

炭素繊維シート接着工法による既設RC床版の疲労耐久性に関する研究

A Study on Fatigue Durability of Existing RC Slabs Strengthened by Carbon Fiber Sheets Bonding Method

松尾 伸二*, 西川 和廣**, 内田 賢一***

Shinji MATSUO and Kazuhiro NISHIKAWA and Kenichi UCHIDA

* 工修 建設省土木研究所 構造橋梁部 橋梁研究室 (〒305-0804 つくば市旭一番地)

** 工修 建設省土木研究所 構造橋梁部 橋梁研究室 (〒305-0804 つくば市旭一番地)

*** 建設省土木研究所 構造橋梁部 橋梁研究室 (〒305-0804 つくば市旭一番地)

This study identified fatigue durability of RC slab specimens designed to the 1964 Specifications for design of highway bridges, by reinforcing them with carbon fiber sheets, and then conducting tests with wheel running machines under stepped loading. The tests revealed that with the RC slabs designed according to the 1964 Specifications for design of highway bridges, after post-damage reinforcement with carbon fiber sheets, deflection and stress of reinforcing bars were reduced, and durability to fatigue increased over the non-reinforced slabs designed to the 1964 Specifications. As a result of the tests on the specimens, which were subjected to level II damage and then reinforced with varying quantities of carbon fiber sheets, it was found that larger quantities resulted in smaller deflection and stress of reinforcement, and that fatigue durability reached a maximum with a certain quantity of sheets, beyond which fatigue durability tended to decline. Varying the degree of damage before reinforcement, while the quantity of carbon fiber sheets was kept at a certain level, caused no recognizable variances in fatigue durability in stepped loading.

key words : RC slab, carbon fiber sheet, wheel running test, fatigue durability

1. はじめに

現在、我が国では約 13 万橋(橋長 15m 以上)の道路橋が供用されており、こうした膨大な数の道路橋を適切に維持管理していくことが重要な課題となっている。特に、輪荷重の影響を直接受ける既設の鉄筋コンクリート床版(以下、RC 床版)は、交通量の増大や平成 5 年 11 月の車両制限令の車両総重量規制緩和および道路構造令の設計自動車荷重の変更にとともに、より一層過酷な条件下におかれている。

図-1 に鋼橋 RC 床版の損傷実態の調査結果(平成 3 年度実施, 19,723 橋)を示す¹⁾。図は鋼橋 RC 床版の損傷状態を適用基準別に表したものであり、図中の損傷度 I ~

IV は図-2 に示す橋梁点検要領(案)²⁾の損傷度判定区分を示す。図-1 より、古い基準、特に昭和 39 年鋼道路橋設計方書(以下、S39道示)³⁾により設計された RC 床版は実際に補修・補強工事が行われ、現在も損傷を有する床版が多いことがわかる。これより、現在、各機関において損傷を有する RC 床版および古い基準で設計された既設 RC 床版の効果的な補修・補強工法が検討されている。

そこで、本研究では、補修・補強工法の一つとして、軽量で施工性、耐食性に優れ高引張強度の炭素繊維シートを床版下面に接着する工法に着目して、ひび割れ損傷を有する RC 床版に対する炭素繊維シート接着工法の疲労耐久性の向上に及ぼす効果を明確にすることを目的とし、炭素繊維シートにより補強された RC 床版の輪荷重

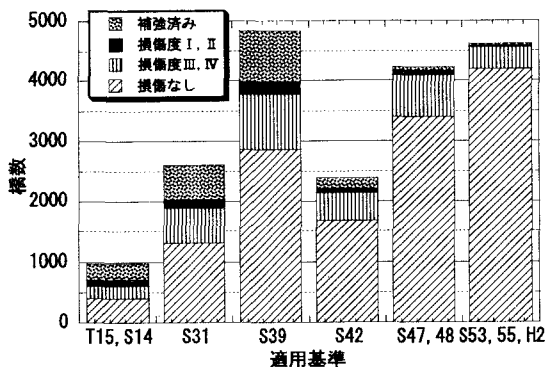


図-1 RC 床版の損傷実態

損傷が耐荷力、耐久性に与える影響			
	大	中	小
位置あるいはパターン (X)	二方向ひび割れ	-	一方向ひび割れ
深さ (Y)	補筋を伴うひび割れ、またはひび割れ幅大 (幅 0.3mm 以上)	補筋を伴うひび割れ、またはひび割れ幅中 (幅 0.2 ~ 0.3mm)	ひび割れのみ、ひび割れ幅小 (幅 0.2mm 未満)
径がり (Z)	ひび割れ最小間隔小 (最小間隔 50cm 未満)	-	ひび割れ最小間隔大 (最小間隔 50cm 以上)

