

格子鋼板筋を用いた下面増厚補強 RC 床版における 界面接着剤塗布が耐疲労性に及ぼす影響

日大生産工 ○水口 和彦, 阿部 忠
JFE シビル(株) 吉岡 泰邦, 塩田 啓介

1. はじめに

近年, 高度成長期に建設された道路橋では, 一般的に橋梁寿命とされる建設後 50 年を経過する橋梁が増大し, 延命化を図るための補強対策, 維持管理の構築が重要な課題となっている。

本研究では, RC 床版の PCM 吹付け下面増厚補強法における引張補強材に従来の鉄筋と同等な材料特性値を有するワイヤーメッシュおよび新たに開発された格子鋼板筋を用いた供試体, 格子鋼板筋を用いた増厚界面にエポキシ系接着剤(以下, 接着剤とする)を塗布した 3 種類の下面増厚補強供試体を作製し, 輪荷重走行疲労試験より格子鋼板筋の実用性を評価するとともに, 接着剤塗布の有効性に関する検証を行った。さらに, 増厚界面の付着状態を把握するために, RC 床版コンクリートと PCM との界面にプライマーおよび接着剤を塗布した試験体を作製し, これら供試体に直接引張試験および一面せん断試験を行うことで, 付着性能に関する検証を行った。

2. 使用材料

(1) RC 床版 コンクリートには, 普通ポルドランドセメントと 5mm 以下の砕砂および 5mm~20mm の砕石を使用した。実験時の圧縮強度は 35N/mm^2 であった。鉄筋には SD295A D10 を用い, 鉄筋の降伏強度は 368N/mm^2 , 引張強度は 516N/mm^2 である。

(2) PCM RC 床版の下面増厚補強には PCM が用いられている。よって, 本実験にも一般的に市販されている繊維混合型プレミックス型 PCM を用いた。なお, 実験時の圧縮強度は 51.9N/mm^2 であった。

(3) ワイヤーメッシュ RC 床版の下面増厚補強には, 引張補強材として鉄筋やワイヤーメッシュが使用されている。本供試体には $\phi 5\text{mm}$, 格子間隔 $75 \times 75\text{mm}$ のワイヤーメッシュを用いる。ここで, 形状寸法を図-1(1), 材料特性値を表-1 に示す。

(4) 格子鋼板筋 材質 SS400, 厚さ 4.5mm の縞鋼板を用いる。格子間寸法は $75 \times 75\text{mm}$ となるようにレーザ加工した。断面積もワイヤーメッシュと同等となるよう厚さ 4.5mm, 幅 4.0mm とした。また, 7mm

表-1 引張補強材の材料特性値

引張補強材	降伏強度 (N/mm^2)	引張強度 (N/mm^2)	弾性係数 (kN/mm^2)	断面積 (mm^2)	本数/m	引張剛性 (kN/mm)
ワイヤーメッシュ	—	592.0	200	19.63	13.3	52.22
格子鋼板筋	338.0	451.0	200	18.00	13.3	47.88
規格値	245以上	400以上	200	—	—	—

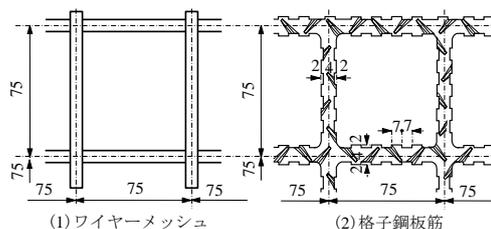


図-1 引張補強材の形状寸法

間隔ごとに 2mm の突起を設けて付着力を高める構造とした。ここで, 格子鋼板筋の寸法を図-1(2), 材料特性値を表-1 に示す。

(5) プライマーおよびエポキシ樹脂接着剤

1) プライマー 実橋 RC 床版の下面増厚補強法においては, 既設 RC 床版のコンクリート下地への吸水による PCM のドライアウトを防止させ接着力を安定させるためにアクリルエマルジョン系プライマー(以下, プライマーとする)を塗布した後に, PCM 吹付けが行われている。

