】

本マニュアル(案)は、鋼床版の疲労耐久性向上策として SFRC 舗装を適用する場合（以下、SFRC 補強工法）の基本的な考え方、設計、施工の具体的方法、留意点等をまとめたものである。この工法は、アスファルト舗装と比較して剛性が高く、かつ比重のほぼ変わらない SFRC 舗装と鋼床版の一体化を図ることでデッキプレートの局部変形を抑制し、主にデッキプレートとUリブの溶接部の応力を軽減することにより、当該溶接部の疲労き裂の発生防止、進展抑制を目的としている。

図-1.1.1に、本マニュアル(案)の適用対象とする SFRC 舗装の標準的な構造を示す。図に示すように、デッキプレートに高耐久性のエポキシ系接着材を塗布した状態で、フレッシュコンクリート状態の SFRC を打設し、鋼床版と SFRC 舗装の一体化を図るものである。構成する主な材料の役割は以下のとおりである。

- 1) SFRC：既設アスファルト舗装に置き換え、舗装としての役割を担うとともに、デッキプレートとの一体化を図ることにより剛性を付与し、輪荷重載荷位置でのデッキプレート周辺溶接部の局部変形・応力の軽減を図る。
- 2) 接着材：鋼床版と SFRC 舗装の一体化を図ることを目的として、デッキプレート表面に塗布し、打込み後のコンクリートの硬化過程において両者を接合する。
- 3) スタッド：SFRC 舗装の打継目や舗装端部において、境界面への雨水の浸入による接着材の劣化や乾燥収縮等による端部の反り上がりによる劣化を抑制することを目的として、打継目および舗装端部の近傍に設置する。
- 4) 補強材：車両走行による負曲げを受け、ひび割れが発生する可能性の高い主桁ウェブ直上において、ひび割れ発生後の SFRC 舗装の一体性を保持し、耐久性を確保することを目的として、耐食性を有する格子状の補強材を舗装内部に設置する。

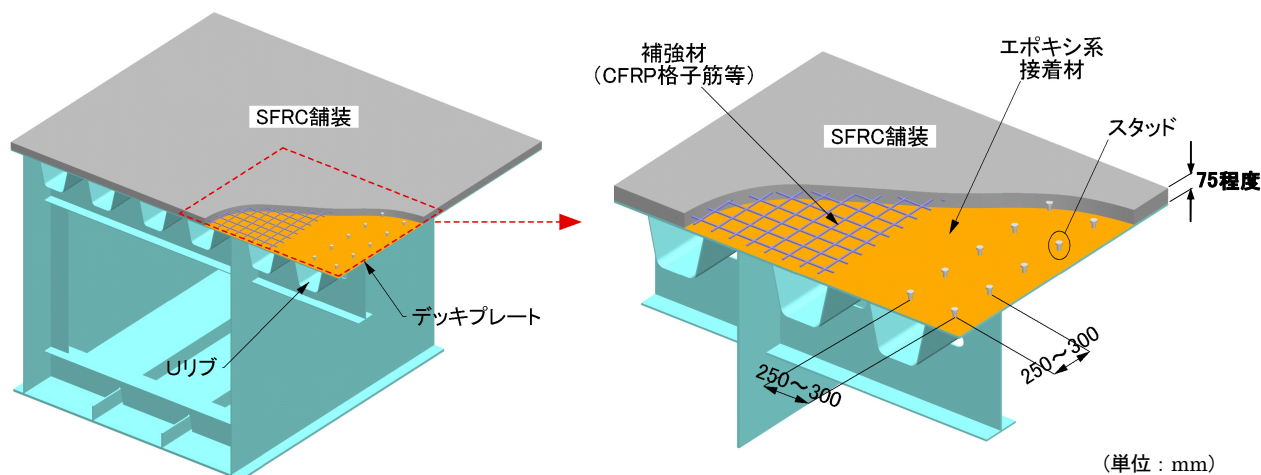


図-1.1.1 SFRC補強工法の構造の概要

本マニュアル(案)では、既設アスファルト舗装の全厚（75mm 程度）を SFRC 舗装に置き換える構造を適用対象としているが、この他にも都市部における騒音、路面排水等に対する配慮から、厚さ 50mm の SFRC 上に厚さ 30mm のアスファルト混合物を舗装し、二層構造とした施工事例も報告されている。同構造の適用にあたっては、構造細目が異なるとともに SFRC 上の接着・防水層、表層舗装の設計・施工等に適切な配慮が必要であるため、既存の施工事例を参考にする等別途十分な検討が必要である。なお、新設の鋼床版橋への適用については、SFRC 舗装の耐久性や維持管理に関して明確になっていない部分があるため、鋼床版本体の構造改良による耐久性向上を基本に考えるのがよい。

本マニュアル(案)に記載していない事項は、道路橋示方書・同解説 I 共通編、II 鋼橋編、III コンクリート橋編（（社）日本道路協会（2002 年 3 月））（以下、道示）によるものとし、舗装としての設計、施工に関する事項は舗装設計施工指針（平成 18 年度版）（（社）日本道路協会（2006 年 2 月））に準拠するものとする。また、SFRC の材料の要求品質・特性、施工に関しては以下の技術資料が参考になる。

- ・土木学会規準 JSCE-E101-2007 「コンクリート用鋼繊維品質規格」¹⁾
- ・鋼繊維補強コンクリート設計施工指針（案）：（社）土木学会（1983 年 3 月）

1.2 SFRC 補強工法の適用の基本的な考え方

SFRC 補強工法の適用にあたっては、疲労損傷の状況や進行の可能性、損傷が耐荷性能に及ぼす影響、他の対策と比較した場合の経済性、将来の舗装の維持管理計画等を十分に検討する。また、疲労損傷の状況に応じて、き裂の進展抑制に必要な対策を併用する。

【解説】

鋼床版橋の場合、損傷発生部位と同一の構造が橋軸方向に連続し、輪荷重の载荷条件が同じである場合が多く、疲労き裂が発見された場合には、他の同一構造部位からの将来のき裂の発生も想定する必要がある。したがって、SFRC 補強工法を適用する場合には、少なくとも損傷の見られる車線に関しては全長にわたって施工するのが妥当と考えられ、舗装の損傷状況や補修履歴、非破壊調査により推定されるデッキ進展き裂やビード進展き裂の発生・進展の状況、その他の構造部位のき裂の状況等を踏まえ、他の対策（当て板等による補強）との比較を行いつつ適用の可否や施工の範囲を判断するのが良い。また、SFRC 舗装の耐久性は、交通条件、施工条件、自然環境等の外的条件が複雑に影響し、現状では未解明の部分もあるため、将来の維持管理について十分に検討しておく必要がある。

SFRC 補強工法は鋼床版各部の疲労き裂の発生部位に対して応力軽減効果を期待できる対策工法である。しかしながら、既にデッキ進展き裂やビード進展き裂がある程度進展している場合には、低い応力下でもき裂が進展する可能性があることから、SFRC 舗装と併せて、き裂先端の状態確認および進展抑制のためにき裂先端部への切削による孔（以下、観察孔）と他の鋼部材による断面補強等の対策を検討する必要がある。鋼部材による断面補強等の併用対策は、SFRC 舗装を施工した後では施工困難となるので、事前に十分検討する必要がある。

図-1.2.1 に、き裂の進展抑制の対策選定フローを示す。また、既存き裂への対処の留意点を以下に示す。

1) デッキ進展き裂

既往の研究では、デッキプレート厚が 12mm の鋼床版に内在する深さ 7mm、長さ 62mm のデッキ進展き

裂に対して輪荷重走行試験（輪荷重 69kN、400 万回）を実施し、SFRC 補強工法によるき裂の進展抑制効果が確認されている^{1.2)}。また、デッキプレート厚の半分の深さ 6mm 程度のき裂であれば超音波探傷試験により検出が可能である^{1.3)}。したがって、き裂の進展状況を把握した上で、深さ 6mm 程度までの内在き裂に対しては、橋軸方向のき裂長が長い場合を除き、き裂の進展抑制対策は行わずに本工法のみを適用することが可能と考えられる。一方、深さ 6mm 程度を超え溶接線に沿ってある程度進展したき裂に対しては、その進展を SFRC 舗装のみで抑制することが可能であるか現時点では不明確であるため、き裂の発生状況を踏まえつつ適切な併用対策を検討する必要がある。既にき裂がデッキプレートを貫通しある程度進展している場合には、デッキプレート表面からき裂の状態を確認した上で、貫通したき裂先端を残さないように孔加工を施すとともに、当て板等による貫通部分を含む断面補強対策を併用する必要がある。

2) ビード進展き裂

前述の文献^{1.2)}では、溶接ビードを貫通したき裂（以下、ビード貫通き裂）を模擬した長さ 400mm のスリットの両側に観察孔を施工した実大鋼床版試験体を用いて、SFRC 舗装下で輪荷重走行試験（輪荷重 69kN、400 万回）を実施し、その模擬き裂が進展しないことが確認されている。このため、若干の余裕をみて、長さ 300~400mm 程度以下のビード貫通き裂については、き裂先端の孔加工を行った上で SFRC 舗装を適用する施工事例も報告されている^{1.4,1.5)}。一方、き裂が溶接ビードに沿って橋軸方向に著しく進展している場合や、き裂が溶接ビードを外れてUリブウェブに進展している場合には、き裂が枝分かれしてデッキプレート内に既に進展している可能性もある。このため、ビード内のき裂先端と考えられる箇所に観察孔を施工する等して、き裂のデッキプレート内への進展状況や溶接の状態を確認し、き裂の処理と破断部分に断面補強等の対策を行った上で、本工法を適用するのがよい。なお、溶接ビードに内在しているき裂については、本工法による応力軽減によりき裂の進展をある程度抑制することができると考えられる。

3) その他のき裂

付属資料-2 に示すように、上記以外の鋼床版の各部位に対してもその程度は異なるものの、SFRC 舗装によるひずみ軽減効果が期待できる。き裂の発生状況や進展の可能性に応じて、ストップホール、当て板等のき裂進展抑制対策を実施するのがよい。

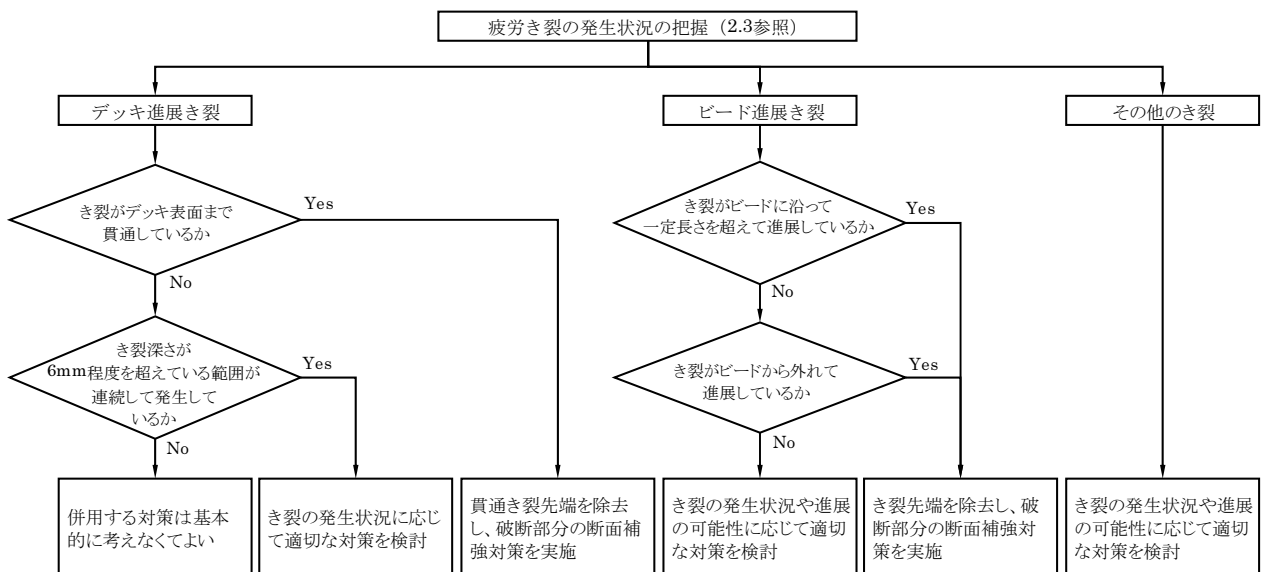


図-1.2.1 SFRC 補強工法適用時に併用する既存き裂の進展抑制の対策選定フロー

1.3 用語の説明

本マニュアル（案）において共通的に使用する主な用語の意味を示す。

(1) 鋼床版に関する用語

1) 鋼床版

デッキプレートを縦リブ、横リブで補剛した鋼製の部材で構成される床版をいう。

2) デッキプレート

鋼床版の構成部材のひとつで、縦横にリブにより補剛され、舗装を介して輪荷重を支持する鋼板（最小板厚 12mm）をいう。

3) Uリブ

鋼床版を構成する縦リブの一種で、U形の形状を有する閉断面の補剛材をいう。

(2) SFRC 舗装に関する用語

1) 鋼繊維

鋼材を繊維状に加工し、両端にフックを設ける等、コンクリートと付着がとれるようにしたコンクリートの補強材料をいう。

2) 鋼繊維補強コンクリート (SFRC : Steel Fiber Reinforced Concrete)

鋼繊維を混入することにより、引張強度や曲げ強度、せん断強度、靱性を改善したコンクリートをいう。

3) 鋼繊維混入率

鋼繊維補強コンクリート 1 m³中に占める鋼繊維材料の容積百分率 (%) をいう。なお、鋼繊維混入量 (kg/m³) は、鋼繊維混入率に比重 7.85 を乗じた値である。

4) 接着材

鋼床版と SFRC 舗装の一体化を図るために、SFRC 打設前に、境界部分であるデッキプレート表面に塗布し、SFRC 打設後のコンクリート硬化過程において両者を接合する材料をいう。

5) 補強材

SFRC 舗装に負曲げモーメントが作用する主桁ウェブ直上に設置される格子状の筋材をいう。

6) スタッド

舗装端部および打継目の近傍のデッキプレートに溶接され、SFRC 舗装内部に埋め込まれることでデッキプレートと SFRC 舗装の接合を図る鋼製の棒状の部材をいう。

7) 負曲げ部

活荷重によるデッキプレートの変形により、SFRC 舗装に負曲げモーメントを生じる主桁ウェブ、横リブの近傍の部分をいう。

(3) 疲労に関する用語

1) デッキ進展き裂

Uリブとデッキプレートの溶接ルート部または止端部から発生し、デッキプレート板厚方向に進展す

るき裂をいう。

2) ビード進展き裂

Uリブとデッキプレートの溶接ルート部から発生し、溶接ビードののど厚方向に進展するき裂をいう。

(4) 接着材に関する用語

1) 可使時間

主剤と硬化剤を混合し、接着材が容器等に保持された状態において、デッキプレート上に塗り広げることが可能な状態（粘度が増加し塗布作業が困難になるまでの状態）が持続されている時間をいう。

2) 打継ぎ可能時間

主剤と硬化剤を混合してからデッキプレート上にSFRCを敷き広げるまでの時間において、所要の接着性能を得ることができる限界の時間をいう。

(5) 施工工程に関する用語

1) 既設舗装撤去工

既存の舗装材料を取り除きデッキプレート面を完全に露出させる工程をいう。

2) 研掃工

SFRC舗装とデッキプレートとの間の良好な接着性を確保できるよう、デッキプレート表面の錆や付着物を完全に除去し、表面処理を行う工程をいう。

3) スタッド設置工

スタッドをデッキプレートの所定の位置に溶接する工程をいう。

4) 型枠設置工

SFRC舗装が所定の形状・寸法で舗設されるよう、所定の位置・高さに堅固な型枠を確実に固定する工程をいう。

5) 接着材塗布工

添接板等の突起部を含めたデッキプレートの全面および打継目に所定量の接着材を均一に塗布する工程をいう。

6) 補強材設置工

設計図に示された所定の位置・高さに補強材を設置するとともに、コンクリートの打込みや締固めによって移動しないよう確実に固定する工程をいう。

7) SFRC 打設工

SFRCの打込みから、締固め、表面仕上げ、養生までの一連の工程をいう。

2章 調査

2.1 一般

SFRC 補強工法の適用にあたっては、構造条件、損傷状況、および施工条件の調査を事前に実施し、設計・施工に反映する。

【解説】

SFRC 舗装の設計・施工に必要な事項についてあらかじめ既存の資料による調査や現場での調査により把握する必要がある。舗装や鋼床版の構造条件に関する情報を、竣工図書等より把握するとともに、現場においても図面との整合を確認する。また、施工時に新たにき裂が発見されて施工が中断するような事態を避けるために、き裂の発生箇所、進展状況を事前に確認し、必要に応じてき裂の進展抑制対策を実施しておく。さらに、施工場所の作業空間や交通規制条件、接着材や SFRC の施工に影響を及ぼす施工条件について調査を行い、施工計画に反映させる必要がある。

2.2 構造条件の調査

舗装仕様、鋼床版の縦断・横断勾配、構成部材の寸法諸元等の構造条件を竣工図書により把握するとともに、補修履歴を点検記録により把握する。また、その調査結果が現場の状況と合致していることを現場での調査により確認する。

【解説】

設計・施工に必要な対象橋梁の構造条件を、設計図面や架設計画図等により調査する。建設後に実施された補修工事等によって構造が変更されている場合もあるので、これまでの補修履歴を把握するとともに、調査結果と現場の状況が合致していることを現場で確認する。なお、既存の竣工図書で不明な事項については適宜現場での調査によって補完する。以下に主な調査項目を示す。

1) 舗装仕様

既設アスファルト舗装の構成、舗装厚さを調査し、SFRC 舗装厚を決定するとともに、既設舗装撤去の計画に反映する。

2) 鋼床版の縦断・横断勾配

鋼床版の縦断・横断勾配を確認し、施工時に接着材や SFRC がだれることのないよう、接着材の選定、SFRC の施工方法の検討に反映する。

3) 鋼床版の構成部材の寸法諸元

デッキプレートの板厚、縦リブの形状・寸法、横リブ間隔等を調査し、付属資料-4 に示す試験体の構造諸元（付表-4.2.1）や付属資料-6 に示す解析モデルの構造諸元（付表-6.1.1）と比較して SFRC 舗装に作用する負曲げに大きな相違が生じないか検討する。活荷重により SFRC 舗装に大きな引張ひずみが生じる箇所は、3.4.3 に示すように補強材の設置を検討する。また、縦リブ、横リブ、垂直補剛材、主桁ウェブなどデッキプレートに取り付く部材の位置を調査し、スタッドの設置位置や補強材の設置範囲、打継目の位置を決定する。

4) 鋼床版構造と車線位置との関係

鋼床版構造と車線位置との関係を調査し、損傷状況の調査範囲を設定するとともに、輪走行位置の直下とならないよう、打継目の位置を決定する。

5) デッキプレート上の突起物の有無と位置

ボルト、添接板、ハンドホール、架設用治具の除去痕等のデッキプレート上の突起物の有無と位置、高さを調査し、既設舗装撤去工の計画に反映する。

6) 鋼床版裏面の塗装仕様

鋼床版裏面の塗装仕様を調査する。鋼床版裏面には、一般的にグースアスファルト舗設時の温度（デッキプレート下面で180℃程度）に耐えられるような塗装系が採用されているため^{2.1)}、スタッド溶接時の入熱によって塗膜が損傷する可能性は小さい。しかし、タールエポキシ塗装などの耐熱性に配慮されていない塗装系が使用されている場合もある。このような場合には、スタッド溶接による塗膜損傷の有無について、事前に施工試験を実施するか、施工後に塗膜の状況を調査する。

7) 舗装および鋼床版の補修履歴

アスファルト舗装の打換え、補修履歴、鋼床版の補修履歴を調査し、損傷状況との整合を確認するとともに、疲労損傷の応急対策などのために既に取り付いている補強部材の有無を確認する。

2.3 損傷状況の調査

SFRC 補強工法を適用する前に、デッキプレートとUリブとの溶接部のき裂の状況について、デッキプレート下面での磁粉探傷試験や超音波探傷試験等により把握する。き裂がデッキプレート表面まで既に貫通している箇所もしくは深いき裂が疑われる箇所については、舗装を除去し、デッキプレート上面からの磁粉探傷試験や超音波探傷試験により損傷状況を把握する。

【解説】

SFRC を舗装しても、既にき裂がデッキプレート上面に向かってある程度の深さまで進展している場合には、低い応力でもさらに進展する可能性がある。このため、SFRC 舗装と併せて既に発生しているき裂の進展抑制のための対策を行う必要があるか、1.2 に示した考え方に基づいて検討しなければならない。特に、デッキプレートとUリブの溶接部の疲労き裂については、一旦 SFRC 舗装を施工すると鋼部材による断面補強が困難となるので、対策方法選定の判断のために磁粉探傷試験や超音波探傷試験等により詳細に調査する必要がある。なお、これらのき裂が溶接ビードやデッキプレートを貫通した状態になっている場合、アスファルト舗装にもその影響が及んでひび割れやポットホールが生じている可能性が高い。路面状況の調査を併せて実施して、このような貫通き裂の発生が疑われる状況が生じていないか確認する必要がある。

1) デッキ進展き裂の発生箇所、進展状況

デッキ進展き裂については、デッキプレート下面側からの超音波探傷試験を行い、き裂の発生箇所、板厚方向の深さ、ビード方向の長さを調査する。き裂深さが6mm程度を超えるデッキ進展き裂が連続して発生していると推測され、き裂先端の進展抑制対策が必要な箇所については、近傍の舗装を撤去し、デッキプレート上面側から磁粉探傷試験や超音波探傷試験により、き裂先端の位置等の進展状況を調査する。

2) ビード進展き裂の発生箇所、進展状況

ビード進展き裂のうち、溶接ビードを貫通したき裂（以下、ビード貫通き裂）は、デッキプレート下面からの目視により発見できるので、路下からの目視調査によりその有無を確認する。ビード貫通き裂を発見した場合、磁粉探傷試験により、その位置、長さを調査する。なお、磁粉探傷試験に関して、乾式磁粉探傷試験では、き裂の先端を正確にとらえられない可能性があるため、紫外線探傷灯を使用して蛍光発色させる湿式蛍光磁粉探傷試験とするのが望ましい。

2.4 施工条件の調査

施工場所の作業面積、作業空間、交通規制条件、周辺環境を調査するとともに、接着材や SFRC の施工に影響を及ぼす外気温や天候等の環境条件を、気象観測データや現場での調査等により把握する。

【解説】

施工計画の作成に際しては、2.2 に示した構造条件に加えて、以下に示す施工条件を調査する。

1) 施工場所の作業面積、作業空間、交通規制条件、周辺環境

施工場所の作業面積、作業空間、交通規制条件は、工事用諸設備の位置、使用機械機器、作業方法などを選択するうえで重要な要素となるため、現場での調査により把握する。供用中の道路では、交通規制の時間、区間および形態等の制約条件により施工計画が大きく左右される。既設鋼床版での施工では交通規制を伴うため、道路交通量・利用状況を調査するとともに、近隣箇所での他の道路工事の予定を把握しておく必要がある。

連続して車線規制を実施して1車線用の機械を使用して施工する場合には、搬入機械の入退場の管理を念頭において施工計画を立案する。交通止めにより施工する場合には、一回の施工でより広い範囲の SFRC を舗設することが可能であるため、コンクリートの供給量や供給方法を考慮して施工方法を検討する。また、周辺が住宅地の場合、低騒音型の機械を使用するなどの配慮が必要となる。

夜間のみ交通規制下で施工する場合には、作業時間の制約から、舗装撤去後に仮舗装を施工し、日を改めて仮舗装を撤去し、超速硬コンクリートを使用した SFRC 舗装の施工を行う必要がある。この場合、一回の施工による舗設範囲は小規模となるため、人力での施工になることも考えられる。

2) 自然環境等の外的条件

SFRC 補強工法では、施工現場の気温、デッキプレートの温度等の環境が使用材料に適していない場合、施工品質の確保が難しい場合がある。特に、接着材は温度により可使時間や打継ぎ可能時間が大きく異なるため、施工時の温度に適したものを使用する必要がある。したがって、気象観測データ等の調査により、現場での施工時の気温変化、デッキプレートの温度等を想定しておくとともに、施工直前に現場調査を実施して想定した状況の妥当性を確認する。

鋼床版や周囲の温度が高温になると予測される場合には、接着材の可使時間が著しく短くなる可能性があるため、夜間に施工する、使用時の温度に適合できる接着材を使用する等の対策を講じるとよい。一方、鋼床版や周囲の温度が低温になると予測される場合には、コンクリートの強度発現の遅延、接着材の粘度上昇による作業性の悪化、品質不良の発生等が懸念されるため、コンクリートの保温・給熱養生、コンクリートの練混ぜ温度を上げる、接着材を保温する等の対策を事前に効果を確認した上で講じるとよい。

3章 設 計

3.1 一 般

- (1) SFRC 舗装の設計においては、以下の項目を満足するものとする。
- 1) 大型の自動車の繰返し走行に対して、デッキプレートの局部変形を抑制し、デッキプレートとUリブの溶接部周辺の局部応力が十分に軽減されるように、SFRC 舗装はデッキプレートとの一体化を図るとともに、十分な厚さと剛性を有するものとする。
 - 2) SFRC 舗装のひび割れ、打継目部および舗装端部からの水の浸入に対して、補強効果が低下しないように、デッキプレートと SFRC 舗装の接合は十分な耐久性を有するものとする。
 - 3) SFRC 舗装は、ひび割れの発生および進展を極力抑制できるよう、十分な耐久性を有するものとする。
- (2) 本章に示される材料および構造による SFRC 舗装は(1)を満足するとみなしてよい。この場合、4章にしたがって適切に施工および施工管理が行われることを前提とする。
- (3) 必要に応じて、鋼床版と一体化を図ることによる橋体及び SFRC 舗装への影響を適切に考慮する。

【解説】

- (1) (2) 鋼床版の疲労耐久性向上対策として、SFRC 舗装に求められる性能を示した。本共同研究では、これまでの SFRC 舗装の適用実績や他機関の調査研究も参考にしながら、特に SFRC 舗装による補強効果の持続性や舗装自体の耐久性に焦点を当てて、その性能と照査方法について実験、解析的検討を進めてきた。疲労試験の結果によれば、主桁ウェブ直上等の負曲げを生じる部分では SFRC 舗装にデッキプレートに到達するひび割れが生じるもののそれ以降の損傷進展は見られず、試験後もデッキプレートと SFRC との接着は保持され、応力軽減効果は確保されている。

以上の点を踏まえて本マニュアル(案)では、現時点で概ね妥当と考えられる材料、構造、性能確認のための試験方法等を標準として示すとともに、個別橋梁の状況に応じた設計上の留意点を示すこととした。また、本工法の品質は施工に依存するところが大きいため、設計の前提となる施工方法および施工管理方法について4章に示した。

本マニュアル(案)に示す SFRC 補強工法は、構成するデッキプレート、縦リブおよび横リブ等の構造諸元によらず、既設鋼床版に対して基本的に適用可能と考えられる。ただし、Uリブ支間が長い構造、Uリブの寸法形状が特殊な構造、ブラケットの張出しが大きい構造等、既存の実験や解析で適用性が確認された構造（付属資料-4の付表-4.2.1, 付属資料-6の付表-6.1.1）と比べて負曲げ等によるひび割れ発生に対する条件が不利となる場合には、FEM 解析等により SFRC 舗装に発生するひずみを確認し、引張ひずみが大きくなる箇所に3.2.4に示す補強材の設置を検討する等、適宜、構造面でのひび割れ抑制対策を施す必要がある。

- (3) 既設のアスファルト舗装を同厚の SFRC 舗装に置き換える場合、両者の単位重量は同程度であるため、死荷重はほとんど変化せず、死荷重応力もほとんど増加しない。SFRC 舗装と鋼床版の合成効果により、鋼桁には新たに SFRC の乾燥収縮による応力や温度差応力が加わるものの、これらによる増加分はわずかであり、合成効果による活荷重応力の軽減分によってほぼ相殺される傾向にある。したがって、SFRC

舗装と鋼床版の合成効果の橋全体系への影響について一般的には考慮する必要はない。ただし、舗装を厚くする場合や、鋼床版に大規模な補強対策を併用する場合等、死荷重の大幅な増加が見込まれる場合には、鋼床版および鋼桁への影響を確認する必要がある。SFRC 舗装に発生する主桁作用による活荷重応力については、鋼桁上フランジの設計活荷重応力から推定する等、作用応力として問題ないことを確認するのが望ましい。

3.2 使用材料

3.2.1 一般

使用材料は、本章に規定するものを除き、道路橋示方書 I 共通編 3.2.1 に示される特性、品質を有するものを使用する。

3.2.2 コンクリート材料

コンクリート材料は、道路橋示方書 I 共通編 3.2.2 (1) に示される特性、品質を有するものを使用する。

【解説】

道示 I 共通編 3.2.2 (2) によれば、表-3.2.1 に示す規格に適合する材料については、所要の品質を有するものとみなしてよいとしている。また、コンクリート材料の選定にあたっては、以下の事項に留意する。

表-3.2.1 コンクリート材料の規格

材料の種類	規 格		摘 要
1) セメント	JIS R 5210	ポルトランドセメント	早強セメント
2) 水	JIS A 5308 附属書9	レディーミクストコンクリートの練混ぜに用いる水	
3) 骨材	JIS A 5308 附属書1	レディーミクストコンクリート用骨材	
4) 混和剤	JIS A 6204	コンクリート用化学混和剤	

(1) セメント

疲労損傷の生じる鋼床版橋梁は重交通条件下にあることが多く、交通規制を伴う SFRC 舗装の施工では時間的制約を受けることが考えられる。夜間のみ交通規制で施工する場合、交通開放できるだけ強度が早期に得られる超速硬セメントを使用し、現場用コンクリートプラントにより製造した鋼繊維補強コンクリートを用いる必要がある。超速硬セメントについては、参照できる適当な規格・基準が定められていない。このため、これまでの SFRC 補強工法や RC 床版の上面増厚工法^{3.1)}への使用実績を参考にするとともに、使用する接着材との相性をせん断強度試験等により確認した上で、材料を選定することが望ましい。一方、連続して交通規制が可能な場合には、レディーミクストコンクリート工場から出荷した早強ポルトランドセメントを用いたコンクリートの使用を標準とする。

(2) 細骨材

砕砂は単位水量を大幅に増加させる傾向があるので使用しないことが望ましい。やむをえず、砕砂を

使用する場合は、JIS A 5005「コンクリート用砕石および砕砂」に適合するとともに、試験練り等を実施して所要の品質を確保できることを確認する必要がある。

(3) 粗骨材

粗骨材の最大寸法と鋼繊維の長さの関係は SFRC の曲げ強度に影響を及ぼすため、鋼繊維の長さの 2/3 以下、かつ舗装厚の 1/2.5 以下とするのが望ましいとされている^{3.1)}。また、アルカリ骨材反応に対する安定性については、無害と判定された骨材以外は用いてはならない。

(4) 混和剤

打込み時に適切なワーカビリティを有する範囲で単位水量を減じるために、鋼繊維コンクリートには高性能減水剤（もしくは高性能 AE 減水剤）を使用するとよい。超速硬セメントを用いる場合には、専用の凝結遅延剤を使用して可使時間（練り混ぜてから仕上げが不可能となるまでの時間）を確保する。また、乾燥収縮量の低減を図る観点から、早強コンクリートを用いる場合には膨張材を添加することを標準とする。膨張材としては、JIS A 6202「コンクリート用膨張材」に適合し、添加量に対する効果が確認されたものを用いる必要がある。

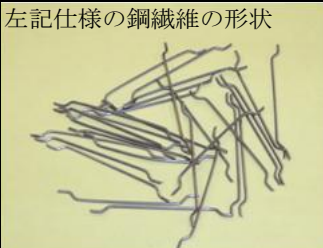
3.2.3 鋼繊維

鋼繊維は、コンクリートのひび割れに対する抵抗性を改善する効果を有するものを使用することとし、コンクリート中の粗骨材の最大寸法に配慮する。

【解説】

SFRC の強度、ひび割れに対する抵抗性は、鋼繊維の寸法形状や混入率によって変化するが、これまでの適用事例では、一般に土木学会規準「コンクリート用鋼繊維品質規格（JSCE-E101）」に適合する表-3.2.2 に示す鋼繊維が使用されている。本マニュアル（案）では、これまでの調査研究や適用事例を踏まえ、表中の鋼繊維を使用し、SFRC の配合設計においては 3.3 節によることを標準としている。

表-3.2.2 鋼繊維の例

材 質	JIS G 3532 に適合した鉄線		左記仕様の鋼繊維の形状 
形 状	両端フック型		
寸 法	直 径	0.6mm	
	長 さ	30mm	
引 張 強 度	600N/mm ² 以上		

3.2.4 補強材

- (1) 補強材には、ひび割れを生じた SFRC 舗装の耐久性が確保できるよう、格子状の筋材を使用することを標準とする。
- (2) 補強材は、ひび割れから水が浸入した場合でも品質が損なわれないものでなければならない。
- (3) 補強材の形状寸法、材質の決定にあたっては、コンクリートのかぶりに配慮するとともに、施工性に悪影響のないことを確認しなければならない。

【解説】

主桁ウェブ直上等の負曲げを生じる部分では、SFRC 舗装にひび割れが生じる可能性が高い。このひび割れ発生以降、接合面の剥離やひび割れの進展等の損傷過程は、既往の疲労試験で確認されているわけではないが、ひび割れが生じた後の SFRC 舗装の一体性を保持し、耐久性を確保するために補強材を使用することとした。

補強材には、格子状の筋材で、SFRC の一体性を保持するために必要な強度、剛性を有するとともに、耐食性に優れた材料を使用する必要がある。また、SFRC 舗装は薄いコンクリート構造であるため、補強材の形状寸法、材質の決定にあたっては、その断面内に適切に定着できるようコンクリートのかぶりに配慮するとともに、コンクリートの敷均しや締固め等の施工に悪影響のないことを確認することが重要である。また、施工時に変形や破損が生じることなく所定の位置を保持できるものでなければならない。

実橋における施工事例^{3.3)}^{3.4)}においては、耐久性を確保するための強度および剛性を有し、軽量でハンドリングが容易であり、ひび割れから水が浸入しても腐食の懸念がないことから、表-3.2.3 に示す炭素繊維強化プラスチック (CFRP) を 100mm 間隔の格子状に成型した CFRP 格子筋が使用されている。なお、既往の疲労試験において、CFRP 格子筋を設置することによるひび割れ分散効果が確認されている。

表-3.2.3 補強材の例 (CFRP 格子筋)

