

鋼床版 SFRC 補強に配置したメタルグリッド筋の補強効果

日大生産工（院）○吉岡 泰邦，日大生産工 水口 和彦
日大名誉教授 阿部 忠，日大生産工 野口 博之

1. はじめに

道路橋鋼床版は、厚さ 12mm 以上のデッキプレート
を縦リブ・横リブなどの補剛材で溶接接合した構造であり、
コンクリート床版と比較して軽量なため、長大橋などに
数多く採用されている¹⁾。しかし、鋼床版は輪荷重による
局部的な応力性状が生じやすく、車輛の繰り返し走行による
溶接接合部へのき裂やデッキプレートの板厚方向へのき裂の
発生・進展が数多く報告されており、デッキプレートの鋼床版
の恒久的な予防保全対策として鋼繊維補強コンクリート（以下、
SFRC : Steel Fiber Reinforced Concrete とする）を用いた鋼床版
補強法・舗装法が既設鋼床版の維持管理策として適用されて
いる。また、SFRC 補強・舗装法が施された鋼床版においても、
主げた直上やリブ交差部などの負曲げが発生しやすい領域
では、CFRP 格子筋などの補強筋を配置している²⁾。
本研究では、負曲げ領域を含めた鋼床版SFRC上に発生する
ひび割れを抑制し、鋼床版全体の剛性を高めることを目的と
して、コンクリート構造物では新たに補強筋として開発され
たメタルグリッド筋^{3),4)}をデッキプレート全面に配置した鋼
床版SFRC舗装の補強効果について検証する。

2. 疲労損傷を与える鋼床版の実験方法

実験では、実橋梁と同様の損傷状況を再現するために輪荷重
走行実験により応力損傷として、鋼床版の溶接部にき裂を
与える。その後、き裂発生箇所の補修を行い、メタルグリッド
筋を全面に配置して接着剤塗布型SFRC補強した鋼床版を用
いて輪荷重走行実験を実施し、鋼床版のデッキプレートおよ
びUリブに生じたたわみおよびひずみの関係から応力低減効果
を検証した。

3. 疲労損傷を与えた鋼床版供試体の概要

3.1 供試体寸法および使用材料

(1) 供試体寸法および計測位置

本実験に用いた鋼床版供試体の寸法を図-1に示す。供試体
は既設鋼床版をモデル化し、実構造と同一板厚のデッキプレ
ートおよびUリブを2本、横リブを3本、主げたを2本を有す
る供試体を製作する。鋼床版を構成するデッキプレートには、
疲労損傷が最も報告されている板厚が 12mm であることから
本供試体を構成するデ

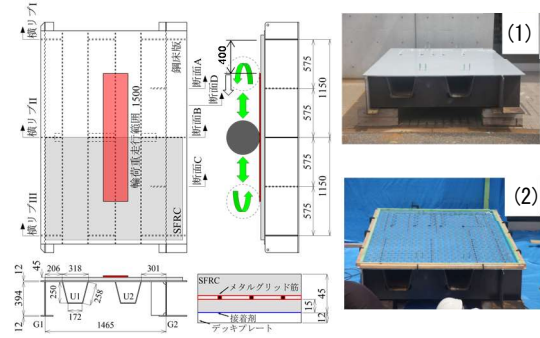


図-1 供試体寸法

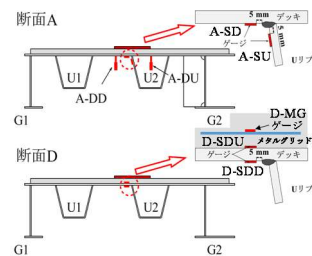


図-2 たわみ及びひずみ計測位置

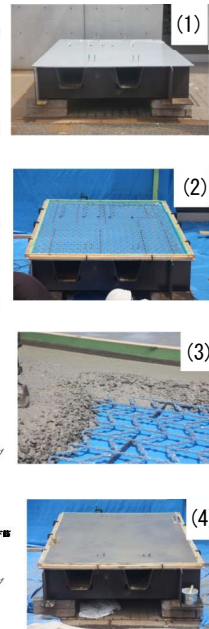


写真-1 補強手順

表-1 鋼材の特性値

項目	板厚 (mm)	降伏強度 (N/mm ²)	降伏ひずみ (×10 ⁻⁶)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
鋼床版	デッキプレート	285	1,425	455	200
	Uリブ	311	1,555	445	200
メタルグリッド筋	4.5	328	1,640	467	200