2) エポキシ樹脂接着剤 本研究では RC 床版と増厚界面の付着性を高めるために専用エポキシ系接着剤を塗布する。

3. プライマー・接着剤を塗布した界面の引張試験および一面せん断試験

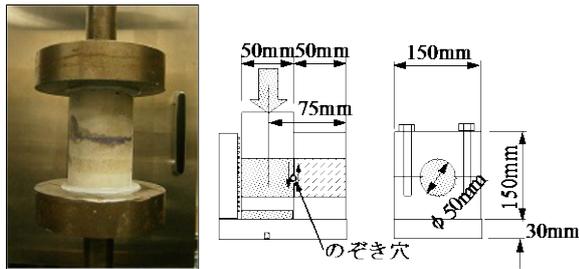
RC 床版下面に増厚による補強を行う場合, 増厚界面での付着強度は 1.7N/mm^2 以上必要であると定められている¹⁾。そこで, 本研究では予備実験として, 増厚界面を想定しプライマー, 接着剤を塗布して PCM 吹付けした供試体に直接引張試験および一面せん断試験を行い, 既設 RC 床版コンクリートと PCM との付着性能に関して, 接着強度および一面せん断強度より検証する。

3.1 直接引張試験

(1) 供試体の製作 直接引張試験に用いる供試体

Influence that adhesive application gives to fatigue durability of RC slabs reinforced with bottom surface thickness increase method using Metal-Grid

Kazuhiko MINAKUCHI, Tadashi ABE, Yasukuni YOSHIOKA and Keisuke SHIOTA



(1)直接引張試験 (2)一面せん断試験
図-2 試験の状況

の製作方法は、φ50mm、高さ100mmのサミットモールドを用いて、既設RC床版と同等の強度となる配合条件で作製したコンクリートを打ち込み、強度が発現した後、高さ50mmの位置で切断する。次に、新たなサミットモールドを用いて、切断したコンクリート材片を挿入し、コンクリート表面にプライマーもしくは接着剤を平均1.0mm厚で塗布し、所定の養生を行った後、PCMの吹付けを行う。以上の手順で、供試体を各3体製作した。

(2)実験方法 プライマーおよび接着剤を塗布した供試体の試験状況を図-2に示す。

図-2(1)より、引張試験機治具に接着剤を用いて試験体をインストロン型万能試験機に設置する。また、直接引張試験は、コンクリートの引張載荷法 JIS A 6909 に準拠し、引張速度を毎秒0.6N/mm²で行った。なお、コンクリートの直接引張試験における接着強度は式(1)より評価する。

$$f_i = P/A_S \quad (1)$$

ここで、 f_i : PCM 下面増厚における増厚界面の接着強度(N/mm²)、 P : 破壊荷重(N)、 A_S : 破壊面積(mm²)

(3)接着強度および破壊状況 式(1)より算出した、直接引張試験における各供試体の接着強度を表-2に示す。

表-2より、プライマーを塗布した供試体 No.1~3 の平均接着強度は2.33N/mm²である。破壊状況は、すべての供試体でコンクリート母材側で引張破壊が生じており、増厚界面での破壊は見られなかった。また、接着剤を塗布した供試体 No.1~3 の平均接着強度は2.57N/mm²で、破壊状況は、プライマーを塗布した供試体と同様に、すべての供試体で母材コンクリート側での引張破壊となっている。

したがって、直接引張試験においてはプライマー、接着剤塗布供試体で接着強度には大きな差異は認められず、破壊状況も母材コンクリート側での破壊となっていることから、十分な付着性能を有している。

3.2 一面せん断試験

(1)試験体の製作 一面せん断試験に用いる供試体は、母材コンクリートには直接引張試験で作製し

表-2 プライマー・エポキシ接着剤を用いた引張強度および一面せん断強度

供試体	コンクリート 圧縮強度 (N/mm ²)	PCM 圧縮強度 (N/mm ²)	直接引張試験		一面せん断試験	
			接着強度 (N/mm ²)	破壊状況	一面せん断 強度 (N/mm ²)	破壊状況
プライマー	No.1	30	2.32	母材	3.10	界面
	No.2	35	2.25	母材	2.80	界面
	No.3	32	2.42	母材	3.30	界面
	平均		2.33		3.07	
接着剤	No.1	30	2.58	母材	8.09	PCM
	No.2	35	2.63	母材	7.73	PCM
	No.3	32	2.49	母材	7.54	PCM
	平均		2.57		7.79	