材 質	炭素繊維強化プラスチック (CFRP)	左記仕様の補強材の形状 
材 料 寸 法	2,000 mm × 3,000 mm	
筋 材 断 面 積	39.2 mm ² (約6.3mm×6.3mm)	
筋 材 引 張 強 度	1,400 N/mm ²	
筋 材 引 張 弾 性 率	1.0×10 ⁵ N/mm ² (参考) (鋼材:2.0×10 ⁵ N/mm ² コンクリート:3.0×10 ⁴ N/mm ² 程度)	
筋 材 ピ ッ チ	100 mm	
単 位 重 量	1,120 g/m ²	

注) メーカーの技術資料をもとに作成

3.2.5 接着材

- (1) SFRC 補強工法に用いる接着材は、対象橋梁のおかれている施工条件、環境条件のもとで、所要の強度、耐久性を有するとともに、良好な施工性を有するものでなければならない。
- (2) 接着材は、表-3.2.4 に示す試験項目に対して性能が確認されたものを使用することを標準とする。

表-3.2.4 接着材の性能確認のための試験項目

項 目		試験に考慮する条件等		
		試験頻度及び考慮する条件	環境負荷条件	試験方法及び試験結果の評価の目安
強度	接合部* の接着強度	以下の材料の組合せを考慮して確認する。 ・接着材 ・セメント ・プライマー（使用する場合）	【環境負荷】 なし 【試験温度】 -10℃、20℃、50℃	せん断強度試験（付属資料-5） 接着材とSFRCとの混合層あるいはSFRCでの破壊の面積割合が90%以上
		以下の材料の組合せを考慮して確認する。 ・接着材 ・セメント ・プライマー（使用する場合） また、工事毎に以下の施工条件を考慮して確認する。 ・デッキプレートの温度 ・SFRC打設までの時間間隔 ・SFRCの配合	【環境負荷】 なし 【試験温度】 20℃	引張接着強度試験（付属資料-5） 接着材とSFRCとの混合層あるいはSFRCでの破壊の面積割合が90%以上
耐久性	接合部の 温度変化と 水に対する 耐 久 性	以下の材料の組合せを考慮して確認する。 ・接着材 ・セメント ・プライマー（使用する場合）	【環境負荷】 50℃の水中に27日間 浸漬した後、1日気中 で乾燥 【試験温度】 20℃	せん断強度試験（付属資料-5） 接着材とSFRCとの混合層あるいはSFRCでの破壊の面積割合が90%以上
	接合部の 疲労耐久性	以下の材料の組合せを考慮した上で、活荷重の載荷条件、接合部の作用力を適切に反映できる疲労試験方法により確認する。 ・接着材 ・セメント ・プライマー（使用する場合）		

※デッキプレートに接着材を塗布しフレッシュコンクリート状態でSFRCを打設した場合の接合部を指す。

【解説】

- (1) SFRC 補強工法に用いる接着材は、長期にわたって舗装と鋼床版の一体化が図れるように、十分な強度を有するとともに、自動車荷重の走行により繰り返し作用する力、温度変化あるいは水の影響による経年的な劣化の影響に対して耐久性が損なわれない接着性能を有する必要がある。また、現場で想定される施工条件のもとで、塗布の作業性が良好で、かつ、ダレ等が少なく所定の塗膜厚を確保できる接着材でなければならない。
- (2) 本共同研究で検討した結果を踏まえ、実験により接着材の性能を確認する一方法について示した。現状では、SFRC 補強工法に用いる接着材の強度、耐久性を直接的に照査する適切な方法を提示するには至っていないが、これまでの実験や解析等を踏まえ、材料（接着材、セメント、プライマー）の組合せを考慮して①せん断強度試験、②引張接着強度試験、③疲労試験の3種の試験により接着材の強度と耐久性を確認することとした。同じ材料の組合せのもとで既に同等以上の性能が確認されている場合には、その結果を参考にすることができる。①の試験を各工事において実施することは実質難しいが、一方で施工条件（施工時のデッキプレートの温度、SFRC 打設までの時間間隔）やSFRCの配合等は工事毎に異なる場合があることから、これらの条件を考慮した②の試験を行うこととした。③については、活荷

重による接合部の損傷を適切に評価できる疲労試験により性能確認を行うこととした。なお、ここでいう強度とは、必ずしも接着材自体の強度を意味するものではなく、接着材により接合された部分（接着面）の強度を指している。

接着材の強度は、種々の要因による強度の経年劣化を考慮した上で、想定される各種の荷重により接着材および接着面に生じる作用力（主にせん断応力）に対して適切に安全余裕を見込んで決定される必要がある。しかし、鋼床版上の舗装のような複雑な環境負荷条件、荷重条件に対する、接着材の経年劣化を定量的に評価するための試験方法は確立されておらず、また、薄い接着材層に作用するせん断応力の評価にも不確実な面がある。このため、接着材に要求されるせん断強度を設定し、その耐久性を直接的に照査するための適切な方法は現時点ではないが、これまでの試験（付属資料-5）等を踏まえ、表-3.2.4の試験項目を確認方法として示した。

① せん断強度試験

i) 環境負荷条件

使用する材料（接着材、セメント、プライマー）の組合せを考慮したせん断強度試験により、せん断強度および温度変化と水に対する耐久性を確認する。実鋼床版での環境条件を考慮し、試験温度-10℃、20℃、50℃で試験を行い、各温度におけるせん断強度を確認するとともに、50℃の水中に27日間完全に浸漬した後、気中で1日乾燥させた場合のせん断強度（試験温度20℃）と比較することによって、温度変化と水に対する耐久性を確認することとした。なお、表-3.2.4に示す環境負荷条件（水、温度変化）に対して、ガラス転移点が低い等、強度や耐久性が期待できない接着材は、適用してはならない。

ii) 試験結果の評価の目安

接着性能が高く、性能のばらつきが小さい、耐久性に優れた接着を実現するための基本は、接着部の破壊状態が界面破壊ではなく、凝集破壊（材質破壊であればなお望ましい）であるとされている^{3.5)}。ここで、界面破壊とは接着材と被着体との界面で破壊する状態であり、凝集破壊とは接着層内で破壊する状態である。また、材質破壊とは接着面は破壊されずに被着体が破壊される状態である。これらの破壊状態のうち、接着性能の信頼性の観点から最も望ましいのは材質破壊である。また、凝集破壊と界面破壊を比較すると、界面破壊の場合には接着性能のばらつきが大きく、性能の信頼性が低下し、接着材の性能としては不十分であるとされている^{3.5,3.6)}。

本マニュアル(案)では、これまでのSFRC舗装への接着材の使用実績や本共同研究での試験結果を踏まえて、破壊面での材質破壊（接着材とSFRCとの混合層あるいはSFRC部分での破壊）の面積割合が90%以上であることを良好な接着性能を有していることと目安とした。一方、せん断強度については、所要のせん断強度を提示できないこと、試験治具の相違（せん断面から載荷中心までの距離等）により異なること等から、特に強度の目安値を示さないこととしたが、材質破壊であれば十分な接着強度が得られているものと考えられる。本共同研究で実施したせん断強度に係る試験方法については付属資料-5に示したので、強度特性の確認のための一方法として参考にされた。

② 引張接着強度試験

デッキプレートの温度や、SFRC 打設までの時間間隔、SFRC の配合、プライマー（使用する場合）を工事の条件にあわせた引張接着強度試験により、①、③の試験では考慮されていない条件が接着性能に悪影響を及ぼさないことを補足的に確認するものである。これらの影響についても、せん断強度試験により確認するのが理想的であるが、①、③の試験による性能確認が行われていることを前提として、各工事では比較的簡便な引張接着強度試験によって強度の確認を行うこととした。引張接着強度に係る試験方法については付属資料－5 に示したので、強度特性の確認のための一方法として参考にされたい。

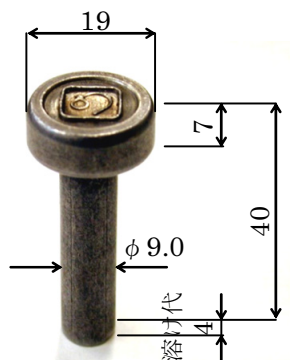
③ 疲労試験

接着材の疲労耐久性については、接着材の種類によって異なることが想定される。また、輪荷重直下では、輪荷重の移動載荷に伴い、接合部には複雑な応力が作用するものと考えられる。

したがって、疲労耐久性についても、接着材毎に、実橋での活荷重の載荷条件、接合部の作用力を適切に反映できる疲労試験により確認する必要がある。現時点で性能確認のための試験方法は確立されていないが、このような試験状況を再現する現実的な耐久性の確認手法として、付属資料－4 に輪荷重走行試験等による検討結果を示したので、疲労耐久性の確認のための一方法として参考にされたい。

3.2.6 スタッド

図－3.2.1 に示す頭付きスタッドを使用することを標準とする。



標準寸法				
直径 (mm)	頭部径 (mm)	頭部厚 (mm)	長さ (mm)	溶け代 (mm)
9	19	7	40	4

機械的性質		
引張強さ (N/mm ²)	降伏点 (N/mm ²)	伸び (%)
400～550	235以上	20以上

図－3.2.1 頭付きスタッドの標準寸法と機械的性質

【解説】

舗装表面から境界面への雨水等の浸入による端部境界面の部分的な劣化や、乾燥収縮等による端部の反り上がりによる劣化を抑制する役割を期待し、SFRC 舗装の打継目、舗装端部の近傍に頭付きスタッドを設置することを標準とした。長いスタッドを用いれば反り上がりに対する抵抗性が増すと考えられるが、一方でコンクリートのかぶりが薄くなり、かぶり部のひび割れ抵抗性が小さくなる他、ひび割れから浸入した水の影響を受けやすくなる等の懸念があることから、スタッドのかぶりとして最低でも 20mm 程度確保する必要

があるとされている^{3.7)}。このため、75mm程度の舗装厚の中でスタッドの長さとかぶりの両方がある程度確保できるように、長さ40mmのスタッドを使用することを標準とした。この寸法形状のスタッドはJIS規格にはないが、鋼床版とSFRC舗装との接合に使用された実績も多く、専用の溶接銃も含めて入手が比較的容易である。寸法公差、機械的性質等については道示Ⅱ鋼橋編11.5.8およびJIS B 1198「頭付きスタッド」に準じることとする。なお、将来的に舗装の上層部30mm程度を切削して表層のSFRCを打ち換えることを想定し、長さ30mmのスタッドを使用し、改造した溶接銃を用いて溶殖した事例^{3.4)}もある。

3.3 鋼繊維補強コンクリートの配合設計

- (1) SFRCは、強度、耐久性、水密性、作業に適するワーカビリティ等の所要の特性を有し、かつ、品質のばらつきの少ないものでなければならない。
- (2) 使用材料は、標準的には、1)から10)の条件を満たした配合とすればよい。
 - 1) SFRCは、所要の強度、耐久性、水密性、打込み時における適切なワーカビリティを有する範囲で、単位水量をできるだけ少なくするように配合設計する。
 - 2) SFRCに使用するセメントは、施工の条件を考慮して適切に選定する。
 - 3) 鋼繊維混入量は、100～120kg/m³程度を標準とする。
 - 4) 水セメント比は、SFRCの所要の圧縮強度ならびに耐久性を考慮して定める。原則として水セメント比は50%以下とする。
 - 5) 粗骨材の最大寸法は鋼繊維長さの2/3以下、かつ、部材最小寸法（舗装厚）の1/2.5以下を標準とする。
 - 6) 細骨材率は、所要のワーカビリティが得られる範囲内で、単位水量をできるだけ少なくするよう試練りによって定める。
 - 7) スランプは、6.5±1.5cmを標準とする。
 - 8) 空気量は、早強コンクリートを用いた場合には4.5±1.5%を標準とする。
 - 9) SFRCの設計基準強度は、表-3.3.1に示すとおりとする。

表-3.3.1 SFRCの設計基準強度

コンクリート	養生方法	材齢	設計基準強度	試験方法
超速硬コンクリート	湿空	3時間	24N/mm ² 以上	JIS A 1108
早強コンクリート	水中	7日	30N/mm ² 以上	

- 10) コンクリートの乾燥収縮量は、その影響によってSFRC舗装に有害なひび割れを生じることのないよう、十分に小さいものでなければならない。

【解説】

- (1) SFRCは、フレッシュコンクリートおよび硬化コンクリートとしての所要の特性や品質を有する必要がある。フレッシュコンクリートとしては、構造物の構造条件や施工条件下において均質かつ密実に施工することのできるワーカビリティ、凝結特性を有する必要がある。一方、硬化コンクリートとしては、所要の強度、耐久性を有する必要がある。また、コンクリートが所要の機能を発揮するように、特性や

品質のばらつきは十分に小さくしなければならない。コンクリートの特性や品質は、構成材料の特性や品質だけでなく、配合、施工による影響を大きく受ける。したがって、これら全ての工程においてコンクリートに要求される特性を実現するための適切な配慮が必要である。

- (2) SFRC の所要の性能を確保するために考慮すべき項目を具体的に示したものである。ここで示した標準値は、早強コンクリートにおいて鋼繊維を現場で投入する場合、および超速硬コンクリートにおいて1車線規制の中で荷降ろしが可能なフィニッシャを用いた場合を対象としたものであり、施工条件が異なる場合には事前の施工試験により十分な検討を行う必要がある。

SFRC の配合設計手順を図-3.3.1に示す。SFRC 舗装の施工実績や「鋼繊維補強コンクリート設計施工指針（案）」（土木学会）を参考にして暫定配合を設定し、試し練りを行う。スランプが目標の範囲に収まらない場合は、単位水量を補正しながら試し練りを繰り返す。表-3.3.2、3.3.3 にそれぞれ超速硬セメント、早強ポルトランドセメントと膨張材を使用した配合例を示す。

以下に各項目について留意点を示す。

- 1) 単位水量の多いコンクリートでは、乾燥収縮によるひび割れを生じやすく、また材料分離を起こしやすい。所要の強度、耐久性および水密性をもつコンクリートを製造するためには、作業に適するワーカビリティが得られる範囲で、単位水量をできるだけ少なくすることが重要である。

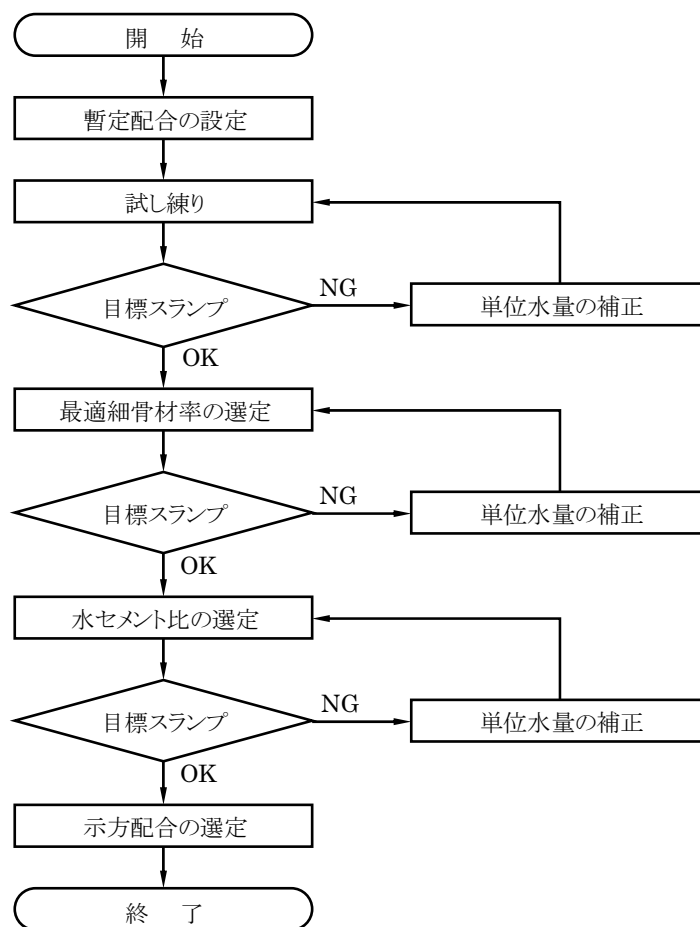


図-3.3.1 鋼繊維補強コンクリートの配合設計手順

表-3.3.2 超速硬セメントを使用した配合例

粗骨材の最大寸法 (mm)	水セメント比 (W/C) (%)	細骨材率 (s/a) (%)	鋼繊維混入量 (kg/m ³)	目標スランブ (cm)	単位量 (kg/m ³)				高性能減水剤 (C×%) Ad	凝結遅延剤 (C×%)
					水 W	超速硬セメント C	細骨材 S	粗骨材 G		
13	39.5	51.2	100	6.5±1.5	170	430	849	848	2.0	0.5

注1) 単位水量には高性能減水剤を含む

注2) 目標スランブは、鋼繊維混入後の値

表-3.3.3 早強ポルトランドセメントと膨張材を使用した配合例

粗骨材の最大寸法 (mm)	水結合材比 W/(C+EX) (%)	細骨材率 (s/a) (%)	鋼繊維混入量 (kg/m ³)	目標スランブ (cm)	目標空気量 (%)	単位量 (kg/m ³)					高性能AE減水剤 ((C+EX)×%) Ad
						水 W	セメント C	膨張材 EX	細骨材 S	粗骨材 G	
13	43.0	57.9	120	6.5±1.5	5.0±1.5	175	387	20	956	700	1.6

注1) 単位水量には高性能AE減水剤を含む

注2) 目標スランブおよび目標空気量は、鋼繊維混入後の値

- 2) 交通規制時間を短くする必要がある場合には、交通開放できるだけ強度を早期に得られる超速硬セメントを使用し、現場用コンクリートプラントにより製造した SFRC を用いるのがよい。一方、長期的に交通規制が可能な場合には、生コン工場において早強ポルトランドセメントを用いて製造したコンクリートに、現場で鋼繊維を混入した SFRC を用いることを標準とする。配合強度は、所要の強度が得られるよう適切に設計基準強度を割増して設定する。なお、超速硬セメントを現場用コンクリートプラントで製造する場合には、設計基準強度に割増し係数 1.25 を乗じた値を配合強度とするのがよい。これは、「上面増厚工法設計施工マニュアル」^{3.1)}の知見を参考にして変動係数を 12% とし、現場における圧縮強度の試験値が設計基準強度を下回る確率が 5% となるように決定したものである。
- 3) 鋼繊維混入量は、曲げ・引張・せん断等の各種強度、ひび割れ発生後のエネルギー吸収能（タフネス）およびひび割れ拘束機能等の硬化コンクリートの力学的特性、コンクリートのワーカビリティ・空気量・練混ぜ性能・フィニッシュビリティ等にも大きく影響する。鋼繊維混入量は、ファイバーボールが発生しないように、SFRC の製造方法に応じて適切に定めなければならない。これまでの施工実績^{3.3) 3.4)}等を考慮して、鋼繊維混入量は 100~120kg/m³ 程度を標準とした。
- 4) SFRC のセメント水比と圧縮強度の間には、超速硬セメント、早強ポルトランドセメントともに、ほぼ直線的な関係があることから、セメント水比は所定の材齢における配合強度に基づいて決定する。
- 5) SFRC の版厚が 75mm 程度の場合、SFRC 舗装に適用実績のある長さ 30mm の鋼繊維を使用すると、粗骨材の最大寸法は 20mm 以下とする必要がある。
- 7) スランブは、所要のワーカビリティが得られる範囲内で、できるだけ小さくすることが重要である。本マニュアルでは、施工実績や「鋼繊維補強コンクリート設計施工マニュアル」^{3.2)}を参考にして、スランブとして 6.5cm±1.5cm を標準とした。これは、これまでの施工事例より、早強コンク

リートに現場で鋼繊維を投入してアジテータ車で排出する場合の排出のしやすさや、超速硬コンクリートにおいて1車線用の軽量化した専用フィニッシャーを用いる場合の施工性を踏まえて目安として設定したものである。ただし、スランプは、運搬方法、打込み方法、締め固め方法等の施工条件に応じて最適値が変化するため、事前の施工試験により十分な検討を行った上で、 $5.0\sim 8.0\pm 1.5\text{cm}$ の範囲内で設定してもよい。例えば、圧送距離が長い場合や、圧送に高低差がある場合等に、施工性の観点からスランプを大きく設定した事例がある。スランプが大きい場合、変形や材料分離が生じやすくなり、ダレの発生も懸念されるため、勾配の大きい箇所においては、スランプの最大値を8cm以下とすることが望ましい。なお、スランプ試験は、現場での荷降ろし位置でSFRCを採取して行うものとする。

超速硬コンクリートを用いる場合は、表面仕上げに配慮し、凝結遅延剤等を用いて60分以上のハンドリングタイム（コンクリートを練り混ぜてから敷均し作業が可能な時間）を確保するのがよい。

- 8) 適切な空気量は、ワーカビリティを改善するとともに、凍結融解作用に対する耐久性の向上にも寄与する。しかしながら、空気量が増すと強度が低下するため、過度に空気量を多くしないように留意する必要がある。本マニュアルでは、施工実績を参考にして、早強コンクリートを用いる場合の空気量として $4.5\pm 1.5\%$ を標準とした。ただし、積雪寒冷地では、凍結融解抵抗性を高める必要があるため、施工試験等により十分な検討を行ったうえで、空気量を大きく設定しても良い。この場合、空気量は $4.0\sim 7.0\pm 1.5\%$ の範囲内で定めるのが望ましい^{3.8)}。

超速硬コンクリートを用いる場合は、3時間程度で設計基準強度を発現するため、凝結遅延剤を用いる場合であっても空気量を設計して導入することは困難である。一般には、AE剤を用いてエントレンドエアーの導入を図っているものの、設計量としては設定していない。そこで、本マニュアルでは、試験施工等により所要の強度、耐久性、水密性、ワーカビリティを有することを確認するものとし、空気量の目標値は設けないこととした。

- 9) 実橋におけるSFRC補強工法の適用事例や試験実績、上面増厚工法でのSFRCの使用実績等を参考に定めたものである。使用するコンクリートによらず、材齢7日で圧縮強度が 30N/mm^2 以上となることを基本とした。ただし、短期間のうちに交通開放するためには超速硬コンクリートを使用して施工する場合には、工事用車両を走行させるために材齢3時間で 24N/mm^2 以上の圧縮強度を発現するコンクリートを使用することを基本とした。これを満足すれば材齢7日で 30N/mm^2 以上の圧縮強度は確実に確保できると考えられる。

また、コンクリートの圧縮強度と弾性係数の間にはある程度の相関がある。図-3.3.2に本共同研究での試験結果と道示I共通編3.3に示されている全国調査の平均値の結果を示す。同図によると、圧縮強度が 30N/mm^2 のコンクリートの場合には $2.8\times 10^4\text{N/mm}^2$ 程度の弾性係数が平均的に得られていることがわかる。これと同程度の弾性係数があれば一定の応力軽減効果を確保できることが解析により確認されていることから、本マニュアル(案)では弾性係数の基準値を特に定めることはしていない。ただし、使用する粗骨材の品質等の関係で弾性係数が低くなることが懸念される場合には、あらかじめ試験を実施して相応の弾性係数が得られることを確認することが望ましい。

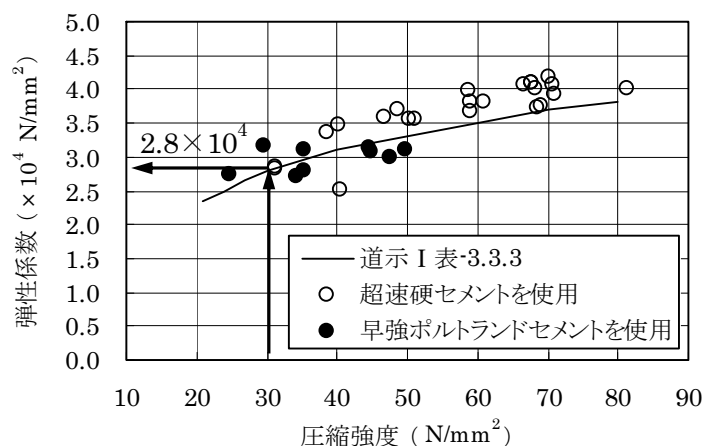


図-3.3.2 コンクリートの圧縮強度と弾性係数の関係の例

表-3.3.4 SFRCの収縮量の目安値の例

コンクリート	材齢	乾燥収縮量	試験方法	供試体寸法	基長	養生条件
超速硬コンクリート	28日	400μ以下	JIS A 1129	100×100×400mm	5時間	20℃、60%RH
早強コンクリート	35日				24時間	材齢7日まで:20℃水中 材齢7日以降:20℃、60%RH

10) 過大な収縮を生じるコンクリートを使用すると、収縮によるひずみがデッキプレートにより拘束される結果、高い引張ひずみを生じ、有害なひび割れの発生につながる可能性がある。このようなひび割れの発生については、鋼床版による拘束の影響も大きく、コンクリートの収縮量のみで評価することはできないが、可能な限り収縮量の小さいコンクリートを使用することが望ましい。したがって、JIS A1129「モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法」に準拠して乾燥収縮量を計測し、乾燥収縮を考慮して配合設計を行うものとする。また、これまでのSFRC舗装の適用事例を踏まえ、早強コンクリートを用いる場合には膨張材を用いることを標準とする。乾燥収縮量の目安値の例を表-3.3.4に示す。なお、乾燥収縮量を計測する材齢としては、工事の準備期間中に可能な限り長くすることが望ましいが、これまでの施工実績では材齢28日程度で乾燥収縮量が400μ以下であることを確認している事例が多い。

3.4 構造細目

3.4.1 一般

SFRC舗装の設計にあたっては、鋼床版とSFRC舗装との一体性が損なわれることのないように、打継目や舗装端部における接合部の剥離の抑制に配慮するとともに、舗装自体に有害なひびわれが生じないように構造細目に配慮するものとする。

【解説】

本マニュアル(案)では、本共同研究や既存の調査研究、施工実績より得られた技術的知見を踏まえて、SFRC舗装に要求される性能を確保できると考えられる構造細目を示した。

3.4.2 打継目および舗装端部

- (1) 打継目は、ひび割れが生じる可能性が高い箇所を避けて配置する。縦方向の打継目は車輪走行位置の直下を避けて配置する。
- (2) 打継目および舗装端部の接合面には接着材を塗布するとともに、近傍にスタッドを設置する。

【解説】

SFRC 舗装の耐久性に配慮して、打継目の位置や構造、舗装端部の構造について規定した。

- (1) 主桁ウェブ、横桁あるいは横リブの直上等では、輪走行位置によっては SFRC 舗装に引張ひずみが生じるため、ひび割れが発生する可能性が高い。したがって、打継目はこれらの箇所を避けて配置するようにする。
- (2) 図-3.4.1 から図-3.4.3 に示すように、SFRC 打継面や舗装端部には接着材を塗布し、SFRC 舗装や境界部の一体化を図る。また、近傍にスタッドを設置することにより、打継目等にひび割れが生じ、雨水の浸入により接着材が部分的に劣化するような状況が生じた場合でも、舗装とデッキプレートの境界面への雨水の浸入や接着材の剥離進展を極力防げるように配慮した構造とした。スタッドの設置間隔は 250~300mm 程度、打継目もしくは境界部からの距離は 150mm 程度とし、スタッドがデッキプレートの突合せ溶接部上や主桁ウェブ直上にならないように配慮して打継目を配置する。なお、スタッドに繰返し作用するせん断力が大きい場合、溶接部の疲労耐久性が懸念されるため、スタッドの位置ができる限り輪直下にならないように配慮する必要がある。横方向の打継目に沿ったスタッドについては部分的に輪直下になることは避けられないが、縦方向の打継目に沿ったスタッドについては輪直下にならないよう、打継目位置の決定に際して配慮するものとする。

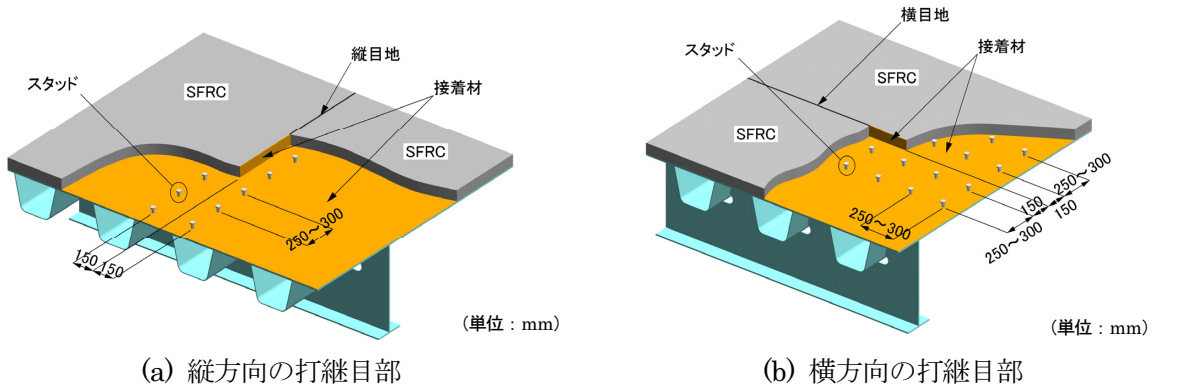


図-3.4.1 打継目部の構造

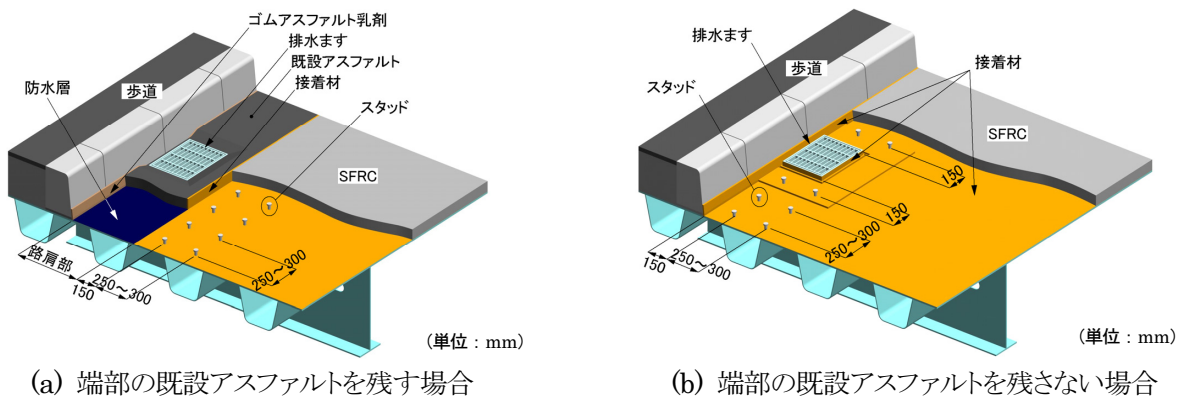
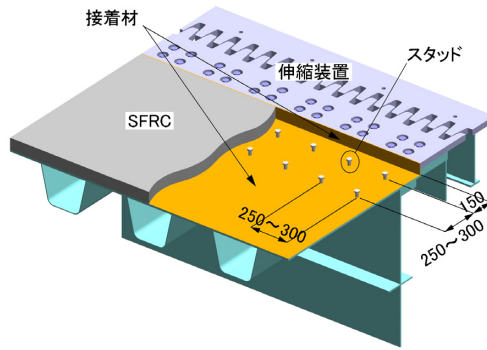


図-3.4.2 SFRC 舗装端部の構造



(単位：mm)

図-3.4.3 伸縮装置との取り合い部の構造

3.4.3 補強材の配置

車両の走行によりデッキプレートが負曲げを受ける主桁ウェブ上では、SFRC 舗装内部に補強材を設置することを標準とする。

【解説】

横リブウェブ上においても SFRC 舗装に負曲げモーメントが発生するが、主桁ウェブ上と比較して発生する曲げモーメントは小さく、ひび割れ幅も狭いことから、横リブウェブ上については補強材を配置しなくても良いこととした。ただし、横リブの間隔が大きい場合（3m 程度以上）等、負曲げの影響が大きい場合には、FEM 解析等により横リブ上の SFRC 舗装に発生するひずみを確認し、補強材の設置について検討する必要がある。補強材の設置範囲を以下に示す。

- 1) 補強材の橋軸直角方向の設置幅は、隣接するUリブにかかる範囲とするのがよい。図-3.4.4 に示すように、主桁ウェブに隣接するUリブのウェブまで含めた範囲を補強できるように、主桁ウェブ直上の 1.0m 程度の範囲に補強材を配置するのがよい。
- 2) 補強材の設置高さは舗装厚さの中央とするのがよい。本マニュアル(案)で想定している SFRC 舗装は厚さ 75mm 程度の薄いコンクリート構造である。このため、上下のかぶりが極端に小さくなることのないよう、補強材の設置高さは舗装厚の中央とすることを標準とする。

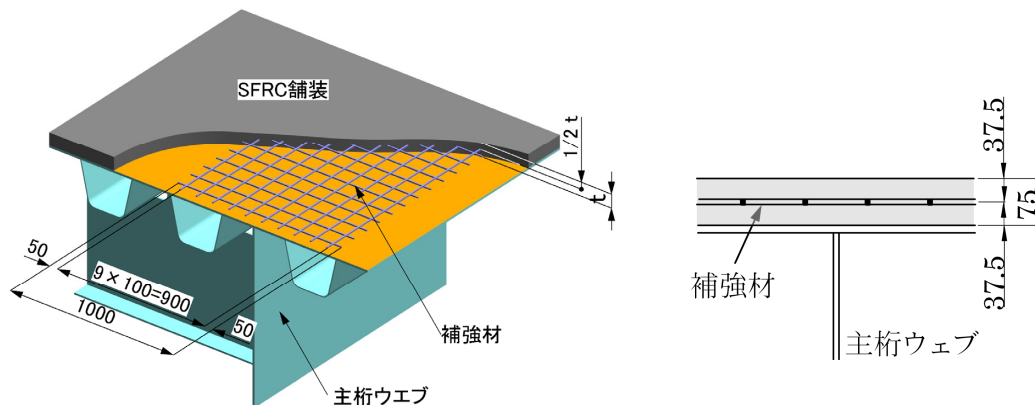


図-3.4.4 補強材の設置範囲

(単位：mm)

4章 施工

4.1 一般

SFRC 補強工法の施工は、鋼床版の疲労対策として、設計において前提とした構造、諸条件が満足されるように適切に行うものとする。

【解説】

SFRC 補強工法の性能、品質は施工に依存するところが大きい。このため、補強工法に要求される性能を確保するために、本章に基づき、設計条件、作業環境条件、周辺環境条件等の施工条件を十分に検討して作成された施工計画書に基づいて施工を行う必要がある。また、突然の降雨等の気象変化や工事用機械のトラブル等、施工計画書で想定したものと異なる状況が生じた場合にも、機敏な措置が取れるように施工体制を確保することが重要である。

