

論文 CFRP格子筋を配置したRC床版下面増厚補強法における補強効果およびS-N曲線式との整合性

永井 幸太*1・阿部 忠*2・小森 篤也*3

要旨: 本研究は、道路橋 RC 床版の下面増厚補強に用いる引張補強材として新たに開発された CFRP 格子筋を用いて、セメントモルタル吹付けにより下面増厚補強した RC 床版の補強効果および S-N 曲線式との整合性を検証した。その結果、RC 床版の等価走行回数に比して CFRP 格子筋を配置した供試体および接着剤を塗布した供試体は 3.5 倍、17.8 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と比較すると 1.2 倍の補強効果が得られた。次に、走行荷重実験から得られた押抜きせん断耐荷力を用いて縦軸 S (P/Psx) と横軸 N の関係は、RC 床版の S-N 曲線式付近にプロットされる結果が得られた。

キーワード: RC 床版, CFRP 格子筋, 下面増厚補強法, 接着剤, 耐疲労性

1. はじめに

高度経済成長期に建設された道路橋は、建設後 50 年が経過し、老朽化した橋梁が増加することから、その維持管理が重要な課題となっている。道路橋の中で最も損傷が著しい部材は RC 床版である¹⁾。たとえば、海岸線に建設された床版は、飛来塩分などにより鉄筋の錆汁がコンクリート表面に沈着している。また、かぶり不足により鉄筋が露出している RC 床版は、鉄筋の腐食による断面欠損が生じている。とくに、鉄筋の露出やかぶり不足の RC 床版は、耐荷力性能の向上を図るための補強対策が必要となる。このように下面の劣化が著しい RC 床版の補強法には、鋼板接着補強や連続繊維シート (CFS) 接着補強法が実施されている²⁾。さらに、かぶりコンクリートのはく離など下面の損傷が著しい床版には、引張補強材に鉄筋を配置し、ポリマーセメントモルタル吹付け工法による下面増厚補強が施されている²⁾。しかし、鋼板や鉄筋を用いる下面補強法においては、飛来塩分や融雪剤散布による塩害を受け、鋼板や鉄筋が発錆するなどの再劣化の発生が懸念される。一方、下面増厚補強に用いる引張補強材には、従来の鉄筋に変わる、CFRP 格子筋が開発された。CFS 材を用いた補強法と同様で引張強度が高く、軽量で錆の発生もないことから、海岸線の橋梁床版の補強材としては最適であると考えられる。しかし、CFRP 格子筋を配置した下面増厚補強法における耐疲労性の評価や寿命予測に関する実験研究はあまり行われていないのが現状である。

そこで本実験では、下面増厚補強に CFRP 格子筋を配置し、ポリマーセメントモルタル吹付けにより下面増厚補強した RC 床版の耐荷力性能および耐疲労性の検証を行う。また、予防保全型維持管理計画においては補強後の寿命予測および健全度評価が課題となっていることか

ら CFRP 格子筋を用いた下面増厚補強における S-N 曲線式についても検証した。本実験供試体には、基準となる RC 床版供試体、同一寸法を有する RC 床版下面にワイヤーメッシュおよび CFRP 格子筋を配置し、それぞれに下面増厚補強した RC 床版供試体、さらには既存床版と下面増厚部との一体性を確保するために増厚界面に接着剤を塗布した供試体を製作し、RC 床版供試体を基準に耐荷力性能および耐疲労性の検証を行った。

2. 使用材料および供試体寸法

2.1 供試体概要

本実験に用いる供試体は、平成 14 年改定の道路橋示方書・同解説 (以下、道示とする)³⁾の規定に基づいて設計し、その 1/2 モデルとする。

2.2 使用材料

(1) RC床版

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 ~ 20mm の砕石を使用した。鉄筋には SD295A, D10 を用いた。ここで、使用材料の特性値を表-1に示す。なお、コンクリート圧縮強度は実験時の結果であり、鉄筋の特性値はミルシートの結果である。下面増厚補強における RC 床版も同様の材料で製作する。