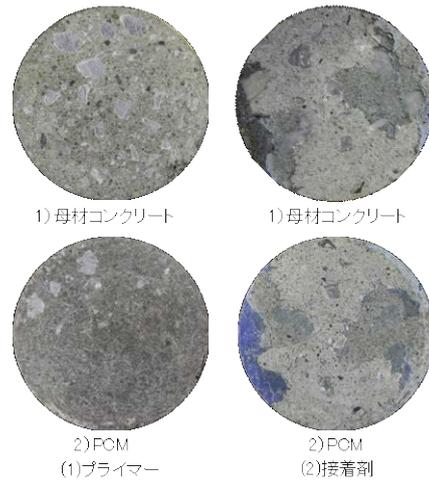


図-3 一面せん断試験における破壊状況

た供試体の片側φ50mm、高さ50mmを使用し、コンクリート材片をサミットモールドに設置する。その後の製作手順は直接引張試験に用いた供試体と同様とし、各3体を製作した。

(2)実験方法 既存RC床版と増厚界面の付着強度の評価に関しては、阿部ら²⁾が開発したモードII型(縦ずれ)の一面せん断試験装置を用いて一面せん断試験を行い、増厚界面のせん断強度($f_{c,ASF}$)を評価する。ここで、阿部らが開発した、モードII型の一面せん断試験装置の概要を図-2(2)に示す。なお、コンクリートの圧縮試験は、コンクリートの圧縮載荷法 JIS A 1108 の規定に基づき、加圧速度を毎秒0.6N/mm²で行った。

次に、一面せん断試験法によるせん断強度は、モードII型による一面せん断試験によって得られるコンクリートのせん断応力度をせん断強度 $f_{c,ASF}$ と定義し、式(2)より算出する。

$$f_{c,ASF} = P/A_S \quad (2)$$

ここで、 $f_{c,ASF}$: PCM 下面増厚における増厚界面のせん断強度(N/mm²)、 P : 破壊荷重(N)、 A_S : 一面せん断破壊面積(mm²)

(3)一面せん断強度および破壊状況 式(2)より算出した各供試体の一面せん断試験の結果を表-2に示す。また、増厚界面の破壊状況の一例を図-3

に示す。

表-2より、プライマーを塗布した供試体 No.1~3の平均一面せん断強度は 3.07N/mm^2 である。また、破壊状況は図-3(1)に示すように、すべての供試体で増厚界面で破壊した。次に、接着剤を塗布した供試体 No.1~3の平均一面せん断強度は 7.79N/mm^2 で、プライマー塗布に比して2.54倍の強度となっている。また、破壊状況は図-3(2)に示すように、すべての供試体がPCM側で破壊し、増厚界面での破壊は見られなかった。

以上の結果より、RC床版の下面増厚補強においては、その破壊機構からも増厚界面にはせん断力が生じることから、接着剤を塗布することで増厚界面でのせん断抵抗力が向上し、耐疲労性の向上が期待できるものと推測される。

4. RC床版供試体概要

(1) RC床版供試体 本実験に用いる供試体の寸法は、2012年改訂の道示³⁾の規定に基づいて設計し、その1/2モデルとする。ここで、RC床版供試体の寸法および鉄筋配置を図-4(1)に示す。供試体寸法は、全長1,470mm、支間1,200mm、床版厚130mmとした。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とした。また、圧縮側には引張鉄筋量の1/2を配置する。供試体名称をRC-1とする。

(2) 下面増厚補強床版供試体 下面補強に用いる供試体寸法は、供試体RC-1と同様とした。ここで、下面増厚補強供試体の寸法を図-4(2)に示す。補強範囲は、1,100・1,100mmとし、既設床版から10mmの位置まで増厚することから補強後の床版全厚は140mmとした。ワイヤーメッシュは床版下面に直接配置し、格子鋼板筋はかぶりを十分に確保出来ることから、増厚界面から10mmの有効高を設けて設置した。

(3) 下面増厚補強方法 RC床版下面にワイヤーメッシュおよび格子鋼板筋を設置し、PCM吹付け工法による構造物の補修補強設計・施工マニュアル(案)に準拠して製作した⁴⁾。ここで、ワイヤーメッシュ、格子鋼板筋を用いた供試体名称をそれぞれRC-W、RC-Sとし、増厚界面に接着剤を塗布した供試体をRC-S.Aとする。