特に、本工法においては、SFRC 舗装とデッキプレートの接着性能を適切に確保することが重要であり、接着材の性能（強度特性、可使時間、打継ぎ可能時間等）を十分に把握した上で、施工工程を検討する必要がある。また、接着性能を長期的に保持するには、雨水等の浸入を防ぐことが重要であり、乾燥収縮等による初期ひび割れが SFRC に生じないように、品質管理に配慮して、現場配合や打設工（打込み、締固め、表面仕上げ、養生）を慎重に実施する必要がある。

4.2 施工前調査

施工前調査では、施工数量の把握、施工の円滑化等を目的として、既設のアスファルト舗装厚を測定する等、設計図書と現地の舗装条件との整合性を確認するものとする。

【解説】

施工にあたっては、事前に表-4.2.1 に示す項目について調査を行うのがよい。シート系の防水層が設置されている場合は、ショットブラストによる研掃では除去が難しいため、ウォータージェット等、他の方法による除去を検討する必要がある。このため、事前に設計図書等により舗装構成を確認し、現況が明確でない場合にはコアを採取して確認するとよい。コアを採取する場合には、コアカッターの使用時に鋼床版を破損しないよう十分留意する。

表-4.2.1 調査項目

目的	項目	方法
施工数量の把握	・既設アスファルト舗装厚	・電磁波レーダー [*]
	・既設アスファルト舗装の現況高	・水糸またはレベル計測
施工の円滑化	・幅員	・実測による
	・路肩、中央分離帯の構造	・実測による
	・路肩の埋設物	・実測による
	・排水ますの形状	・設計図書等による
	・既設アスファルト舗装構成	・設計図書等あるいはコア採取による

^{*}コア採取を併用してキャリブレーションを実施すれば、計測の精度が向上する。

4.3 施工手順

SFRC 補強工法の施工にあたっては、所要の品質が得られるよう適切な順序および時間間隔で施工するとともに、各工程において品質確保に十分な配慮を行わなければならない。

【解説】

SFRC 補強工法の標準的な施工手順を図-4.3.1 から図-4.3.3 に示す。施工手順は、主に以下の工程から構成される。

- 1) 既設舗装撤去工
- 2) 研掃工
- 3) スタッド設置工
- 4) 型枠設置工
- 5) 接着材塗布工
- 6) 補強材設置工
- 7) SFRC 打設工
- 8) 路面表示工

施工手順の検討にあたっては、交通規制等の制約条件に配慮する必要がある。

図-4.3.1 は、全車線を比較的長期にわたって規制し、早強コンクリートを用いて施工する場合を想定した施工手順である。長期に交通を規制できる場合には、広範囲の舗装を一括して撤去し、デッキプレート面を研掃した後、使用する接着材に専用のプライマーを用いて防錆処理を行い、後日改めてスタッドを設けた上で接着材を塗布して SFRC 打設を行う方が効率的である。

図-4.3.2 および図-4.3.3 は、それぞれ、24 時間以上にわたり一車線の連続交通規制を実施して超速硬コンクリートを用いて一車線用の機械を使用して施工する場合の施工手順、夜間のみ交通規制を実施して超速硬コンクリートを用いて施工する場合の施工手順である。短期の交通規制のもとで施工する場合には、研掃面の発錆を防止し、かつデッキプレートと SFRC との確実な一体化を図るため、SFRC 打設にあたっては研掃工からの一連の工程を連続で行うことが基本である。夜間規制で施工する場合（図-4.3.3）には、時間的な制約から、舗装を撤去し、デッキプレート表面を研掃した後に、仮舗装を行う方が効率的である。

既存の疲労き裂については、1.2 に示すとおり施工前に進展抑制のための適切な対策を講じておく必要がある。ただし、デッキプレート裏面側からの調査で必ずしも完全に検出できるとは限らないため、既設舗装の撤去時に対策の施されていないき裂が残っていないことをデッキプレート表面の目視により確認しなければならない。万一、未対策のき裂が発見された場合には、き裂の状況に応じた進展抑制の対策を検討する。

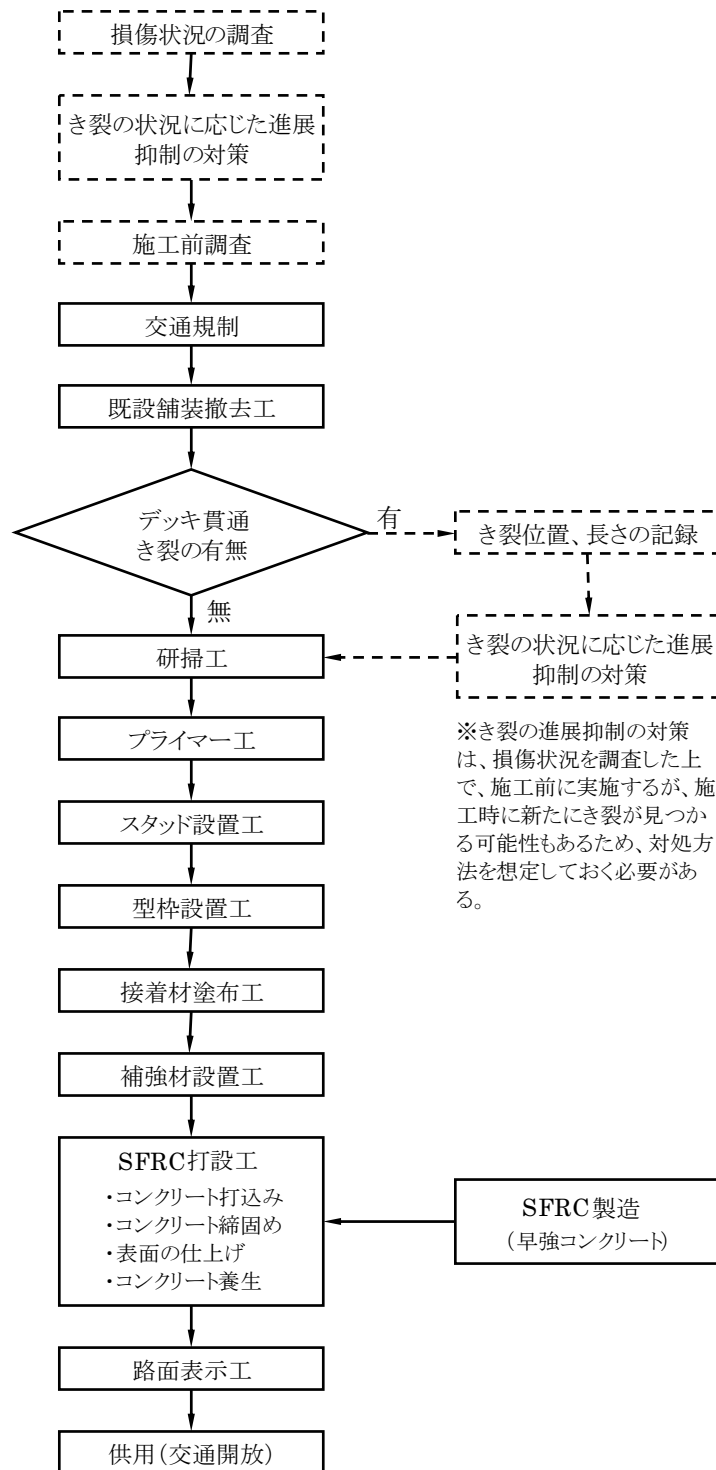
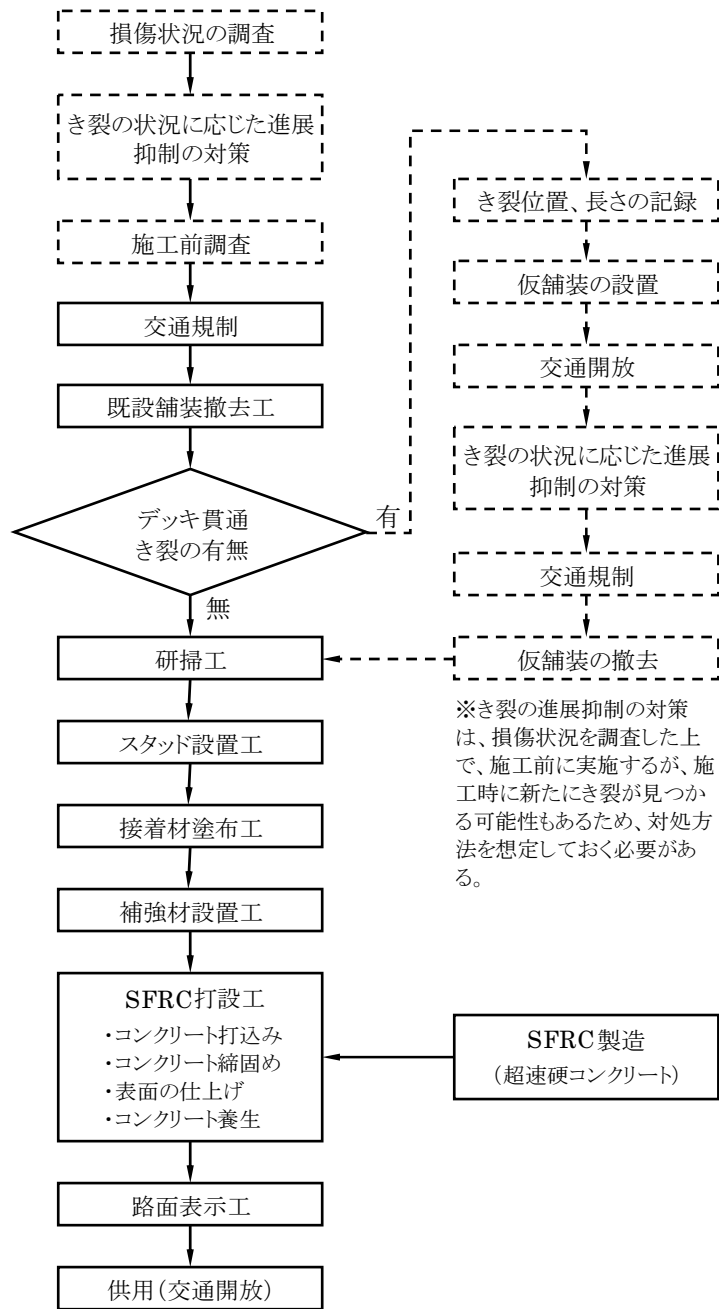


図-4.3.1 長期的に交通規制が可能な場合の標準的な施工手順



図一4.3.2 24時間以上の連続交通規制が可能な場合の標準的な施工手順

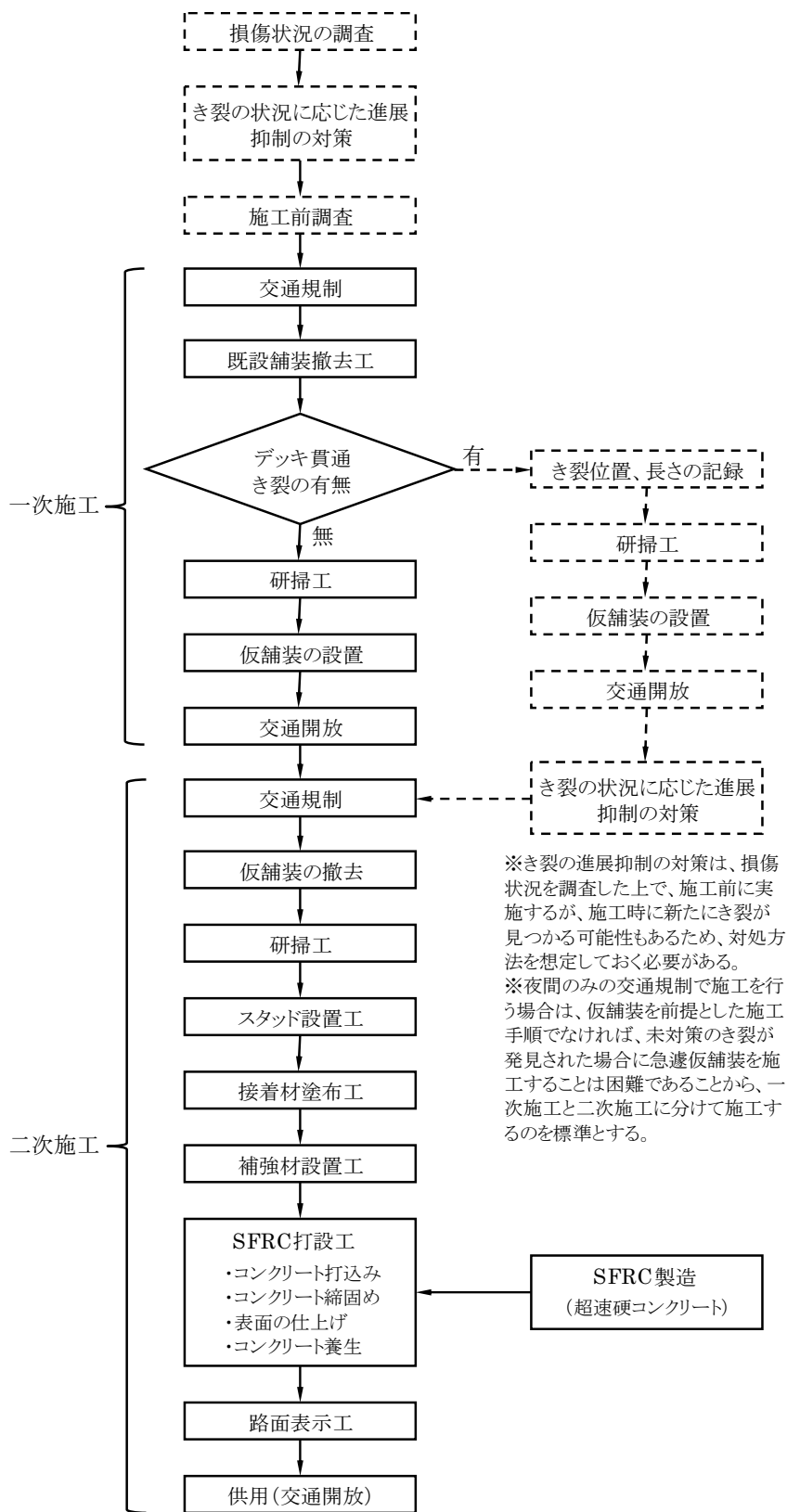


図-4.3.3 夜間のみ交通規制が可能な場合の標準的な施工手順

4.4 施工計画

4.4.1 一般

- (1) 設計において前提とした諸条件が満足される施工が行われることを確認できるよう、また、施工による周辺環境への影響を考慮し、安全、確実に作業を行えるように、施工計画書を作成しなければならない。
- (2) 現場施工にあたっては、コンクリート舗装の施工経験を有する技術者が常駐しなければならない。

【解説】

- (1) 本工法によって施工した SFRC 舗装が所要の性能を確保していることを、最終段階の品質検査のみで確認しようとしても、一般的にはその性能を検査することは難しい。また、性能が満足されていないことを評価できた場合でも、その時点ではそれらに対処することは難しい。このため、施工においては、最終的に必要となる性能が得られるように、全工程を通じて品質に悪影響を及ぼすような不適切な施工が行われないよう、十分な施工品質管理が行われることが重要である。したがって、各施工項目に対する詳細な施工計画を作成し、関係者に周知徹底するとともに、施工途中の品質確保の重要性について認識できるようにしておくことが必要である。施工計画書の作成にあたって特に配慮すべき事項について、4.4.3～4.4.6 に記述した。

- (2) SFRC 補強工法の施工には、設計の意図を十分理解し、かつ、それに適した施工方法の採用、所要の施工品質の確保等、使用材料の選定や施工方法、品質管理に至るまで、コンクリート舗装に関する十分な知識と経験を有する技術者の管理が必要である。例えば、SFRC 舗装は道路橋の鉄筋コンクリート床版に比べて薄い版状のコンクリートであり、締固めや養生等、施工全般にわたってこれらの特徴に対する配慮が必要である。

また、SFRC と鋼床版の接着については、双方の可使・硬化特性が時間や温度によって変化するため、接着材の塗布から SFRC 打設までの時間間隔が適切でないと十分な接着性能を得ることができない。したがって、接着材の塗布から SFRC 打設まで施工については、3.2.5 に示す接着材の性能試験の結果等により接着性能を把握するとともに、時間と温度に配慮した計画を立てなければならない。

4.4.2 施工計画書

施工計画書には、品質確保の観点から各施工工程において、以下の項目を含む必要な事項について記載しなければならない。

(1) 使用材料

以下の主要資材の種類、数量、形状寸法、適合規格（仕様）、製造業者、納入業者等

- 1) コンクリート材料
- 2) 鋼繊維
- 3) 補強材
- 4) 接着材
- 5) スタッド

(2) 材料の保管

- 1) 保管場所
- 2) 保管方法

(3) コンクリートの品質および配合

- 1) コンクリートの品質管理項目
- 2) コンクリートの配合計画

(4) コンクリートの製造および運搬

- 1) 製造方法（コンクリートプラント（定置式・移動式））
- 2) 運搬方法、運搬経路、交通状況

(5) SFRC 舗装の現場施工

以下の各工程において必要とする使用機材と作業要領

1) 既設舗装撤去工

- ・使用機材、切削厚、切削レーン割、デッキプレート上の突起物位置（事前調査により確認）

2) 研掃工

- ・使用機材

3) スタッド設置工

- ・スタッド配置

4) 型枠設置工

- ・付帯設備の計画（作業用の移動足場等）

5) 接着材塗布工

- ・使用する接着材、使用量、主剤と硬化剤の混合割合、混合方法、混合時間、塗布方法

6) 補強材設置工

- ・補強材の形状・寸法および品質
- ・補強材の配置

7) SFRC 打設工

- ・打込み順序
- ・接着材塗布から SFRC 打設完了までの時間（打継ぎ可能時間）
- ・計量および練混ぜ
（レディーミクストコンクリートの使用計画または現場練りによるコンクリートの製造計画）
- ・運搬および打込み
（運搬の方法、経路、時間、打込み時期、打込み順序、打込み量、設備および人員配置）
- ・表面仕上げ方法
- ・養生（養生方法、養生日数（時間））

(6) 品質管理計画

- 1) 品質管理項目

- 2) 施工試験要領（試験方法、試験設備等）
 - 3) 施工管理体制（管理者の配置）
- (7) 工程計画
- ・バーチャート

【解説】

施工計画書には、施工上必要となる各々の施工段階に対して、品質が確保できる施工が確実に行われることが確認できるよう、あらかじめ施工手順、施工方法および品質管理計画等の施工に関する詳細かつ具体的要領を記載する必要がある。また、品質に関わるすべての事項を網羅するとともに、例えば降雨や機械の故障等、品質に悪影響を及ぼすと疑われる事象が生じた場合の対処方法についても事前に検討しておく。

4.4.3 車線規制による施工

車線の一部を規制し、供用しながら工事を行う場合には、供用帯として必要な幅員と作業に支障のない規制帯を確保する。

【解説】

車線を供用帯と規制帯に分割する場合の配慮事項を以下に示す。

- 1) 供用帯の幅員には、一般に供用車線幅と路肩の余裕幅が必要である。
- 2) 各施工レーンのコンクリート打設幅は、打継目が負曲げ領域となる主桁ウェブの直上にならないように構造的に可能な限り配慮した上で、施工性も考慮して定める。
- 3) 切削幅には、SFRCの打設幅の外に必要な応じて型枠幅と切削時の余裕幅を見込む。
- 4) 規制に用いる安全施設（例えばラバーコーン、防護フェンス）の設置位置は作業時の安全性の確保に必要な幅を考慮する。
- 5) 施工機械の搬出入にクレーンを使用する場合は、アウトリガーの張出し幅、後端旋回半径を考慮した規制帯を確保する。
- 6) コンクリートの運搬に支障のない規制帯とする。

4.4.4 既設舗装撤去工

既設舗装撤去工の計画では、交通規制および作業時間に十分に配慮する。

【解説】

既設舗装撤去工では、切削の際に鋼床版に損傷を与えないような配慮が必要である。このため、路面切削機により路面の全厚を一度に切削するのではなく、ボルト接合箇所等の突起物に切削傷をつけない深さまで路面切削機により切削し、残された部分についてはブレイカー等を用いて切削することを標準とする。したがって、交通規制に時間的な制約がある場合には、作業能力や他の工程との関係も踏まえて、無理のない作業工程を計画する。また、切削時には騒音が発生するため、特に市街地で施工する場合には、施工する時間帯に配慮が必要である。

4.4.5 研掃工

研掃工の計画では、所要の研掃状態を得るために施工機械と施工方法を検討する。

【解説】

研掃工においては最終的に1種ケレンに相当する研掃状態が得られることが求められるが、所要の研掃状態に達していることを逐次確認しながら作業を行うことは効率的ではない。このため、ショットブラストにより研掃を行う場合には、所要の研掃状態が得られる投射密度をあらかじめ確認した上で、施工にあたってはこの投射密度が確保されるよう研掃機の移動速度を管理することを標準とする。

4.4.6 接着材塗布から SFRC 打設までの工程

接着材塗布から鋼繊維補強コンクリートの打設までの一連の工程の計画では、温度と時間経過に対する接着材の特性について十分に把握した上で、現場の施工条件、施工時に想定される環境条件に配慮する。

【解説】

接着材が所要の接着性能を発揮するためには、接着材の塗布からコンクリート打設までの工程において、可使時間や打継ぎ可能時間等の SFRC と接着材の双方の可使・硬化特性に配慮し、各工程の時間配分を十分に検討した上で施工を計画する必要がある。デッキプレートと SFRC 舗装の一体化を確実にするためには、接着材の打継ぎ可能時間内に SFRC の打設を完了する必要がある。打継ぎ可能時間は接着材によって異なり、また同じ接着材であっても施工時に想定される気温やデッキプレートの表面温度（以下、施工環境温度）によって大きく変化する。このため、施工環境温度での接着材の打継ぎ可能時間を把握した上で、その時間内に SFRC の打設が完了するように施工計画を立てなければならない。

接着材塗布工では、所定の量の接着材をデッキプレート表面に均一に塗布することが重要である。このため、塗布の作業性が良好であるとともに、施工現場の勾配のもとでダレを生じない接着材を選定する必要がある。SFRC 舗装に適用実績のあるエポキシ系接着材では、表-4.4.1 に示すように温度により可使時間、粘度、打継ぎ可能時間が変化することが確認されている。例えば、付属資料-5 に示す接着材 A では、施工環境温度と打継ぎ可能時間との間に図-4.4.1 に示す関係がある。このため、表中に示す事項について温度との関係を把握した上で、施工環境温度において適切に施工でき、かつ所要の性能を発揮することのできる接着材を選定しなければならない。高温の場合には、可使時間、打継ぎ可能時間も短くなるため、接着材塗布工およびその後の作業に支障をきたすことがないか検討するとともに、粘度が低くなるため、ダレを生じることなくデッキプレート面に均一に塗布することが可能であるか確認しておく。一方、低温の場合には、粘度が高くなるため、塗布の作業性に問題がないか検討するとともに、接着材の硬化に要する時間が長くなるため、交通開放までの時間内に所定の強度を発現することを確認しておく。特に、施工環境温度が 5℃ 以下の場合には、主剤と硬化剤の反応が抑制されて硬化が極端に遅くなる場合もあるので接着材の養生方法、養生時間等について事前に検討するのがよい。参考までに、SFRC および接着材 A の引張強度の発現挙動と作業工程の関係を図-4.4.2 に示す。フレッシュコンクリートとデッキプレートの接着について、詳細なメカニズムは解明されていないが、フレッシュコンクリートに骨材がある程度含まれていれば、接着性能が確保されることが実験により確認されており、接着材を介して骨材とデッキプレートが接着した後にコンクリー

トが硬化して一体化が図られると考えられている⁴⁾。

なお、デッキプレートの表面温度は、既設舗装を撤去しデッキプレート表面が露出した状態では、日中であれば直射日光等の影響によって気温より 20℃程度高くなる場合もある。このため、現場の日照条件等を考慮して施環境温度を適切に予測し、必要に応じて日中の施工を避ける等配慮する。

表-4.4.1 温度による接着材の特性の変化と関連して検討すべき事項

接着材の特性	特性の変化		関連して検討すべき事項
	低温の場合	高温の場合	
可使時間	長くなる	短くなる	無理なく接着材の塗布作業を実施できる可使時間を確保できるか
粘 度	高くなる	低くなる	塗布の作業性は良好か
			ダレを生じることなくデッキプレート面に均一に塗布することが可能か
打継ぎ可能時間	長くなる	短くなる	接着材塗布後の工程に支障をきたさない打継ぎ可能時間を確保できるか
			交通開放までの時間内に所要の強度を発現するか

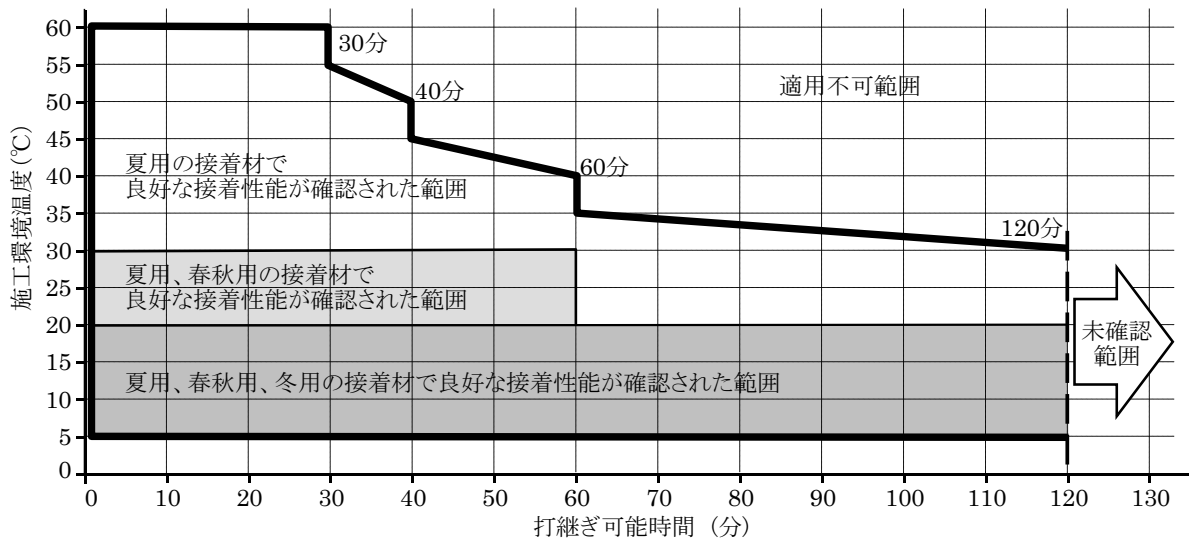
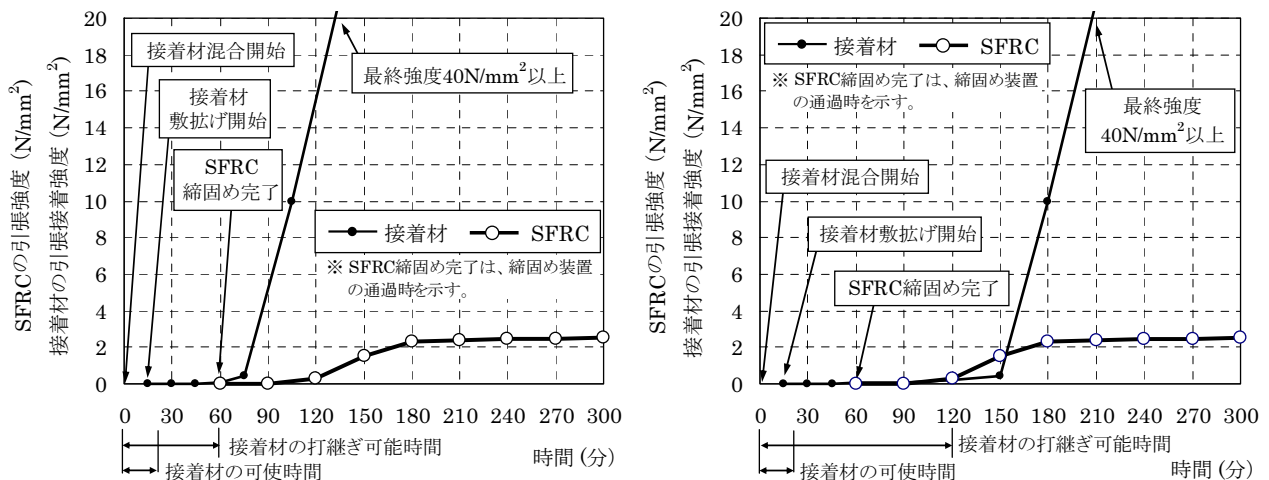


図-4.4.1 温度と打継ぎ可能時間の関係（接着材 A の例）



(a) 施工環境温度 35℃ の場合

(b) 施工環境温度 20℃ の場合

図-4.4.2 SFRC および接着材 A の引張強度の発現挙動と作業工程の関係
(超速硬コンクリートを使用した場合の模式図)

4.5 施工標準

4.5.1 材料の保管

材料の保管は、その品質が損なわれないように適切な方法によらなければならない。

【解説】

材料を使用するまでの保管期間が長くなる場合には、とくに保管中に材料の品質が損なわれないように、それぞれの材料の性質に配慮した保管の方法について、十分に検討する必要がある。

4.5.2 既設舗装撤去工

既設の舗装材料を取り除きデッキプレート面を傷つけないように完全に露出しなければならない。

【具体の方法】

- (1) 切削範囲を舗装面上に表示する。
- (2) ボルト接合箇所等については、突起物に切削傷をつけない深さまで路面切削機等により切削するか、人力により舗装を取り除く。
- (3) ブレーカー等を用いて残された部分を切削する。
- (4) 路面清掃車等により清掃を行うとともに、人力により付着物を除去する。

【施工管理項目】

時期	管理項目	試験方法、確認方法等	管理頻度等	規格値等
作業前	使用装置	施工計画書と照合	1回/施工	施工計画書と合致すること
	撤去範囲	施工計画書と照合	1回/施工	施工計画書と合致すること
作業時	使用装置	施工計画書と照合	1回/施工	施工計画書と合致すること
作業後	撤去状況	目視により確認	施工範囲全体	舗装材料が完全に撤去されていること

【解説】

舗装を撤去する区画の端部についても、路面切削機による切削は困難なため、ブレーカー等により撤去するとよい。



(a) 路面切削機による舗装上部の切削



(b) 人力による舗装下部の切削

図-4.5.1 既設舗装撤去工

4.5.3 研掃工

研掃は鋼床版表面を十分に乾燥させて行わなければならない。また、SFRC 舗装とデッキプレートの良好な接着性を阻害しないように、1種ケレンを標準としてデッキプレート上の錆や付着物等を除去しなければならない。

【具体的方法】

- (1) 研掃による表面処理は、ショットブラストとする。
- (2) 施工範囲の四隅の部分は、ディスクグラインダー等を用いて付着物を除去し、目荒らし処理を行う。
- (3) 研掃後、デッキプレート表面に未処置の疲労き裂がないことを確認する。

【施工管理項目】

時期	管理項目	試験方法、確認方法等	管理頻度等	規格値等
作業前	乾燥状態	目視により確認	施工範囲全体	デッキプレート表面が乾燥していること
	使用装置	施工計画書と照合	1回/施工	施工計画書と合致すること
作業時	使用装置	施工計画書と照合	1回/施工	施工計画書と合致すること
	研掃機の移動速度	施工計画書と照合	施工範囲全体	施工計画書と合致すること
作業後	清掃状況	目視により確認	施工範囲全体	デッキプレート表面に鋼球等が残っておらず、付着物、油分等がないこと
	研掃状態	目視により確認	施工範囲全体	1種ケレン（97%以上の面積が金属光沢を呈し、錆の痕跡が3%以下）程度であること

【解説】

研掃にあたっては、研掃するデッキプレートの表面が乾燥している必要がある。このため、雨天時の施工は避けるとともに、研掃面に水分がある場合はエアブローやヒータ等により、事前に乾燥させなければならない。既存の施工事例では、研掃に1.4~1.7mm程度の半割りの鋼球を使用し、投射密度300kg/m²程度のショットブラストが行われている。研掃後に、マグネット、ダストコレクタにより残鋼球を回収するとともに、コンプレッサによりエアブラスト清掃を行う。また、研掃したデッキプレートは発錆しやすいので、研掃工の後、スタッド設置工からSFRC打設工までの一連の工程をすみやかに施工するか、接着材に専用のプライマーを塗布する必要がある。施工範囲の四隅部分は、研掃機による研掃が困難なため、ディスクグラインダー等を用いる。

デッキプレート表面のき裂については、事前の調査により確認し、1.2に従った対策を実施しておく必要がある。しかし、舗装表面や鋼床版裏面側からの調査では必ずしも確実にき裂を検出できるとは限らないので、舗装を撤去した後に必ずデッキプレート表面における疲労き裂の有無を目視確認する必要がある。疲労き裂が発見された場合、その位置および長さを計測し、記録するとともに、適切な対策を施さなければならない。

なお、図-4.3.3に示すように一次施工と二次施工に分けて施工する場合、一次施工時に必ずしも1種ケレンまで研掃する必要はなく、二次施工における研掃工との兼ね合いを考慮して、研掃の程度を設定するとよい。



図-4.5.2 研掃工

4.5.4 スタッド設置工

スタッドは設計図に示された所定の位置に、所定の溶接品質が確保できるように適切な方法により溶接しなければならない。

【具体の方法】

- (1) スタッドの設置位置を正確に罫書く。
- (2) スタッドの設置位置は、平滑に仕上げるとともに、清掃を入念に行い、埃等を確実に除去する。
- (3) 適切なスタッド溶接法により溶接する。

【施工管理項目】

時期	管理項目	試験方法、確認方法等	管理頻度等	規格値等
作業前	使用装置	施工計画書と照合	1回／施工	施工計画書と合致すること
	設置位置	設計図面と照合	施工範囲全体	所定の位置に罫書きが行われていること
	清掃状況	目視により確認	施工範囲全体	設置位置に埃等が付着していないこと
作業時	使用装置	施工計画書と照合	1回／施工	施工計画書と合致すること
作業後	外部きず	外観検査、ハンマー打撃検査	道示Ⅱ 17.4.5による	道示Ⅱ 17.4.5による