判定区分									
大	X	Y	Z		X	Y	Z		
			全部材	II			全部材	II	
	大	大	大	大	大	大	大	大	大
	小	小	小	小	小	小	小	小	小
中	大	大	大	中	大	大	大	大	
小	小	小	小	中	小	小	小	小	
小	大	大	大	小	大	大	大	大	
小	小	小	小	小	小	小	小	小	

図-2 橋梁点検要領(案)

走行試験を行った。なお、試験は炭素繊維シートの補強量ならびに補強前の損傷度を要因とした。

2. 実験概要

(1) 炭素繊維シート接着工法の概要

図-3 に工法の概略を示す。本工法は、所定の炭素繊維シートをエポキシ樹脂系の接着材で床版下面より接着し、床版下面に発生しているひび割れの動きを抑制し、床版の疲労耐久性を向上させるものである。

現在、既設 RC 床版に対する炭素繊維シートの補強量の算定については、現行の平成 8 年道路橋示方書(以下、H8 道示)⁴⁾に準じ、鉄筋の応力度(H8 道示の解説では 1400kgf/cm² に対して 200kgf/cm² 程度余裕を持たせるのが望ましい。)に着目し、H8 道示の設計で必要とされる鉄筋量との差を炭素繊維シートにより補完している。

なお、本研究では、床版の延命効果、経済性を考え合わせ、鉄筋の応力度が 1400kgf/cm² 以下となるように炭素繊維シートの補強量を決定した。

(2) 供試体

供試体は、配力鉄筋不足により損傷事例の多い S39 道示に準じて設計・製作した RC 床版を基準供試体とした。図-4 に S39 道示床版の形状および寸法を示す。

H8 道示に準じ、S39 道示床版の主鉄筋および配力鉄筋の応力度を 1400kgf/cm² 以下とするために必要な炭素繊維シートは、主鉄筋方向と配力鉄筋方向に各々 4 層である。本試験ではこの積層数を最大とし、これより積層数を少なくした 4×4, 3×3, 2×2, 1×1 層の供試体について試験を行った。各供試体の一覧および補強設計による鉄筋の応力度を表-1 に示す。なお、試験に使用した炭素繊維シートは引張強度 35000kgf/cm²、弾性係数 2.35×10⁶kgf/cm² である。また、本研究では S39 道示床版の補強効果について、別途行った、無補強の S39 道示床版 5 体、S39 道示より配力鉄筋を増加させた昭和 47 年道路橋示方書(以下、S47 道示)⁹⁾および荷重の改訂を受けた H8 道示に準じて設計・製作した床版各 1 体との疲労耐久性の比較を行うこととした。なお、道示床版の設計は床版支間 3.0m の連続版として行い床版厚および鉄筋量を決定した。

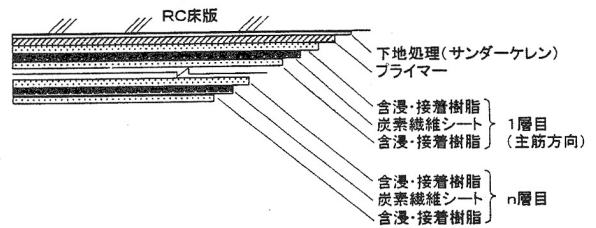
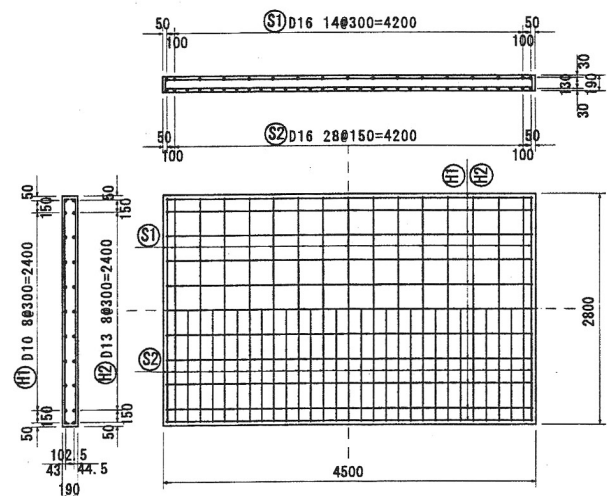


図-3 炭素繊維シート接着工法の概要



(単位：mm)