ッキプレートは 12mm とし、幅 1,765mm、長さ 2,500mm とする。Uリブには幅 320mm、高さ 250mm、厚さ 6mm の鋼板を用いる。主げたは I 形断面とし、主げた間隔を 1,465mm とする。また Uリブは主げた G1 から 206mm、主げた G2 から 301mm の位置に接合する。横リブは橋軸方向のデッキプレート端部から 100mm の位置から 1,150mm の間隔で接合する。ここで、無補強鋼床版の供試体名称を OSD と称する。

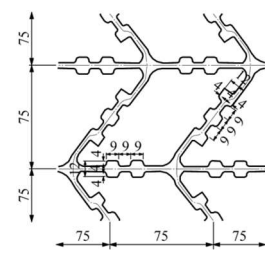


図-3 メタルグリッド筋の形状

Stiffening Effect of Metal-Grid placed in SFRC Reinforcement for Orthotropic Steel Deck

Yasukuni YOSHIOKA, Kazuhiko MINAKUCHI, Tadashi ABE and Hiroyuki NOGUCHI

表-2 等価走行回数

供試体	S-N曲線の傾きの逆数	基準荷重	荷重	100kN	120kN	140kN	150kN	160kN	等価走行回数	
			実験走行回数	20,000	20,000	20,000	20,000	12,000		
鋼床版	m=3.0(両対数)	40kN	等価走行回数	312,500	540,000	857,500	—	—	1,710,000	
	m=3.0(両対数)	50kN	等価走行回数	160,000	276,480	439,040			875,520	
鋼床版及びSFRC舗装	鋼床版	m=3.0(両対数)	40kN	等価走行回数	312,500	540,000	857,500	1,054,688	768,000	3,532,688
		m=3.0(両対数)	50kN	等価走行回数	160,000	276,480	439,040	540,000	393,216	1,808,736
	SFRC	m=10.3(片対数)	72kN	等価走行回数	436,163	3,920,597	35,241,625	105,659,311	190,068,819	335,326,514

輪荷重走行実験および疲労実験における局所性状を計測するために図-1に示す4断面を設定した。たわみの計測位置は輪荷重の走行による影響を受けやすい横リブ間中央とする。ひずみの計測位置は溶接接合による残留応力の影響を考慮して各断面の溶接止端部から5mm離れた溶接接合部近傍のデッキプレートとUリブとする。ここで、たわみおよびひずみの計測位置を図-2に示す。

(2) 鋼床版

本実験に用いる鋼床版供試体を構成する鋼材にはSS400を用いる。なお、デッキプレートの材料特性値はミルシートより、降伏強度が285N/mm²、引張強度が455N/mm²、ヤング係数が200kN/mm²である。(表-1)

3.2 輪荷重走行実験および疲労実験

輪荷重走行実験および疲労実験の走行範囲は端部の横リブから400mmの位置を起点とし、橋軸方向に1,500mm走行させる。実橋梁の疲労損傷を再現するためにモデル化した鋼床版は、荷重100kN、120kN、140kNでそれぞれ20,000回走行させ、疲労損傷を与えた。また、疲労実験開始前および各荷重で20,000回走行後に走行範囲を荷重100kNで1往復させ、たわみおよびひずみを動的に計測した。