【解説】

- (1) スタッドは、スタッド溶接による鋼床版への影響に配慮し、デッキプレート突合せ溶接部を避けて設置する。また、主桁ウェブ直上は、構造上、SFRC 舗装にひび割れが発生しやすい部位であるため避けるようにする。現地の鋼床版の構造条件によって、設計図に示された設置位置から変更する場合においても、この点に配慮する必要がある。なお、実際のスタッドの設置位置は、将来の補修計画の参考に供するため、竣工図に正確に記録しなければならない。
- (2) スタッドの設置箇所は、ディスクサンダー等により平滑に仕上げるとともに、溶接不良を生じないように、清掃を入念に行って、埃等を確実に除去する必要がある。
- (3) スタッドの溶接にあたっては、溶接条件、溶接材料等を十分に検討し、溶接完了後は検査によってその品質を確認する必要がある。スタッドの品質検査は、道示Ⅱ鋼橋編 17.4.5 に準じて実施する。また、ス

タッドの溶接による入熱によって鋼床版裏面の塗膜に膨れやはがれ等の損傷が見られた場合には、補修塗装を実施する。



図-4.5.3 スタッド設置工

4.5.5 型枠設置工

型枠の設置は、SFRC 舗装の所定の形状寸法を確保できるよう、また、SFRC 舗装の品質に悪影響を与えないように行わなければならない。

【具体の方法】

- (1) 型枠は、コンクリートの打込み時や締固め時に移動することがないように、所定の位置、高さに固定する。
- (2) 型枠とコンクリートが接する面には、取外しを容易にするため型枠に剥離材を設ける。

【施工管理項目】

時期	管理項目	試験方法、確認方法等	管理頻度等	規格値等
作業後	型枠の寸法等	設計図面と照合、目視により確認	施工範囲全体	型枠が所定の位置、高さに設置され、確実に固定されていること
	剥離材の設置状況	目視により確認	施工範囲全体	型枠のコンクリートと接する面にテープもしくは塗布タイプの剥離材が設置されていること

【解説】

型枠は、SFRC 舗装を所定の形状寸法に仕上げるため、ならびに平坦性を確保するための基準になるものであることから、これが変形すると SFRC 舗装の出来高に影響を及ぼす。コンクリートの打込みや締固めの際に移動しないように、例えば、マグネットを利用する等して鋼床版上に確実に固定する必要がある。

4.5.6 接着材塗布工

接着材塗布工は、接着材としての所要の性能を確保できる品質が得られるように行わなければならない。

【具体の方法】

- (1) 使用する接着材は、3.2.5 に示す各種試験により性能の確認された接着材と同一成分のものを使用する。現場で粘度調整材を添加する等、接着材の成分調整を行ってはならない。

- (2) 接着材塗布前にデッキプレート表面の温度を測定し、使用する接着材の適用範囲の温度であることを確認する。
- (3) 所定の割合の主剤と硬化剤を、攪拌装置を用いて色むらが無くなるまで十分に混合し、混合後すみやかに塗布する。
- (4) 添接板やスタッド等の突起部を含めたデッキプレートの全面および打継目に、コテ、ゴムレーキ等を用いて、所定量を均一に塗布する。

【施工管理項目】

時期	管理項目	試験方法、確認方法等	管理頻度等	規格値等
作業前	接着材の数量	缶の数量等により確認	1回／施工	施工計画書と合致すること
	鋼床版表面温度	温度計により計測	1箇所／10m	使用する接着材の適用温度の範囲内であること
作業時	混合割合	主剤、硬化剤を計量する	接着材混合時	主剤と硬化剤が所定の割合で混合されていること
	混合状況	目視により確認	接着材混合時	色むらがなくなるまで十分に混合されていること
	塗布厚さ	未乾燥塗膜厚測定ゲージ等により計測	10m間隔で横断方向3箇所	施工計画書に記載された塗布厚さ（平均1.0mm、最小0.5mmを標準とする）であること
	塗布状況	目視により確認	施工範囲全体	接着材がデッキプレート全面に均一に塗布されており、また、添接板等のデッキプレート上の突起部や打継目にも確実に塗布されていること
作業後	引張接着強度	別途作製した試験体を用いて引張接着強度を計測（付属資料-5）	工事用車両の交通開放前	3体の平均強度が1.0N/mm ² 以上であること
	塗布時間	接着材混合からの時間により確認	1回／施工	接着材の可使時間内に塗布を完了したこと

【解説】

接着材塗布工は、鋼床版と SFRC を一体化し、活荷重等による作用力に抵抗する性能と鋼床版の防水性能を確保するための重要な工程である。フレッシュコンクリート状態の SFRC をデッキプレートに接着するため、SFRC とエポキシ系接着材の両者の可使・硬化特性を考慮して施工することが求められる。塗布厚さは、SFRC 打設時のフレッシュコンクリート中に浸透する量を考慮し、これまでの試験施工を踏まえて平均厚さ 1mm（塗布量 1.4kg/m²程度）、最小厚さ 0.5mm を標準とした。

接着材の施工が適切に行われ、交通開放に必要な強度が発現していることを確認する目的で、施工にあわせて別途作製した試験体を用いて引張接着強度試験（付属資料-5 を参照）を行うこととする。試験は 3 体を一組として行い、既往の検討 4.2) を踏まえ、その平均強度が 1.0N/mm² 以上であることを工事用車両の交通開放の目安とするとよい。強度が得られなかった場合には、コンクリートの養生を継続した上で、再度試験を行って所要の引張接着強度が得られていることを確認しなければならない。このため、試験体は余分に作製しておく必要がある。



図-4.5.4 接着材塗布工

4.5.7 補強材設置工

補強材は、コンクリート打込み時に浮き上がりやずれが生じないように、スペーサーを用いて所定の位置、高さに設置しなければならない。

【具体の方法】

バー型スペーサー等を用いて補強材を固定する。

【施工管理項目】

時期	管理項目	試験方法、確認方法等	管理頻度等	規格値等
作業時	設置位置	計測して確認	1箇所/10m	設計図に示された位置、高さに設置されていること

【解説】

接着材の可使時間内に SFRC を打設する必要があるため、接着材塗布工の後すみやかに補強材を設置（図-4.5.5）し、続けて SFRC の打設を行わなければならない。SFRC 舗装は薄層のコンクリート構造であり、コンクリートの打込み時に補強材が移動すると、コンクリートのかぶりが著しく小さくなる可能性も考えられる。したがって、補強材はコンクリートの打込みによって移動しないよう、図-4.5.5 に示すように一定間隔で設置したバー型スペーサー（図-4.5.6）に固定する。なお、鋼床版上へのスペーサー等の設置のための部材の溶接は行ってはならない。

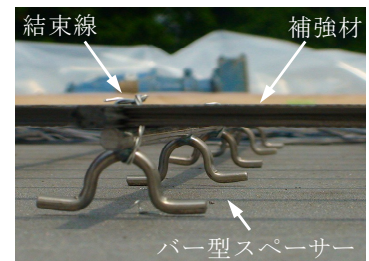
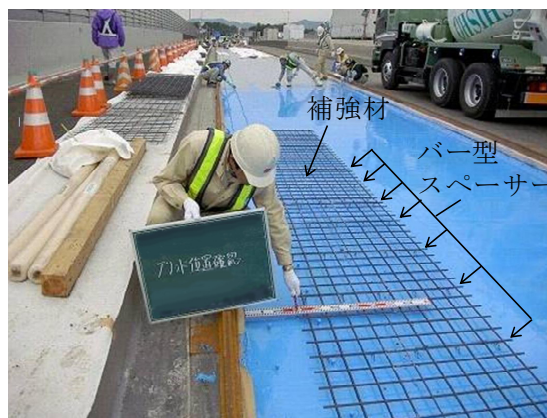


図-4.5.5 補強材設置工

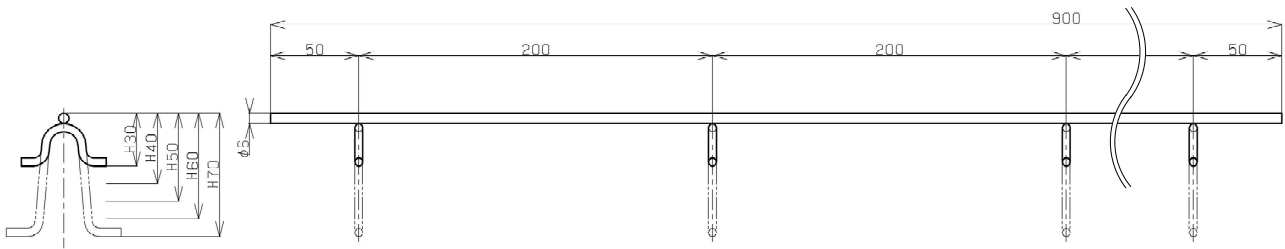


図-4.5.6 バー型スペーサーの例

4.5.8 コンクリートの打込み

コンクリートの打込みは、コンクリートの所定の品質が損なわれない方法で行わなければならない。

【具体の方法】

- (1) コンクリートの受け入れに際しては、不良なコンクリートが搬入されることがないようにする。
- (2) コンクリートの荷卸しは、材料分離等が生じることのないように行う。
- (3) コンクリートは材料が分離しないように、また、ほぼ様な密度となるように、注意してこれを敷均す。
- (4) コンクリートは適度な余盛りをもって敷均す。
- (5) コンクリートは、四隅に分離した骨材またはモルタルのみが集まらないように、特に注意して敷均す。
- (6) 施工区画内のコンクリートは連続して打込む。

【施工管理項目】

時期	管理項目	試験方法、確認方法等	管理頻度等	規格値等
作業前	使用機械	施工計画書と照合	1回/施工	施工計画書と合致すること
	鋼繊維混入率	空袋検収またはJCI-SF 7「繊維補強コンクリートの繊維混入率試験方法」 ^{4.3)} による	1回/施工	所定の混入率であること
	SFRCのスランブ	JIS A 1101による	1回/施工	目標スランブの範囲にあること
作業時	使用機械	施工計画書と照合	1回/施工	施工計画書と合致すること
	材料の均一性	目視により確認	運搬時、打込み時	コンクリートの分離がないこと
	打込み完了時間	接着材混合からの時間により確認	1回/施工	打継ぎ可能時間内に打込みが完了していること
作業後	材料の敷均し	目視により確認	1回/施工	コンクリートが適切な余盛量でムラなく均一に敷き均されていること
所定の材齢	SFRCの圧縮強度	JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」等による	3体/施工	1体の試験結果は呼び強度の85%以上、かつ3体の試験結果の平均値は呼び強度以上であること

【解説】

- (1) 良質なSFRC舗装を施工するためには、使用するコンクリートは分離せず、均一なものでなければならない。このため、現場用コンクリートプラントで製造されたコンクリート、あるいはコンクリートプラントから搬入されたコンクリートが均一であることを確認する必要がある。不良なコンクリートが確認された場合には、これを用いてはならない。また、コンクリートプラントから搬入されたコンクリート

に現場で鋼繊維を混入する場合には、ファイバー投入機等を用いて鋼繊維が均等に混入されるように配慮するものとする（図-4.5.7）。

- (2) コンクリートを直接荷卸しする場合、大量に荷卸して大きい山を作ると、材料の分離の傾向が増すとともに、敷均し作業が容易でなくなり、コンクリートの敷均し後の締固め程度が不均等となる。このため、運搬車を移動させながら荷卸しする等の注意を払い、できるだけ小さい山で荷卸しをするとよい。荷卸しの良否は、その後に続く作業の難易に大きく影響し、SFRC 舗装の均等性や平坦性等にも影響を与えるので十分注意する。
- (3) 均質な SFRC 舗装を施工するためには、コンクリートの敷均しを均等に行う必要がある。コンクリートを運搬車からデッキプレート上に直接荷卸しする際に、粗骨材が集まってモルタルの回らないところができたり、密度が場所によって異なったりすると、締固めを均等に行うことができない場合があるので注意する。
- (4) コンクリートの敷均し厚さは、締固めおよび荒仕上げの終了後に、所要の厚さになるように、舗装厚よりいくぶん厚くしなければならない。余盛りの高さは、コンクリートの敷均し方法およびコンクリートのワーカビリティによって変わるが、通常コンクリート版厚の 15%程度といわれている。なお、締固めによってコンクリートは版の高い部分から低い部分に向かって多少移動する傾向があるので、高い方の余盛りを大きくするのがよい。
- (6) 施工区画内のコンクリートは連続して打ち込まなければならないが、機械の故障、降雨等のため、やむを得ずコンクリートの打込みを中止する場合には、品質に問題があると考えられる部分のコンクリートを取り除くものとする。



図-4.5.7 鋼繊維の投入

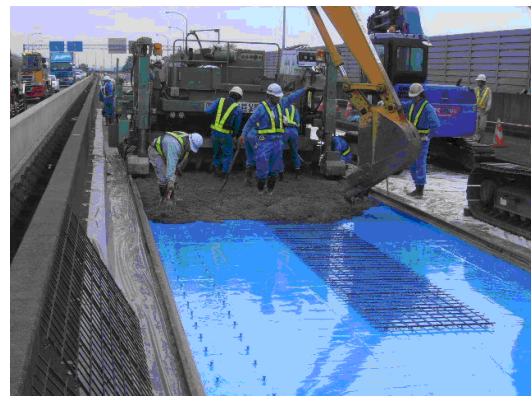


図-4.5.8 コンクリートの打込み

4.5.9 コンクリートの締固め

コンクリートの締固めは、コンクリート打込み後すみやかに、補強材の周囲および打設範囲の全体に確実に行きわたるように行わなければならない。

【具体の方法】

- (1) コンクリートは、敷均し後、速やかにフィニッシャーを用いて、締固めを行う。
- (2) 型枠および打継目の周辺は、フィニッシャーでの締固めに先行して、平面バイブレータ等を用いて十分に締め固める。

【施工管理項目】

時期	管理項目	試験方法、確認方法等	管理頻度等	規格値等
作業前	使用機械	施工計画書と照合	1回/施工	施工計画書と合致すること
	材料の敷均面	目視により確認	施工範囲全体	コンクリートが適切な余盛量でムラなく均一に敷き均されていること
作業時	使用機械	施工計画書と照合	1回/施工	施工計画書と合致すること
	締固め	目視により確認	施工範囲全体	締固め後のコンクリートの表面がムラなく密実に締め固められていること
作業後	仕上がり高さ	水系による下がり検測	10m間隔で 横断方向3箇所	コンクリートの仕上がり高さが所定の高さであること

【解説】

コンクリート床版上面増厚用あるいは薄層コンクリートの施工実績を有するコンクリートフィニッシャーを用いれば、均質で密実にコンクリートを締め固めることができる。フィニッシャーで締固めを行うとき、型枠および打継目の周辺や、補強材設置部は締固めが不十分になりがちである。このため、これらの部分については、先行して平面バイブレータ等により入念に締固める必要がある。締固めにあたっては、あらかじめ周到な機材および人員の配置計画を行い、円滑に短時間でこれを完了できるように配慮する。



(a) 平面バイブレータを用いた締固め



(b) フィニッシャーを用いた締固め

図-4.5.9 コンクリートの締固め

4.5.10 表面の仕上げ

コンクリートの表面は、所定の形状寸法および品質が得られるように仕上げなければならない。

【具体の方法】

- (1) SFRC 舗装の表面は、均質に所定の平坦性を有するように仕上げる。
- (2) SFRC 舗装の表面を平坦に仕上げた後、これを粗面に仕上げる。
- (3) 打継目付近の SFRC は、他の部分と同じ平坦性を有し、段差がないように施工する。

【施工管理項目】

時期	管理項目	試験方法、確認方法等	管理頻度等	規格値等
作業前	使用道具	施工計画書と照合	1回/施工	施工計画書と合致すること
	表面処理の時期	目視により確認	適宜	コンクリートの表面状態の浮き水が消え、ほうき目仕上げが可能な硬さになっていること
作業時	使用道具	施工計画書と照合	1回/施工	施工計画書と合致すること
	表面処理	目視により確認	施工範囲全体	ほうき目仕上げのムラがなく、ほうき目が進行方向に対して直角に仕上げられていること

【解説】

- (1) 表面のコンクリートが均質でなければ、すり減り抵抗が不均等になり、ペーストの多いところは収縮ひび割れが生じてはく離の原因となる。これを防止するため表面は均質に仕上げなければならない。また、所要の乗り心地を満足できるように、平坦性ならびに目地部での段差に注意して仕上げる。また、仕上がった舗装表面を調査し、必要に応じてこれらを修正しながら仕上げ作業を行なう。
- (2) 平坦仕上げだけでは表面が平滑すぎるので、一般的には、コンクリートの水光りが消えるのを待って、粗面仕上げ機械、あるいは、ナイロン、スチール、シュロ等につくったほうきやはけを用いて、表面にすべり止めの細かい筋目をつける必要がある。この筋目は道路中心線に直角で、なるべく定規その他によって正しい平行線になるようにするのが望ましい。なお、粗面仕上げは版の表面が平坦で、所定の形状に仕上げられた後に行うものとする。
- (3) 相接する版の表面が同じ高さでないと、乗り心地に悪影響を与えるばかりでなく、車両の走行によって衝撃を受け、目地部が舗装の弱点となりかねない。このため相接する版は、高さの違いが生じないように入念に施工しなければならない。



図-4.5.10 粗面仕上げ

4.5.11 コンクリートの養生

コンクリートは、打込み後一定期間を硬化に必要な温度および湿度に保ち、乾燥、急激な温度変化、活荷重等による有害な影響を受けないように養生しなければならない。

【具体の方法】

(1)超速硬コンクリートの場合

ポリフィルムシートと防災シート等により養生する。隣接する車線の走行車両による風の巻き込み等に注意して舗装定規等を用いて確実に固定する。

(2)早強コンクリートの場合

養生剤を散布した後、ポリフィルムシートと防災シート等により養生を行う。翌日からは不織布タイプの養生マットに交換し、適宜散水して所定の期間養生を継続する。

【施工管理項目】

時期	管理項目	試験方法、確認方法等	管理頻度等	規格値等
作業前	使用道具	施工計画書と照合	1回/施工	施工計画書と合致すること
	養生剤の散布時期	目視により確認	適宜	コンクリートの表面状態の浮き水が消え、養生剤の散布が可能な時期になっていること
作業時	養生剤の散布	目視により確認	施工範囲全体	養生剤がムラなく均一に散布されていること
	シート養生	目視により確認	施工範囲全体	コンクリートの保温が可能なようにシートがコンクリート全面にかけられていること
作業後	シートの管理	目視により確認	施工範囲全体	シートが風などにより飛ばされないように固定されていること
	養生時間（期間）	SFRCの圧縮強度、接着材の接着性能により確認	1回/施工	所要の圧縮強度および接着性能が得られていること

【解説】

コンクリートの打込み後、所定の材齢まで、直射日光や風等による水分の逸散を防がなければならない。また、養生剤を使用する場合、その効果や施工性、使用条件等の品質について事前に確認されたものを用いなければならない。

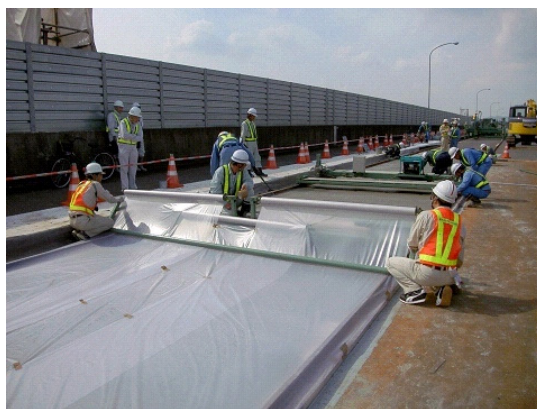


図-4.5.11 コンクリートの養生

5章 維持管理

- (1) SFRC 舗装を施した鋼床版については、以下の項目について適切な頻度で点検・調査を行う。
- 1) 負曲げ部、打継目部等の SFRC 舗装のひび割れ、はく離、破損等の発生、進展
 - 2) 鋼床版のき裂の進展抑制の対策を実施した部位からの疲労き裂の再発生
 - 3) 鋼床版の新たな疲労き裂の発生、進展
- (2) SFRC 舗装の仕様や施工方法、維持管理において実施した調査結果については記録しておく。

【解説】

- (1) SFRC 舗装表面にひび割れを生じることある程度避けられないことであり、特に主桁ウェブ直上等の負曲げを受ける箇所においては、ひび割れが発生する可能性が高い。また、他の箇所においても乾燥収縮等によりひび割れが生じる可能性がある。ひび割れが生じたとしても、舗装としての機能や補強の効果がただちに失われることはないが、舗装の劣化が進行し補強の効果が損なわれることがないように、適切な頻度で SFRC 舗装の点検・調査を行い、その健全度を把握する必要がある。SFRC 舗装の劣化の初期の状況として舗装のひび割れの進行に着目した調査を行う必要がある。特に輪荷重の影響を受ける打継目部や負曲げを受ける主桁ウェブ直上については、水の浸入による劣化の進行に注意する。ひび割れについては、目視等によりその状況、分布を調査し、必要に応じてクラックゲージ等によりひび割れ幅を計測する。また、ひび割れの進展が見られた場合には、接着材のはく離について、ひび割れ部周辺の打音検査等によりはく離の兆候がないか適宜確認するとよい。調査の結果、劣化が進行して SFRC 舗装の耐久性に悪影響を及ぼす兆候が認められる場合には、その発生の要因を十分に検討し適切な対策を行う。

また、鋼床版の疲労き裂が SFRC 舗装を施工した後に進展する可能性は低いと考えられるが、発見されているき裂の進展や新たなき裂の発生がないか調査を行うことも必要である。例えば、比較的長いビード進展き裂に対してき裂先端を除去して観察孔を設けるようなき裂の処置を施した場合には、補修後しばらくき裂の再発生がないか経過観察するのがよい。

- (2) SFRC 舗装の耐久性に関しては、交通条件、施工条件、自然環境等の外的条件等が複雑に影響するため未解明の部分もある。今後の維持管理の参考にするため、施工時の使用材料、設計図面、施工計画書、および品質管理の結果や、対策後の点検調査時における舗装表面や鋼床版の損傷状況の追跡調査の結果を記録しておくことが重要である。

特に記録を残しておくことが重要なものとして、以下の項目があげられる。

1) SFRC 舗装施工時に残しておくべき記録

- ・ 鋼床版の疲労損傷状況の調査結果
- ・ き裂の進展抑制対策として実施した補修・補強
- ・ 使用材料、SFRC の配合仕様
- ・ 設計図面、施工計画書、品質管理結果
- ・ スタッドの設置位置

2) 点検・調査時に残しておくべき記録

- ・舗装表面の調査結果（ひび割れの分布状況、ひび割れ幅、ひび割れ長さ、測定時の気象等）
- ・変状が見られた箇所の写真
- ・ひび割れ補修に使用した材料および方法
- ・鋼床版の疲労き裂の追跡調査結果
- ・供用条件（交通量、走行位置）

参考文献

[1章]

- 1.1) (社)土木学会：コンクリート標準示方書〔規準編〕（2007年制定）
- 1.2) 下里ら：疲労損傷を受けた鋼床版におけるSFRC補強後の疲労耐久性検証試験、土木学会第62回年次学術講演会講演概要集、1-022、2007年9月
- 1.3) (独)土木研究所：鋼床版デッキプレート進展き裂の調査のための超音波探傷マニュアル（案）、土木研究所資料、第4138号、2009年3月
- 1.4) 児玉ら：大平高架橋の鋼床版におけるSFRC舗装によるひずみ低減効果、第六回道路橋床版シンポジウム論文報告集、2008年6月
- 1.5) 弓削ら：実橋鋼床版き裂補修部におけるSFRC補強前後の応力計測結果、土木学会第62回年次学術講演会講演概要集、1-021、2007年9月

[2章]

- 2.1) (社)日本道路協会：鋼道路橋塗装・防食便覧、2005年12月

[3章]

- 3.1) (財)高速道路調査会：上面増厚工法設計施工マニュアル、1995年11月
- 3.2) (社)鋼材倶楽部：鋼繊維補強コンクリート設計施工マニュアル（道路舗装編）、1992年10月
- 3.3) 菊池ら：湘南大橋における鋼床版の疲労対策、鋼構造と橋に関するシンポジウム論文報告集、Vol.10、2007年8月
- 3.4) 児玉ら：大平高架橋の鋼床版におけるSFRC舗装によるひずみ低減効果、第六回道路橋床版シンポジウム論文報告集、2008年6月
- 3.5) 例えば、原賀：信頼性の高い接着設計のための基本条件と耐久性評価法、日本接着学会誌、Vol.43、No.8、2007年
- 3.6) 例えば、新保：エポキシ樹脂ハンドブック、日刊建設工業社、pp.299、1987年版
- 3.7) 寺田：鋼繊維補強コンクリートを用いた合成床版の開発研究、名古屋大学学位論文、1986年10月
- 3.8) (社)土木学会：コンクリート標準示方書〔規準編〕（2007年制定）

[4章]

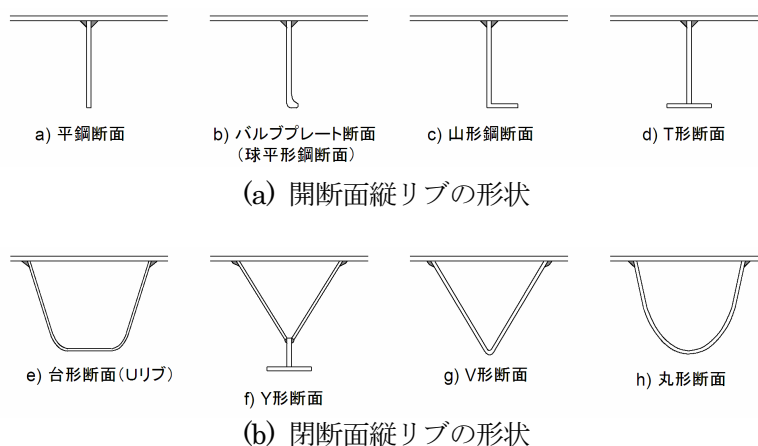
- 4.1) 児玉ら：SFRC舗装による鋼床版の疲労耐久性向上対策、鋼構造と橋に関するシンポジウム論文報告集、Vol.12、2009年8月
- 4.2) (財)高速道路調査会：上面増厚工法設計施工マニュアル、1995年11月
- 4.3) (社)日本コンクリート工学協会：繊維補強コンクリートの試験方法に関する規準、1984年

付属資料－1 鋼床版の疲労耐久性向上技術の概要

鋼床版の特徴と変遷、疲労損傷の事例、疲労対策の考え方と舗装構造の改良による対策方法の技術動向、および本マニュアル(案)で対象としている SFRC 補強工法の構造について、その概要を示す。

1.1 鋼床版の特徴と変遷

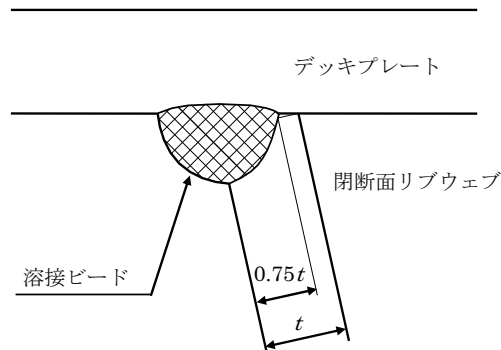
鋼床版は、12mm 程度の厚さのデッキプレートを縦リブと横リブで縦横に補剛した床版であり、RC 床版と比較して軽量であるため、死荷重軽減等の観点から長大橋の床構造や都市内高架橋に広く用いられてきている。縦リブの種類としては、付図－1.1.1 に示すような開断面リブと閉断面リブとがある。土木学会の調査²⁾によれば、U型の形状の閉断面リブ（以下、Uリブ）は昭和 40 年代後半より中規模支間の橋梁の建設数の増加とともに普及してきている。現状では、橋梁の曲線半径が小さいためUリブでは曲げ加工が難しい場合や、構造的にUリブが配置できない場合等を除き、Uリブの適用が主流と考えられる。また、形状寸法に関しては、日本鋼構造協会規格（JSS II 08-2006）に準拠したU形鋼が一般的となっている。同規格は昭和 55 年に制定（昭和 58 年、平成 18 年に一部改定）されているが、普及するまでは種々の形状・寸法の縦リブが使用されている。



付図－1.1.1 鋼床版縦リブの形状¹⁾

鋼床版は、薄板により構成された溶接構造であり、床版として直接輪荷重を支持する構造であることから、これまでも疲労に配慮した構造ディテールに関する調査研究³⁾が行われてきている。平成 14 年の道路橋示方書（以下、道示）の改訂では、疲労設計の導入に伴い鋼床版の製作・施工の規定の充実が図られている。鋼床版のUリブとデッキプレート間の溶接に関しては、疲労耐久性向上を目的として、付図－1.1.2 に示すように、所定ののど厚と溶込み量が規定されている。デッキプレートとUリブの溶接は必然的に片面溶接となるが、それ以前は板厚 6mm のUリブでは開先加工を行わず自然開先のまますみ肉溶接を行う方法が一般的であり、8mm のUリブでは標準的なものではなく開先をとる場合ととらない場合が見られる。「鋼道路橋の疲労設計指針」⁴⁾では、付図－1.1.3 に示す条件に限定した上で、疲労耐久性が確保できる構造ディテールに関する事項を規定している。平成 14 年道示の前後の構造的な違いとしては、横リブ交差部のディテール（ス

カラップの有無) や横リブ間隔が挙げられる。横リブ間隔については、ダイヤフラムや斜張橋等の定着部の間隔との取り合い等の関係で決定される場合もあるが、現行の 2.5m に対して、従来の構造では 3~4m 程度と比較的長くとしている事例も見られる。



ルート部の応力集中を低減する観点から、必要など厚を確保するとともに75%以上の溶込み量を確保 (道示Ⅱ図解 17.9.2 より)

付図-1.1.2 溶接の溶け込み量

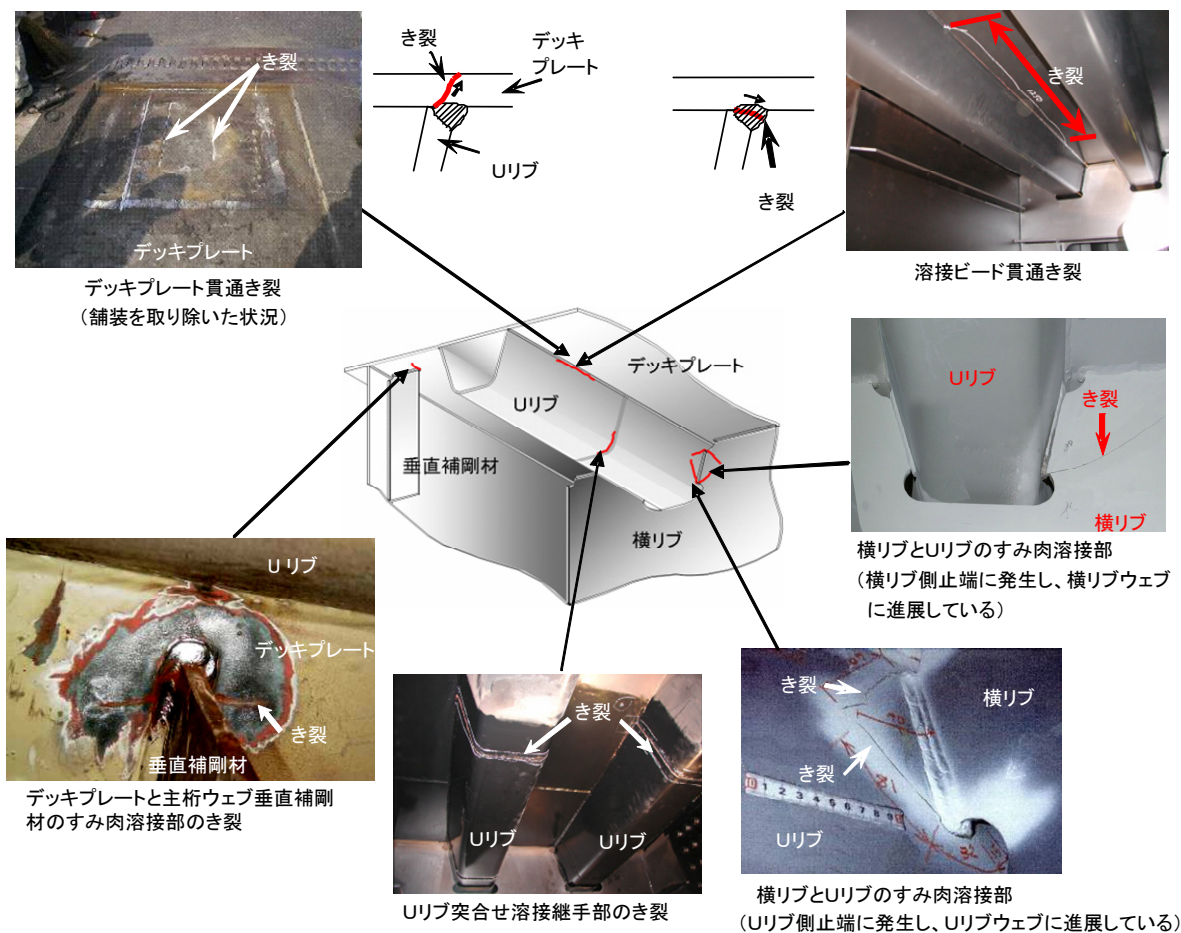
- 1) 縦リブ支間 L が、 $L \leq 2.5\text{m}$ である。
- 2) 縦リブが、バルブプレートリブ、平板リブまたは以下に示す閉断面リブである。
 - ① U-320×240×6、② U-320×260×6
 - ③ U-320×240×8、④ U-320×260×8
- 3) デッキ板厚 t_d が、 $12\text{mm} \leq t_d \leq 16\text{mm}$ である。

付図-1.1.3 疲労設計指針における鋼床版構造の疲労設計の適用範囲⁴⁾

1.2 鋼床版の疲労損傷

鋼床版橋では、大型車の交通条件の厳しい路線を中心に、1980 年代半ば頃より損傷事例が報告されている。初期の鋼床版の損傷事例については、「鋼橋の疲労」⁵⁾にまとめられているが、最近では、Uリブを使用した鋼床版のデッキプレートとUリブの溶接部、Uリブと横リブの交差部等各所に付図-1.2.1 に示すようなき裂が顕在化しつつあり^{6),7)}、各機関において疲労対策に関する調査研究^{8)~12)}が行われている。

Uリブは閉断面構造のため、製作時においてデッキプレートとの溶接は外面からの片側溶接となる。鋼床版の各部位のき裂のうち、デッキプレートとUリブの溶接ルート部 (溶接金属の底部とデッキ鋼板の接触する部分) からき裂が発生・進展し、補修補強が必要となる事例が報告されている。このき裂は、その進展方向から、主にデッキプレート内に進展しデッキ表面に貫通するき裂 (以下、デッキ進展き裂) とルート部から溶接ビード内に進展するき裂 (以下、ビード進展き裂) の2種類、もしくは両者が融合したき裂に分けられる。前者のデッキ進展き裂は 2000 年頃より散見されているが、目視では発見困難な部位に発生するため損傷実態については不明な部分が多い。このき裂がデッキプレートを貫通し進展すると舗装の変状として現れるので、その大部分が変状箇所の補修に伴う舗装除去時や打換え時に発見されている。舗装の損傷が局所的に発生する等疑わしい場合には、舗装除去時にデッキプレート表面の状態を調査することが重要である。貫通前にき裂を捉えるための超音波探傷試験¹³⁾等の非破壊調査の検討も行われている。一方、後者のビード