図-4 S39 道示床版の供試体形状および寸法

表-1 供試体の一覧

供試体名	炭素繊維シート補強量 主筋×配力筋 (層)	初期 損傷度	供試体寸法 (cm)	主鉄筋 (上段:圧縮,下段:引張)			配力筋 (上段:圧縮,下段:引張)			H8道示補強設計に おける鉄筋応力度	
				呼び 径	有効高 (cm)	間隔 (cm)	呼び 径	有効高 (cm)	間隔 (cm)	主鉄筋 (kgf/cm ²)	配力筋 (kgf/cm ²)
S39道示床版1~5	—	なし	280×450×19 (支間250)	D16	3.00	30.00	D10	4.30	30.00	2237	4811
S39+1×1-II	1×1	II		D16	16.00	15.00	D13	14.55	30.00	1892	2662
S39+2×2-II	2×2			D16	16.00	15.00	D13	14.55	30.00	1648	1825
S39+3×3-II	3×3			D16	16.00	15.00	D13	14.55	30.00	1467	1380
S39+4×4-II	4×4			D16	16.00	15.00	D13	14.55	30.00	1327	1104
S39+2×2-III	2×2	III	280×450×20 (支間250)	D19	16.00	12.50	D16	14.20	10.00	1648	1825
S47道示床版	—	なし		D19	4.00	25.00	D16	5.80	20.00	1387	1158
H8道示床版	—	なし	280×450×25 (支間250)	D16	4.00	15.00	D13	5.45	12.50	1242	1034
				D19	21.00	15.00	D16	19.25	12.50		

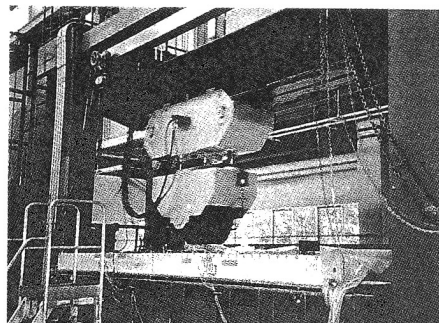


写真-1 輪荷重走行試験機



図-5 炭素繊維シート接着床版の
載荷フロー

(3) 試験方法

荷重は、写真-1 に示す輪荷重走行試験機を用いて試験を行った。供試体は床版支間 2.5m で単純支持し、浮き上がりを防止するために回転拘束を与えないように固定した。本試験機は床版供試体上に 500×200mm の荷重ブロックを一行に並べた軌道上を幅 500mm の鉄輪を ±1.5m 往復させるものである。

試験では、補強を行う供試体について、実橋床版の損傷を想定し、予め輪荷重走行試験機により所定の初期損傷を与えた後、補強を実施することとした。図-5 に炭素繊維シート接着床版の荷重フローを示す⁶⁾。

図-6 に今回行った S39 道示床版 5 の繰返し荷重下における床版中央部のたわみ変化の模式図を示す。本試験の初期損傷においては、輪荷重による床版の劣化を促進させる目的で、輪荷重を 16tf として行っている。損傷度は、たわみの増加率の違いから 4 つの部分に分割し、変化点 O～D の間をそれぞれ橋梁点検要領(案) (図-2) にある床版の損傷度と対応させて損傷度Ⅳ～Ⅰと定義した。

本試験では、炭素繊維シート接着前に S39 道示床版を予め損傷度Ⅱ (S39+1×1-Ⅱ, S39+2×2-Ⅱ, S39+3×3-Ⅱ, S39+4×4-Ⅱ) または損傷度Ⅲ (S39+2×2-Ⅲ) を与えた。損傷度Ⅱ は荷重時たわみが 8mm (図-6 の B 点)、損傷度Ⅲ は荷重時たわみが 6mm (図-6 の A 点) となった状態とした。表-2 に各供試体の初期損傷の回数およびたわみを示す。図-7 に損傷度Ⅱ および損傷度Ⅲ の床版下面のひび割れ状況の一例 (損傷度Ⅱ ; S39+1×1-Ⅱ, 損傷度Ⅲ ; S39+2×2-Ⅲ) を示す。なお、本研究では、たわみを初期損傷の指標としているが、損傷度Ⅱの方が損傷度Ⅲと比較し、床版全体にひび割れが多く発生している。

供試体は所定の損傷を与えた後に、図-3 および図-8 に示す要領にて所定の炭素繊維シートを接着した。接着後は、無荷重状態で7日間以上養生を行った。

炭素繊維シートの補強を行った供試体, S39 道示床版 5 および H8 道示床版については、段階的に荷重を大きくすることにより、劣化を促進させる階段状荷重漸増荷重 (以下、階段荷重) により行うものとした。階段荷重は 16tf を初期荷重として 4 万回毎に 2tf ずつ荷重を増加させ、破壊に至るまで繰返し走行を行い、破壊時の回数および荷重を直接比較することとした。なお、S39 道示床版 1～4 ならびに S47 道示床版については、破壊に至るまで輪荷重を一定とし荷重試験を行った⁷⁾。

3. 試験結果および考察

(1) 炭素繊維シート接着による補強効果

表-3 に炭素繊維シートの補強前後における 16tf 荷重時の活荷重たわみ (荷重時たわみと除荷時たわみの差)、主鉄筋の応力度および配力鉄筋の応力度を示す。なお、これらの値は床版中央での測定値である。