(2) 下面増厚補強床版

従来の下面増厚補強法の引張補強材には D6 鉄筋およびワイヤーメッシュが配置されている。よって、本実験における下面増厚補強法に用いる引張補強材には鉄筋と同等な特性値を有するワイヤーメッシュを用いる。ワイヤーメッシュは直径 3.2mm, 網目寸法 50mm×50mm を用いる。次に、CFRP 格子筋は、ワイヤーメッシュと同等な網目寸法 50mm×50mm, 厚さ 4.2mm を用いた。

*1 日本大学 生産工学研究科土木工学専攻 博士前期課程

*2 日本大学 生産工学部土木工学科教授

*3 日本大学 生産工学研究科土木工学専攻 博士後期課程

表-1 材料特性値

供試体	コンクリート圧縮強度 (N/mm ²)	鉄筋(SD295A)			
		使用鉄筋	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
RC床版	35	D10	368	516	200

表-2 補強材材料特性値および剛性比較

補強材の種類	引張弾性率 (kN/mm ²)	断面積 (mm ²)	本数/m	引張剛性 (kN・m)
ワイヤーメッシュ	200.0	8.04	20	32.15
CFRP格子筋	103.7	17.5	20	36.30

表-3 PCM材料特性値

項目	単位量(kg/m ³)		水結合比 (%)	圧縮強度 (N/mm ²)
	プレミックス粉体	水		
PCM	1860	595	32	44.3

表-4 プライマーおよび接着剤の性能

材料	試験体高さ (mm)	接着荷重 (N)	接着応力 (N/mm ²)
プライマー	75.0	5,119	2.61
接着剤	75.0	4,671	2.38

ここで、ワイヤーメッシュおよび CFRP 格子筋の材料特性値と剛性比較を表-2に示す。

次に、下面増厚補強にはポリマーセメントモルタル(以下、PCM とする)を用いる。ここで、本実験供試体に用いる PCM の配合を表-3に示す。PCM の圧縮強度は、材齢 28 日で 44.3N/mm² である。PCM 吹付けによる下面増厚補強では、既設 RC 床版コンクリートとの付着性を高めるために、プライマーの塗布やプレウエッティング工法などの界面処理を行なうことが一般的である。そこで、本供試体には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)を界面に塗布する。プライマーの材料特性値を表-4に示す。

一方、SFRC 上面増厚補強法において、輪荷重が作用した場合に増厚界面ではく離破壊するなどの再劣化が生じている。そこで、増厚界面にエポキシ樹脂接着剤を塗布して耐疲労性の向上を図っている⁴⁾。そこで、本下面増厚補強においても、既存 RC 床版と PCM との付着性を高める目的で界面に専用のエポキシ樹脂接着剤(以下、接着剤とする)を塗布する。本供試体に用いる接着剤の性能を表-4に併記する。

2.3 供試体寸法および鉄筋の配置

(1) RC床版供試体

RC 床版供試体の寸法は、全長 1,470mm、支間 1,200mm、床版厚 130mm とし、鉄筋は複鉄筋配置とした。引張鉄筋に D10 を 100mm 間隔で配置し、圧縮側には引張鉄筋量の 1/2 を配置した。また、有効高は 105mm とした。供試体名称は、走行荷重実験に用いる供試体を RC-R、輪荷重走行疲労実験に用いる供試体を RC とする。ここで、