付図-1.2.1 鋼床版の疲労損傷事例

進展き裂は、貫通した場合には目視点検可能であるが、のど厚不足等に起因しき裂が数 10cm と長く進展した状態で発見される事例も確認されており、いずれもき裂の進展状況によっては早期の対策が必要となる。

1.3 鋼床版の疲労対策

鋼床版の疲労損傷に関して、関係機関において損傷原因、点検・調査方法、対策方法の検討が進められている。疲労損傷は溶接部における局部変形・応力集中の繰り返しにより発生するが、その要因には大型車交通量等の荷重要因、構造詳細等の設計要因、溶接品質等の製作要因が挙げられる。橋梁毎にこれらの要因を調査しつつ、橋全体の損傷状態・傾向や供用条件を把握した上で対策を選定することが重要である。き裂は、通常、輪荷重直下の溶接部に見られるが、鋼床版の場合、橋軸方向全長にわたって同一の構造ディテールが続き、輪荷重の载荷条件も同一であるため、橋軸方向いずれの部位でもき裂が発生する可能性が考えられる。このため、き裂が発見された部位のみならず、走行位置直下全長にわたって将来のき裂発生の可能性を踏まえて対策を検討する必要がある。

対策としては、き裂による部材の破断部分については鋼部材による断面補強があげられる。この補強も、予防保全の観点から橋軸方向全長を対象にき裂発生の可能性の高い全溶接部をカバーするとなると必ずしも合理的な方法とならない場合もある。また、死荷重増の影響や、デッキプレート表面を補強する場合には舗装との取り合い等にも配慮する必要がある。この他、より合理的に鋼床版全体を補強する上で、剛性の高い

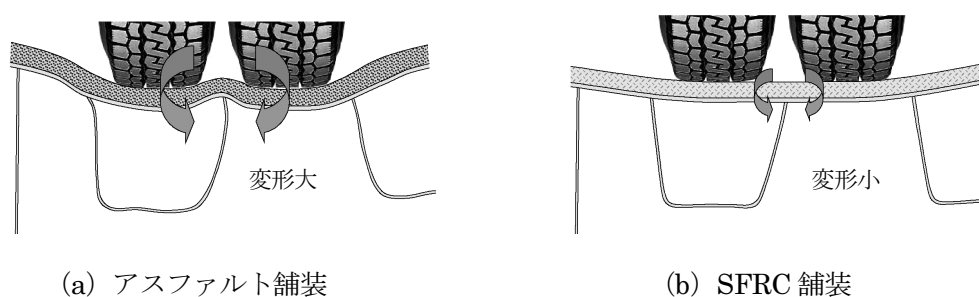
舗装を敷設し、デッキプレートと合成させて鋼床版各部の局部応力・変形を軽減させることにより疲労耐久性を向上させる工法が選択肢の一つとして挙げられる。

1.4 舗装構造の改良による疲労対策の技術動向

既設鋼床版橋の舗装構造の改良による疲労対策の方法については既に各種の工法が提案されており、その一つに鋼繊維補強コンクリート（Steel Fiber Reinforced Concrete（以下、SFRC））舗装が挙げられる。SFRC 舗装については、1980年代半ばから名古屋高速道路公社において、グースアスファルトの耐久性（せん断ずれ、わだち掘れ）等の懸念からランプや料金所等に一部適用されており¹⁴⁾、舗装としては必ずしも新しい工法ではない。従来の舗装と本質的に異なる点は、鋼床版の疲労対策として、舗装と鋼床版を一体化した構造として扱っているところにある。また、構造的には従来の構造がデッキプレートと舗装間をスタッドで接合しているのに対し、施工性を考慮し接着材を主体にした接合としている点異なる。

SFRC 舗装は既に都市内高速道路や一般国道における鋼床版橋の疲労対策に適用されている。例えば、平成15年度に横浜ベイブリッジの一般国道357号部分に適用（舗装厚75mm）され¹⁵⁾、舗装表面のひび割れ状況や応力軽減効果のモニタリング等が実施されている¹⁶⁾。また、神奈川県湘南大橋では平成17年度に既設鋼床版橋の疲労対策として初めてSFRC 舗装（応急対策として鋼断面補強も実施）が採用されており^{17),18)}、その後、都市内高速道路¹⁹⁾、国土交通省の既設鋼床版橋²⁰⁾にも試験的に適用されている。SFRC 舗装による鋼床版疲労耐久性向上技術（以下、SFRC 補強工法）は、付図-1.4.1に示すように、既設のアスファルト舗装を剛性の高いSFRC 舗装に置き換えることで、デッキプレートの局部変形を軽減し、デッキプレートとウリブ溶接部周辺の活荷重応力を軽減することにより鋼床版の疲労耐久性の向上を図るものである。実験・解析によれば、舗装がない状態に対して1/10程度、アスファルト舗装に対して1/3~1/2程度（路面温度20℃から7℃程度に対して、舗装の弾性係数を1500N/mm²から4000N/mm²に仮定）まで活荷重応力を軽減する結果が得られている^{21),22)}。

舗装の改良による対策工法には、SFRC 舗装以外にも各種工法の研究開発が行われている。舗装としての機能面からSFRC とアスファルト舗装の2層構造とする事例¹⁹⁾や、SFRC 以外の高強度・高耐久性材料を使用する工法^{23),24)}、施工面からプレキャスト部材²⁵⁾を用いる工法等が提案されている。



付図-1.4.1 SFRC 舗装によるデッキプレート局部曲げの軽減イメージ

参考文献

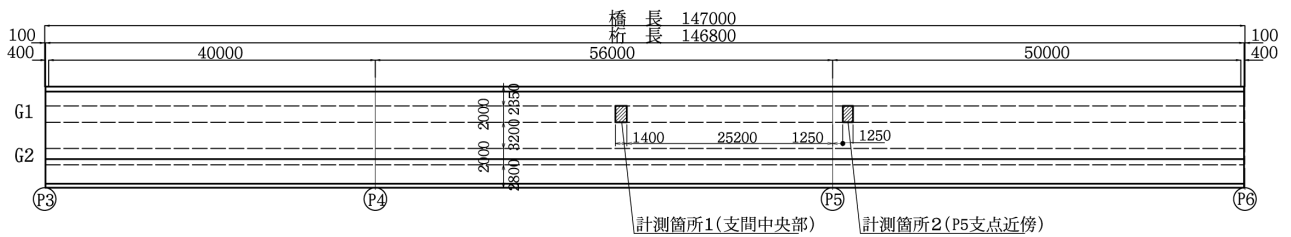
- 1) (社)日本道路協会：鋼道路橋設計便覧、1979年2月(1980年8月改訂)
- 2) 鋼構造委員会鋼構造進歩調査小委員会橋床構造の進歩調査分科会：鋼床版の発展と現況、土木学会誌、1982年9月
- 3) 例えば、大橋ら：鋼床版の疲労を考慮したディテールの改良、橋梁と基礎、1997年4月
- 4) (社)日本道路協会：鋼道路橋の疲労設計指針、2002年3月
- 5) 日本道路協会：鋼橋の疲労、1997年5月
- 6) 神木ら：鋼床版の疲労亀裂発生パターンに関する一分析、土木学会第59回年次学術講演会講演概要集、2004年9月
- 7) 高田ら：阪神高速道路における鋼床版の疲労損傷状況報告、土木学会第61回年次学術講演会講演概要集、2006年9月
- 8) 川畑ら：鋼床版橋梁の点検手法確立のための現地調査、土木学会第60回年次学術講演会講演概要集、2005年9月
- 9) 下里ら：鋼床版の移動輪荷重疲労試験、土木学会第60回年次学術講演会講演概要集、2005年9月
- 10) 藤林ら：鋼床版デッキ貫通き裂損傷に関する報告、阪神高速道路(株)、第38回技術研究発表会、2005年2月
- 11) 牛越ら：鋼床版デッキプレートとトラフリップ溶接部に発生した亀裂の進展性状と応急対策状況、土木学会第61回年次学術講演会講演概要集、2006年9月
- 12) 高田ら：阪神高速道路における鋼床版の疲労損傷と要因分析の検討、第5回道路橋床版に関するシンポジウム論文集、2006年7月
- 13) 村越ら：鋼床版の疲労亀裂に対する超音波探傷法の適用性に関する基礎検討、土木技術資料 Vol.46-11、2004年11月
- 14) 前野ら：鋼繊維補強コンクリートを用いた鋼床版の舗装、コンクリート工学 Vol.24 No.5、pp.39-46、1986年5月
- 15) 西川：SFRCによる鋼床版舗装—鋼とコンクリートの新しい関係—、橋梁と基礎、2005年8月
- 16) 加形ら：SFRC舗装による鋼床版の疲労損傷対策—一般国道357号横浜ベイブリッジ舗装工事—、橋梁と基礎、2004年10月
- 17) 児玉ら：供用下におけるSFRCによる鋼床版の疲労対策、橋梁と基礎、2006年11月
- 18) 菊池ら：湘南大橋における鋼床版の疲労対策、鋼構造と橋に関するシンポジウム論文報告集、Vol.10、2007年8月
- 19) 牛越ら：実橋における既設鋼床版へのSFRC補強効果確認計測、土木学会第62回年次学術講演会、2007年9月
- 20) 児玉ら：大平高架橋の鋼床版におけるSFRC舗装によるひずみ低減効果、第六回道路橋床版シンポジウム論文報告集、2008年6月
- 21) 西野ら：SFRC舗装による鋼床版の応力低減効果に関する実験的検討、土木学会第60回年次学術講演会講演概要集、2005年9月
- 22) 村越ら：鋼床版の疲労損傷と補修・補強技術に関する検討、鋼構造と橋に関するシンポジウム論文報告集、Vol.10、2007年8月
- 23) 三田村ら：高靱性繊維補強セメント複合材料による鋼床版上面増厚補強に関する研究、土木学会論文集 E、Vol.62、No.2、2006年5月
- 24) 大垣ら：ゴムラテックスモルタルの既設鋼床版への適用法に関する研究、第7回複合構造の活用に関するシンポジウム、2007年11月
- 25) 西野ら：プレキャスト合成版を用いた鋼床版補強工法の実験的検討(その2)、土木学会第62回年次学術講演会講演概要集、2007年9月

付属資料-2 SFRC 舗装による実橋鋼床版のひずみ軽減効果に関する検討

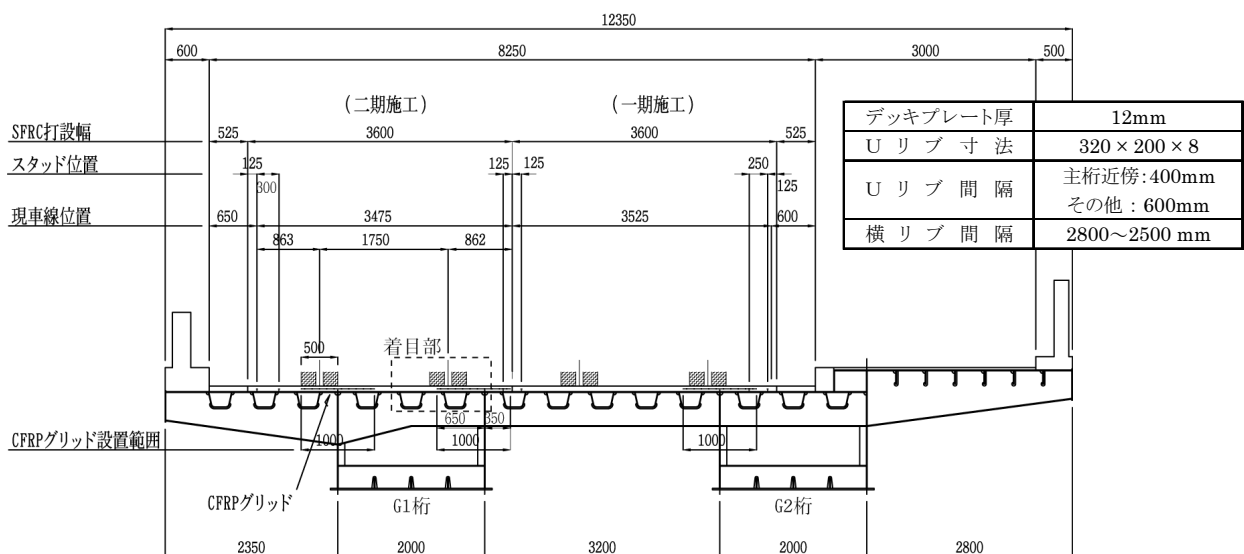
実橋において SFRC 舗装の施工前後に荷重車を用いた載荷試験を行い、SFRC 舗装による鋼床版各部のひずみ軽減効果について調査した事例を示す。

2.1 対象橋梁と SFRC 舗装の概要

付図-2.1.1 に計測対象の 3 径間連続鋼床版箱桁橋（支間長 40m+56m+40m）の概要を示す。鋼床版のデッキプレート厚は 12mm、Uリブは幅 320mm、高さ 200mm、厚さ 8mm である。施工前のアスファルト舗装厚は 75mm であり、この全厚を本マニュアル(案)に示した使用材料、配合設計、構造細目に準じた SFRC に置き換えている。SFRC 舗装は幅員方向に二分分割して施工されており、早強コンクリートに $\phi 0.6 \times 30$ の鋼繊維を $120\text{kg}/\text{m}^3$ 混入した SFRC が使用されている。SFRC の設計基準強度は $30\text{N}/\text{mm}^2$ （材齢 7 日）である。SFRC 舗装とデッキプレートはエポキシ系接着材により接合されているが、舗装の両端部および打継目部には $\phi 9 \times 30\text{mm}$ のスタッドが設置されている。また、主桁ウェブ直上の SFRC 内部には補強材として 100mm 格子の CFRP グリッドが設置されている。



(a) 平面図



(b) 断面図

付図-2.1.1 計測対象橋梁

2.2 計測方法

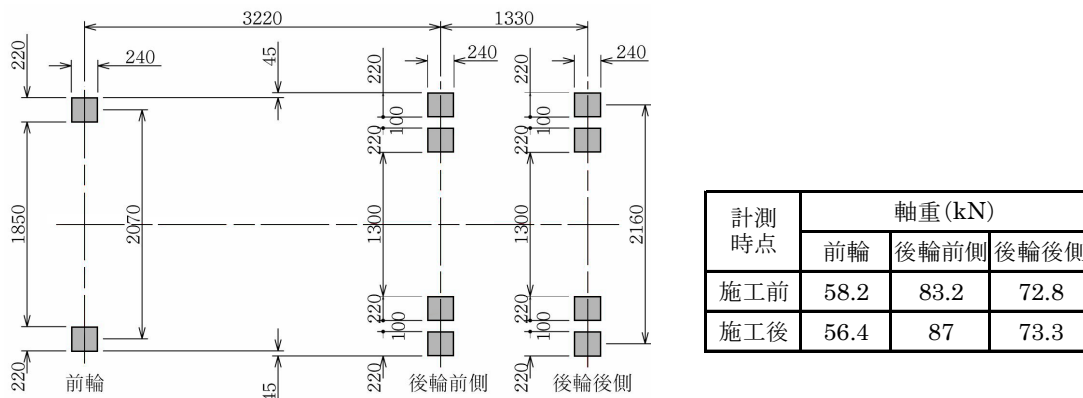
2.2.1 計測箇所

主桁の鉛直たわみが比較的大きい支間中央部(付図-2.1.1の計測箇所1)と比較的小さい中間支点近傍(付図-2.1.1の計測箇所2)において、デッキプレートとUリブの溶接部近傍、垂直補剛材上端溶接部、Uリブ突合せ溶接部、横リブ交差部等のひずみを計測した。ひずみゲージの貼付位置は、各溶接ビードの止端から5mm離れた位置とした。ひずみゲージの感度方向は橋軸直角方向を基本としたが、Uリブ突合せ溶接部については橋軸方向としている。また、横リブ交差部の横リブ側には3軸ひずみゲージを貼付した。

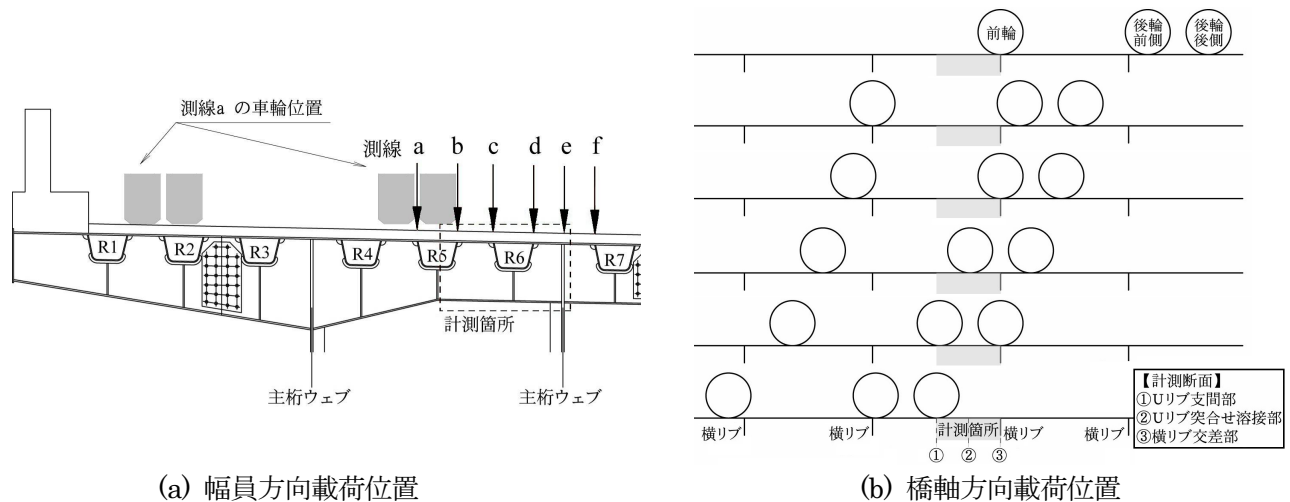
2.2.2 荷重車と載荷位置

付図-2.2.1に、使用した荷重車の輪配置と軸重を示す。荷重差による補正等は行わず、施工前後で同じ荷重のダンプトラックが載荷されたものとして計測結果を整理した。

計測は、付図-2.2.2に示す載荷位置に荷重車を停止させた状態で行った。FEM解析によれば、補強前の鋼床版においては、ダブルタイヤがUリブウェブを跨ぐように載荷された場合に、き裂の起点であるUリブ溶接ルート部に最も高い局部応力を生じることが確認されている。このことを踏まえて、幅員方向の載荷位置は、同図(a)に示したように、後輪の片側ダブルタイヤの中心がUリブウェブの直上あるいは主桁ウェブの直上の測線a~fとなるようにした。また、橋軸方向にトラックを移動させながら、同図(b)に示した各載荷位置で計測を行った。



付図-2.2.1 ダンプトラックの輪配置と軸重



付図-2.2.2 ダンプトラックの載荷位置と計測箇所

2.3 計測結果

付図-2.3.1 に鋼床版各部のひずみの計測結果を示す。付図-2.2.2(a)と(b)に示した載荷状態の組合せの中での最大ひずみと最小ひずみの差をひずみ範囲として整理している。図中には、施工前のアスファルト舗装でのひずみ範囲、施工後の SFRC 舗装でのひずみ範囲、ひずみ軽減率（＝施工後のひずみ範囲／施工前のひずみ範囲）を示した。鋼床版各部においてひずみは大きく軽減されており、特にデッキプレートとUリブの溶接部近傍のデッキプレート側のひずみは SFRC 舗装によってアスファルト舗装時の 1/10 程度まで軽減されている。このひずみは溶接止端から 5mm 離れた位置のものであり、き裂の起点である溶接ルート部のひずみではないが、FEM 解析によれば、ダブルタイヤがUリブウェブを跨ぐように載荷条件において当該溶接ルート部の応力とデッキ側止端 5mm 位置の応力に高い相関性があることが確認されている。このため、SFRC 舗装によってUリブ溶接ルート部の応力も相当程度軽減されるものと考えられる。参考までに、載荷試験時および SFRC 舗装施工時の日平均気温と天候を付表-2.3.1 に示す。

付表-2.3.1 載荷試験時および SFRC 舗装施工時の日平均気温と天候

	日平均気温	天候	年月日
載荷試験時 (アスファルト舗装)	19.1℃	曇	2007年10月2日
SFRC舗装施工時	16.1℃	曇	2007年10月30日
載荷試験時 (SFRC舗装)	14.3℃	曇	2007年11月6日

参考文献

- 1) 児玉ら：大平高架橋の鋼床版におけるSFRC舗装によるひずみ低減効果、第六回道路橋床版シンポジウム論文報告集、2008年6月

着目部位	計測位置	計測箇所1 (支間中央部)		計測箇所2 (P5支点近傍)	
		ひずみ範囲(μ) 0 100 200 300 400 500 600		ひずみ範囲(μ) 0 100 200 300 400 500 600	
デッキプレートと Uリブの溶接部 (デッキプレート側)	①Uリブ支間部 	D1	9%	6%	
		D2	8%	6%	
		D3	8%	12%	
	③横リブ交差部 	D1	7%	8%	
		D2	8%	7%	
		D3	11%	8%	
デッキプレートと Uリブの溶接部 (Uリブ側)	①Uリブ支間部 	U1	11%	12%	
		U2	18%	18%	
		U3	28%	18%	
	③横リブ交差部 	U1	32%	61%	
		U2	65%	13%	
		U3	41%	31%	
垂直補剛材上端部 	V1	12%	15%		
Uリブ突合せ溶接部 	B1	34%	39%		
横リブ交差部 (ひずみゲージ位置詳細) 	③横リブ交差部 	S1	32%	26%	
		S2	29%	28%	
		S3	29%	27%	
	③横リブ交差部 	T1	水平	35%	29%
			斜め	30%	29%
			鉛直	38%	34%
		T2	水平	27%	21%
			斜め	37%	28%
			鉛直	37%	31%
		T3	水平	27%	23%
			斜め	35%	32%
			鉛直	31%	31%

□ 施工前
■ 施工後

数値(%)は
ひずみ軽減率

付図-2.3.1 SFRC 舗装による鋼床版各部のひずみ軽減効果

付属資料－3 鋼床版の疲労対策としての SFRC 舗装の適用事例^{1)・9)}

鋼床版橋梁の疲労対策として SFRC 舗装を適用した 3 事例について、適用の概要を付表－3.1.1 から 3.1.3 に示す。

付表－3.1.1 の横浜ベイブリッジは、ダブルデッキ構造の 3 径間鋼トラス斜張橋、3 径間連続鋼トラス橋、および 3 径間連続鋼箱桁橋で構成される長大橋であり、上層は 1989 年から首都高速道路として供用され、下層は 2004 年 4 月から国道 357 号として暫定 2 車線で供用されている。トラス構造部における下層の上部工は、トラスの下路横桁で支持された支間 15m 程度の 6 径間および 7 径間連続の鋼床版桁橋である。下層の舗装は、当初設計ではグースアスファルト舗装の予定であったが、コンテナ車など重車両が非常に多い路線であることから検討委員会が設置され、鋼床版の疲労耐久性の向上を目的として SFRC 舗装が採用された。SFRC の施工は、2004 年 1 月から 2 月に行われており、凍結が懸念されたため、真空養生を用いている。また、アプローチ部（3 径間連続鋼箱桁橋）が未完成であったため、海上 40m までポンプ圧送が可能なコンクリートを配合している。なお、本橋は、鋼床版の疲労対策を目的として新設橋に SFRC 舗装を採用した我が国で初めての事例である。

付表－3.1.2 の湘南大橋は、1986 年に開通した 3 径間連続鋼床版箱桁橋である。1999 年に鋼床版に疲労き裂が確認されており、2000 年には貫通き裂に対して鋼床版の部分取り替えが実施されている。さらに、2001 年以降、深さ 6mm 以上のデッキ進展き裂を対象に当て板補強が行われたが、2003 年度末には補強箇所が多数箇所に達したため、車線位置を変更するとともに、橋梁全長にわたって SFRC が舗設された。施工は、2005 年 10 月末から 12 月中旬の約 2 ヶ月にわたって、夜間全面通行止め（午後 9 時～午前 6 時）のもとで行われている。施工時間の制約から、既設のアスファルト舗装を撤去して仮舗装を行う 1 次施工と、仮舗装を撤去して超速硬コンクリートを用いた SFRC を舗設する 2 次施工の 2 段階に分けて施工された。1 日あたりの SFRC 舗設量は 40～60m²であった。

付表－3.1.3 の大平高架橋は、上下線が分離した形式の 3 径間連続鋼床版箱桁橋である。現在の上り線（2 車線）が 1983 年に、下り線（2 車線）が 2005 年に開通している。上り線の橋梁は 20 年以上供用されており、鋼床版に疲労損傷が見られたため、き裂発生箇所に進展抑制のための対策を施した上で、2007 年 10 月から SFRC の舗設工事を開始した。施工は約 1 ヶ月にわたり全面通行止めにして行われ、早強コンクリートを用いた SFRC が施工範囲全体にわたって一括して舗設された。

付表-3.1.1 横浜ベイブリッジの事例

(1)対象橋梁の構造諸元等																								
①橋梁形式	6、7径間連続鋼床版鋼桁橋9連(3径間連続鋼トラス斜張橋部分における二層構造の下層)																							
②橋長	860.0m																							
③支間長	鋼床版鋼桁橋の平均支間長 15m (鋼トラス斜張橋:200m+460m+200m)																							
④幅員	2.5m(路肩部)+3.5m(車道部)+1.5m(中央帯)+3.5m(車道部)+2.5m(路肩部)																							
⑤曲線半径	直橋																							
⑥横断勾配	2.00%																							
⑦縦断勾配	3.3% ~ -3.3%																							
⑧デッキプレート厚	12mm																							
⑨縦リブの形状寸法	U-300×220×6																							
⑩縦リブ間隔	(箱桁内)主桁近傍 350mm、その他580mm (箱桁外)主桁近傍 350mm、その他580mm																							
⑪縦リブ支間	2.100~2.150mm																							
⑫既設の舗装構成	新設でSFRC舗装を採用																							
⑬建設年次	2004年(上層は1989年)																							
⑭対策年次	2004年																							
(2) 鋼床版の損傷状況等																								
1)疲労き裂の発生状況	新設のため、き裂なし																							
2)き裂への対処	-																							
(3)SFRC舗装の仕様等(複数工区のうち一工区の例)																								
1)舗装構成	①SFRC舗装厚 75mm ②接着材 エポキシ系接着材B ③スタッド $\phi 9 \times 40$ mm、打継目および舗装端部で300mm間隔で設置(縁から150mm) ④補強材 なし																							
2)配合条件	①設計基準強度 30N/mm ² (材齢7日) ②セメントの種類 早強ポルトランドセメント(膨張材使用) ③粗骨材の最大寸法 13mm(「JISA5001道路用砕石」を使用) ④スランプの範囲 8.0±2.5cm(鋼繊維混入後) ⑤鋼繊維混入量 120kg/m ³ ⑥目標空気量 5.0±1.5%																							
3)使用材料及び示方配合	①セメント 早強ポルトランドセメント ②鋼繊維 シンコーファイバー $\phi 0.5$ mm×30mm、 $\rho=7.85$ [神鋼建材工業(株)製] ③細骨材 $\rho=2.57, 2.68, F.M.=2.10, 3.40$ [千葉縣市原産, 高知県鳥形山産] ④粗骨材 $\rho=2.70, F.M.=$ -、 $G_{max}=13$ [埼玉県日高産] ⑤減水剤 AE減水剤ポゾリスNo.70 示方配合																							
	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">水結合材比 W/(C+EX) (%)</th> <th rowspan="2">細骨材率 (s/a) (%)</th> <th rowspan="2">鋼繊維 混入量 (kg/m³)</th> <th colspan="5">単位量 (kg/m³)</th> <th rowspan="2">AE減水剤 ((C+EX)×%) Ad</th> </tr> <tr> <th>水 W</th> <th>セメント C</th> <th>膨張材 EX</th> <th>細骨材 S</th> <th>粗骨材 G</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>46.5</td> <td>60.0</td> <td>120</td> <td>202</td> <td>404</td> <td>30</td> <td>939</td> <td>649</td> <td>0.25</td> </tr> </tbody> </table>	水結合材比 W/(C+EX) (%)	細骨材率 (s/a) (%)	鋼繊維 混入量 (kg/m ³)	単位量 (kg/m ³)					AE減水剤 ((C+EX)×%) Ad	水 W	セメント C	膨張材 EX	細骨材 S	粗骨材 G	46.5	60.0	120	202	404	30	939	649	0.25
水結合材比 W/(C+EX) (%)	細骨材率 (s/a) (%)				鋼繊維 混入量 (kg/m ³)	単位量 (kg/m ³)					AE減水剤 ((C+EX)×%) Ad													
		水 W	セメント C	膨張材 EX		細骨材 S	粗骨材 G																	
46.5	60.0	120	202	404	30	939	649	0.25																
4)施工方法	①交通規制 新設のため規制なし(アプローチ部が未完のため海上40mまでコンクリートをポンプ圧送) ②切削方法 無し ③研掃処理 1種ケレン ④コンクリート供給 バックホウ ⑤養生 真空養生(凍結対策)+シート																							
(4)その他																								
1)特記事項	・一般国道357号横浜ベイブリッジ鋼床版舗装検討委員会(委員長:丹羽淳一郎東工大大学院教授)において構造、施工等について検討。 ・供用前に舗装表面にひび割れを確認。ひび割れ幅は最大0.3mm程度。コア抜き調査により、貫通ひび割れを確認。ひび割れの要因としては、乾燥収縮と施工方法(粗骨材の種類とそれに伴う単位水量、真空養生のパネル配置、表面仕上げ「タンピング」の有無)等が挙げられる。全般的には健全な状態を保持しており、経年的に調査を継続中。																							
2)参考文献	1)加形ら:SFRC舗装による鋼床版の疲労損傷対策、橋梁と基礎、2004年10月 2)西川:SFRCによる鋼床版舗装・鋼とコンクリートの新しい関係、橋梁と基礎、2005年8月 3)井出:SFRC舗装による鋼床版の疲労低減効果、平成18年度国土交通省国土技術研究会、2006年10月 4)児玉ら:SFRC舗装による鋼床版の疲労耐久性向上対策、第12回 鋼と橋に関するシンポジウム論文報告集、2009年8月																							

付表-3.1.2 湘南大橋の事例

(1)対象橋梁の構造諸元等																							
①橋梁形式	3径間連続鋼床版箱桁橋 2連																						
②橋長	530.1m (鋼床版橋部分)																						
③支間長	3@88.0m + 3@88.0m																						
④幅員	8.0m (車道部)+ 3.5m (歩道部)																						
⑤曲線半径	直橋																						
⑥横断勾配	2.00%																						
⑦縦断勾配	2.5% ~ 1.4%																						
⑧デッキプレート厚	12~20mm																						
⑨縦リブの形状寸法	U-320×250×8-R40																						
⑩縦リブ間隔	(箱桁内) 主桁近傍 420mm、その他580mm (箱桁外) 主桁近傍 490mm、その他630mm																						
⑪縦リブ支間	2,750mm																						
⑫既設の舗装構成	(表層) 改質アスファルト40mm (基層) 改質アスファルト30mm (防水層) シート系防水層																						
⑬建設年次	1986年																						
⑭対策年次	2005年																						
(2) 鋼床版の損傷状況等																							
1)疲労き裂の発生状況	デッキ進展き裂 322箇所、ビード貫通き裂 122箇所、垂直補剛材の上端溶接部20箇所																						
2)き裂への対処	デッキ貫通き裂を生じた1箇所において鋼床版の部分取り替えを実施 デッキ進展き裂のうち、その深さが6mm以上と推定される98箇所について当て板補強を実施 ビード貫通き裂については、溶接補修を実施																						
(3)SFRC舗装の仕様等 (複数工区のうち一工区の例)																							
1)舗装構成	①SFRC舗装厚 80~90mm (既存のアスファルト舗装厚に合わせた。設計上のアスファルト舗装厚は70mm) ②接着材 エポキシ系接着材A ③スタッド φ9×40mm、打継目および舗装端部で300mm間隔で設置 (縁から250mm) ④補強材 CFRPグリッド 100×100mm格子、t=6mm、全面に設置																						
2)配合条件	①設計基準強度 24N/mm ² (材齢3時間) ②セメントの種類 超速硬セメント ③粗骨材の最大寸法 20mm ④スランプの範囲 5.0±1.5cm (鋼繊維混入後) ⑤鋼繊維混入量 100kg/m ³ ⑥目標空気量 (超速硬セメントを用いたため未設定)																						
3)使用材料及び示方配合	①セメント マイルドジェットセメントスーパー, ρ=2.98 [住友大阪セメント(株)製] ②鋼繊維 シンコーファイバー φ0.5mm×30mm, ρ=7.85 [神鋼建材工業(株)製] ③細骨材 ρ=2.58, F.M.=2.63 [茨城県結城市産] ④粗骨材 ρ=2.71, F.M.=6.78, Gmax=20 [栃木県鍋山産] ⑤減水剤 高性能減水剤 マイティ-150 [花王(株)製] ⑥凝結遅延剤 ジェットセッター [住友大阪セメント(株)製] 示方配合																						
	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">水セメント比 (W/C) (%)</th> <th rowspan="2">細骨材率 (s/a) (%)</th> <th rowspan="2">鋼繊維 混入量 (kg/m³)</th> <th colspan="4">単位量 (kg/m³)</th> <th rowspan="2">高性能減水剤 (C×%) Ad</th> <th rowspan="2">凝結遅延剤 (C×%)</th> </tr> <tr> <th>水 W</th> <th>セメント C</th> <th>細骨材 S</th> <th>粗骨材 G</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>40.5</td> <td>52.4</td> <td>100</td> <td>164</td> <td>405</td> <td>891</td> <td>850</td> <td>2.0</td> <td>0.5</td> </tr> </tbody> </table>	水セメント比 (W/C) (%)	細骨材率 (s/a) (%)	鋼繊維 混入量 (kg/m ³)	単位量 (kg/m ³)				高性能減水剤 (C×%) Ad	凝結遅延剤 (C×%)	水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	40.5	52.4	100	164	405	891	850	2.0	0.5
水セメント比 (W/C) (%)	細骨材率 (s/a) (%)				鋼繊維 混入量 (kg/m ³)	単位量 (kg/m ³)					高性能減水剤 (C×%) Ad	凝結遅延剤 (C×%)											
		水 W	セメント C	細骨材 S		粗骨材 G																	
40.5	52.4	100	164	405	891	850	2.0	0.5															
4)施工方法	①交通規制 夜間の全面交通止め 21時~翌朝6時 ②切削方法 1次:切削機+人力+ウォータージェット、2次:仮舗装撤去 ③研掃処理 1種ケレン ④コンクリート供給 横バルコン ⑤養生 シート																						
(4)その他																							
1)特記事項	・デッキプレート表面にシート系防水層が設置されており、ショットブラストによる研掃では除去が困難であったため、ウォータージェットによりこれを除去した。 ・その他の疲労損傷対策として、走行車線を変更した。 ・SFRC舗装前後で活荷重によるひずみを計測し、SFRC舗装の効果を確認																						
2)参考文献	4) 児玉ら:SFRC舗装による鋼床版の疲労耐久性向上対策、第12回 鋼と橋に関するシンポジウム論文報告集、2009年8月 5) 児玉ら:供用下におけるSFRCによる鋼床版の疲労対策、橋梁と基礎、2006年11月 6) 近藤ら:SFRC舗装による鋼床版の疲労対策、セメント・コンクリート、2006年9月 7) 菊池ら:湘南大橋における鋼床版の疲労対策、第10回鋼構造と橋に関するシンポジウム論文報告集、2007年8月																						