表-3 より補強後の活荷重たわみは、炭素繊維シート

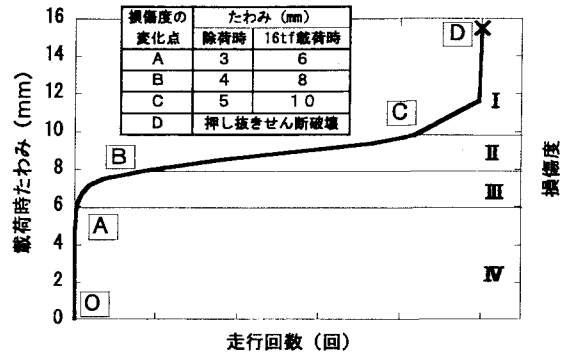


図-6 RC 床版の繰返し荷重下におけるたわみ変化

表-2 初期損傷の回数およびたわみ

供試体名	損傷度	走行回数 (回)	たわみ (mm)	
			除荷時	荷重時
S39+1×1-Ⅱ	Ⅱ	16,010	4.19	8.15
S39+2×2-Ⅱ		28,014	4.04	8.04
S39+3×3-Ⅱ		16,010	4.11	8.00
S39+4×4-Ⅱ		3,511	4.05	7.99
S39+2×2-Ⅲ	Ⅲ	112,010	3.32	5.98

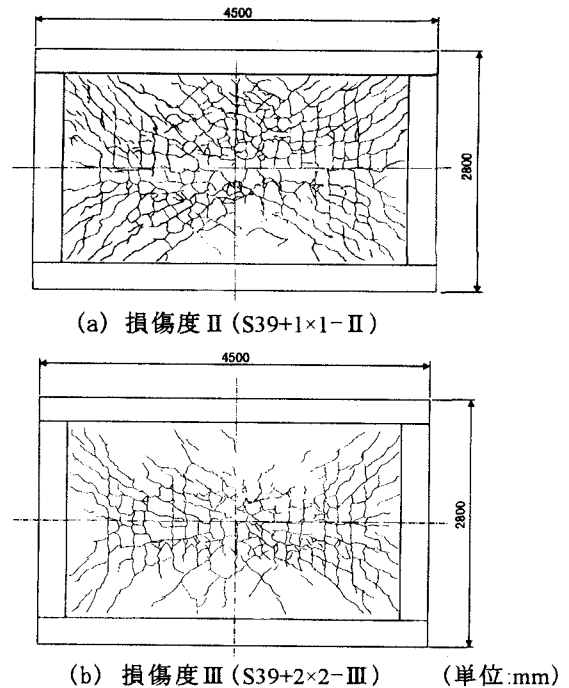


図-7 補強前の床版下面のひび割れ状況

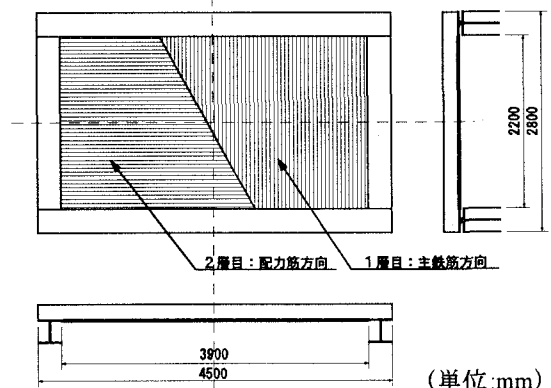


図-8 炭素繊維シートの接着範囲

の補強により補強前のたわみの 48 ~ 69 %に減少し、積層数が多いものほどたわみは小さくなる傾向にある。主鉄筋の応力度および配力鉄筋の応力度についても同様に炭素繊維シート積層数が多いものほどたわみは小さくなる傾向にある。

また、炭素繊維シート接着前の損傷度を変化させた S39+2×2-Ⅲと S39+2×2-Ⅱについては、活荷重たわみおよび鉄筋の応力ともに大きな差異は認められなかった。

(2) 破壊荷重および破壊形態

表-4 よび図-9 に各供試体の補強後の階段載荷による輪荷重走行試験の結果を示す。図-10 に炭素繊維シートを接着した床版供試体の破壊時の供試体上面および下面の状況の一例を示す。また、図-11 に供試体内部のひび割れ状況の一例を示す。

表-4 において、一定荷重により走行試験を行った S39 道示床版 1 ~ 4 ならびに S47 道示床版の破壊荷重および走行回数は、マイナー則により近似できるとの報告により、本試験の載荷方法である階段載荷の破壊時走行回数に換算した値を用いた。