5. 実験方法および等価走行回数の算定

(1) 実験方法 輪荷重走行疲労実験は、車輪幅250mmで走行範囲は床版中央から軸方向に450mm(全長900mm)の範囲を連続走行するものである。荷重条件は、初期荷重を80kNと

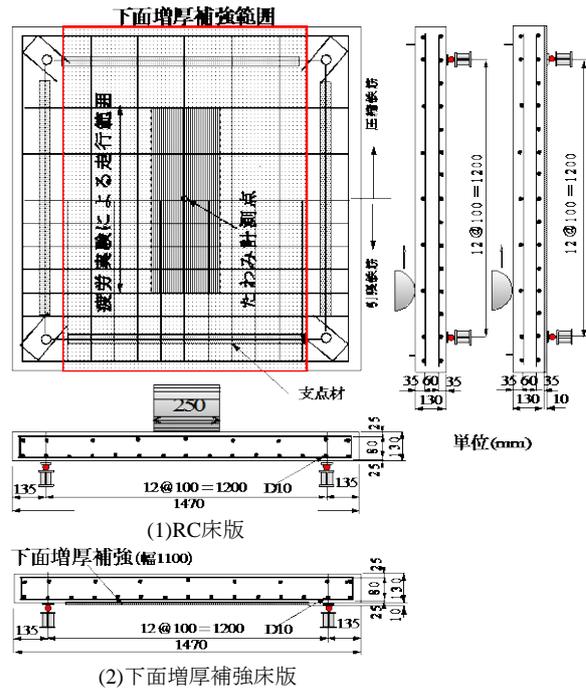


図-4 供試体概要

し、20,000回走行毎に荷重を20kNずつ増加し、破壊するまで荷重増加と走行を繰り返す。

(2) 等価走行回数の算定 本実験では、20,000回走行ごとに荷重を増加させ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 N_{eq} を算出して耐疲労性を評価する。等価走行回数 N_{eq} はマイナー則に従うと仮定すると式(3)で与えられる。

$$N_{eq} = \sum_{i=1}^n (P_i/P)^m \times N_i \quad (3)$$

ここで、 N_{eq} : 等価走行回数(回)、 P_i : 載荷荷重(kN)、 P : 基準荷重60kN、 N_i : 実験走行回数(回)、 m : S-N曲線の傾きの逆数(=12.7)⁵⁾

6. 実験結果および考察

6.1 等価走行回数 実験より得られた実験走行回数および式(3)より算出した等価走行回数を表-3に示す。

(1) RC床版 供試体RC-1の走行回数は 7.78×10^6 回である。このRC床版供試体の等価走行回数 N_{eq} を基準に、ワイヤーメッシュおよび2タイプの格子鋼板筋を配置した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) ワイヤーメッシュを用いた供試体 供試体RC-Wの等価走行回数は 46.85×10^6 回であり、供試体RC-1と比較すると6.0倍の補強効果が得られている。

(3) 格子鋼板筋を用いた供試体 供試体RC-S

の等価走行回数は 51.07×10^6 回であり、供試体 RC-1 と比較して 6.6 倍の補強効果が得られている。また、供試体 RC-W と比較して 1.09 倍の補強効果となっている。これはワイヤーメッシュの引張剛性に対して 90% 程度であるが、増厚界面から 10mm の増厚層内に配置したことから引張抵抗力が向上したためと推測される。

(4) 格子鋼板筋を用いた接着剤塗布型供試体 RC-S.A の等価走行回数は 148.85×10^6 回で、供試体 RC-1 と比較して 19.1 倍の補強効果が得られた。また、供試体 RC-S と比較すると 2.91 倍の補強効果となっている。

以上より、格子鋼板筋を用いた下面増厚補強法は、従来のワイヤーメッシュを用いた補強法と同等の補強効果が得られていることから、十分に耐疲労性が評価できる材料であり実用性があるものと判断できる。

6.2 等価走行回数とたわみの関係

各供試体の等価走行回数とたわみとの関係を図-5 に示す。

(1) RC 床版供試体 供試体 RC-1 の荷重 80kN 載荷時のたわみは 0.94mm で、たわみが 3.0mm を超えた付近、すなわち床版支間 L の 1/400 を超えた付近からたわみの増加が著しくなり、破壊に至っている。そこで、本実験では RC 床版のたわみが 3.0mm となる等価走行回数を基準に耐疲労性を評価する。供試体 RC-1 のたわみが 3.0mm に達した時点の等価走行回数は 2.22×10^6 回である。