付表-3.1.3 大平高架橋の事例

(1)対象橋梁の構造諸元等																																
①橋梁形式	3径間連続鋼床版箱桁橋																															
②橋長	147.0m																															
③支間長	40m+56m+50m																															
④幅員	8.25m(車道部)+3.0m(歩道部)																															
⑤曲線半径	直橋																															
⑥横断勾配	2.00%																															
⑦縦断勾配	0.30%																															
⑧デッキプレート厚	12mm																															
⑨縦リブの形状寸法	U-320×200×8																															
⑩縦リブ間隔	主桁近傍 400mm、その他600mm																															
⑪縦リブ支間	2,500~2,800mm																															
⑫既設の舗装構成	(表層) 改質アスファルト 35mm (基層) 改質アスファルト 40mm (防水層) シート系防水層 2mm																															
⑬建設年次	1983年																															
⑭対策年次	2007年																															
(2)鋼床版の損傷状況等																																
1)疲労き裂の発生状況	ビード貫通き裂 99箇所、垂直補剛材の上端溶接部 45箇所、横リブ交差部36箇所																															
2)き裂への対処	ビード貫通き裂:デッキ進展き裂の有無を確認する目的でき裂先端部に観察孔を削孔、き裂長さが400mm以上の箇所についてはこれに加えて当て板を設置																															
(3)SFRC舗装の仕様等(複数の施工範囲のうち一施工範囲の例)																																
1)舗装構成	①SFRC舗装厚 75mm ②接着材 エポキシ系接着材A(プライマーを併用) ③スタッド φ9×30mm、打継目および舗装端部で300mm間隔で設置(縁から150mm) ④補強材 CFRPグリッド CR10、100×100mm格子、主桁ウェブ上に1m幅で設置																															
2)配合条件	①設計基準強度 30N/mm ² (材齢7日) ②セメントの種類 早強ポルトランドセメント(膨張材使用) ③粗骨材の最大寸法 13mm(「JISA5001道路用砕石」を使用) ④スランプの範囲 6.5±1.5cm(鋼繊維混入後) ⑤鋼繊維混入量 120kg/m ³ ⑥目標空気量 5.0±1.5%(鋼繊維混入後)																															
3)使用材料及び示方配合	①セメント 早強ポルトランドセメント、ρ=3.13 [住友大阪セメント(株)製] ②鋼繊維 シンコーファイバー φ0.6mm×30mm [神鋼建材工業(株)製] ③細骨材 砕砂 ρ=2.63, F.M.=3.00 [栃木県佐野市産] 細目砂 ρ=2.60, F.M.=1.90 [千葉県栄町産] ④粗骨材 硬質砂岩 ρ=2.64, Gmax=13 [栃木県葛生町産] ⑤減水剤 ポリカルボン酸系高性能AE減水剤 [BASFボソリス(株)製] 示方配合																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">水結合材比 W/(C+EX) (%)</th> <th rowspan="2">細骨材率 (s/a) (%)</th> <th rowspan="2">鋼繊維 混入量 (kg/m³)</th> <th colspan="5">単位量 (kg/m³)</th> <th rowspan="2">AE減水剤 ((C+EX)×%) Ad</th> </tr> <tr> <th>水 W</th> <th>セメント C</th> <th>膨張材 EX</th> <th>細骨材 S</th> <th>粗骨材 G</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>43.0</td> <td>57.9</td> <td>120</td> <td>175</td> <td>387</td> <td>20</td> <td>956</td> <td>700</td> <td>1.6</td> </tr> </tbody> </table>										水結合材比 W/(C+EX) (%)	細骨材率 (s/a) (%)	鋼繊維 混入量 (kg/m ³)	単位量 (kg/m ³)					AE減水剤 ((C+EX)×%) Ad	水 W	セメント C	膨張材 EX	細骨材 S	粗骨材 G	43.0	57.9	120	175	387	20	956	700	1.6
水結合材比 W/(C+EX) (%)	細骨材率 (s/a) (%)	鋼繊維 混入量 (kg/m ³)	単位量 (kg/m ³)					AE減水剤 ((C+EX)×%) Ad																								
			水 W	セメント C	膨張材 EX	細骨材 S	粗骨材 G																									
43.0	57.9	120	175	387	20	956	700	1.6																								
4)施工方法	①交通規制 全面交通止め 約1ヶ月間(上下線分離構造であるため、他線に切り廻すことができた) ②切削方法 切削機+人力+ウォータージェット ③研掃処理 1種ケレン ④コンクリート供給 バックホウ ⑤養生 シート																															
(4)その他																																
1)特記事項	<ul style="list-style-type: none"> ・デッキプレート表面にシート系防水層が設置されており、ショットブラストによる研掃では除去が困難であったため、ウォータージェットによりこれを除去した。 ・デッキプレート表面を研掃してから接着材を塗布するまで期間の発錆を防止する目的で、研掃後にプライマーが塗布されている。 ・SFRC舗装前後で活荷重によるひずみ、および3ヶ月間の乾燥収縮を計測し、SFRC舗装の効果を確認 																															
2)参考文献	4) 児玉ら:SFRC舗装による鋼床版の疲労耐久性向上対策、第12回 鋼と橋に関するシンポジウム論文報告集、2009年8月 8) 児玉ら:大平高架橋の鋼床版におけるSFRC舗装によるひずみ低減効果、第六回道路橋床版シンポジウム論文報告集、2008年6月 9) 山田ら:SFRCを用いた鋼床版疲労対策工事例、第62回セメント技術大会講演要旨、2008年5月																															

参考文献

- 1) 加形ら：SFRC舗装による鋼床版の疲労損傷対策、橋梁と基礎、2004年10月
- 2) 西川：SFRCによる鋼床版舗装 ―鋼とコンクリートの新しい関係―、橋梁と基礎、2005年8月
- 3) 井出：SFRC舗装による鋼床版の疲労低減効果、平成18年度国土交通省国土技術研究会、2006年10月
- 4) 児玉ら：SFRC舗装による鋼床版の疲労耐久性向上対策、第12回 鋼と橋に関するシンポジウム論文報告集、2009年8月
- 5) 児玉ら：供用下におけるSFRCによる鋼床版の疲労対策、橋梁と基礎、2006年11月
- 6) 近藤ら：SFRC舗装による鋼床版の疲労対策、セメント・コンクリート、2006年9月
- 7) 菊池ら：湘南大橋における鋼床版の疲労対策、第10回鋼構造と橋に関するシンポジウム論文報告集、2007年8月
- 8) 児玉ら：大平高架橋の鋼床版におけるSFRC舗装によるひずみ低減効果、第六回道路橋床版シンポジウム論文報告集、2008年6月
- 9) 山田ら：SFRCを用いた鋼床版疲労対策工事例、第62回セメント技術大会講演要旨、2008年5月
- 10) 鋼床版の疲労対策に道筋、日経コンストラクション、2006年3月24日

付属資料－4 SFRC 舗装の疲労耐久性に関する検討

SFRC 舗装の疲労耐久性に関する実験結果について、以下に概要を示す。

4.1 小型試験体を用いた負曲げ疲労試験

左右の輪が主桁ウェブを跨ぐような载荷条件の場合の SFRC 舗装のひび割れ部の疲労挙動を把握するために、主桁直上の部分を模した小型試験体を用いて、一定のひび割れ幅の開閉を繰り返し与える疲労試験を行った。

4.1.1 試験方法

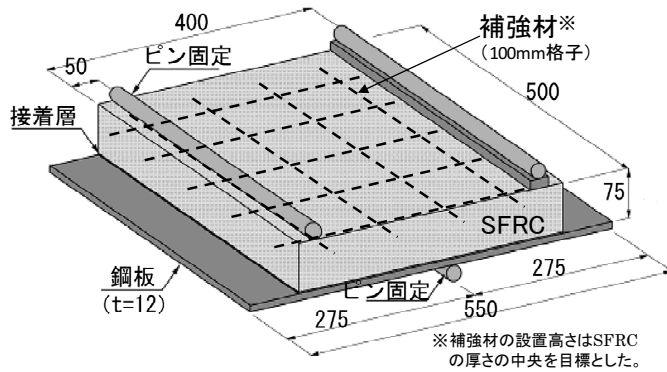
付図－4.1.1 に試験体と試験ケースを示す。試験体は、デッキプレートを想定した板厚 12mm の鋼板の上に、本マニュアル(案)で想定している厚さ 75mm の SFRC を幅 500mm、長さ 400mm の範囲に打設したものである。鋼板と SFRC の接合には接着材 B (付表－4.2.2 を参照) を用いた。また、SFRC 内部に補強材を配置していない試験体を用いたケース (以下、無補強) と、100mm 格子の CFRP 格子筋を配置したケース (以下、CFRP 補強) の 2 ケースについて試験を実施した。

静的载荷により SFRC にあらかじめひび割れを導入した後、疲労試験を実施した。試験体の片側上面と中央下面とを支持して片持ちの状態試験体を設置し、もう一方の上面に载荷した。実橋で生じると想定される程度のひび割れ幅となるように変位を制御して疲労試験を実施した。FEM 解析によれば、主桁ウェブ直上の SFRC に貫通ひび割れを生じた状態で、大型車の左右の輪が主桁ウェブを跨ぐように载荷された場合 (後輪 2 軸 8 輪、1 輪あたり 50kN と想定) にひび割れ幅が 0.1mm 程度になることが想定される。これに荷重の実態を考慮した余裕等を見込んでひび割れ幅が 0.2mm となるように試験機の変位を制御した。具体的手順は以下のとおりである。まず、疲労試験開始時にひび割れ幅範囲が 0.2mm となる試験機変位を確認し、変位制御 (最小荷重は 2kN) で 10 万回繰り返し载荷を実施した。次に、試験体表面にプールを設置して水張り状態にし、この時点で再度、ひび割れ幅範囲が 0.2mm (最小荷重は 2kN) となるように試験機変位を調整し、変位制御で 200 万回の繰り返し载荷を実施した。

4.1.2 試験結果

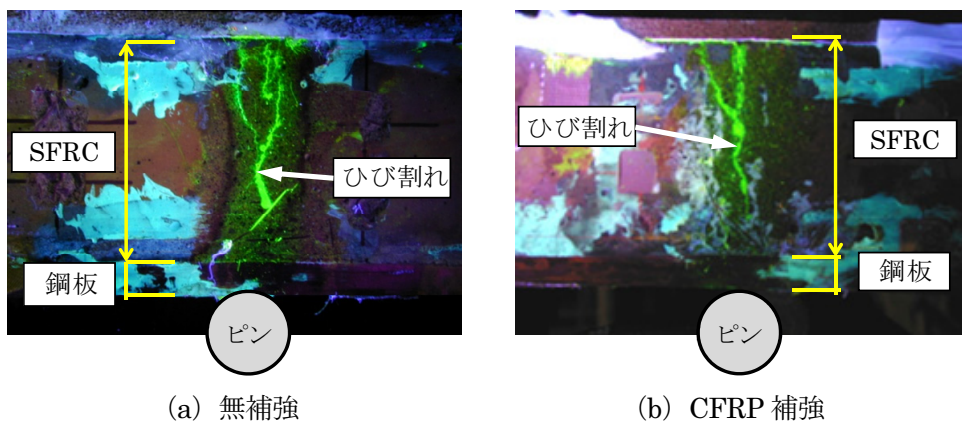
ひび割れの鉛直方向への進展状況を確認するため、疲労試験終了後、蛍光物質であるウラニン粉体の水溶液をひび割れ内に浸透させ試験体側面にブラックライトを当てて観察した。側面の状況を付図－4.1.2 に示す。無補強、CFRP ともにウラニンの浸透は高さ方向の中央付近でとまっており、ひび割れのデッキプレートへの貫通は確認されなかった。

なお、疲労試験終了後に SFRC とデッキプレートの引張接着強度を調査したところ、無補強、CFRP 補強ともに接着材と鋼板との界面で破壊することなく (治具の定着のための接着層で破壊)、ひび割れ箇所においてもその他の箇所においても少なくとも $1\sim 2\text{N/mm}^2$ 程度以上の引張接着強度を有していた。



試験ケース	無補強	CFRP補強
使用セメント	超速硬セメント	
鋼繊維	φ0.6×30mm	
接着材	エポキシ系接着材B	
補強材	—	CFRPグリッド #10 100mm格子 A=39.2mm ²

付図-4.1.1 試験体と試験ケース



付図-4.1.2 疲労試験後の試験体側面の状況

4.2 実大鋼床版試験体を用いた輪荷重走行試験

ダブルタイヤが主桁ウェブを跨ぐような荷重ケースについては、ひび割れ箇所の近傍に輪荷重が直接荷重されることから、負曲げに加えて輪荷重の影響も考慮する必要がある。同部位の疲労挙動を把握するために、張り出し部を有する実大鋼床版試験体を用いた輪荷重走行試験により検討を行った。また、主桁間での正曲げ荷重試験を併せて実施し、応力軽減効果の持続性等についても確認した。

4.2.1 試験ケースおよび試験方法

付図-4.2.1、4.2.2に示すように、片側にブラケットを張り出した実大鋼床版の上にSFRCを舗装した2体の試験体を用いた。鋼床版の主要諸元は付表-4.2.1に示すとおりであり、両者で同じであるが、鋼床版とSFRC舗装との接合に異なる接着材を使用しているほか、着目したA,C,E断面の舗装構造(スタッド、補強材)を図中に示したように変えて試験パラメータとした。使用した接着材の性状および硬化樹脂の特性を付表-4.2.2に示す。いずれも鋼床版上のSFRC舗装への使用実績のある接着材である。この2体の試験体を用いて、負曲げ荷重試験を両試験体に対して各1ケース、正曲げ荷重試験については試験体No.1に対して1ケース実施した。

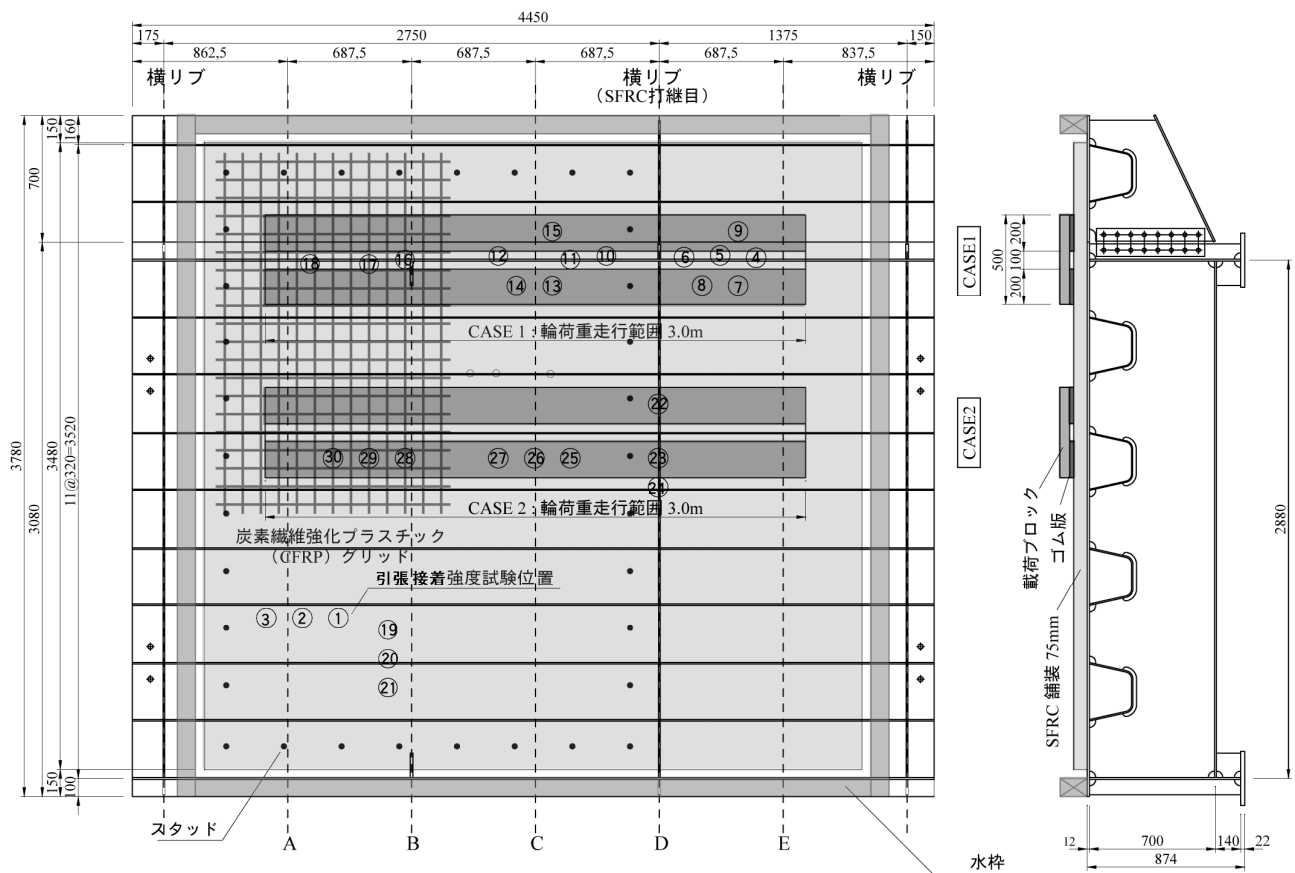
(1) 負曲げ荷重試験 (CASE 1 と CASE 3)

輪荷重走行開始前にA,C,E断面においてあらかじめひび割れを導入するための荷重を実施した後、乾燥状

態で100万回、水張りで100万回、合計200万回の輪荷重走行試験を実施した。載荷荷重は150kNとした。この間、輪荷重走行前も含めて約50万回毎に各断面で静的載荷試験を実施するとともに、100万回時、200万回時には、載荷ブロックを取り外してひび割れ状況を観察した。また、輪荷重走行前、100万回時、200万回時に、接着材の引張接着強度を確認した。

(2) 正曲げ載荷試験 (CASE 2)

載荷荷重を150kNとし、水張りで200万回の輪荷重走行試験を実施した。この間、輪荷重走行前も含めて約50万回毎に各断面で静的載荷試験を実施した。また、200万回時に、ひび割れ状況を観察するとともに、接着材の引張接着強度を確認した。



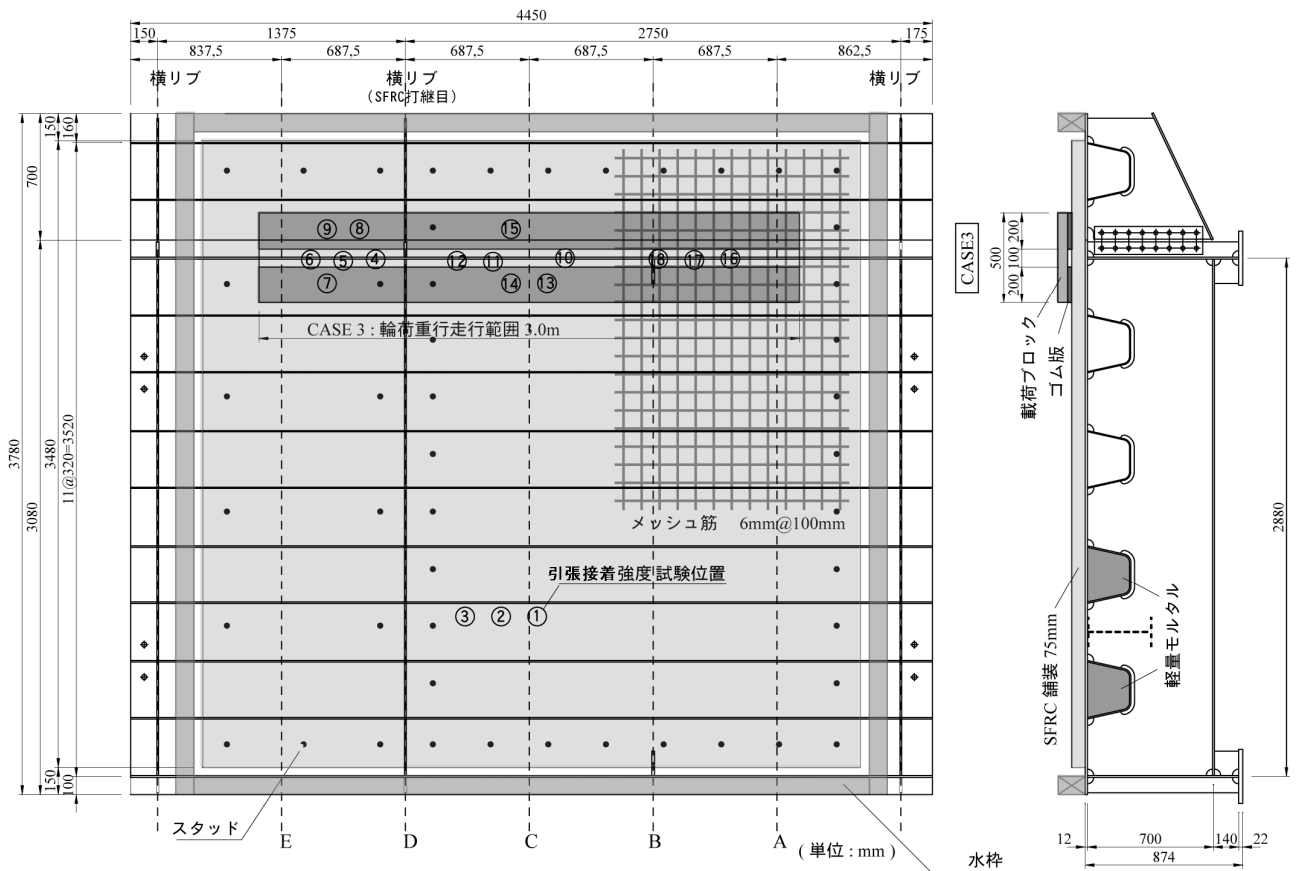
【舗装構造のパラメータ】

着目断面	A断面	C断面	E断面
SFRC	セメントの種類:超速硬セメント、設計基準強度:24N/mm ² (材齢3時間)、粗骨材の最大寸法:15mm、鋼繊維:φ0.6×30(両端フック型)、鋼繊維混入量:100kg/m ³		
接着材	エポキシ系接着材A		
スタッド	端部スタッド320mm間隔(φ9×40)		なし
補強材	CFRPグリッド(100mm格子、#10)	なし	なし

【載荷条件】

ケース	載荷条件
CASE1	輪荷重150kN 乾燥状態100万回
	↓ 輪荷重150kN 水張り100万回
CASE2	輪荷重150kN 水張り200万回

付図-4.2.1 輪荷重走行試験の試験体と試験ケース (試験体 No. 1)



【舗装構造のパラメータ】

着目断面	E断面	C断面	A断面
SFRC	セメントの種類:超速硬セメント、設計基準強度:24N/mm ² (材齢3時間)、粗骨材の最大寸法:15mm、鋼繊維:φ0.6×30(両端フック型)、鋼繊維混入量:100kg/m ³		
接着材	エポキシ系接着材B		
スタッド	端部スタッド640mm間隔(φ9×40)	端部スタッド320mm間隔(φ9×40)	
補強材	なし	なし	メッシュ筋(100mm格子,φ6)

【荷重条件】

ケース	荷重条件
CASE3	輪荷重150kN 乾燥状態100万回 ↓ 輪荷重150kN 水張り100万回

付図-4.2.2 輪荷重走行試験の試験体と試験ケース (試験体 No. 2)

※試験体は、SFRC 舗設前に、別の対策工法(Uリブ充填・縦筋補強工法)の検討にも使用している

付表-4.2.1 鋼床版の主要諸元

鋼断面	デッキプレート厚	12mm
	縦リブ支間	2750mm + 1375mm
	縦リブ形状寸法	U-320×240×6-R40(2本) U-320×240×8-R40(2本)
主桁	腹板	板厚 11mm × 高さ 840mm
	下フランジ	板厚 22mm × 幅 300mm
横リブ	腹板	板厚 9mm × 高さ 695mm
	下フランジ	板厚 10mm × 幅 220mm
垂直補剛材		板厚 15mm × 幅 135mm

付表-4.2.2 接着材の性状および硬化樹脂の物性

項目	接着材A		接着材B		試験方法
	主剤	硬化剤	主剤	硬化剤	
主成分	エポキシ樹脂	脂肪族ポリアミン	エポキシ樹脂	ポリチオール、脂肪族ポリアミン	
外観	白色ペースト状	青色液状	乳白色粘稠液	褐色透明液	
混合比	主剤:硬化剤=5:1(質量比)		主剤:硬化剤=4:1(質量比)		
硬化物比重	1.40±0.20		1.35±0.05		JIS K 7112
圧縮強さ	50 N/mm ² 以上		70 N/mm ² 以上(JIS K 7208※)		JIS K 7181
圧縮弾性係数	1.0×10 ³ N/mm ² 以上		1.5×10 ³ N/mm ² 以上(JIS K 7208※)		JIS K 7181
曲げ強さ	35 N/mm ² 以上		40 N/mm ² 以上(JIS K 7203※)		JIS K 7171
引張せん断接着強さ	10 N/mm ² 以上		10 N/mm ² 以上		JIS K 6850

注) メーカーの技術資料等をもとに作成した。 ※印は廃止規格を表す。

4.2.2 試験結果

(1) 負曲げ載荷試験 (CASE1 と CASE3)

1) ひび割れ発生状況

付図-4.2.3 に、CASE1 および CASE3 における輪荷重走行終了後の SFRC 表面のひび割れの分布とひび割れ幅を示す。いずれのケースにおいても、主桁直上および中間横リブ直上にひび割れを発生している。図には 200 万回載荷後のひび割れ状況を示しているが、100 万回時点のひび割れの状況もこれと大差のないものであった。主桁直上のひび割れ幅 (除荷時) は、CASE1、CASE3 とともに、最大で 0.1mm 程度であった。また、引張接着強度試験のコアの側面で確認したところ、微細なひび割れがコアの底面側まで進展していたが、目視では確認することができずアセトンでようやく確認できる程度のものであった。一方、中間横リブ直上のひび割れ幅については、CASE1 では最大で 0.05mm 程度であるのに対して、CASE3 では打継目位置において、0.3mm を超える箇所もあり、全般に CASE1 より大きくなった。両試験体とも中間横リブ上で SFRC を打ち継いでおり、打継ぎ面にはデッキプレートに塗布したものと同一接着材を塗布している。

2) 鋼床版と SFRC 舗装の引張接着強度

付図-4.2.4 に、CASE1 および CASE3 において SFRC 舗装の各所で実施した引張接着強度試験の結果を示す。試験体 No.1 で実施した CASE1 では、全てのコアにおいて SFRC 側 (接着材と SFRC の混合層あるいは SFRC 部) で破壊を生じた。一方、試験体 No.2 を用いた CASE3 では、SFRC 側で破壊したコアが多いが、鋼床版と接着材の界面で破壊を生じた箇所もみられた。試験体 No.1 (CASE1)、試験体 No.2 (CASE3) とともに、150kN の荷重を 200 万回載荷した後においても、輪荷重走行前と同等程度の引張接着強度を有していた。

(2) 正曲げ載荷試験 (CASE2)

1) ひび割れの発生状況

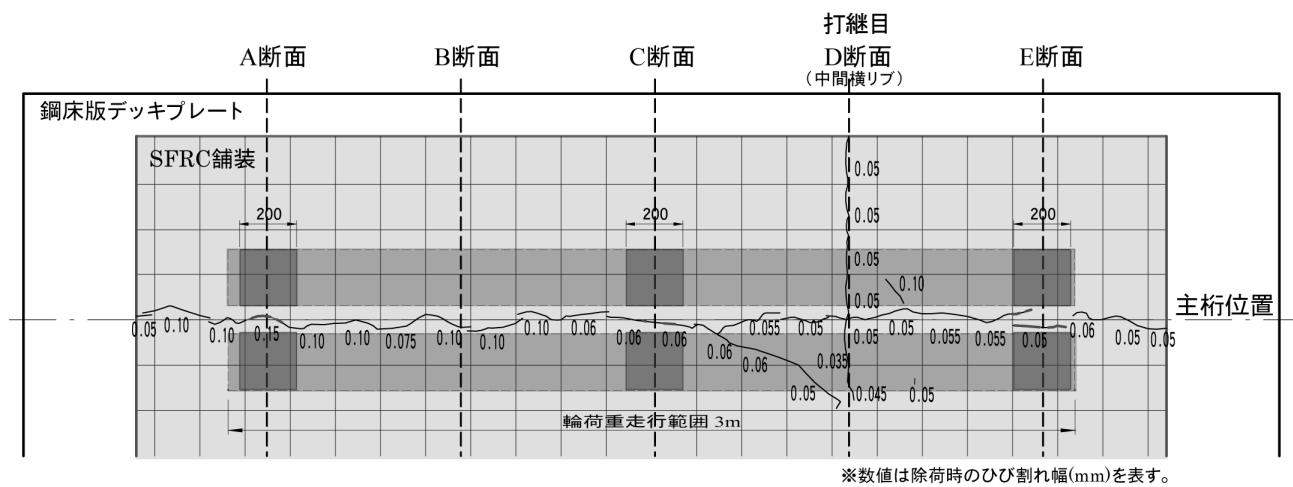
輪荷重走行終了後に SFRC 舗装のひび割れ状況を観察したところ、付図-4.2.5 に示すように SFRC の打継目のある中間横リブ位置 (D 断面) 付近の輪直下のみひび割れを生じていた。除荷時のひび割れ幅は 0.05 ~ 0.4mm 程度であった。

2) 接着材の引張接着強度

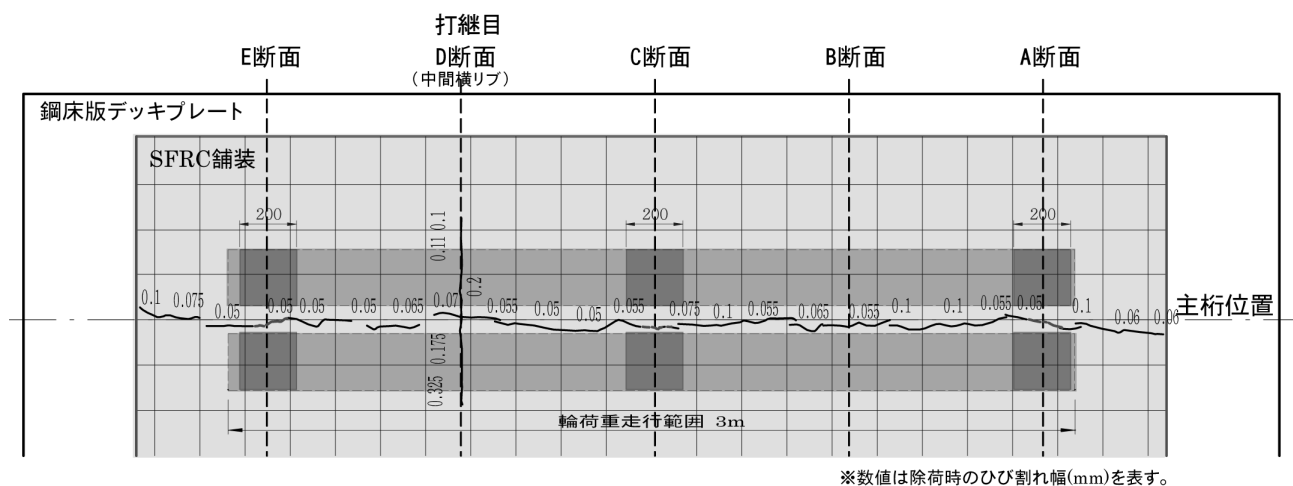
付図-4.2.6 に、輪荷重走行の前後に計測した引張接着強度を示す。走行前の引張接着強度は 2.8 N/mm^2 であった。200 万回走行後の引張接着強度は、横リブ上では 2.9 N/mm^2 、一般部では 2.9 N/mm^2 であり、荷重走行後においても引張接着強度は低下しなかった。また、いずれの試験箇所においても破壊形態は境界部の SFRC 側（接着材と SFRC の界面あるいは SFRC 部）での材質破壊であった。

3) 鋼床版のひずみ

詳細は省略するが、Uリブ溶接部近傍のデッキプレート側やUリブ側のひずみは低く、またスタッドの軸部にはほとんどひずみを生じていなかった。この状態は 200 万回の輪荷重走行が終了するまで持続した。