各道示床版の破壊荷重は S39 道示床版が 16tf ~ 18tf, S47 道示床版が 24tf, H8 道示床版が 28tf で押抜きせん断破壊を生じた。

炭素繊維シートにより補強された床版の破壊形態は、たわみ急増時に炭素繊維シートが部分的にコンクリートとの付着切れを生じ、その後、図-10 に示すように走行回数が増加すると付着切れの範囲が拡がり、床版のコンクリートが押抜きにより抜け落ちた。また、損傷度ⅡとⅢの違いによるひび割れの状況は、損傷度Ⅱの方が床版上面に主鉄筋方向のひび割れが多く発生した。

損傷度Ⅱを与えた補強床版の疲労耐久性については、S39+1×1-Ⅱ供試体の破壊荷重は 20tf となり、最小補強量の 1×1 層でも S39 道示床版を上回る疲労耐久性となった。さらに、S39+2×2-Ⅱ供試体では 26tf となり、S47 道示床版を上回り、H8 道示床版

表-3 補強前後の活荷重たわみおよび鉄筋の応力

供試体名	活荷重たわみ(mm)			主鉄筋の応力(kgf/cm ²)			配力鉄筋の応力(kgf/cm ²)		
	補強前	補強後	補強後/補強前(%)	補強前	補強後	補強後/補強前(%)	補強前	補強後	補強後/補強前(%)
S39+1×1-Ⅱ	3.96	2.71	69	1457	1035	71	1294	525	41
S39+2×2-Ⅱ	4.09	2.37	58	1560	880	56	1214	525	43
S39+3×3-Ⅱ	3.96	2.06	52	1531	722	47	1111	187	17
S39+4×4-Ⅱ	4.34	2.09	48	1399	708	51	991	271	27
S39+2×2-Ⅲ	2.66	1.53	58	1972	769	39	1153	462	40

表-4 試験結果

供試体名	破壊時載荷荷重 (tf)	破壊時走行回数 (回)
S39道示床版1	10.7(16)	1423,112(8,387)
S39道示床版2	20(16)	881(15,190)
S39道示床版3	17(18)	45,034(52,817)
S39道示床版4	15(18)	130,828(43,875)
S39道示床版5	16(段階載荷)	27,392
S39+1×1-Ⅱ	20(段階載荷)	114,496
S39+2×2-Ⅱ	26(段階載荷)	200,626
S39+3×3-Ⅱ	24(段階載荷)	173,860
S39+4×4-Ⅱ	22(段階載荷)	132,070
S39+2×2-Ⅲ	24(段階載荷)	197,981
S47道示床版	21.4(24)	148,927(176,150)
H8道示床版	28(段階載荷)	255,649

()内は段階載荷に換算した値

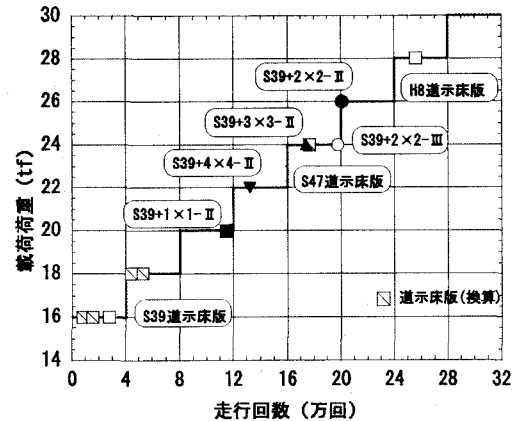
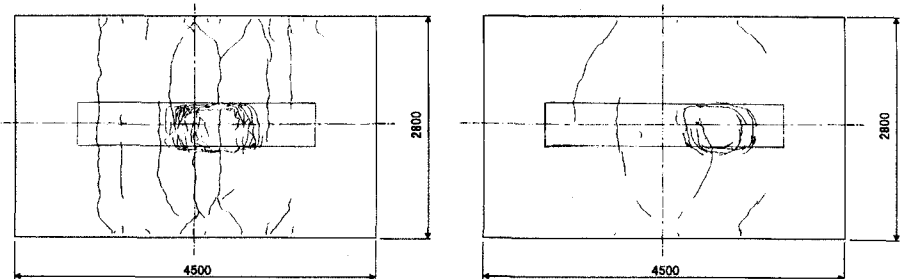
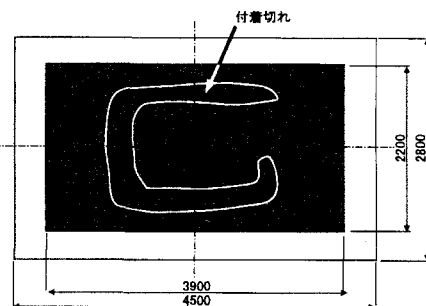