3.3 無補強鋼床版の実験結果による等価走行回数

供試体OSDの等価走行回数は表-2に示すように、1.710×10⁶回であり、載荷輪直下のデッキプレートとUリブの溶接線を起点としたき裂を与えた。

疲労損傷を受けた鋼床版を用いてき裂箇所の補修およびメタルグリッド筋を配置した接着剤塗布型SFRC補強による応力低減効果を検証する。

4. メタルグリッド筋を配置した接着剤塗布型SFRC補強鋼床版の供試体概要および実験方法

4.1 供試体寸法および補強材料

(1) 補強した鋼床版の供試体寸法

補強した鋼床版の供試体寸法は、疲労損傷を与えた鋼床版のデッキプレート上面に厚さ4.5mmのメタルグリッド筋をデッキプレート表面から15mmの位置に配置し、SFRCを45mm打ち込む。ここで、補強した鋼床版供試体の寸法を図-2に併記する。

(2) SFRC

本実験に用いる補強材にはSFRCを用いる。SFRCの

要求性能は、実橋梁における交通規制による経済損失などを考慮し、養生3時間で道路橋示方書・同解説に規定するコンクリートの圧縮強度24N/mm²以上を確保できる配合とする。SFRCの養生3時間の圧縮強度は24.8N/mm²、実験開始時の圧縮強度は48.9N/mm²と材料の要求性能を確保している。

(3) メタルグリッド筋

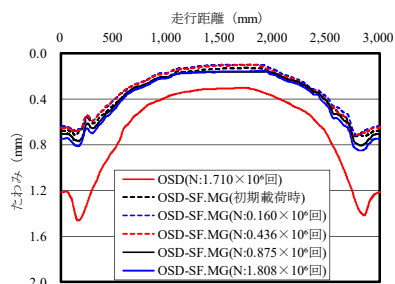
本実験に用いるメタルグリッド筋にはSS400の一般鋼板を用いて、メタルグリッド筋の寸法は格子間隔が75×75mm、幅4.0mmとなるようにレーザーでスリットを挿入し、専用のジャッキを用いて展張加工を施して格子状を形成する。ここで、メタルグリッド筋の材料特性値を表-1、形状および寸法を図-3に示す。なお、表-1に示す材料特性値はミルシートの結果である。

4.2 鋼床版SFRC補強方法

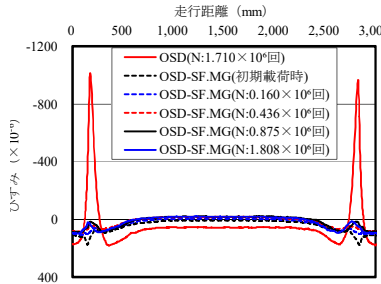
次に、メタルグリッド筋を配置した鋼床版SFRC補強の施工手順を写真-1に示すようにき裂箇所の補修後、鋼床版とSFRCとの付着性の向上およびデッキプレート表面の不純物を除去するためにデッキプレートを研掃する。デッキプレートを研掃後、直ちにSFRCを打ち込まないことからデッキプレート表面に発生する錆を防止するために付着用接着剤と接着相性が良い防錆剤(塗布量0.3kg/m²)を塗布し、養生する(写真-1(1))。養生後、型枠を設置し、デッキプレートに付着用接着剤(塗布量1.4kg/m²)を塗布し、メタルグリッド筋をデッキプレート表面から15mmの位置に設置する(写真-1(2))。その後、直ちにSFRCを練り混ぜ、厚さ45mmで打ち込み(写真-1(3))、表面仕上げ・養生する(写真-1(4))。ここで、疲労損傷を与えてメタルグリッド筋をデッキプレート上面に配置し、SFRC補強した鋼床版の供試体名称をOSD-SF.MGと称する。