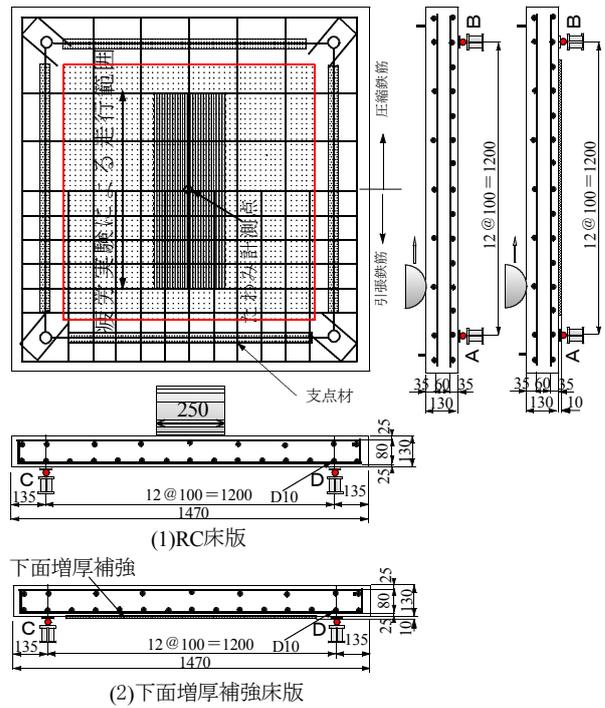


図-1 RC床版および下面増厚補強床版供試体

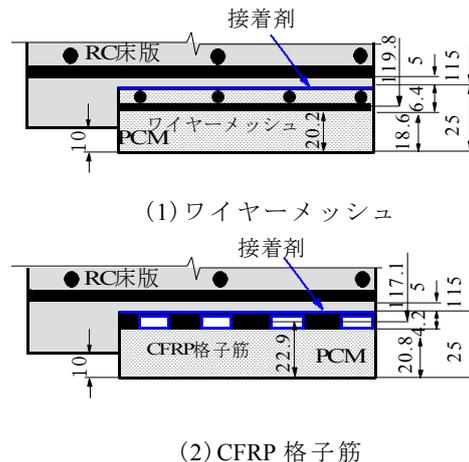


図-2 下面増厚補強の断面寸法

表-5 供試体一覧

供試体	界面処理	補強材	実験方法
RC-1R	無補強	—	走行荷重実験
RC-2R	無補強	—	
RC-CR	プライマー	CFRP格子筋	
RC-C.AR	接着剤	CFRP格子筋	走行疲労実験
RC-1	無補強	—	
RC-2	無補強	—	
RC-W	プライマー	ワイヤーメッシュ	
RC-C	プライマー	CFRP格子筋	
RC-W.A	接着剤	ワイヤーメッシュ	走行疲労実験
RC-C.A	接着剤	CFRP格子筋	

RC 床版供試体の寸法および鉄筋配置を図-1(1)に示す。

(2) 下面増厚補強床版供試体

下面増厚供試体の寸法は、RC 床版供試体と同等なも

のとし、床版厚はワイヤーメッシュまたは CFRP 格子筋を配置し 10mm 増厚したことにより 140mm とする。下面増厚供試体の寸法および鉄筋配置を図-1(2)に示す。また、ワイヤーメッシュおよび CFRP 格子筋を配置した供試体の断面寸法を図-2に示す。ここで、増厚高さは両引張補強材の比較のため同様とする。そのため、ワイヤーメッシュより CFRP 格子筋を配置した場合かぶり厚さが厚くなる。本実験に使用した供試体名称および諸元を表-5に示す。

2.4 補強方法

下面増厚補強法には、かぶり不足の床版や床版下面コンクリートのはく離など下面損傷を想定し、本供試体の補強範囲は支間内の 1,100mm×1,100mm をあらかじめ 15mm 箱抜きした未損傷の供試体を用意した。箱抜きした箇所に、引張補強材を配置し、PCM を 25mm 吹付け 10mm 増厚するものとする。なお、補強法は、FRP グリッド増厚・巻立て工法によるコンクリート構造物の補修・補強 設計・施マニュアル(案)⁹⁾に準拠して製作した。また施工は実施工と同様に下面から吹付け補強し、養生を行った。

下面増厚補強は、RC 床版下面をディスクサンダーにより研掃を行い、引張補強材を固定するアンカー穴を穿孔し、ブロワーにより清掃した後、付着性を高める目的で床版下面および引張補強材にプライマーまたは接着剤を塗布し、それぞれの引張補強材をアンカーで下面に配置する。最後に、PCM を 15mm 吹付けし、2 時間養生した後、のこりの 10mm を吹付けし、表面仕上げを行い養生を行った。また、施工中の交通影響については考慮していない。