図-9 破壊荷重とその時の回数

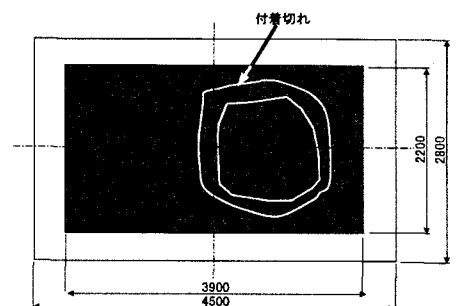


(a) 床版上面のひび割れ状況

(a) 床版上面のひび割れ状況



(b) 床版下面の付着切れ状況

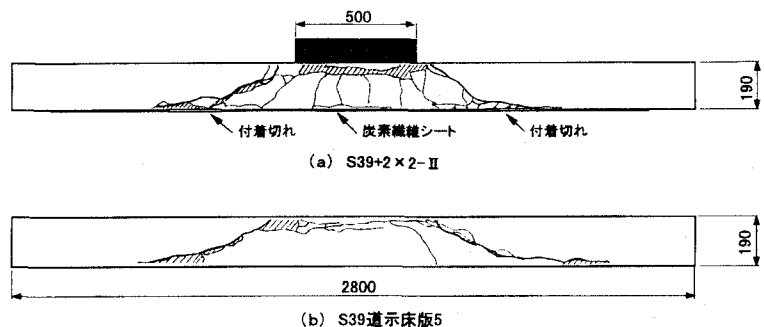


(b) 床版下面の付着切れ状況

(a) S39+2×2-Ⅱ

(b) S39+2×2-Ⅲ

図-10 床版上面および下面の破壊状況の一例 (単位:mm)



(a) S39+2×2-Ⅱ

(b) S39道示床版5

図-11 破壊後の供試体内部のひび割れ状況の一例 (単位:mm)

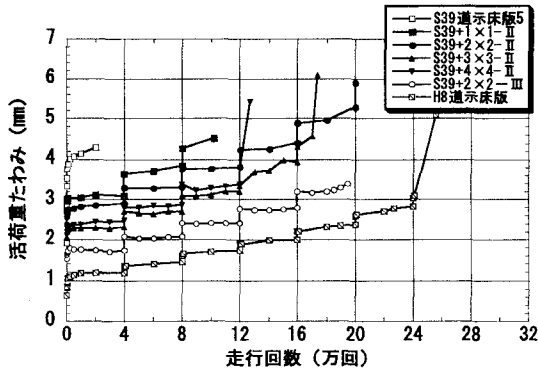


図-12 補強後の走行回数と活荷重たわみ

に迫る疲労耐久性となった。

損傷度Ⅱを与え補強量を変化させた場合の破壊荷重は、S39+2×2-Ⅱが最も高く、以下、S39+3×3-Ⅱ、S39+4×4-Ⅱ、S39+1×1-Ⅱの順となった。

また、炭素繊維シート接着前の損傷度をⅢとしたS39+2×2-Ⅲの破壊荷重は24tfとなり、損傷度ⅡのS39+2×2-Ⅱの破壊荷重と同等であった。

(3) 補強後の走行回数とたわみ、鉄筋ひずみ、炭素繊維シートひずみ

図-12 に炭素繊維シート補強後の走行回数と活荷重たわみの関係を、図-13 に走行回数と床版中央の主鉄筋ひずみの関係を、図-14 に走行回数と主鉄筋方向の炭素繊維シートひずみの関係を示す。なお、これらの値は床版中央での測定値である。

炭素繊維シートにより補強された供試体の活荷重たわみは、載荷荷重の増加に対して漸増した値を示している。また、損傷度Ⅱを与えたS39+3×3-ⅡおよびS39+4×4-Ⅱの同一走行回数時における活荷重たわみは、S39+1×1-Ⅱ、S39+2×2-Ⅱと比較して小さくなる傾向にある。活荷重たわみと同様に主鉄筋ひずみおよび主鉄筋方向の炭素繊維シートのひずみについても、炭素繊維シートの積層数が多い方が同一走行回数におけるひずみが小さくなる傾向にある。

さらに、炭素繊維シート接着前の損傷度をⅢとしたS39+2×2-Ⅲと損傷度ⅡのS39+2×2-Ⅱを比較すると、たわみ、主鉄筋のひずみおよび炭素繊維シートのひずみは、損傷度Ⅲの方が小さくなる傾向にある。

(4) ひび割れ近傍の炭素繊維シートのひずみ分布

図-15 にS39+2×2-Ⅲ供試体のひび割れ近傍の炭素繊維シートのひずみ分布を示す。図は主鉄筋方向に発生しているひび割れを対象にひび割れ直角方向にひずみゲージを貼付したものである(図-16)。