(2) ワイヤーメッシュを用いた供試体 供試体 RC-W は、荷重 80kN 時のたわみは 0.73 である。たわみ 3.0mm 時の等価走行回数は 13.91×10^6 回であり、供試体 RC-1 の 6.3 倍である。その後、荷重 120kN での走行中にたわみが急激に増加し破壊に至った。

(3) 格子鋼板筋を用いた供試体 供試体 RC-S は、供試体 RC-W とほぼ同様な増加傾向を示している。荷重 80kN 時のたわみは 0.72mm である。たわみ 3.0mm 時の等価走行回数は 21.50×10^6 回で、供試体 RC-1 の 9.7 倍である。

(4) 格子鋼板筋を用いた接着剤塗布型供試体 供試体 RC-S.A は、荷重 80kN 時のたわみは 0.64mm である。たわみ 3.0mm 時の等価走行回数は 65.70×10^6 回で、供試体 RC-1 の 29.6 倍である。その後、荷重 130kN に増加させた直後にたわみが急激に増加し破壊に至った。また、床版支間 L の 1/350 (3.5mm) を超えた付近からたわみが急激に増加しており、界面に接着剤

表-3 引張補強材の材料特性値

供試体	荷重				等価走行回数合計	走行回数比
	80 kN	100 kN	120 kN	130 kN		
RC-1	実験走行回数	20,000	10,670		7,781,038	—
	等価走行回数	772,240	7,008,798			
RC-W	実験走行回数	20,000		4,951	46,853,445	6.0
	等価走行回数	772,240	13,137,391	32,943,814		
RC-S	実験走行回数	20,000	20,000	5,584	51,065,409	6.6
	等価走行回数	772,240	13,137,391	37,155,778		
RC-S.A	実験走行回数	20,000	20,000	20,000	148,846,359	19.1
	等価走行回数	772,240	13,137,391	133,079,433		

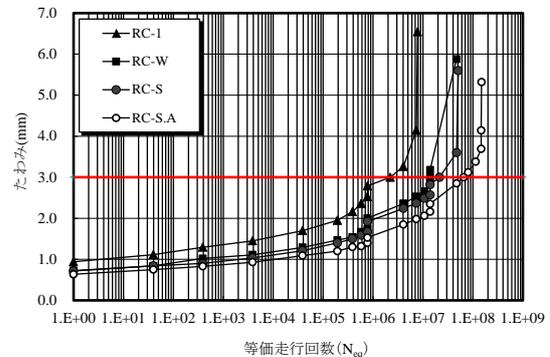


図-5 たわみと等価走行回数の関係

を塗布することで付着効果が高まり、耐疲労性が大幅に向上する結果となった。

7. まとめ

- (1) 増厚界面における付着特性は、直接引張試験においてはプライマー、接着剤ともに同様の強度、破壊状況となるが、一面せん断試験においては、接着剤を使用した場合、プライマーに比して 2.54 倍の一面せん断強度が得られており、破壊状況においても両者で顕著な差異が確認された。
- (2) 格子鋼板筋を用いた供試体はワイヤーメッシュを用いた供試体とほぼ同等な補強効果が得られることから、下面増厚補強法における引張補強材としての実用性が評価できる。
- (3) 下面増厚補強供試体は RC 床版供試体と比較してたわみの増加が抑制されている。また、接着剤塗布型供試体は、たわみが床版支間 L の 1/400 に達した後も急激なたわみの増加が見られず、付着が良好で一体性が確保されていると考えられる。

参考文献：

- 1) 土木学会：道路橋床版の維持管理マニュアル，2012，2) 阿部忠ほか：静荷重・走行荷重を受ける RC 床版の押抜きせん断耐力，構造工学論文集，Vol.50A，pp.919-926，2014，3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I，II，III，2012，4) RC 構造物のポリマーセメントモルタル吹付け補修・補強工法協会：ポリマーセメントモルタル吹付け工法によるコンクリート構造物の補修補強設計・施工マニュアル(案)，2011，5) 松井繁之：道路橋床版設計・施工と維持管理，森北出版，2007