4.3 輪荷重走行実験および疲労実験

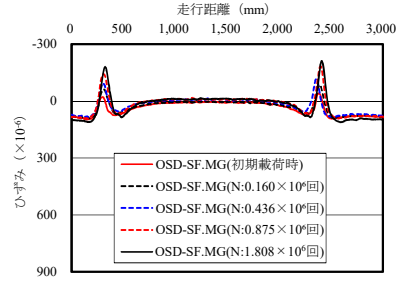
鋼床版に疲労損傷を与えた後、メタルグリッド筋を用いて接着剤塗布型SFRC補強した鋼床版の荷重載荷条件は荷重100kN、120kN、140kN、150kNでそれぞれ20,000回、荷重160kNで12,000回走行させ、たわみおよびひずみを計測する。また、鋼床版供試体と同様に疲労実験開始時および各荷重で20,000回走行後に走行範囲を荷重100kNで1往復させ、たわみおよびひずみを動的に計測させる。無補強鋼床版の疲労実験終了後



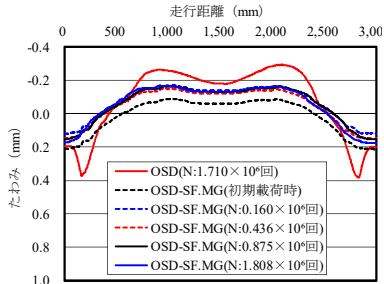
(1) 計測点 A-DD



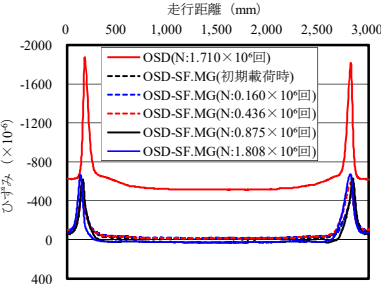
(1) 計測点 A-SU



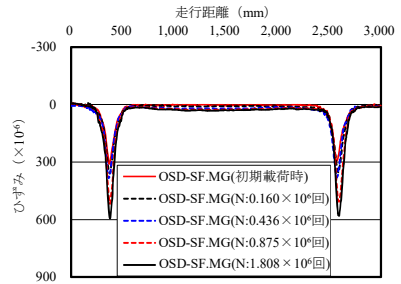
(1) 計測点 D-SDD



(2) 計測点 A-DU



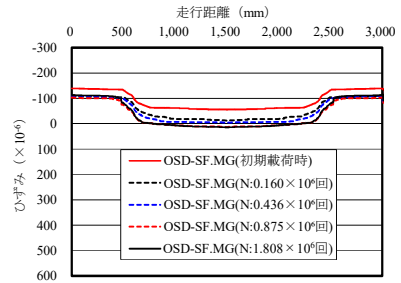
(2) 計測点 A-SU



(2) 計測点 D-SDU

図-4 たわみと走行距離の関係

図-5 ひずみと走行距離の関係 (断面 A)



(3) 計測点 D-MG

図-6 ひずみと走行距離の関係 (断面 D)

に計測した結果を基準にメタルグリッド筋を配置した接着剤塗布型 SFRC 補強によるたわみおよび応力低減効果を検証する。

5. メタルグリッド筋を配置した接着剤塗布型 SFRC 補強鋼床版の結果

5.1 等価走行回数

基準荷重 P を 40kN として算出したメタルグリッド筋を用いて補強した供試体 OSD-SF.MG の等価走行回数は 3.532×10^6 回である。また、B 活荷重に対応する耐疲労性の評価として基準荷重 P を 50kN として算出した供試体 OSD-SF.MG の等価走行回数は 1.808×10^6 回であり、SFRC の等価走行回数は 335.326×10^6 回である。(表-2)

5.2 たわみと走行距離の関係

本実験におけるたわみと走行距離の関係を図-4 に示す。供試体 OSD と同様に疲労実験終了後に荷重 100kN で 1 往復させた動的たわみを計測し、供試体 OSD の疲労実験終了後に計測した結果を基準にたわみの抑制効果の評価する。