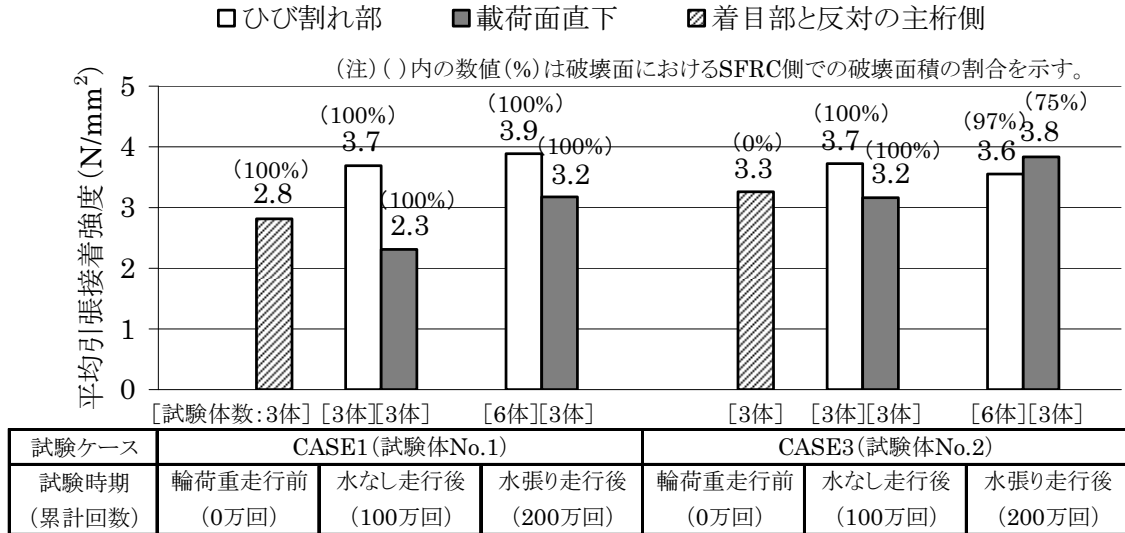


(a) CASE1

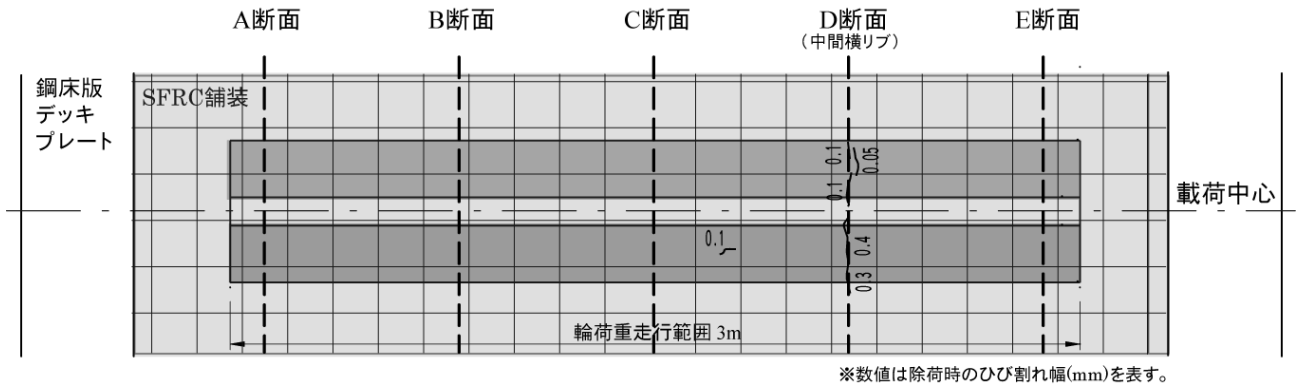


(b) CASE3

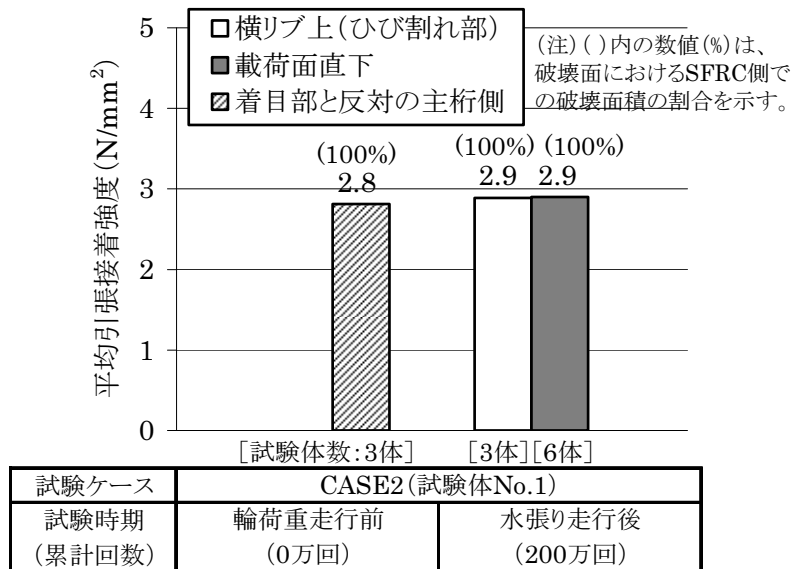
付図-4.2.3 200 万回走行終了後の SFRC 表面のひび割れ状況



付図-4.2.4 引張接着強度試験結果 (CASE1 と CASE3)



付図-4.2.5 200万回走行終了後のひび割れ状況 (CASE2、ひび割れが生じた中間横リブ付近を抜粋)



付図-4.2.6 引張接着強度試験結果 (CASE2)

4.3 まとめ

本共同研究では、主に他機関の試験では考慮されていない主桁ウェブ上の負曲げに着目し、輪荷重走行試験によって主桁ウェブをダブルタイヤが跨ぐ載荷状態に対する疲労耐久性について検討するとともに、小型試験体を用いた定点疲労試験を併せて実施し、輪荷重は直接載らないが左右の輪によって主桁ウェブ上に大きな負曲げが生じるような載荷状態に対する疲労耐久性についても検討した。ここに示した試験結果では、SFRC 舗装にひび割れが生じるものの、疲労試験後もデッキプレートと SFRC との接着性能が保持され、応力軽減効果が確保されることが確認された。

また、本共同研究で実施した疲労試験を含めて、関係機関における鋼床版試験体を用いた疲労試験の概要をまとめると付表-4.3.1 のとおりである。他機関における疲労試験においても、同様の結果が得られており、これらの結果より、適切に設計・施工された SFRC 舗装は一定の耐久性を有しているものと考えられる。

参考文献

- 1) 宇井、梁取、村越、石井ら：鋼床版 SFRC 舗装の負曲げモーメント発生部を対象とした強度試験、土木学会第 62 回年次学術講演会講演概要集、2007 年 9 月
- 2) 小野ら：鋼繊維補強コンクリート敷設により補強された鋼床版の輪荷重疲労試験、土木学会第 61 回年次学術講演会講演概要集、2006 年 9 月
- 3) 小野ら：鋼繊維補強コンクリートを敷設した鋼床版の水浸輪荷重疲労試験、土木学会第 62 回年次学術講演会講演概要集、2007 年 9 月
- 4) 児玉ら：鋼床版上 SFRC 舗装の疲労に関する一検討、土木学会第 60 回年次学術講演会講演概要集、2005 年 9 月
- 5) 一宮ら：SFRC 舗装を敷設した鋼床版の移動輪荷重載荷試験、土木学会第 61 回年次学術講演会講演概要集、2006 年 9 月
- 6) 春日井ら：SFRC 舗装を敷設した鋼床版の移動輪荷重載荷試験終了後の供試体調査、土木学会第 63 回年次学術講演会講演概要集、2008 年 9 月
- 7) 宇井、村越、梁取、児玉ら：輪荷重走行試験による鋼床版上 SFRC 舗装の疲労耐久性に関する検討、土木学会第 64 回年次学術講演会講演概要集、2009 年 9 月

付表-4.3.1 実大鋼床版試験体を用いたSFRC舗装の疲労試験

実施機関	首都高速道路株式会社		神奈川県 平塚土木事務所		本共同研究(その2)		本共同研究(その2・3・4)			
	2004年	2006年	2004年	2004年	2004年	2008年	2008年	2008年	2008年	2008年
実施時期	2004年	2006年	2004年	2004年	2004年	2008年	2008年	2008年	2008年	2008年
試験形態	輪荷重走行試験	輪荷重走行試験	定点疲労試験	輪荷重走行試験	輪荷重走行試験	輪荷重走行試験	輪荷重走行試験	輪荷重走行試験	輪荷重走行試験	輪荷重走行試験
幅員方向の曲げ	正曲げ	正曲げ	正曲げ	正曲げ	正曲げ	負曲げ	正曲げ	正曲げ	負曲げ	負曲げ
水張り	なし	200万回以降水没	なし	なし	なし	100万回以降水没	水没	水没	100万回以降水没	100万回以降水没
舗装厚	50mm	40mm	70mm	75mm	75mm	75mm	75mm	75mm	75mm	75mm
載荷条件	荷重(kN)	69×2	98	98	98	150	150	150	150	150
	回数(万回)	440	400	100	100	200	200	200	200	200
	回数(万回)		(100万往復)	20	100					
累計	440	400	125	210	200	200	200	200	200	
圧縮強度	30N/mm ² (材齢28日)	24N/mm ² (材齢3時間)	24N/mm ² (材齢3時間)	30N/mm ²	24N/mm ² (材齢3時間)	24N/mm ² (材齢3時間)	24N/mm ² (材齢3時間)	24N/mm ² (材齢3時間)	24N/mm ² (材齢3時間)	24N/mm ² (材齢3時間)
使用セメント	超速硬セメント	超速硬セメント	超速硬セメント	早強ポルトランドセメント	超速硬セメント	超速硬セメント	超速硬セメント	超速硬セメント	超速硬セメント	超速硬セメント
鋼繊維	インデント型 φ0.6×30mm	両端フック型	インデント型	両端フック型 φ0.6×30	両端フック型 φ0.6×30	両端フック型 φ0.6×30	両端フック型 φ0.6×30	両端フック型 φ0.6×30	両端フック型 φ0.6×30	両端フック型 φ0.6×30
	1.27Vol%	1.27Vol%	1.27Vol%	1.5Vol%	1.27Vol%	1.27Vol%	1.27Vol%	1.27Vol%	1.27Vol%	1.27Vol%
接着材	接着材B	接着材A	接着材B	プライマー+接着材B	接着材A	接着材A	接着材A	接着材A	接着材B	接着材B
	0.3kg/m ²	1.4kg/m ²	平均1mm	0.25kg/m ² +1.0kg/m ²	1.4kg/m ²	1.4kg/m ²	1.4kg/m ²	1.4kg/m ²	1.4kg/m ²	1.4kg/m ²
スタッドジベル	なし	なし	なし	舗装端部に配置※1	舗装端部に配置※2	舗装端部に配置※2	舗装端部に配置※2	舗装端部に配置※2	舗装端部に配置	舗装端部に配置
補強材	なし	なし	CFRP格子筋	なし	CFRP格子筋※3	CFRP格子筋※3	CFRP格子筋※3	CFRP格子筋※3	CFRP格子筋※3	CFRP格子筋※3
	ひび割れは深さ方向へ最大で14mm程度進展した。	中間横リブ付近(負曲げ域)のひび割れは深さ方向に貫通した。ひび割れ部においても引張接着強度の低下はみられなかった。	ひび割れの発生はみられなかった。ひび割れの発生はみられなかった。鋼床版の応力軽減効果は持続した。輪荷重の載荷位置を中心に引張接着強度の低下はみられた(プライマーの施工管理に問題があった)。	ひび割れの発生はみられなかった。鋼床版の応力軽減効果は持続した。輪荷重の載荷位置を中心に引張接着強度の低下はみられた(プライマーの施工管理に問題があった)。	ひび割れの発生はみられなかった。鋼床版の応力軽減効果は持続した。輪荷重の載荷位置を中心に引張接着強度の低下はみられた(プライマーの施工管理に問題があった)。	ひび割れの発生はみられなかった。鋼床版の応力軽減効果は持続した。輪荷重の載荷位置を中心に引張接着強度の低下はみられた(プライマーの施工管理に問題があった)。	ひび割れの発生はみられなかった。鋼床版の応力軽減効果は持続した。輪荷重の載荷位置を中心に引張接着強度の低下はみられた(プライマーの施工管理に問題があった)。	ひび割れの発生はみられなかった。鋼床版の応力軽減効果は持続した。輪荷重の載荷位置を中心に引張接着強度の低下はみられた(プライマーの施工管理に問題があった)。	ひび割れの発生はみられなかった。鋼床版の応力軽減効果は持続した。輪荷重の載荷位置を中心に引張接着強度の低下はみられた(プライマーの施工管理に問題があった)。	ひび割れの発生はみられなかった。鋼床版の応力軽減効果は持続した。輪荷重の載荷位置を中心に引張接着強度の低下はみられた(プライマーの施工管理に問題があった)。
試験結果										
参考文献	2)	3)	4)	5)、6)	7)	7)	7)	7)	7)	7)

※1:全面にスタッドを配置し、端部のみ接着材を併用した試験も別途実施 ※2:スタッドを配置していない部分もある ※3:舗装方向の一部の区間へのみ配置

付属資料－5 接着材の性能確認のためのせん断強度試験

接着材と被着体間のせん断強度および温度変化と水に対する耐久性について、小型試験体のせん断強度試験により検討した結果の概要を示す。せん断強度試験に使用する載荷治具の違いが試験結果に及ぼす影響についても併せて検討している。また、参考のために標準的な試験方法を本付属資料の最後に示す。

5.1 試験方法

5.1.1 試験体

(1) 検討対象とした接着材

3種類のエポキシ系接着材 A、B、C を検討の対象とした。接着材 A と B については、これまでに鋼床版上の SFRC 舗装の接合に使用実績がある。接着材 C については、スタッドにより接合するタイプの SFRC 舗装において、床版防水を目的に舗装端部に使用された実績がある。これらの接着材の性状および硬化樹脂の物性は付表－5.1.1 に示すとおりである。

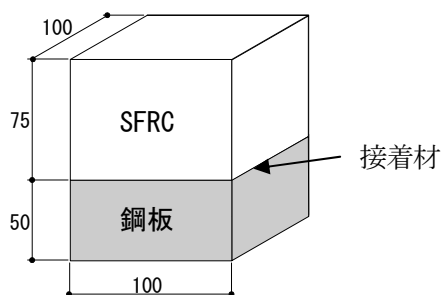
(2) 試験体

付図－5.1.1 に示すように、100×100×50mm の鋼板に接着材を塗布し、100×100×75mm の SFRC を打設した試験体とした。使用した SFRC の配合条件、使用材料、示方配合を付表－5.1.2～5.1.4 に示す。

付表－5.1.1 検討の対象としたエポキシ系接着材の性状および硬化樹脂の物性

項目	接着材A		接着材B		接着材C	
	主剤	硬化剤	主剤	硬化剤	主剤	硬化剤
主成分	エポキシ樹脂	脂肪族ポリアミン	エポキシ樹脂	ポリチオール、脂肪族ポリアミン	変性エポキシ樹脂	変性脂肪族ポリアミン
外観	白色ペースト状	青色液状	乳白色粘稠液	褐色透明液	白緑色粘稠液	黄色液状
混合比	主剤:硬化剤=5:1(質量比)		主剤:硬化剤=4:1(質量比)		主剤:硬化剤=5:1(質量比)	
硬化物比重	1.40±0.20 (JIS K 7112)		1.35±0.05 (JIS K 7112)		1.65	
圧縮強さ	50 N/mm ² 以上 (JIS K 7181)		70 N/mm ² 以上 (JIS K 7208 [※])		107.9 N/mm ² (JIS K 6911)	
圧縮弾性係数	1.0×10 ³ N/mm ² 以上 (JIS K 7181)		1.5×10 ³ N/mm ² 以上 (JIS K 7208 [※])		不明(非公表)	
曲げ強さ	35 N/mm ² 以上 (JIS K 7171)		40 N/mm ² 以上 (JIS K 7203 [※])		58.8 N/mm ² (JIS K 6911)	
引張せん断接着強さ	10 N/mm ² 以上 (JIS K 6850)		10 N/mm ² 以上 (JIS K 6850)		不明(非公表)	

注) メーカーの技術資料等をもとに作成した。 ※印は廃止規格を表す。



付図－5.1.1 せん断強度試験のための試験体

付表-5.1.2 SFRCの配合条件

セメントの種類	コンクリート				鋼繊維	
	設計基準 圧縮強度 (3時間)	スランブ (cm)	空気量 (%)	粗骨材の 最大寸法 (mm)	寸法	使用量 (kg/m ³)
超速硬 セメント	24N/mm ²	5.0±1.5	3.0±1.5	13	φ0.6×30mm	100

付表-5.1.3 SFRCの使用材料

材料	記号	仕様等	製造
セメント	C	マイルドジェットセメントスーパー, ρ=2.98	住友大阪セメント(株)製
混練水	W	水道水	—
鋼繊維	SF	ドラミックス, φ0.6×30mm, ρ=7.85	神鋼建材工業(株)
細骨材	S	陸砂, ds=2.58, F.M.=2.62	茨城県結城産
粗骨材	G	石灰岩, ds=2.70, Gmax=13mm	栃木県鍋山産
減水剤	Ad	高性能減水剤, マイティ150	花王(株)製
凝結遅延剤	JS	ジェットセッター	住友大阪セメント(株)製

付表-5.1.4 SFRCの示方配合

Gmax (mm)	スランブ (cm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					Ad (C×%)	JS (C×%)
				W	C	S	G	SF		
13	5.0±1.5	40	50.1	168	420	840	875	100	2	0.6

(3) 試験体作製方法

本試験の実施に先だて、試験体の作製条件が接着材の耐久性に与える影響について、環境負荷を与えた試験体のせん断強度試験により検討した¹⁾。接着材塗布量や、締固め方法、養生日数・方法の違いが耐久性に及ぼす影響について調査した結果、養生日数・方法と環境負荷の組合せによっては、せん断強度が大きく低下することがわかった。考慮した作製条件と実際の施工条件との関係は必ずしも明確ではないが、より安全側の評価となることを考慮して、本試験では最も厳しい作製条件を採用することとし、以下に示す手順にしたがって試験体を作製した。なお、作業は温度を20℃に調節した室内で行った。

- ① 使用する接着材、鋼板、型枠、道具類を、温度20℃、湿度60%に保った恒温室で1日程度養生した。
- ② 鋼板の接着面に対して、ショットブラスト強度(150kg/m²)でケレンを実施した。ケレン後は表面の鉄粉等の汚れを溶剤でふき取った。
- ③ 内寸100mm×100mm×125mmの鋼製の型枠内に、ケレンした鋼板(100mm×100mm×50mm)を挿入した。なお、SFRC打設時に、接着材が型枠と鋼板の隙間から染み出ないように、型枠の内側側面全体に養生テープを設置した。
- ④ 所定の割合で混合した接着材を、ただちにケレンした鋼板面上に所定量(10/m²)垂らし、へら等で膜厚が均一になるように塗布した上で、30分静置した。
- ⑤ 接着材混合後30分でSFRCを打設した。
- ⑥ 振動台を用いて10秒程度振動を与え締め固めた。

- ⑦ 養生シートで覆い、温度 20℃、湿度 60%に保った恒温室で養生を行った。
- ⑧ 打設の翌日（24 時間後）に脱型し、引き続き恒温室で条件を変えずに 28 日間（打設日を含む）養生した。

5.1.2 試験項目

付表－5.1.5 に試験項目と試験パラメータを示す。以下に示す 3 項目について試験を行った。

付表－5.1.5 試験項目と試験パラメータ

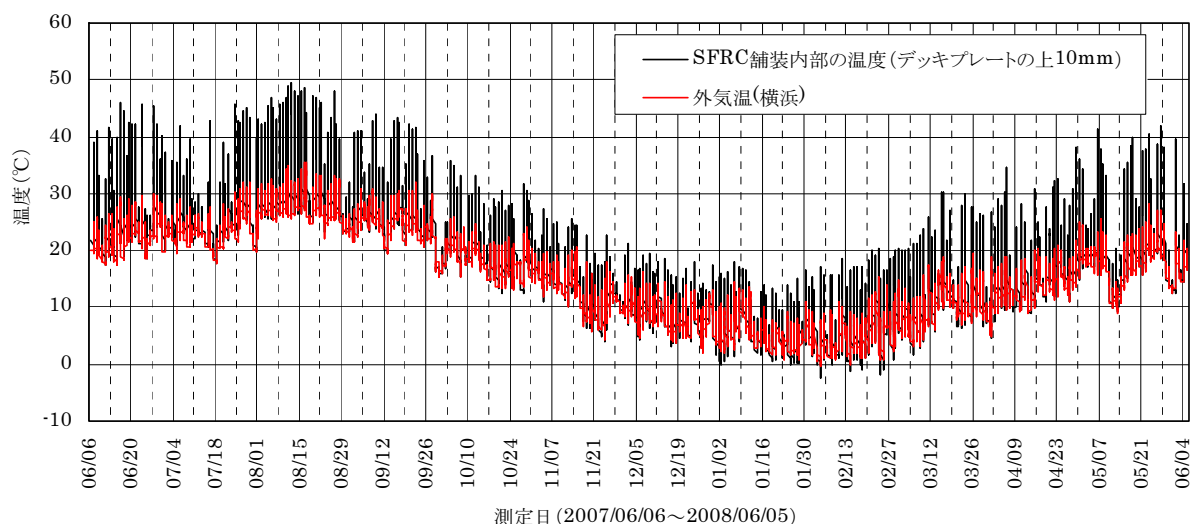
試験項目	試験パラメータ			試験場所
	接着材	環境負荷	試験温度	
せん断強度に関する試験	接着材A 接着材B 接着材C	なし	-10℃、20℃、50℃	鹿島道路(株) 技術研究所
温度変化と水に対する耐久性に関する試験	接着材A 接着材B 接着材C	なし、29日 ^{※1} 、31日 ^{※2}	20℃	大成ロテック(株) 技術研究所
試験治具の相違がせん断強度に与える影響に関する試験	接着材A	なし	20℃	(株)NIPPO 技術研究所

※1(※2)：50℃水中で28日間浸漬の後、気中にて1日間(または3日間)乾燥

(1) せん断強度に関する試験

接着材の強度は使用環境温度により変動することから、温度を試験パラメータにして、接着材 A、B、C を対象に環境負荷は与えずにせん断強度試験を実施した。試験温度は、標準的な温度（20℃）に、高温側と低温側を加えた 3 ケースとした。以下に試験温度の設定の考え方を示す。

SFRC が舗設された実橋梁における接着材の温度環境を明らかにする目的で、都市内高速道路において 1 年間の温度計測が実施されている。付図－5.1.2 に、デッキプレート面から 10mm 上の SFRC 舗装内部での温度計測結果を示す。同図には最寄りの気象観測地点（横浜）での外気温を併せて示している。両者の関係を見ると、夏季の高温時には外気温に対して SFRC 舗装内部の温度が 15℃程度高くなる場合があり、低温時には両者の温度はほぼ同程度である。なお、本橋では厚さ 50mm の SFRC の上に厚さ 30mm のアスファルトが舗設されていることに加えて、遮音壁がなく、また周辺に日射を遮る構造物もないことから、温度が上昇しやすい条件にある。全厚が SFRC の場合には、SFRC とアスファルトの二層構造の場合と比較して温度が上昇しにくいと考えられることや、SFRC の底面（デッキプレート上面）の温度は同図に示した温度と比較して多少低くなると考えられることから、夏季の日照時の SFRC 舗装下面のデッキプレートの温度は外気温より 10℃程度高くなるものと想定し、これまでに国内で観測されている最高気温が 40℃程度であることを考慮して、高温側の試験温度は 50℃と設定した。一方、低温時には、デッキプレートの温度は外気温と同程度になると想定し、道示 I 共通編 2.2.10 に規定されている鋼構造の温度変化の範囲をもとに、低温側の試験温度を-10℃と設定した。



付図—5.1.2 SFRC 舗装内部の温度および外気温の年変化

(提供：首都高速道路(株)・鹿島道路(株))

(2) 温度変化と水に対する耐久性に関する試験

温度変化と水の影響によるせん断強度の低下度合いを検討するために、接着材 A、B、C を対象に、試験温度 20°C で、環境負荷を変化させたせん断強度試験を実施した。与えた環境負荷は、50°C 水中での 28 日間の完全浸漬と、その後の気中での 1 日あるいは 3 日間の乾燥である。この環境負荷条件と実橋の状況とを対応づけるための技術的知見はないが、試験体の接着面積が 100mm×100mm と非常に小さいことに加えて、完全に水中浸漬した上で高温 (50°C) の負荷を与えていることから、相当程度環境を促進した試験条件となっているものと考えられる。

(3) 試験治具の相違がせん断強度に与える影響に関する試験

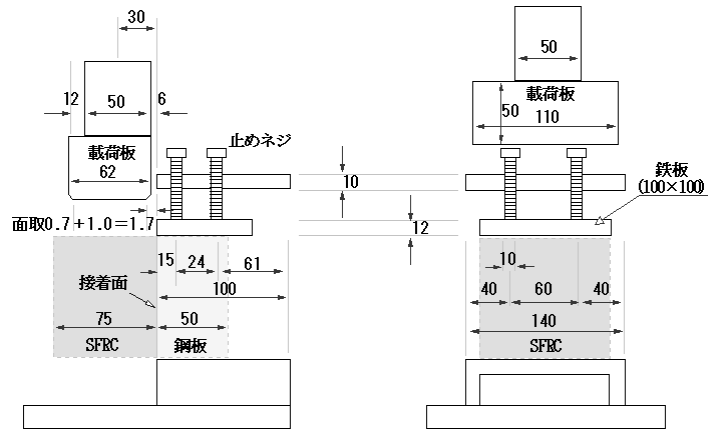
付表—5.1.5 に示したとおり、鹿島道路(株)の技術研究所の試験治具を用いた(1)の試験結果、大成ロテック(株)の技術研究所の試験治具を用いた(2)の試験結果と併せて、試験治具の相違がせん断強度試験の結果に与える影響を確認する目的で、接着材 A、試験温度 20°C のケースのみを対象に、(株)NIPPO の技術研究所の試験治具を用いたせん断強度試験を実施した。

5.1.3 荷重載荷方法

試験に用いた載荷治具については、3 試験項目に対して付図—5.1.3 に示すように載荷板の幅等が若干異なっている。図に示すように試験体を載荷治具に取り付け、インストロン万能試験機を用いて、所定の温度条件で載荷速度 1mm/分で破壊するまで載荷した。その際の最大荷重を測定するとともに、付表—5.1.6 に示す区分にしたがって試験体の破壊位置の割合を記録した。試験は各ケースについて 3 体ずつ実施した。

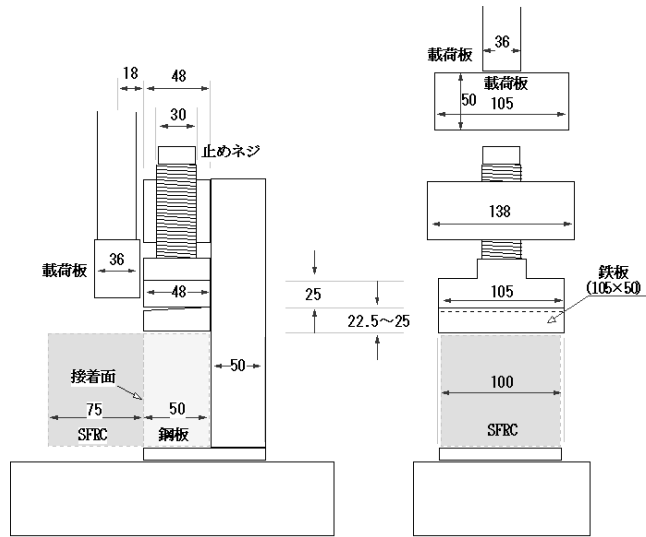
付表—5.1.6 破壊位置

区 分	破 壊 位 置
鋼板側界面破壊	鋼材と接着材の界面での破壊 (記号:AB)
材質破壊	接着材とSFRCとの混合層あるいはSFRCでの破壊 (記号:BC)



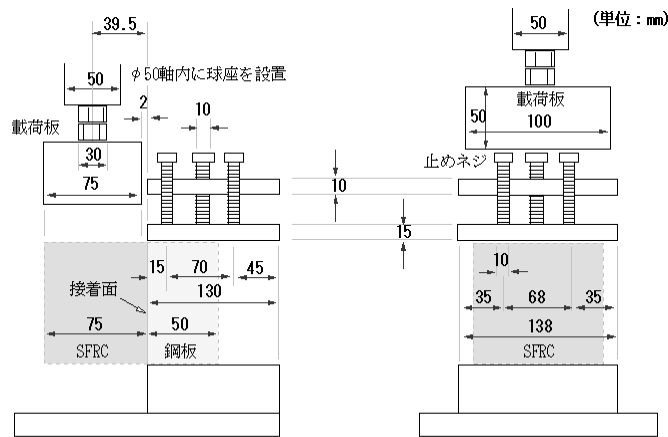
(i) 側面図 (ii) 正面図

(a) せん断強度に関する試験



(i) 側面図 (ii) 正面図

(b) 温度変化と水に対する耐久性に関する試験



(i) 側面図 (ii) 正面図

(c) 試験治具の相違がせん断強度に与える影響に関する試験^{注)}

注) (a)(b)の載荷治具を用いた結果と本載荷治具を用いた結果の比較を目的とした試験

付図-5.1.3 試験に用いた載荷治具

5.2 せん断強度に関する試験結果

付表－5.2.1 に試験結果を示す。各ケースにおけるせん断強度および破壊位置の平均をグラフ化すると付図－5.2.1 に示すとおりである。いずれの接着材でも、高温になるにしたがってせん断強度が低下する傾向がみられた。ただし、接着材 A は接着材 B と C に比べてその低下度合いが小さく、温度によらず強度が比較的安定していた。また、接着材 A では温度によらずほぼ全体が材質破壊（接着材と SFRC との混合層あるいは SFRC で破壊）であったのに対して、接着材 B と C では鋼板側界面破壊（鋼板と接着材との界面での破壊）の割合も相当程度あり、特に高温側でその割合が高い傾向がみられた。

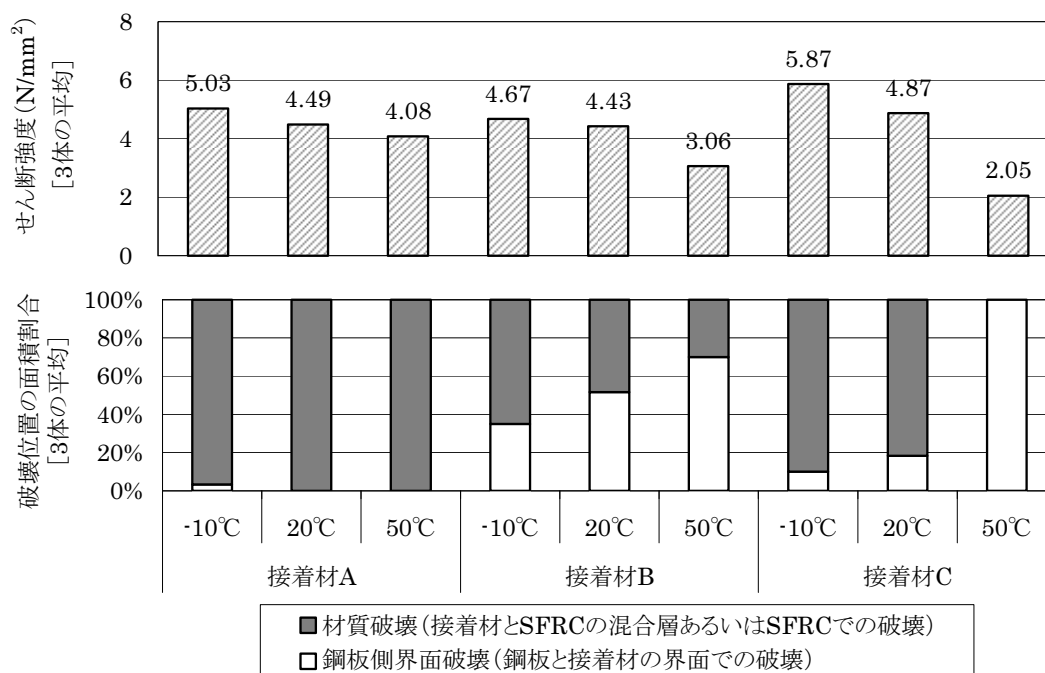
付表－5.2.1 せん断強度に関する試験の結果

接着材		接着材A			接着材B			接着材C			備考
試験温度	試験体	せん断強度 (N/mm ²)	破壊位置(%)		せん断強度 (N/mm ²)	破壊位置(%)		せん断強度 (N/mm ²)	破壊位置(%)		SFRC圧縮強度 ^{※3} (N/mm ²)
			AB ^{※1}	BC ^{※2}		AB	BC		AB	BC	
-10℃	1	5.25	0	100	4.83	15	85	5.80	10	90	69.8 (28日強度)
	2	5.25	5	95	4.19	70	30	5.78	10	90	
	3	4.59	5	95	4.99	20	80	6.02	10	90	
	平均	5.03	3.3	96.7	4.67	35	65	5.87	10	90	
20℃	1	4.28	0	100	4.51	30	70	5.09	10	90	68.0 (28日強度)
	2	4.64	0	100	4.73	50	50	5.07	5	95	
	3	4.54	0	100	4.04	75	25	4.44	40	60	
	平均	4.49	0	100	4.43	51.7	48.3	4.87	18.3	81.7	
50℃	1	4.29	0	100	3.54	25	75	1.80	100	0	74.5 (28日強度)
	2	4.09	0	100	3.11	95	5	1.82	100	0	
	3	3.86	0	100	2.53	90	10	2.53	100	0	
	平均	4.08	0	100	3.06	70	30	2.05	100	0	

※1 AB: 鋼板側界面破壊(鋼板と接着材の界面での破壊)

※2 BC: 材質破壊(接着材とSFRCの混合層あるいはSFRCでの破壊)

※3 SFRC圧縮強度: 標準養生(20℃水中養生)したφ100×200mmの円柱供試体を各3体製作し、常温での圧縮試験結果の平均値



付図－5.2.1 せん断強度および破壊位置の面積割合

5.3 温度変化と水に対する耐久性に関する試験結果

付表－5.3.1 に試験結果を示す。各ケースにおけるせん断強度および破壊位置の平均をグラフ化すると付図－5.3.1 に示すとおりである。接着材 A では、環境負荷によってせん断強度が低下することはない、破壊面のほぼ全面が材質破壊であった。一方、接着材 B では、環境負荷の前後でせん断強度に顕著な差はみられなかったが、環境負荷によって鋼板側界面破壊の割合が高くなる傾向がみられ、環境負荷後にはほぼ全面において鋼板側界面破壊となった。また、接着材 C では、せん断強度が著しく低下するとともに、破壊位置も材質破壊から鋼板側界面破壊へ顕著に変化した（付図－5.3.2、試験の3日後に撮影のため鋼板面に発錆）。以上のように、本試験により接着材の強度特性の相違をある程度明らかにできることが確認された。

