忠

CFRP 格子筋および格子組み鉄筋を用いた床版下面補強法における耐疲労性の研究

新日鉄住金マテリアルズ 〇小森 篤也 荒添 正棋

1. はじめに

道路橋RC床版は、交通量の増大や積載荷重の 増加による疲労損傷や耐荷力性能が低下してい る¹⁾. RC床版の耐疲労性や耐荷力性能の向上を図 る補強法には上面からの補強法と下面からの補 強法が実施されている.

そこで本研究では、道路橋RC床版の疲労損傷 や耐荷力性能の向上を図るための補強法に、新材 料である炭素繊維強化FRP格子筋(以下CFRP格 子筋という)を用いた下面増厚補強法を提案し、 実用性を評価するために輪荷重走行疲労実験を 実施した.実験には、実橋RC床版寸法の1/2モデ ルとしたRC床版供試体、引張材には従来から使 用されているワイヤーメッシュを用いて下面増 厚補強した床版供試体およびCFRP格子筋を配置 した下面増厚補強床版供試体を用いて、RC床版 供試体を基準に補強効果および耐疲労性を評価 し、CFRP格子筋を用いた下面増厚補強法の実用 性を検証する.

2. 供試体の諸元および補強法

2.1供試体寸法

実験に用いる供試体は、2002年改訂の道路橋示 方書²⁾(以下道示という)の規定に準拠し、1/2モデ ルとする.実験より、無補強のRC床版供試体お よびワイヤーメッシュを用いて下面増厚補強し たRC床版供試体を基準に、本提案するCFRP格子 筋を用いた下面増厚補強法における耐疲労性を 評価する.

(1)RC床版供試体

供試体の寸法は、全長1,470mm、床版厚130mm とする.鉄筋は複鉄筋配置とし主鉄筋にD10を 100mm間隔で配置し、有効高を105mmとする.ま た、圧縮側には引張鉄筋量の1/2を配置する.供 試体寸法を図-1(1)に示す.ここで無補強のRC床 版供試体の名称をRC-1とする.

(2)下面增厚補強床版供試体

下面増厚補強に用いる供試体寸法は,RC床版 供試体寸法と同様である.供試体寸法を図-1(2) に示す.また,下面増厚補強部の寸法は,床版の 下面から15mm,幅1,000×1,000mmの範囲を増厚 する.増厚増は既設床版の増厚界面から25mm, すなわち床版全厚を140mmとする.ここで,補強



 Image: second second

日大生産工

阿部



図−2 補強材の配置位置および寸法

表-1 床版コンクリートおよび鉄筋の材料特性値

	コンクリート	鉄 筋 (SD295A、D10)			
供試体	圧縮強度	降伏強度	引張強度	引張弾性率	
	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	kN/mm ²	
RC床版	35.0	370	511	200	

材の配置位置および寸法を図-2に示す.

2.2 使用材料

(1)RC床版供試体の使用材料

RC 床版供試体および下面増厚補強に用いる RC 床版供試体のコンクリートには,普通ポル トランドセメントと 5mm 以下の砕砂および 5mm から 20mm の砕石を使用した.鉄筋には SD295A, D10を用いた.実験時における,床版 コンクリート圧縮強度および鉄筋の材料特性値 を表-1に示す.

(2)下面增厚補強材

RC 床版の従来の下面増厚補強材には D10mm

Strengthen effect and fatigue resistance of RC slabs reinforced by under surface thickness increase method, applied with CFRP grid or welded wire mesh.

Atsuya KOMORI and Tadashi ABE



図−3 CFRP 格子筋の積層構造

表-2 供試体の諸元

種類 補強材 増厚材料 増厚 床版厚 RC-1 なし なし なし 130mm RC-W ワイヤーメッシュ PCM 25mm 140mm RC-C1 CFRP格子筋 PCM 140mm 25mm

	断面	ā積	格子	間隔	引張	強度	引張弹	単性率
CFRP	(m	m ²)	(m	m)	(N/n	nm ²)	(kN/1	mm ²)
格子筋	縦	横	縦	横	縦	横	縦	横
	17.5	17.5	50	50	1,902	1,902	103.7	103.7
ワイ	断面	ī積	格子	間隔	引張	強度	溶接点	ません
ヤー	(m	m ²)	(m	m)	(N/n	nm ²)	断弦	闺度
メッ	縦	横	縦	横	縦	横	(N/n	nm ²)
シュ	3.2ϕ	3.2 <i>¢</i>	50	50	653	630	32	23