3. 実験方法および等価走行回数

3.1 走行荷重実験

CFRP 格子筋を用いた下面増厚補強法における寿命予測、健全度評価においては S-N 曲線式の提案が必要となる。RC 床版の S-N 曲線式における縦軸 S は基準荷重(P)を押抜きせん断耐荷力(P_{ss})で除して無次元化し、横軸 N は等価走行回数である。よって、S-N 曲線式との整合性を評価するためには、押抜きせん断耐荷力を評価する必要がある。そこで、RC 床版供試体の押抜きせん断耐荷力に関して、阿部らは⁹⁾輪荷重を一走行ごとに増加させ、一往復維持した最大耐荷力を押抜きせん断耐荷力として評価している。そこで本実験においては、RC 床版供試体 2 体、増厚界面にプライマーを塗布し、CFRP 格子筋を配置した供試体 1 体、増厚界面に接着剤を塗布し、CFRP 格子筋を配置した供試体 1 体に対し走行荷重実験を行い、引張補強材に CFRP 格子筋を用い下面増厚補強した RC 床版供試体の最大耐荷力を検証する。走行荷重実験

方法は、荷重を 1 走行ごとに 10kN ずつ増加させる段階荷重載荷とし、1 走行を維持した荷重を、走行荷重実験における、押抜きせん断耐荷力 P_{ss} とする。

3.2 輪荷重走行疲労実験

(1) 実験方法

RC 床版供試体および下面増厚補強床版供試体を用いて輪荷重走行疲労実験を行う。実験荷重は 80kN で 20,000 回走行し、20,000 回走行ごとに荷重を 20kN ずつ増加させる段階荷重載荷とする。たわみの計測は、1, 10, 100, 1,000, 5,000 回とし、それ以降は 5,000 回ごとに計測する。

(2) 等価走行回数

輪荷重走行疲労実験では、20,000 回走行ごとに荷重を増加させることから、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} を算出して補強効果および耐疲労性を評価する。輪荷重走行疲労実験による等価走行回数 N_{eq} は、マイナー則に従うと仮定すると、式(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^{8),9)}。

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

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)

4. 結果および考察

4.1 走行荷重実験

(1) 最大耐荷力

RC 床版供試体 RC-R1, RC-R2 の最大耐荷力は、それぞれ 170.7kN, 166.2kN であり、平均耐荷力が 168.4kN である。次に、増厚界面にプライマーを塗布して CFRP 格子筋を配置した供試体 RC-C-R の最大耐荷力は 185.3kN である。RC 床版供試体に比して 1.10 倍の耐荷力性能を有している。また、増厚界面に接着剤を塗布し、CFRP 格子筋を配置した供試体 RC-C.A-R の最大耐荷力は 205.0kN であり、RC 床版供試体に比して 1.20 倍の耐荷力性能を有している。破壊は両供試体ともに輪荷重が走行中に押抜きせん断破壊となった。これらの実験結果より得られた、CFRP 格子筋を用いた場合のそれぞれの最大耐荷力を押抜きせん断耐荷力 P_{ss} とする。

(2) 荷重とたわみの関係

RC 床版供試体 RC-R は、荷重 50kN 付近からたわみが増加しているものの荷重 150kN 付近までは、一定に増加している。供試体 RC-R1 の最大たわみは荷重 170.7kN で 12mm、供試体 RC-R2 は荷重 166.2kN で 11.5mm であった。また、プライマーを塗布して CFRP 格子筋を配置し