(1) 計測点 A-DD, A-DU 供試体 OSD-SF.MG について、初期荷重および荷重 160kN で 20,000 回走行後 (1.808×10^6 回) の荷重 100kN で 1 往復した際の最大・最小たわみおよび変動範囲を表-3 に示す。計測点 A-DD, A-DU について、供試体 OSD と比較して、初期荷重時の荷重 100kN で 1 往復した際のたわみの変動範囲はそれぞれ 48%, 55%, 荷重 160kN で 20,000 回走行後の荷重 100kN で 1 往復した際のたわみの変動範囲はそれぞれ 40%,

49% 抑制される結果となった。計測点 A-DU については、たわみが交番するもののデッキプレートの局所的なたわみ変動が抑制され、鋼床版全体での変形挙動となった。

5.3 溶接止端部近傍及びメタルグリッドの応力性状

供試体 OSD-SF.MG のひずみと走行距離の関係を図-5 および図-6 に示す。供試体 OSD と同様に疲労実験終了後に荷重 100kN で 1 往復させた動的ひずみを計測し、断面 A では供試体 OSD の疲労実験終了後に計測した結果を基準にひずみの低減効果の評価する。なお、供試体 OSD の疲労実験終了後、溶接部および U リブに進展したき裂の補修を施したことから、き裂補修近傍の応力性状を検証するために供試体 OSD-SF.MG では断面 D のデッキプレートおよびメタルグリッド筋に新たにひずみゲージを設置した(図-2)。

(1) 計測点 A-SD, A-SU 供試体 OSD-SF.MG について、初期荷重および荷重 160kN で 20,000 回走行後 (1.808×10^6 回) の荷重 100kN で 1 往復した際の最大・最小ひずみおよび変動範囲を表-4 に示す。計測点 A-SD, A-SU について、供試体 OSD と比較して初期荷重時の荷重 100kN で 1 往復した際のひずみの変動範囲はそれぞれ 86%, 61% 抑制される結果となった。また、荷重 160kN

表-3 たわみの変動範囲(断面 A)

項目	種別	OSD		OSD-SF.MG		
		1.71×10 ⁶ 回 (mm)	初期荷重 (mm)	抑制率	1.808×10 ⁶ 回 (mm)	抑制率
A-DD	最大たわみ	1.460	0.728		0.851	
	最小たわみ	0.302	0.127		0.153	
	変動範囲	1.158	0.601	-48%	0.698	-40%
A-DU	最大たわみ	0.384	0.212		0.176	
	最小たわみ	-0.292	-0.089		-0.168	
	変動範囲	0.676	0.301	-55%	0.344	-49%

表-4 ひずみの変動範囲(断面 A)

項目	種別	OSD		OSD-SF.MG		
		1.71×10 ⁶ 回 (×10 ⁻⁶)	初期荷重 (×10 ⁻⁶)	抑制率	1.808×10 ⁶ 回 (×10 ⁻⁶)	抑制率
A-SD	最大ひずみ	182	178		98	
	最小ひずみ	-1012	5		-22	
	変動範囲	1194	173	-86%	120	-90%
A-SU	最大ひずみ	-513	-4		30	
	最小ひずみ	-1875	-537		-672	
	変動範囲	1362	533	-61%	702	-48%

で20,000回走行後の荷重100kNで1往復した際のひずみの変動範囲はそれぞれ90%、48%抑制される結果となった。これはSFRCとデッキプレートが付着用接着剤によって一体性を有し、デッキプレートの局所的な変形から鋼床版全体での変形に移行したためである。

(2) 計測点 D-SDD, D-SDU, D-MG 計測点 D-SDD は D 断面のデッキプレートと U リブの溶接止端部から 5mm の下面側デッキプレート、計測点 D-SDU は計測点 D-SDU 直上の上面側デッキプレート、計測点 D-MG は計測点 D-SDU 直上のメタルグリッド筋の主筋である。それぞれの最大・最小ひずみおよび変動範囲を表-5 に示す。