表-3 補強材の諸元

表-4 PCMの諸元

	下縮強度	接着性能			
材料)上和近天(N/mm ²)	接着強度	せん断強度		
		(N/mm^2)	(N/mm^2)		
PCM	44.3	2.61	5.74		

の鉄筋が使用されている.そこで、本供試体に は D10mm の鉄筋と同様な材料特性を有するワ イヤーメッシュおよび新材料である CFRP 格子 筋を使用する.ここで、供試体の諸元を表-2 に 示す.

本実験供試体に用いるワイヤーメッシュは、 \$\phi_3.2mm,網目寸法50mmを用いる.ワイヤー \$\musuremptsup \number \number

次に、下面増厚材には従来から使用されてい るポリマーセメントモルタル(以下 PCM とい う)を用いる.ここで、PCM の諸元を表-4 に 示す.



1)切削・研掃 2)アンカー穴穿孔 3)CFRP 格子 筋設置



4)モルタル吹付け 5)吹付け養生 6)コテ仕上げ 図-4 下面増厚補強床版の施工手順

引張材にワイヤーメッシュを用いて補強する 供試体の名称を RC-W , CFRP 格子筋を用いた 供試体の名称を RC-C1 とする.

2.3 下面增厚補強法

下面増厚補強床版供試体の製作方法は,RC 床版供試体の下面,すなわち引張鉄筋かぶりコ ンクリートを床版支間内 1,000×1,000×15mm の 範囲を除去し,サンダーで研掃し,界面を平滑 に仕上げる.その後,引張材を配置して,PCM を 25mm 吹付けする.増厚はもとの床版厚に対 して 10mm 増厚する.ここで,下面増厚補強法 における施工手順を図-4 に示す.

3. 実験方法および等価走行回数

3.1 実験方法

輪荷重走行疲労実験による下面増厚補強法の補 強効果および耐疲労性の評価は、20,000 回ごとに 荷重を増加する段階荷重載荷とする.補強効果お よび耐疲労性の評価は、供試体の設計荷重である 基準荷重と実験走行回数の関係から等価走行回数 を得て評価する.計測は、輪荷重走行1,10,100, 1,000,5,000 回および5,000 回以降は5,000 回走行 ごとにたわみを計測する.ここで、実験状況を写 真-1 に示す.



写真-1 実験状況

(1)RC 床版基準供試体

RC 床版供試体の初期走行荷重を 80kN とし, 20,000 回走行ごとに荷重を 20kN 増加する. RC 床 版供試体における破壊時の等価走行回数を基準 に,下面増厚補強床版供試体の補強効果および耐 疲労性を評価する.

(2)下面增厚補強供試体

RC 床版供試体と同様に初期荷重 80kN で 20,000 回走行し, 20,000 回走行ごとに荷重を 20kN 増加する段階荷重載荷とする.

3.2 等価走行回数の算定方法

本実験では、20,000回走行ごとに荷重を増加す る段階荷重載荷としたことから、基準荷重と載荷 荷重および実験走行回数の関係から等価走行回 数Neqを算出して補強効果および耐疲労性を評価 する.等価走行回数Neqは、マイナー則に従うと 仮定すると、式(1)で与えられる.なお、式(1)に 適用するS-N曲線の傾きの逆数mには、松井らが 提案するRC床版のS-N曲線の傾きの逆数12.7を 適用する³.また、RC床版供試体は、道示に規定 に準拠し、その1/2モデルであることから、基準 荷重は、道示に規定する活荷重100kNの1/2に安全 率1.2を考慮した60kNとし、等価走行回数を算定 する.RC床版のS-N曲線の傾きの逆数12.7を適用 する³.なお基準荷重Pは、60kNである.

$$Neq = \sum_{i=1}^{n} (Pi/P)^m \times Ni$$
⁽¹⁾

ここで, *Neq*: 等価走行回数(回), *Pi*: 載荷荷 重(kN), *P*: 基準荷重: 60kN, *ni*: 実験走行回 数(回), *m*: S-N曲線の傾きの逆数(=12.7)