図より、炭素繊維シートのひずみは、ひび割れ先端(位置C)が高く、荷重の増加および走行回数の増加にともない、ひずみの最大値も増加している。また、8tfから10tfの荷重において、ひび割れ近傍のひずみの増加が多く、この荷重範囲でひび割れが開口し、これに対して炭素織

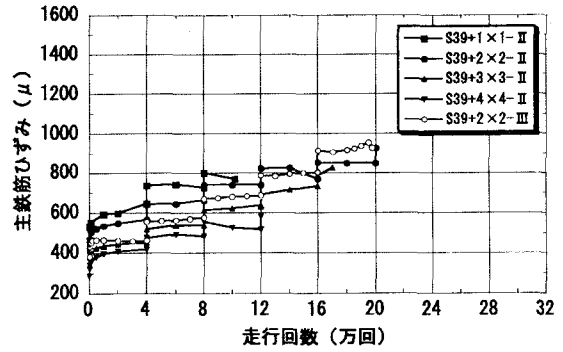


図-13 補強後の走行回数と主鉄筋ひずみ

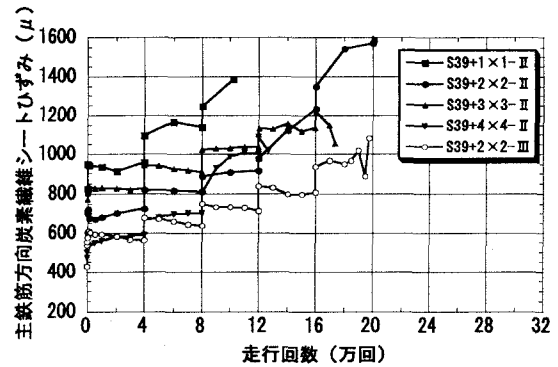


図-14 補強後の走行回数と主鉄筋方向炭素繊維シートひずみ

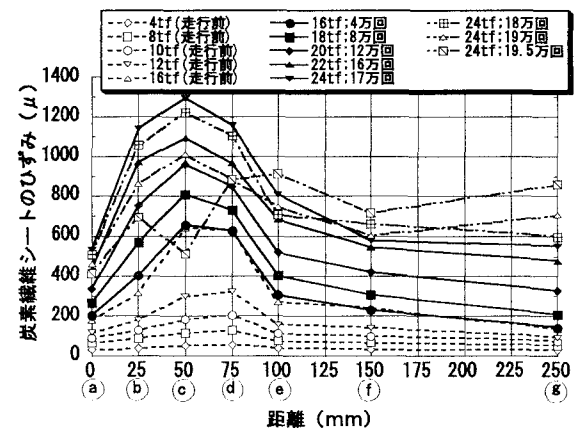


図-15 ひび割れ近傍の炭素繊維シートのひずみ分布

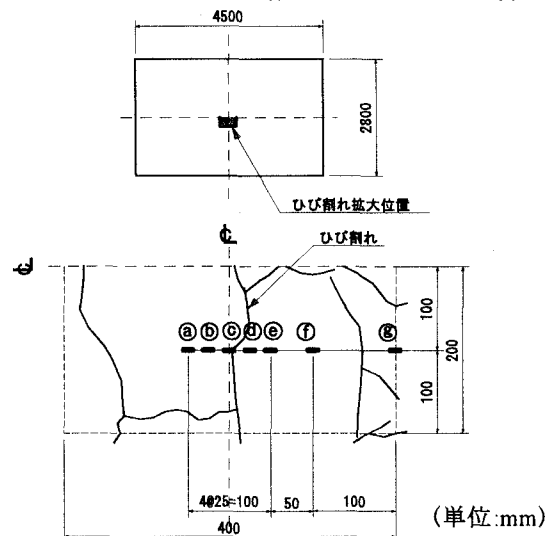


図-16 ひび割れ近傍のひずみゲージ貼付位置

維シートが拘束力を発揮し始めたものと考えられる。コンクリートと炭素繊維シートの付着切れが発生すると、ひずみ分布が一定(水平)となると考えられる。16tf～走行回数 17 万回(荷重 22tf)の範囲では、ひび割れ位置でのひずみの水平分布は見られず顕著な付着切れは発生していなかったものと考えられる。しかし、走行回数 18 万回(荷重 24tf)以降では、ひび割れ位置③のひずみが低下し、④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲㊳㊴㊵㊶㊷㊸㊹㊺㊻㊼㊽㊾㊿㉟㊱㊲㊳㊴㊵㊶㊷㊸㊹㊺㊻㊼㊽㊾㊿)間でひずみがほぼ一定となっており、この区間では付着切れが発生していたものと思われる。なお、最終的に走行回数 19.5 万回時のたたき点検により、炭素繊維シートの付着切れが確認されている。