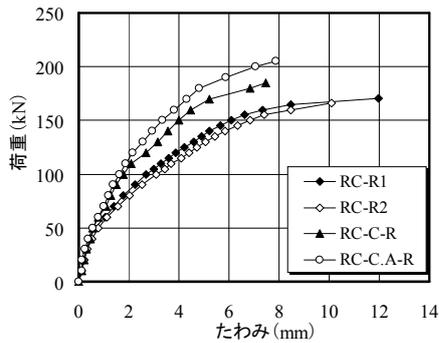


図-3 荷重とたわみの関係

た供試体のたわみと荷重の関係は、荷重 110kN 付近まで一定に増加しており、荷重 120kN 載荷時にたわみの増加が急激大きくなっている。その後の荷重増加では、160kN 付近まで一定に増加し、荷重 170kN 載荷時には急激に増加している。この時点で端部がはく離している。荷重 185.3kN 載荷時に、はく離が著しくなり破壊に至っている。破壊時のたわみは 7.5mm である。また、増厚界面に接着剤を塗布し、CFRP 格子筋を配置した供試体 RC-C.A-R は荷重 190kN 付近まで、一定にたわみが増加している。その後の荷重増加と走行によりたわみの増加が大きくなり 205.0kN で破壊に至った。破壊時のたわみは 7.9mm である。よって、下面増厚補強することで曲げ剛性が高まり、たわみの増加が抑制されている。

4.2 輪荷重走行疲労実験における等価走行回数

本実験における RC 床版供試体および下面増厚補強床版供試体の実験走行回数および等価走行回数 N_{eq} (式(1))の算定結果を表-6に示す。

(1) RC床版供試体

RC 床版供試体 RC-1 の等価走行回数は 7.347×10^6 回、供試体 RC-2 は 8.52×10^6 回であり、供試体 RC-1, 2 の平均等価走行回数 N_{eq} は 7.93×10^6 回である。この RC 床版供試体の平均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) プライマーを塗布した下面増厚補強床版

増厚界面にプライマーを塗布し、ワイヤメッシュを配置した供試体 RC-W の等価走行回数は 22.83×10^6 回であり、RC 床版の 2.9 倍の等価走行回数を得られた。また、CFRP 格子筋を配置した供試体 RC-C1 の等価走行回数は 27.996×10^6 回であり、RC 床版の 3.5 倍の補強効果を得られた。また、ワイヤメッシュを配置した供試体 RC-W の 1.2 倍の等価走行回数を得られた。

(3) 接着剤を塗布した下面増厚補強床版

増厚界面に接着剤を塗布した後、ワイヤメッシュを配置した供試体 RC-W.A の等価走行回数は 120.37×10^6 回であり、RC 床版供試体の等価走行回数の 15.2 倍の補強

表-6 実験走行回数および等価走行回数

供試体		荷重			等価走行回数合計	平均等価走行回数	走行回数比		
		80 kN	100 kN	120 kN					
RC-1	N	20,000	10,010		7,347,504	7,938,687	—		
	N_{eq}	772,240	6,575,264						
RC-2	N	20,000	11,810		8,529,870				
	N_{eq}	772,240	7,757,629						
RC-W	N	20,000	20,000	1,340	22,832,607			—	2.9
	N_{eq}	772,240	13,137,391	8,922,976					
RC-C	N	20,000	20,000	4,100	27,996,469	—	3.5		
	N_{eq}	772,240	13,137,391	14,086,838					
RC-W.A	N	20,000	20,000	16,000	120,373,177	—	15.2		
	N_{eq}	772,240	13,137,391	106,463,546					
RC-C.A	N	20,000	20,000	19,000	141,107,332	—	17.8		
	N_{eq}	772,240	13,137,391	127,197,701					

効果が得られた。接着剤を塗布しない供試体 RC-W の等価走行回数の 5.3 倍の補強効果を得られた。増厚界面に接着剤を塗布し CFRP 格子筋を配置した供試体 RC-C.A の等価走行回数は 141.10×10^6 回であり、RC 床版供試体の平均等価走行回数の 17.8 倍、また、CFRP 格子筋を用いた供試体 RC-C の等価走行回数の 5.0 倍の等価走行回数を得られ、接着剤を塗布することで増厚界面の付着強度が向上し、はく離が抑制され耐疲労性が大幅に向上する結果となった。

以上より、ワイヤメッシュおよび CFRP 格子筋を配置した下面増厚補強床版供試体は、同一寸法を有する RC 床版供試体と比して、大幅に等価走行回数が増加している。とくに、増厚界面に打継用のエポキシ樹脂接着剤を塗布することで、既設 RC 床版コンクリートとの一体性が確保され耐疲労性が大幅に向上する結果となった。