4. 実験結果および考察

4.1 等価走行回数による比較

本実験における等価走行回数を表 - 5に示す. (1)RC床版基準供試体

補強が施されていない無補強RC床版RC-1の, 等価走行回数Neqは7.35×10⁶回である.このRC床版 供試体の平均等価走行回数Neqを基準に下面増厚補 強床版の補強効果および耐疲労性を評価する. (2)ワイヤーメッシュ補強供試体

増厚界面にワイヤーメッシュを貼付けし,ポリ マーセメントモルタルを吹付けし,既設床版厚に 10mm増厚した供試体RC-Wの等価走行回数は 22.83×10⁶回であり,RC床版の3.1倍の補強効果が 得られた.

(3)CFRP格子筋補強供試体

増厚界面にCFRP格子筋を貼付けし、ポリマーセメ ントモルタルを吹付けした供試体RC-C1の等価走行 回数は27.99×10⁶回であり、RC床版の3.9倍の補強効 果が得られた. また、ワイヤーメッシュを用いた供 試体の1.6倍の補強効果が得られた.

表-5 等価走行回数の比較



4.2 たわみと等価走行回数による比較

たわみと等価走行回数の関係を図-5に示す. (1)RC床版供試体

RC供試体のたわみは図-5に示ように、荷重80kN 載荷時の初期たわみは0.95mmである. 等価走行回数 0.77×10⁶回でたわみは, 2.44mmである. たわみが3mm, すなわち床版支間LのL/400を超えた付近から、たわ みの増加が大きくなり、その後の走行により破壊に 至っている. 阿部らは、たわみが床版支間Lの1/400 に達した付近で補強対策をする必要であると提案さ れている⁴⁾. そこで、本実験ではRC床版のたわみが 3mmとなる等価走行回数を、前後のたわみと等価走 行回数の関係から補間法により算出し、この時点の 等価走行回数を比較して補強効果を評価する. よっ て、RC床版供試体RC-1のたわみが3mmに達した時 点の等価走行回数は1.98×10⁶回であり、破壊時のた わみは供試体RC-1が,等価走行回数7.34×10⁶回,そ れぞれ6.86mm, 7.31mmである. 破壊状況は全て押 抜きせん断破壊である.

(2) ワイヤーメッシュ補強供試体

ワイヤーメッシュを配置した供試体RC-Wは、荷 重80kN時の初期たわみは0.8mmであり、その後の走 行で徐々にたわみが増加している.等価走行回数 0.77×10⁶回でたわみは1.74mmである.その後、荷重 増加と走行を繰り返すことによりたわみが緩やかに 増加している.たわみが3mmに達した時点の等価走 行回数は13.00×10⁶回であり、無補強RC床版供試体の 5.4倍である.その後、荷重を120kNに増加し、走行 した後、たわみが急激に増加し、破壊時のたわみは 等価走行回数22.83×10⁶回で、最大たわみ4.6mmであ る.破壊状況は、下面増厚部がはく離すると同時に 押抜きせん断破壊となった.

(3) CFRP格子筋補強供試体

CFRP格子筋を増厚下面に施工した、供試体RC-C1 のたわみと等価走行回数の関係は、ほぼワイヤーメ ッシュを用いた供試体RC-Wと同様な増加傾向を示している.荷重80kN時の初期たわみは0.91mmであり、その後の走行で徐々にたわみが増加している.

等価走行回数0.77×10⁶回でのたわみは1.80mmである.この時点ではワイヤーメッシュを配置した供試体RC-Wのたわみをわずかに上回っている.その後、荷重増加と走行を繰り返すことによりたわみが緩やかに増加し、たわみが3mmに達した時点の等価走行回数は13.91×10⁶回であり、無補強RC床版供試体の5.8倍、ワイヤーメッシュを配置した供試体RC-Wの1.07倍であり、わずかに上回っている.その後、荷重を120kNに増加し、走行した後、たわみが急激に増加し、破壊時のたわみは等価走行回数33.87×10⁶回で、最大たわみ5.14mmである.破壊状況は、下面増厚部がはく離すると同時に、押抜きせん断破壊となった.