以上の結果より、炭素繊維シート接着工法は、コンクリートと炭素繊維シートの付着性能にその補強効果が依存するが、ひび割れ近傍での付着切れが、床版の疲労耐久性に影響を及ぼしているものと考えられる。

(5) 炭素繊維シート接着床版の疲労耐久性

炭素繊維シートの補強量および補強前の損傷度を変化させ、補強した RC 床版の輪荷重走行試験を行った。その結果、損傷を与えた S39 道示床版に炭素繊維シートを接着することにより、疲労耐久性が大きく向上した。これは、炭素繊維シートがひび割れの開閉による床版コンクリートの押抜きせん断強度の低下を抑制しているためと考えられる。

しかしながら、H8 道示に準じ、鉄筋の応力度を 1400kgf/cm^2 以下とした S39+4×4-II 供試体の破壊荷重は H8 道示床版と比較し小さくなった。この原因として、実際の破壊形態が押抜きせん断破壊であり、炭素繊維シート接着床版の床版厚 19cm と H8 道示床版の床版厚 25cm の違いによる影響。また、補強設計において、初期損傷を考慮していないこと。さらに、炭素繊維シート接着工法では、その補強効果がコンクリートと炭素繊維シートとの付着性能に依存していることが考えられる。

また、損傷度 II を与え、補強量を変化させた結果、補強量が多い方がたわみおよび鉄筋応力度の低減効果は確認されたが、階段載荷による疲労耐久性については、ある補強量で最大となり、それ以上補強量を増加すると逆に疲労耐久性は低下する傾向が見られた。これは、本試験が階段載荷としたことにより、実橋より相当大きな荷重が作用し、接着した炭素繊維シートの剛性およびコンクリートと炭素繊維シートの付着強度が疲労耐久性に影響したためと推測される。

さらに、炭素繊維シート補強前の損傷度を II または III とし、積層数を 2×2 層とした結果、損傷度 III の方が補強後の同一走行回数におけるたわみは破壊直前まで小さかった。しかし、本来、ひび割れ損傷が軽微な床版には補強効果が大きいと予想されたが、階段載荷による疲労耐久性は同等であった。これは、本載荷方法が荷重を増加した促進試験の影響等が考えられる。

4. まとめ

本研究では、損傷を与えた RC 床版(S39 道示床版)に炭素繊維シート補強を実施し、階段載荷による輪荷重走行試験を行った結果、以下の知見が得られた。

(1) 損傷度 II を与えた RC 床版に炭素繊維シートを接着することにより、たわみおよび鉄筋の応力は低減し、最小補強量の 1×1 層接着することにより、S39 道示床版を超える疲労耐久性を示した。さらに、2×2 層接着することにより、H8 道示床版に近づく疲労耐久性を示すことが確認された。

(2) 炭素繊維シートの補強量を変化させた結果、たわみおよび鉄筋の応力度は補強量が多い方が低減されるが、階段載荷による疲労耐久性は、4×4 層と 2×2 層を比較すると、2×2 層の方が疲労耐久性に優れている。

(3) 炭素繊維シート補強前の初期損傷度の程度を変化させた結果、階段載荷による疲労耐久性に差異は見られなかった。

5. おわりに

今回の試験では、炭素繊維シート接着床版の疲労耐久性は、荷重を増加する階段載荷によって行った。しかし、破壊荷重は実際には起こり得ない荷重であり、コンクリートと炭素繊維シートの付着切れが生じている。実橋の活荷重は本試験の荷重より小さいため、今後は、低荷重の一定載荷による疲労耐久性についても検討を行う必要があると考えられる。

また、筆者らは、施工直後の養生中に繰返し荷重が作用した場合の疲労耐久性、高弾性型の炭素繊維シートを用いた場合の疲労耐久性についても検討を行っていく予定である。

最後に、本研究は建設省土木研究所構造橋梁部橋梁研究室と炭素繊維補修・補強工法技術研究会の共同研究により行われたものであり、関係各位に感謝の意を表す。

【参考文献】

- 1) 西川和廣, 杉山純, 山本悟司: 道路橋床版の実態調査結果の分析, 第 20 回日本道路会議論文集, 1993.10
- 2) 建設省土木研究所: 橋梁点検要領(案), 土木研究所資料, 1988.7
- 3) 日本道路協会: 鋼道路橋設計示方書, 1964
- 4) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編, 1996
- 5) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編, 1972
- 6) 宇治公隆, 西川和廣, 内田賢一, 松尾伸二: 炭素繊維シートによる道路橋床版の補強に関する研究, 土木学会コンクリート構造物の補強設計に関するシンポジウム, 1998.4
- 7) 西川和廣, 内田賢一: 既設床版の疲労耐久性に関する実験的検討, 第 22 回日本道路会議論文集, 1997.12