4.3 たわみと等価走行回数の関係

本実験における等価走行回数とたわみの関係を図-4に示す。

(1) RC床版供試体

RC 床版供試体のたわみは図-4に示すように荷重 80kN 載荷時の初期たわみは、供試体 RC-1 が 0.95mm である。たわみが 3mm、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大きくなり、その後の走行により押し抜きせん断破壊となり実験を終了している。阿部らは、たわみが床版支間 L の 1/400 (活荷重たわみの場合は 1/800 としている) に達した付近で補強対策を必要であると提案されている⁹⁾。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 1.98×10^6 回である。破壊時のたわみは 6.86mm である。

(2) プライマーを塗布した下面増厚補強床版

増厚界面にプライマーを塗布し、ワイヤメッシュを

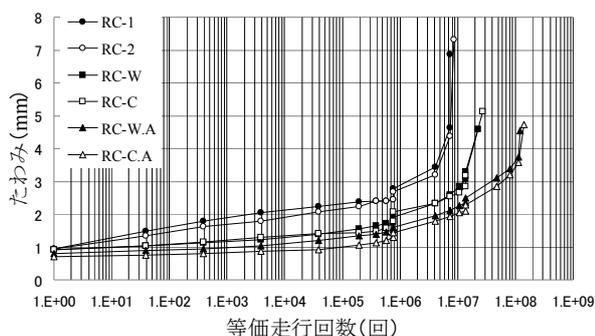


図-4 たわみと等価走行回数の関係

配置した供試体 RC-W は、図-4に示すように荷重 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。たわみが 3mm に達した時点の等価走行回数は 13.00×10^6 回であり、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 4.6mm である。また、CFRP 格子筋を配置した供試体 RC-C のたわみと等価走行回数の関係は、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。たわみが 3mm に達した時点の等価走行回数は 13.91×10^6 回であり、RC 床版供試体の 7.0 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 5.14mm である。たわみが床版支間 L の 1/400 付近から端部からたわみの増加が著しいことから、この付近ではく離が開始されたものと考えられる。

(3) 接着剤を塗布した下面増厚補強床版

増厚界面に接着剤を塗布した後、ワイヤーメッシュを配置した供試体 RC-W.A は、図-4に示すように荷重 80kN 時の初期たわみは 0.7mm であり、その後の走行で徐々にたわみが増加している。たわみが 3mm に達した時点の等価走行回数は 41.40×10^6 回であり、RC 床版供試体の 17.3 倍、供試体 RC-W の 3.2 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、破壊時の等価走行回数は 120.37×10^6 回で、最大たわみは 4.55mm である。破壊状況は、押抜きせん断破壊と同時に増厚部の一部がはく離した。また、CFRP 格子筋を配置した供試体 RC-C.A のたわみと等価走行回数の関係は、荷重 80kN 時の初期たわみは 0.71mm であり、その後の走行で徐々にたわみが増加している。たわみが 3mm に達した時点の等価走行回数は 62.30×10^6 回であり、RC 床版供試体の 31.4 倍、増厚界面にプライマーを用いた供試体 RC-C に比して 4.7 倍であり、たわみが抑制されている。破壊時のたわみは等価走行回数 141.11×10^6 回で、最大たわみ 4.73mm である。

以上より、CFRP 格子筋または、ワイヤーメッシュを配置した下面増厚補強法は同等な耐疲労性の向上が見られた。また、増厚界面に接着剤を塗布することにより破壊時付近まで一体性が確保され、たわみの増加が大幅に抑制され、耐疲労性が向上する結果が得られた。

4.4 下面増厚補強法におけるS-N曲線

(1) RC床版のS-N曲線式

阿部ら⁷⁾は、1994年改定の道示に基づいて設計したRC床版の 1/2, 3/5 モデル化した供試体を用いて、輪荷重走行疲労実験の結果から得られた S-N 曲線式であり、式(2)として提案した。S-N 曲線の傾きの逆数の絶対値は $m = 15.58$ である。一方、松井ら⁸⁾が提案する S-N 曲線式は、1964年改定の設計基準で設計された床版（以下、39年床版とする）、すなわち鉄筋に丸鋼を用いた供試体を用いて大阪大学が所有する輪荷重走行試験機の実験結果から得られた式に、異形鉄筋を用いた供試体の S-N 曲線式も考慮した S-N 曲線式であり式(3)として提案している。なお、松井らが提案する S-N 曲線式における傾きの逆数の絶対値は $m = 12.76$ である。ここで、阿部ら、松井らが提案する S-N 曲線および S-N 曲線式を図-5に示す。