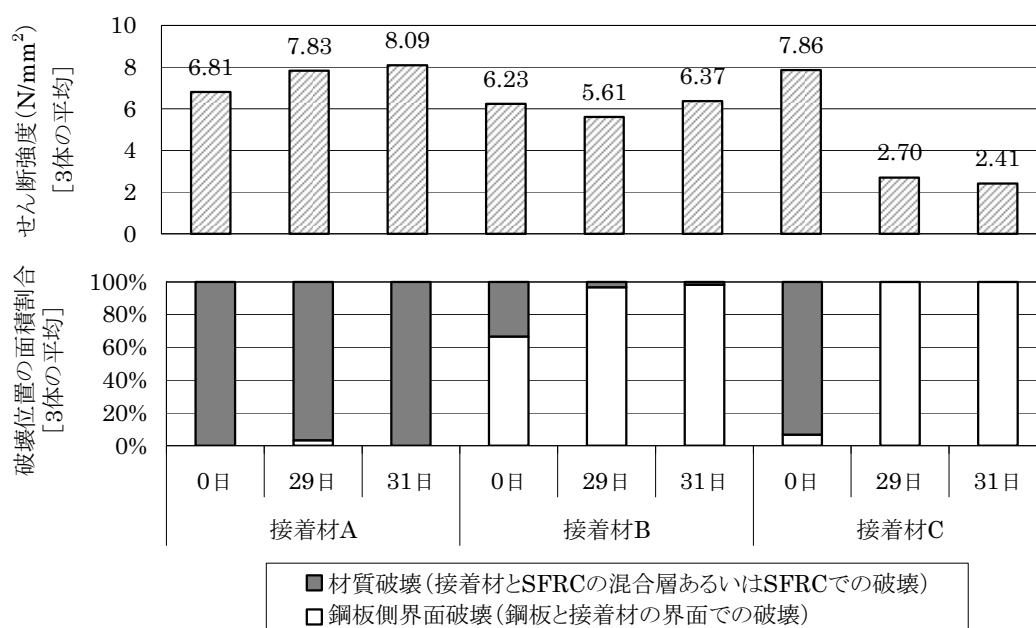
付表－5.3.1 温度変化と水に対する耐久性に関する試験の結果

接着材		接着材A			接着材B			接着材C			備考
環境負荷	試験体	せん断強度 (N/mm ²)	破壊位置(%)		せん断強度 (N/mm ²)	破壊位置(%)		せん断強度 (N/mm ²)	破壊位置(%)		SFRC圧縮強度 ^{※3} (N/mm ²)
			AB ^{※1}	BC ^{※2}		AB	BC		AB	BC	
環境負荷前 (0日)	1	6.33	0	100	6.45	60	40	8.11	5	95	接着材A: 69.8 接着材B: 68.0 接着材C: 74.5 (すべて28日強度)
	2	6.95	0	100	6.24	70	30	7.93	5	95	
	3	7.15	0	100	6.01	70	30	7.54	10	90	
	平均	6.81	0	100	6.23	66.7	33.3	7.86	6.7	93.3	
50℃水中28日 20℃気中1日 (29日)	1	8.02	5	95	4.92	95	5	3.58	100	0	
	2	7.99	0	100	5.54	100	0	2.45	100	0	
	3	7.49	5	95	6.38	95	5	2.06	100	0	
	平均	7.83	3.3	96.7	5.61	96.7	3.3	2.70	100	0	
50℃水中28日 20℃気中3日 (31日)	1	7.86	0	100	6.53	95	5	2.64	100	0	
	2	8.15	0	100	5.89	100	0	2.28	100	0	
	3	8.26	0	100	6.70	100	0	2.31	100	0	
	平均	8.09	0	100	6.37	98.3	1.7	2.41	100	0	

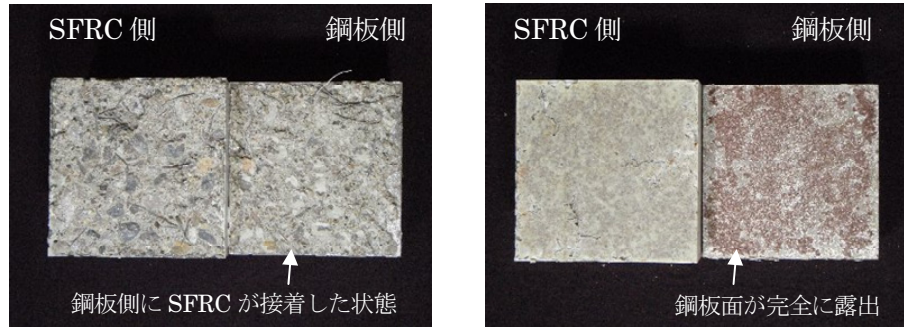
※1 AB: 鋼板側界面破壊(鋼板と接着材の界面での破壊)

※2 BC: 材質破壊(接着材とSFRCの混合層あるいはSFRCでの破壊)

※3 SFRC圧縮強度: 標準養生(20℃水中養生)したφ100×200mmの円柱供試体を各3体製作し、常温での圧縮試験結果の平均値



付図－5.3.1 せん断強度および破壊位置の面積割合



(a) 環境負荷前 (b) 環境負荷後 (29日)

付図-5.3.2 環境負荷前後の破壊面の状況の一例 (接着材 C)

5.4 試験治具の相違がせん断強度に及ぼす影響に関する試験結果

付表-5.4.1に試験結果を示す。せん断強度については、付図-5.4.1に示すように接着面から荷重中心までの距離が長くなるにしたがって低下する傾向がみられた。一方、破壊位置については、いずれも全面で材質破壊となっており、荷重治具による相違はみられなかった。

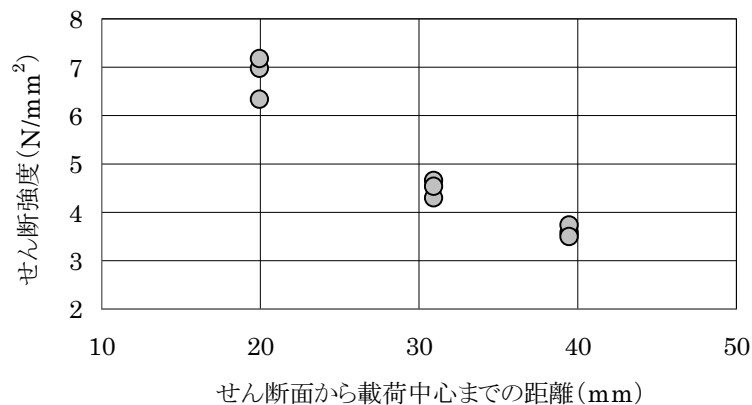
付表-5.4.1 試験治具の相違がせん断強度に及ぼす影響に関する試験の結果

試験場所	使用した試験治具	せん断面から荷重中心までの距離 (mm)	試験体	せん断強度 (N/mm ²)	破壊位置 (%)		SFRC圧縮強度 ^{※3} (N/mm ²)
					AB ^{※1}	BC ^{※2}	
鹿島道路(株) 技術研究所	付図-5.1.3 (a)	31	1	4.28	0	100	68.0 (28日強度)
			2	4.64	0	100	
			3	4.54	0	100	
			平均	4.49	0	100	
大成ロテック(株) 技術研究所	付図-5.1.3 (b)	20	1	6.33	0	100	69.8 (28日強度)
			2	6.95	0	100	
			3	7.15	0	100	
			平均	6.81	0	100	
(株)NIPPO 技術研究所	付図-5.1.3 (c)	39.5	1	3.57	0	100	69.8 (28日強度)
			2	3.7	0	100	
			3	3.5	0	100	
			平均	3.59	0	100	

※1 AB: 鋼板側界面破壊 (鋼板と接着材の界面での破壊)

※2 BC: 材質破壊 (接着材とSFRCの混合層あるいはSFRCでの破壊)

※3 SFRC圧縮強度: 標準養生 (20℃水中養生) したφ100×200mmの円柱供試体を各3体製作し、常温での圧縮試験結果の平均値



付図-5.4.1 せん断面から荷重中心までの距離とせん断強度の関係

(参考) 接着材の性能確認のためのせん断強度試験方法

5.1 から 5.4 に示した試験結果を踏まえて、接着材の性能確認を行う際のせん断強度試験の一方法をまとめる。また、この試験方法に加えて、工事毎に異なる施工条件（デッキプレートの温度、SFRC 打設までの時間間隔）や SFRC の配合等の条件が接着性能に悪影響を及ぼさないことを補足的に確認するための試験方法として、引張接着強度試験の一方法を示す。この方法は、これまでの SFRC 補強工法や RC 床版の上面増厚工法において現場での施工品質管理のために行われている試験方法を参考にしたものである。

I せん断強度試験

(1) 試験目的

接着材のせん断強度を確認するとともに、温度変化と水に対する接着材の耐久性を調べるために行う。

(2) 試験体

1) 試験体

付図－I－1 に示すように、100×100×50mm の鋼板に接着材を塗布し、100×100×75mm の SFRC を打設した試験体とする。使用する SFRC は、工事に使用するセメントと同じ種類のものを用い、3.3 にしたがって配合設計されたものとする。

2) 試験体の作製方法

- ① 使用する接着材、鋼板、型枠、道具類を、温度 20℃、湿度 60% に保った恒温室で 1 日程度養生する。
- ② 鋼板の接着面に対して、ショットブラスト（投射密度 150kg/m²）によりケレンを行う。ケレン後は表面に鉄粉等の汚れがあるため、溶剤で汚れをふき取る。
- ③ 内寸 100mm×100mm×125mm の鋼製の型枠内に、ケレンした鋼板（100mm×100mm×50mm）を挿入する。SFRC 打設時に、接着材が型枠と鋼板の隙間から染み出ないように、型枠の内側側面全体に養生テープを設置する。この際、鋼板の温度が 20℃ になるように調整する。
- ④ プライマーを使用する場合には、所定量のプライマーを均一に塗布し、所定の期間そのまま置く。
- ⑤ 所定の割合で混合した接着材をただちにケレンした鋼板面上あるいはプライマー上に所定量（平均厚さが 1.0mm となる量）垂らし、へら等で膜厚が均一になるように塗布する。
- ⑥ 接着材を混合してから 30 分経過したら SFRC を打設する。
- ⑦ 振動台を用いて締め固める。振動時間は 10 秒程度を目標とし、接着材が表面に浮き出てきた場合はすみやかに振動を中止するとともに、試験体として適切ではないため、製作し直す。
- ⑧ 養生シートで覆い、温度 20℃、湿度 60% に保った恒温室で養生を行う。
- ⑨ 打設の翌日（24 時間程度後）に脱型する。引き続き恒温室で条件を変えずに 28 日間（打設日を含む）養生する。

(3) 試験条件

1) 試験器具

- ① 荷重速度と試験温度を正確に制御できる試験機（恒温槽を有するインストロン万能試験機等）
- ② セン断試験用治具（付図－I－2）
- ③ 恒温水槽

2) 試験条件：付表－I－1による

3) 測定項目

- ① 最大荷重
- ② 破壊位置（付表－I－2の区分にしたがってそれぞれの面積割合を記録）

(4) 荷重方法

付図－I－2に示すように供試体を試験装置に取り付け、所定の試験温度において、荷重速度 1mm/分で破壊するまで荷重する。

(5) セン断強度の計算方法

せん断強度 (N/mm²) = 最大荷重 (N) / せん断面積(mm²)

(6) 試験結果の評価の目安

SFRC 側での破壊の面積割合が 3 体の平均で 90%以上であることを合格の目安とする。

(7) 報告事項

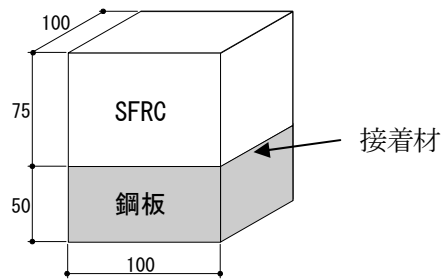
- 1) 試験日時
- 2) 試験者
- 3) 試験温度
- 4) 環境負荷条件
- 5) 最大荷重（個々の測定値）
- 6) せん断強度（個々の計測値および平均値）
- 7) 破壊位置（面積比、付表－I－2参照）
- 8) その他特記すべき事項

付表－I－1 試験条件

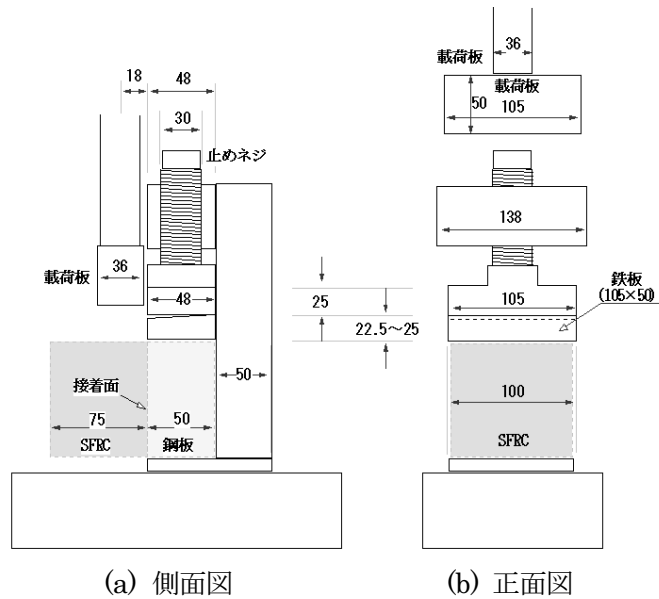
項目	環境負荷	試験温度	試験体数
接合部の強度 (せん断強度)	なし	-10℃	3体
		20℃	3体
		50℃	3体
接合部の温度変化と 水に対する耐久性	50℃の水中に27日間浸漬した後、 1日気中(温度20℃、湿度60%)で乾燥	20℃	3体

付表－I－2 破壊位置

区分	破壊位置
鋼板側界面破壊	鋼材と接着材の界面での破壊
材質破壊	接着材とSFRCとの混合層あるいはSFRCでの破壊



付図－I－1 せん断強度試験のための試験体



付図－I－2 せん断強度試験用治具の例

II 引張接着強度試験

(1) 試験目的

工事毎に異なる施工条件（デッキプレートの温度、SFRC 打設までの時間間隔）、SFRC の配合等の条件が接着性能に悪影響を及ぼさないことを確認するため、あるいは、接着材の施工が適切に行われ、交通開放に必要な強度が発現していることを現場で確認するために行う。

(2) 試験体

1) 試験体

付図－II－1 に示すように、内寸 300×300×50mm 程度の鋼製型枠^{注1)}の中に、内寸φ100×50 の型枠^{注2)}を並べ、その内部の鋼板面に接着材を塗布した上で、工事に使用するものと同じ配合の SFRC を打設した試験体とする。また、SFRC 表面に端版を接着するか、全ネジボルトを SFRC に埋め込むかして、引張接着強度試験機により載荷できる構造にする。

2) 試験体の作製方法

- ① 鋼製型枠の温度を、施工時に想定される温度に調整する。
- ② 鋼製型枠の底板上面をディスクサンダー等により研掃し、異物を除去するとともに、アセトンで脱脂する。
- ③ プライマーを使用する場合には、所定量のプライマーを均一に塗布し、所定の期間そのまま置く。
- ④ 所定の割合で混合した接着材を、ただちに鋼製型枠の底面に所定量垂らし、へら等で膜厚が均一になるように塗布する。
- ⑤ 引張接着強度試験機を設置できる間隔を開けてφ100 の型枠を配置する。
- ⑥ 接着材を混合、塗布してから所定の時間（SFRC 打設までの時間間隔）経過した後、SFRC の打設を開始する。
- ⑦ 鋼製型枠の全面に半分程度の深さまで SFRC を投入し、突き棒あるいは壁打ちバイブレータ等により締め固める。その後、残りの部分に SFRC を打ち継ぐ。埋込みボルト（付図－II－2）を用いて載荷する場合には、この際にボルトを SFRC の半分の深さまで埋め込んだ上で、十分に締め固める。端版（付図－II－3）^{注3)}を用いて載荷する場合には、表面を仕上げ、SFRC 表面のレイタンスをディスクサンダー等により除去した後、アセトンで脱脂した端版を速硬性の接着材で固定する。なお、端版と SFRC の接着を確実にするために養生時間を確保する必要がある。
- ⑧ SFRC 表面が乾燥しないようにウェスやポリフィルムシート等により養生する。
- ⑨ SFRC 打設後、所定の材齢に到達したら試験を行う。

(3) 試験条件

試験器具

- ① 引張接着強度試験機（付図－II－4）
- ② 載荷治具（付図－II－2 あるいは付図－II－3）

試験温度：現場の条件に合わせる

測定項目：最大荷重、破壊位置（付表－II－1 の区分にしたがってそれぞれの面積割合を記録）

試験体数：3体（1試験材齢あたり）^{注4)}

(4) 荷重方法

付図－Ⅱ－5に示すように、引張接着強度試験機と試験体に固定した治具を連結し、0.1MPa/secで鉛直方向に破壊するまで荷重する。

(5) 引張接着強度の計算方法

$$\text{引張接着強度 (N/mm}^2\text{)} = \text{最大荷重 (N)} \div \text{接着面積(mm}^2\text{)}$$

(6) 試験結果の評価の目安

1) 接着材の性能確認のための試験の場合

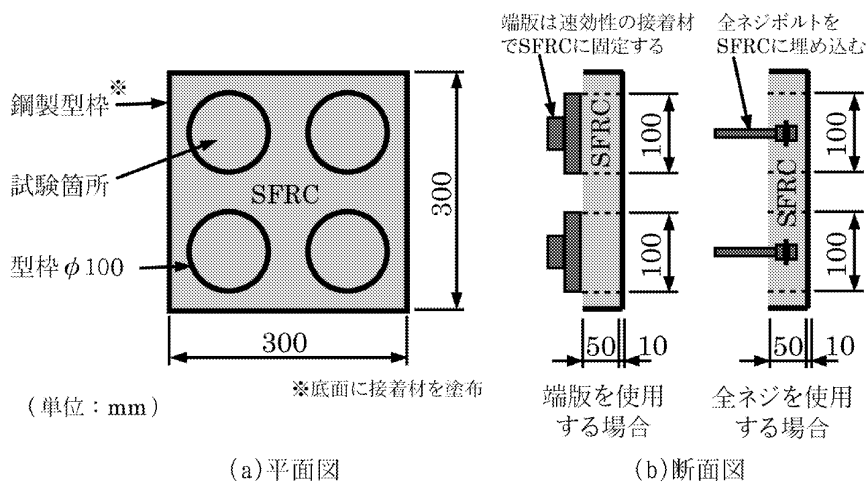
SFRC側での破壊の面積割合が3体の平均で90%以上であることを良否の評価の目安とする。

2) 現場における施工管理のための試験の場合

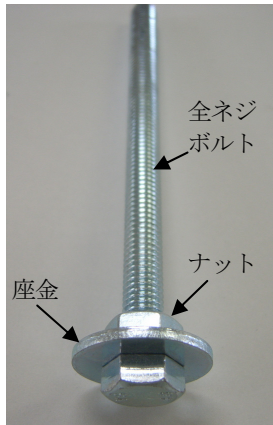
3体の引張接着強度の平均が1.0N/mm²以上であることを良否の評価の目安とする^{注5)}。

(7) 報告事項

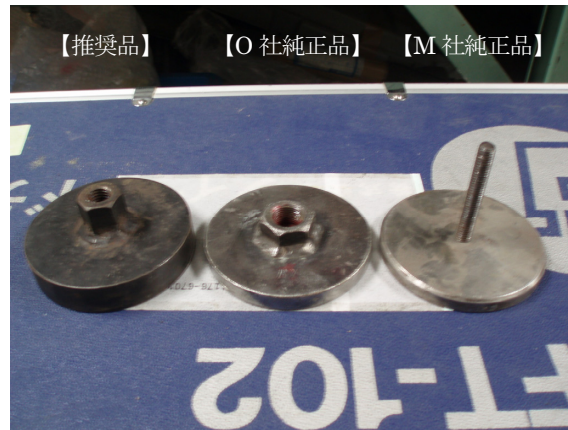
- 1) 試験日時
- 2) 試験者
- 3) 試験温度
- 4) 試験材齢
- 5) 最大荷重（個々の測定値）
- 6) 引張接着強度（個々の計測値および平均値）
- 7) 破壊位置（面積比、付表－Ⅱ－1参照）
- 8) その他特記すべき事項



付図－Ⅱ－1 引張接着強度試験のための試験体の例



付図－Ⅱ－2 载荷治具（埋込みボルト）の例



付図－Ⅱ－3 载荷治具（端版）の例



(a) O社製試験機



(b) M社製試験機

付図－Ⅱ－4 引張接着強度試験機の例

付表－Ⅱ－1 破壊位置

区分	破壊位置
鋼板側界面破壊	鋼材と接着材の界面での破壊
材質破壊	接着材とSFRCとの混合層あるいはSFRCでの破壊



付図－Ⅱ－5 引張接着強度試験の状況

(注記)

- 注1) ホイールトラッキング試験の型枠（内寸 300×300×50）を転用することができる。
- 注2) 硬質塩化ビニル管あるいは紙製ポイドを 50mm に切断したものをを用いるとよい。
- 注3) 付図Ⅱ-4 に示したタイプの引張接着強度試験機は、元来はタイルやモルタル塗料等の引張接着強度を測定する目的に開発されたものである。本試験で対象としている接着材は被着体と一体化する接着性能を有するため、試験機に付属している純正品の端版を用いると面全体を一様に載荷することができず、端版と SFRC との接着部で破壊する場合がある。このため、純正品よりも厚い端版を用いることが望ましい。
- 注4) 現場で試験を実施する際には、所定の材齢で強度が得られなかった場合、養生を続けた上で、所定の強度が得られるまで繰り返し試験を行う必要があるため、余分に試験体を作製しておく。
- 注5) 床版上面増厚工法に関連した検討では、引張接着強度が 1.0N/mm² 程度あれば、設計上の規格値（輪荷重）の 3 倍程度の荷重が作用しても新旧コンクリートの一体化は十分確保できるとしている²⁾。これを参考にして、3 体の平均強度が 1.0N/mm² 以上であることを試験結果の評価の目安とした。

参考文献

- 1) 小栗、児玉、村越、梁取、宇井：鋼床版 SFRC 舗装に用いる接着剤のせん断強度試験、土木学会第 63 回年次学術講演会講演概要集、5-141、2008 年 9 月
- 2) (財)高速道路調査会：上面増厚工法設計施工マニュアル、1995 年 11 月

付属資料－6 鋼床版上 SFRC 舗装の FEM 解析例

SFRC 舗装表面に生じる引張ひずみに着目した FEM 解析の例を示す。

6.1 解析モデル

首都高速道路公団、阪神高速道路公団の「鋼構造物標準図集」^{1), 2)}をもとに、標準的な諸元を有する鋼床版として付図－6.1.1 に示すような解析モデルを作成し、これを用いて解析を実施した。付表－6.1.1 に解析モデルの概要を示す。縦リブ 2 支間（支間長 2500mm）分を、全てソリッド要素でモデル化している。接着材層に関してはモデル化しておらず、SFRC 舗装とデッキプレートとは完全合成としている。また、舗装内部の補強材についても、ひび割れを生じる前の SFRC の剛性への寄与は小さいと考えられるため、モデル化していない。SFRC 舗装厚は 75mm、SFRC のヤング係数は 30,000N/mm²、ポアソン比は 0.1667 とした。

6.2 荷重ケース

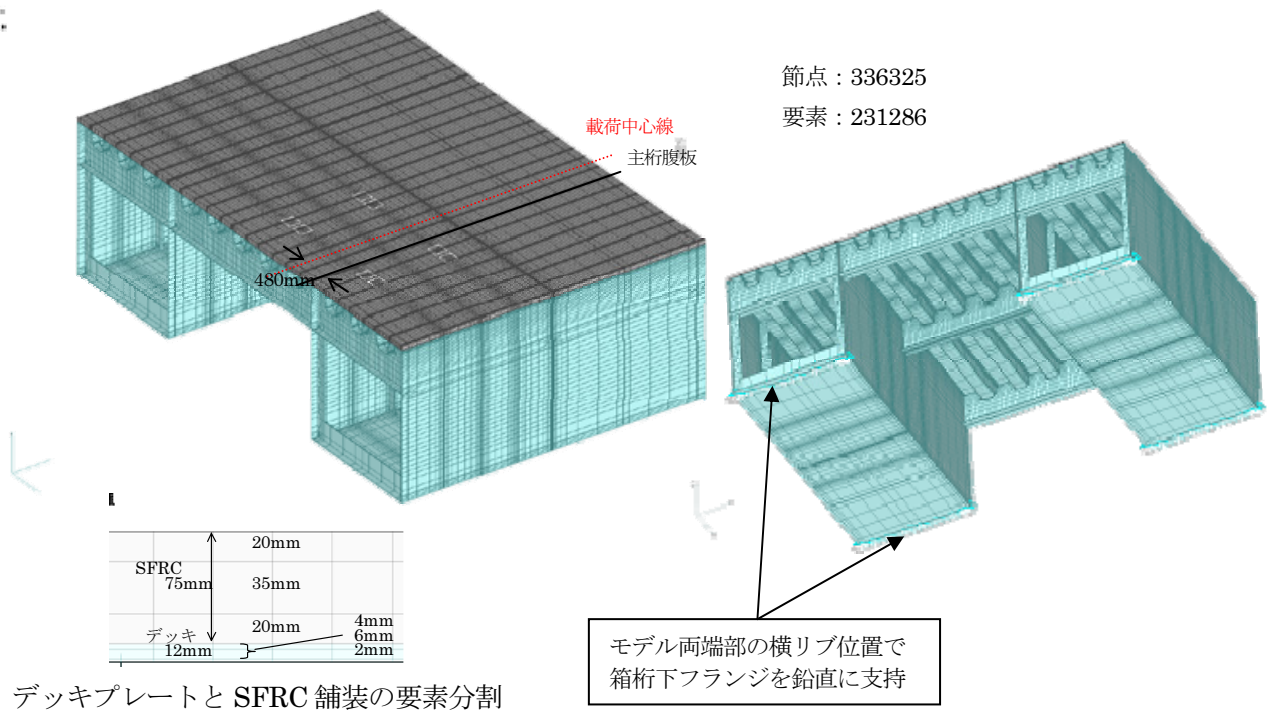
荷重は、大型トラック後輪のタンデム軸（2 軸 8 輪）を模擬して付図－6.2.1 のようにモデル化した。荷重の大きさは、1 輪あたり 50kN、2 軸 8 輪で合計 400kN（衝撃係数は考慮せず）である。付図－6.2.2 に荷重ケースを示す。タンデム荷重の中心位置が、縦リブ支間（L=2500mm）の中央ライン(L/2)上、3L/8 上、L/4 上、L/8 上、横リブ上となる 5 ケースについて解析を行った。また、橋軸直角方向の荷重中心位置については、付図－6.1.1 に示したように主桁ウェブ直上から中床版側へ 480mm 移動した位置とした。これは、事前に U リブ支間中央において 1 軸 4 輪の荷重を橋軸直角方向に移動させて行った解析の結果、この位置に荷重した場合に主桁ウェブ直上 SFRC の引張ひずみが最も高くなったことに基づいて設定したものである。

6.3 解析結果

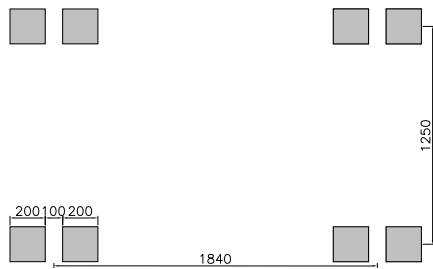
解析結果の例として、Case-1 の荷重状態における橋軸直角方向ひずみのコンターを付図－6.3.1 に、橋軸方向ひずみのコンターを付図－6.3.2 に示す。図中には SFRC 表面に生じるひずみの最大・最小値を併せて示している。橋軸直角方向のひずみは主桁ウェブ上で最も高く（183 μ ）、橋軸方向のひずみは横リブ上で最も高く（94 μ ）になった。その他の荷重ケースにおいても、同様に主桁ウェブ上、横リブ上で引張ひずみが最も高くなった。各荷重ケースにおける SFRC 舗装表面の最大引張ひずみを付図－6.3.3 に示す。橋軸直角方向のひずみは Case-2（192 μ ）で、橋軸方向のひずみは Case-5（113 μ ）で最も高い引張ひずみを生じた。小型試験体を用いた負曲げ荷重試験によれば、SFRC 表面の引張ひずみが 200～300 μ でひび割れが生じている³⁾が、大型トラック後輪のタンデム軸（2 軸 8 輪）を想定した場合、主桁ウェブ直上にはこれに近い引張ひずみを生じることが確認された。一方、横リブ上に生じる引張ひずみはこれに比べて低い傾向にある。

付表-6.1.1 解析モデルの諸元等の概要

SFRC 舗装	形状寸法	舗装厚	75mm
	材料物性	ヤング係数 E	30,000 N/mm ²
		ポアソン比 ν	0.1667
鋼断面	形状寸法	デッキプレート厚	12mm
		縦リブ支間	2支間(支間長 L=2,500mm)
		縦リブ形状寸法	U-320×240×8-R40
		縦リブ間隔	320mm
		主桁腹板	板厚11mm×ウェブ高さ2,500mm
		横リブ	板厚9mm×高さ700mm
		垂直補剛材	板厚15mm×幅150mm
	材料物性	ヤング係数 E	200,000 N/mm ²
		ポアソン比 ν	0.3
拘束条件		モデル両端部の横リブ位置で箱桁下フランジを鉛直に支持	
荷重条件		大型車後輪のタンデム荷重(2軸8輪)を想定400kN(50kN×8)	

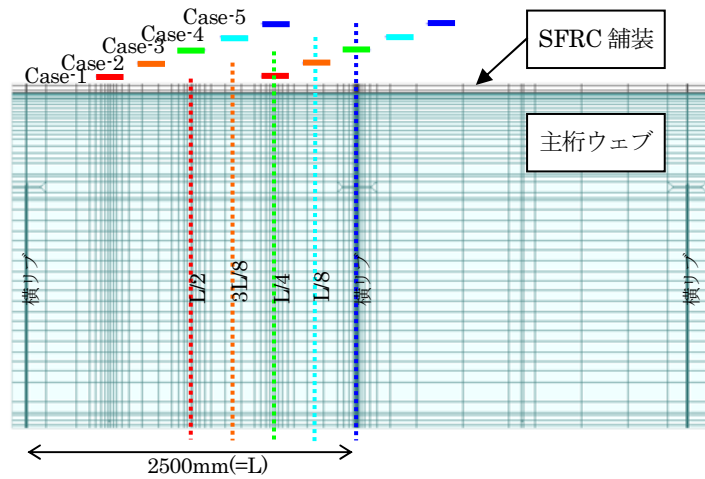


付図-6.1.1 解析モデル

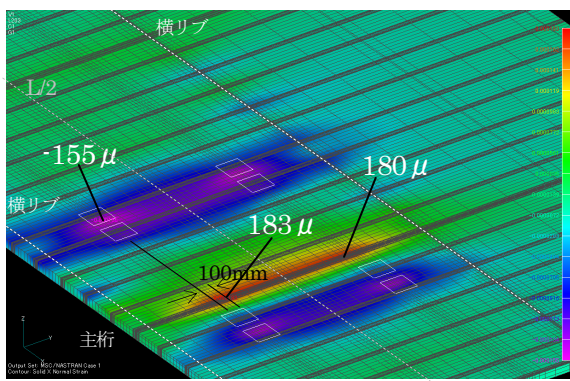


ダブルタイヤ4組 (2軸8輪)
1輪あたり 50kN

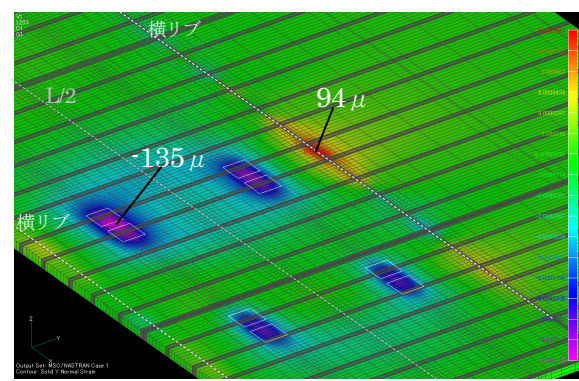
付図-6.2.1 荷重モデル



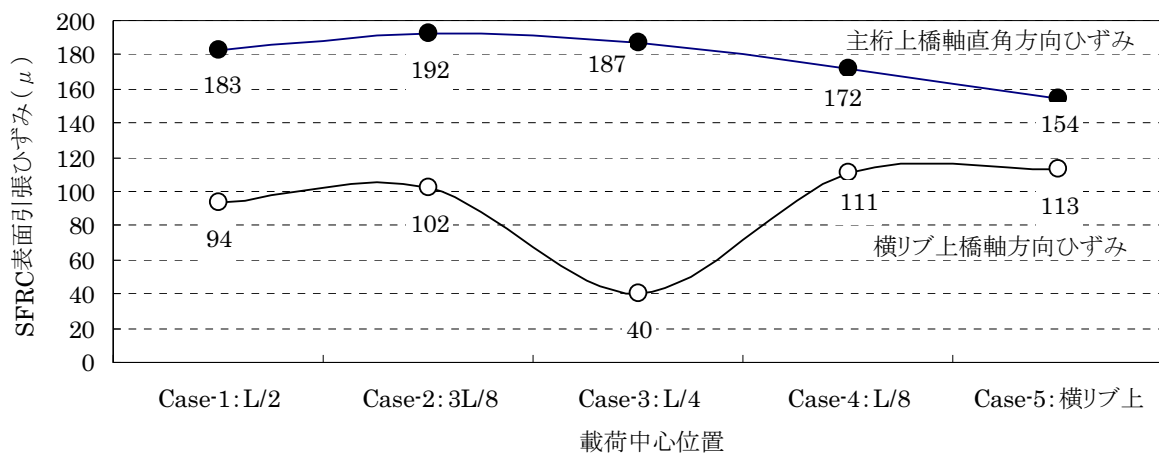
付図-6.2.2 荷重ケース (モデル側面図)



付図-6.3.1 橋軸直角方向ひずみ (Case-1)



付図-6.3.2 橋軸方向ひずみ (Case-1)



付図-6.3.3 タンデム荷重の荷重位置と SFRC 表面引張ひずみの関係

参考文献

- 1) 首都高速道路公団：鋼構造物標準図集 (平成6年2月)
- 2) 阪神高速道路公団：鋼構造物標準図集 (平成3年4月)
- 3) 宇井、梁取、村越ら：鋼床版上 SFRC 舗装の負荷げモーメント発生部を対象とした実験 (その1)、土木学会第62回年次学術講演会講演概要集、2007年9月

共同研究報告書
Cooperative Research Report of PWRI
No. 395 October 2009

編集・発行 ©独立行政法人土木研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

独立行政法人土木研究所 企画部 業務課
〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6 電話029-879-6754