計測点 D-SDD, D-SDU, D-MG について、供試体 OSD-SF.MG の初期荷重と荷重 160kN で 20,000 回走行後のひずみの増加率は 77%~140% であり、測定場所は異なるが、供試体 OSD の A-SD のひずみの増加率 272% に比べて大幅に低減しており、メタルグリッド筋と SFRC 舗装による補強効果が確認できる。また、計測点 D-MG について、荷重 160kN で 20,000 回走行後の最大ひずみは 14×10^{-6} と引張側へ移行しており、U リブ上のメタルグリッド筋には負曲げが働くことが確認された。

6. まとめ

輪荷重による疲労損傷を与えデッキプレートと U リブ溶接部にき裂が発生した鋼床版の補強としてメタルグリッド筋を配置し接着剤塗布型 SFRC 補強した鋼床版で輪荷重走行実験および疲労実験を行った結果、以下の知見が得られた。

- (1) メタルグリッド筋を配置した接着剤塗布型 SFRC 補強鋼床版においても溶接部および U リブ方向へのき裂の進展が確認された。また、SFRC 上に一部 U リブ溶接線上に幅 0.05mm のひび割れが発生したものの全面へのひび割れ伸展が見られないことから全面に配置したメタルグリッド筋に

表-5 ひずみの変動範囲(断面 D)

項目	種別	OSD-SF.MG		
		初期荷重 (×10 ⁻⁶)	1.808×10 ⁶ 回 (×10 ⁻⁶)	増加率
D-SDD	最大ひずみ	97	112	
	最小ひずみ	-41	-219	
	変動範囲	138	331	140%
D-SDU	最大ひずみ	323	596	
	最小ひずみ	-26	-23	
	変動範囲	349	619	77%
D-MG	最大ひずみ	-55	14	
	最小ひずみ	-168	-192	
	変動範囲	113	206	82%

(比較参照)

項目	種別	OSD		
		初期荷重 (×10 ⁻⁶)	1.71×10 ⁶ 回 (×10 ⁻⁶)	増加率
A-SD	最大ひずみ	214	182	
	最小ひずみ	-107	-1012	
	変動範囲	321	1194	272%

よるひび割れ伸展の抑制が図られる。

- (2) たわみと走行距離の関係より、無補強鋼床版の載荷輪直下で U リブ間デッキプレートおよび U リブ内デッキプレートでは輪荷重の作用によって計測点上を通過する際に局所的なたわみの変動が確認される。また、U リブ内デッキプレートでは横リブを通過する付近で負のたわみが発生していることからデッキプレートでの交番応力が発生している。メタルグリッド筋を用いた接着剤塗布型 SFRC 補強法によってたわみの変動は生じるものの局所的な変動およびたわみの交番が大幅に抑制される結果となった。
- (3) ひずみと走行距離の関係より、無補強鋼床版は計測点である溶接止端部近傍を通過する際に局所的なひずみの変動が発生することから溶接部を起点としたき裂が発生する。メタルグリッド筋を用いた接着剤塗布型 SFRC 補強法によって局所的なひずみの変動が大幅に抑制され、き裂の進展および発生を抑制することが可能である。

参考文献

- 1) (公社)土木学会:鋼構造シリーズ19 鋼床版の疲労 2010 年改訂版, 2010.
- 2) (独)土木研究所, (株)横河ブリッジ, (株)NIPPO, 鹿島道路(株), 大成ロテック(株): 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 舗装した既設鋼床版の補強に関する設計・施工マニュアル(案)一, 共同研究報告書, 第 395 号, 2009.
- 3) 阿部忠, 塩田啓介, 吉岡泰邦, 今野雄介: 2 タイプの鋼板格子筋を用いた RC 床版の PCM 増厚補強における補強効果の検証, セメント・コンクリート論文集, Vol.69, No.1, pp.634-641, 2015.
- 4) 野口博之, 阿部忠, 塩田啓介, 吉岡泰邦: 鋼板格子筋を配置した SFRC 上面増厚補強法による RC 床版の耐疲労性の評価, 構造工学論文集, Vol.63A, pp.1273-1281, 2017.