阿部らが提案する S-N 曲線⁷⁾：

$$\log (P/P_{sx}) = -0.06417 \log N + \log 0.996 \quad (2)$$

松井らが提案する S-N 曲線⁸⁾：

$$\log (P/P_{sx}) = -0.07835 \log N + \log 1.52 \quad (3)$$

ここで、P：基準荷重、 P_{sx} ：押抜きせん断耐荷力 (kN)、N：繰返し回数 (回)

(2) 下面増厚補強したRC床版のS-N曲線

RC 床版およびプライマーを塗布した下面増厚補強床版、接着剤を塗布した下面増厚補強床版の走行荷重実験における最大耐荷力、すなわち押抜きせん断耐荷力 P_{sx} を用いて、S-N 曲線式における S 値を求める。よって、S 値は式(4)として与えられる。

$$S = P/P_{sx} \quad (4)$$

ここに、P：基準荷重、 P_{sx} ：押抜きせん断耐荷力 (kN)

RC 床版の走行荷重実験における最大耐荷力の平均は 168.5kN である。また、プライマーを塗布して CFRP 格子筋を配置した下面増厚補強床版供試体の耐荷力は 185.3N である。また、接着剤を塗布して CFRP 格子筋を配置した下面増厚補強床版供試体は 205.0kN である。なお、ワイヤーメッシュを用いた供試体については、CFRP 格子筋を配置した場合の押抜きせん断耐荷力 P_{sx} を用いる。

以上より、S-N 曲線の縦軸 S は基準荷重 P を押抜きせん断耐荷力 P_{sx} で除した値 ($= P/P_{sx}$) とする。次に、横軸の N は表-6に示す輪荷重走行疲労実験より得られた等価走行回数 N_{eq} を走行回数 N とする。ここで、本実験

表-7 S値およびN値

供試体	最大耐力 P _{Sx} (kN)	基準荷重 P(kN)	S値 (P/P _{Sx})	N値 (等価走行回数)
RC-1	170.7	60	0.366	7,347,504
RC-2	166.2	60	0.366	8,529,870
RC-W	184.8	60	0.325	22,832,607
RC-C	184.4	60	0.325	27,996,469
RC-W.A	205.0	60	0.293	120,373,177
RC-C.A	205.0	60	0.293	141,107,332

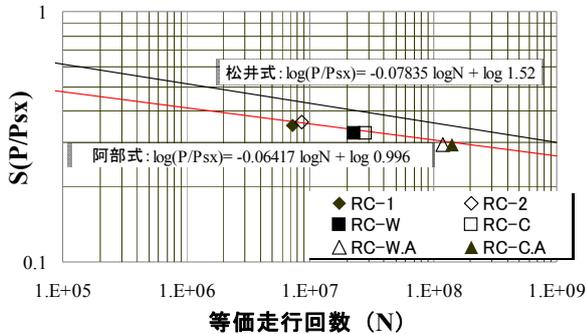


図-5 S-N曲線図

における RC 床版供試体および下面増厚補強を施した RC 床版供試体の S 値および N 値を表-7に示す。

以上の結果より、RC 床版および下面増厚補強法における S-N 曲線図を図-5に示す。RC 床版供試体 RC-1, 2 は、阿部ら⁷⁾が提案する 1994 年改定の道示に準拠して床版を用いて評価された S-N 曲線付近にプロットされている。一方、プライマーを塗布し、ワイヤメッシュまたは CFRP 格子筋を配置し下面増厚補強を施した RC 床版供試体 RC-W, RC-C および接着剤を塗布してワイヤメッシュまたは CFRP 格子筋を配置した下面増厚補強を施した RC 床版供試体 RC-W.A, RC-C.A においても本実験から得られた押抜きせん断耐力 P_{Sx} 適用した場合、RC 床版の S-N 曲線の下方にプロットされている。阿部らが提案している RC 床版の S-N 曲線式は、基準荷重 P を理論押抜きせん断耐力で除した値であり、実験値の押抜きせん断耐力の 95%程度の耐力である。