5.3 破壊状況による比較

(1)RC床版基準供試体

基準RC床版の破壊時の損傷状況は図-6(1)に示す ように、床版上面には圧縮鉄筋配置位置に軸直角方 向にひび割れが発生している.床版下面には2方向ひ び割れが発生し、押抜きせん断破壊に伴うはく離が 見られる.なお、輪荷重走行が図-6(1)に示す供試体 の上から下方向に往復走行することから荷重が折り 返した中央を通過後に破壊している.

(2)ワイヤーメッシュ補強供試体

ワイヤーメッシュを配置した供試体RC-Wの破壊 時の損傷状況は図-6(2)に示すように、上面損傷は輪 荷重走行位置に、ひび割れがわずかに見られる.下 面はワイヤーメッシュを配置したことによりひび割 れが分散されているが、ほとんどの増厚領域ではく 離が見られた.破壊時には押抜きせん断破壊となっ た.そして、2方向のひび割れが発生しているものの ワイヤーメッシュの格子間50mm以上の間隔で発生 している.これは、増厚界面のはく離が先行し、ワ イヤーメッシュのひび割れ分散効果が充分に得られ なかったものと考えられる.増厚界面はく離を抑制 できれば、ワイヤーメッシュのひびわれ分散効果に より、さらに耐疲労性が向上するものと考えられる.



図−6 各供試体の破壊状況

(3)CFRP格子筋補強供試体

CFRP格子筋を用いた供試体RC-C1の破壊時の 損傷状況は図-6(3)に示すように、床版上面は押 抜き破壊による陥没が見られる. 下面は破壊時の 輪荷重位置から45度の内側ははく離に至ってい ない. 押抜きせん断破壊に起因する床版主筋のダ ウエル効果が及ぼす範囲から,外側にはく離が見 られる.また、2方向のひび割れがCFRP格子筋の 格子間隔と同等な位置で発生していることから も,格子筋の分散効果によりはく離が抑制されて いるものと考えられる. 本実験ではワイヤーメッ シュとCFRP格子筋の剛性は、ほぼ同等であるが、 CFRP格子筋を配置した供試体RC-C1は、はく離 が抑制され耐疲労性が向上する結果となった.こ れらすべての供試体は、すべて押しぬきせん断破 壊による破壊をし、その際には増厚界面での剥離 で終局を迎えひび割れの分散効果には差異が見 られるものの補強供試体に関しては, 増厚部と床 版の接着性能がひび割れの分散効果に影響して いるものと考えられる. 接着界面には、増厚界 面・補強材の界面の2か所の接着界面がありさら なる接着性向上については今後の課題としたい.

6 まとめ

- (1)無補強RC床版と引張材にワイヤーメッシュおよ びCFRP格子筋を配置してPCM吹付け工法により 下面増厚した供試体は、いずれもRC床版の等価走 行回数に比して3.1倍と3.8倍の補強効果が得られ た.また、CFRP格子筋を増厚下面増厚補強した供 試体はワイヤーメッシュを用いた供試体に比して 1.2倍の補強効果が得られた.よって、CFRP格子 筋を増厚下面増厚補強法は従来の下面増厚補強法 と同様に耐疲労性が評価できる.
- (2) 全てのRC床版供試体の破壊状況は、押抜きせん 断破壊に至っている. ワイヤーメッシュを配置し た供試体は、はく離と同時に押抜きせん断破壊と なっている. また、CFRP格子筋を用いた供試体 は輪荷重走行により既設RC床版の押抜きせん断 破壊に伴うダウエルの影響により外側がはく離 となった.

「参考文献」

- 国土交通省:地方自治体の長寿命化修繕計画に関する最近の動向,国土交通省道路局国道・防災課道路保全企画,(2011)
- 日本道路協会:道路橋示方書・同解説Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ, (2002)
- 3) 松井繁之:道路橋床版 設計・施工と維持管理,森 北出版, (2007)
- 元燦豪,阿部忠,木田哲量,高野真希子,小森篤也: CFS・CFSS補強したRC床版の補強効果および耐疲 労性,構造工学論文集,Vol. 58A, (2012) pp.1189-1196.