一方、下面増厚補強を施した RC 床版供試体の押抜きせん断耐力は実験時における最大耐力を適用したものであり、破壊時の 95%の耐力を適用した場合は、ほぼ線上にプロットされるものと考えられる。

これらの結果から、1994 年改定の道示以降に改訂された道示に準拠して製作された RC 床版供試体にプライマー、或いは接着剤を塗布し、ワイヤメッシュおよび CFRP 格子筋を配置して PCM 吹付け工法による下面増厚補強法が施された RC 床版の寿命推定には、阿部ら⁷⁾が提案する S-N 曲線式の適用が可能であると考えられる。

5. まとめ

(1) 下面増厚補強法において引張補強材にワイヤメッシュ

を用いた供試体は、RC 床版供試体の 2.9 倍、CFRP 格子筋を配置した供試体は 3.5 倍の補強効果が得られた。また、増厚界面に接着剤を塗布しそれぞれの引張補強材を配置した供試体は、それぞれ 15.2 倍、17.8 倍の補強効果が得られた。また、CFRP 格子筋を配置した供試体はワイヤメッシュを配置した供試体に比して、それぞれ 1.20 倍、1.17 倍の補強効果が得られた。これは、ワイヤメッシュに比してかぶり厚が厚くなり、耐疲労性が向上した結果である。

(2) CFRP 格子筋を用いて 10mm の下面増厚補強した RC 床版供試体の耐力性能すなわち押抜きせん断耐力は、RC 床版供試体の 1.10 倍、接着剤を塗布した場合は 1.20 倍となり補強効果が得られた。

(3) CFRP 格子筋を用いた下面増厚補強法における寿命予測や健全度評価に用いる S-N 曲線には、阿部らが提案する S-N 曲線が適用可能である。

(4) ワイヤメッシュおよび CFRP 格子筋を用いた下面増厚補強 RC 床版と RC 床版の S-N 曲線との整合性については、本実験の破壊時の耐力、すなわち押抜きせん断耐力を適用したが、破壊荷重の 95%耐力を適用することで、阿部らが提案する破壊荷重の 95%の耐力で提案されている S-N 曲線と近似する結果が得られる。なお、CFRP 格子筋を配置した下面増厚補強法における理論押抜きせん断耐力については今後の課題とする。

参考文献：

- 1) 千葉県県土整備部道路環境課企画調整室：千葉県橋梁長寿命化修繕計画(案)，2010.
- 2) 土木学会：道路橋床版の維持管理マニュアル，2012.6.
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I，II，III，2014.
- 4) 阿部忠，木田哲量，高野真希子，小森篤也，児玉孝喜：輪荷重走行疲労実験における RC 床版上面増厚補強法の耐疲労性の評価法，構造工学論文集，Vol. 56A，pp. 1270-1281，2010.3.
- 5) FRP グリッド研究会：CFRP グリッド増厚・巻立て工法によるコンクリート構造物の補修・補強設計・施工マニュアル(案)，2001.4.
- 6) 阿部忠，木田哲量，水口和彦，川井 豊：走行荷重が作用する道路橋 RC 床版の押抜きせん断耐力評価式，構造工学論文集，Vol. 55A，pp. 1468-1477，2009.3.
- 7) 阿部忠，木田哲量，高野真希子，川井豊：道路橋 RC 床版の押抜きせん断耐力および耐疲労性の評価，土木学会論文集 A1，pp.39-54，2011.3.
- 8) 松井繁之：道路橋床版 設計・施工と維持管理，森北出版，2007.
- 9) 川井豊，阿部忠，木田哲量，高野真希子：道路橋 RC 床版の S-N 曲線に関する一考察，第七回道路橋床版シンポジウム論文報告集，pp.263-268，2012.6.