

上面増厚および鋼板接着工法で補強したRC床版の疲労耐久性に関する検討

A study on fatigue durability for RC slabs by upper thickness method and steel plate bonding method

宮崎和彦*, 西川和廣**, 内田賢一*, 松尾伸二**

Kazuhiko MIYAZAKI, Kazuhiro NISHIKAWA, Kenichi UCHIDA, Shinji MATSUO

- * 建設省土木研究所構造橋梁部橋梁研究室 (〒305-0804 茨城県つくば市大字旭1番地)
- ** 工修 建設省土木研究所構造橋梁部橋梁研究室 (〒305-0804 茨城県つくば市大字旭1番地)

Wheel running machine can simulate actual condition of the wheel loading of heavy traffic , and enables the evaluation of the accurate fatigue strength of highway bridge slabs. Furthermore , it becomes possible to evaluate the effectiveness of repair and retrofiting of bridge slabs throgh the actual slab motion , and to examine repair method and retrofiting techniques.

In this study , in order to examine fatigue durability for RC slabs by upper thickness method and steel plate bonding method ,authours carried out wheel running machine test.

Key Words: upper thickness method , steel plate bonding method , fatigue durability ,wheel running machine

1. はじめに

現在、我が国では、橋長15m以上の橋梁だけでも約13.万橋、延長にして約7,500kmの道路橋が供用されている(平成8年4月現在)。橋梁の架設は、昭和50年を中心に多く、橋の寿命を50年程度と仮定すると、今後、膨大な数の道路橋を適切に維持管理することが重要な課題となっている¹⁾。

特に輪荷重を直接受ける既設の道路橋RC床版は、車両の大型化および交通量の増大等の影響を受け、より一層過酷な条件下におかれている。また、古い基準で設計・施工されたRC床版は、鉄筋量の不足、床版厚の不足による損傷から補修・補強された床版が多く、さらに現在も損傷している床版が多いことが報告されている²⁾。

したがって、損傷を有する床版および古い基準で設計された既設のRC床版に対する、効果的な補修・補強工法を検討することが急務となっている。

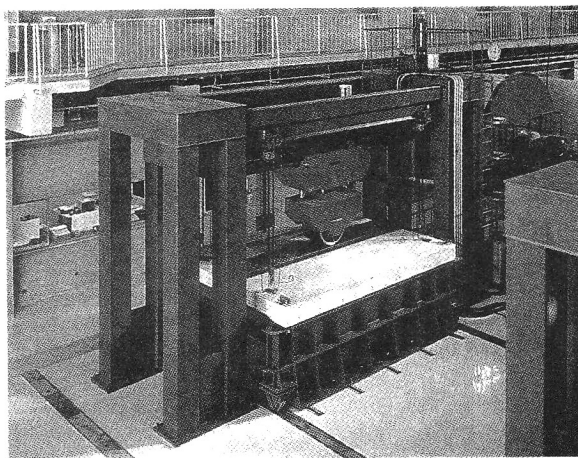


写真-1 輪荷重走行試験機

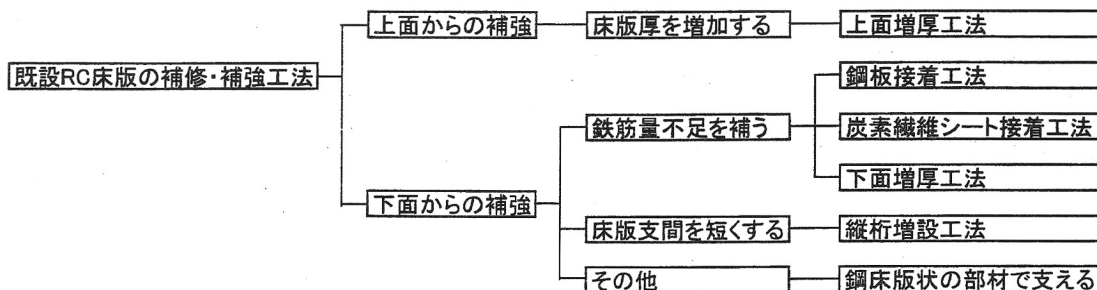


図-1 既設RC床版の補修・補強工法

表-1 供試体の一覧

供試体名	適用示方書	供試体寸法 (cm)	支間 (cm)	主鉄筋(mm)			配力鉄筋(mm)			補強工法	備考
				呼び径	有効高	間隔	呼び径	有効高	間隔		
S39道示床版1~5	S39道示	280×450×19	250	D16	160	150	D13	145.5	300	無補強	1~5は、同一供試体
S39+上面1				(D16)	(30)	(300)	(D10)	(43)	(300)	上面増厚	せん断補強筋なし
S39+上面2										鋼板接着	せん断補強筋あり
S39+鋼板1~2										1~2は、同一供試体	
H8道示床版	H8道示	280×450×25		D19	210	150	D16	192.5	125	無補強	
				(D16)	(40)	(150)	(D13)	(54.5)	(125)		

()内は、圧縮鉄筋を示す。

2. 目的

既設RC床版の補修・補強工法には、図-1に示すように大きく分けて床版上面から補強を行う工法と床版下面から行う工法とに分類³⁾できるが、これらの補修・補強工法は、床版の損傷状態に対する補強効果ならびに施工性、経済性等を考慮し、最適な工法を選定する必要がある。また、床版の損傷については、従来行われてきた定点載荷による疲労試験では、説明が困難であった損傷メカニズムが、実車両の輪荷重の走行をモデル化した移動載荷を可能とする輪荷重走行試験機(写真-1)によりほぼ解明することができるようになった⁴⁾。さらに、損傷プロセスを実験室において再現できるようになり、各種補修・補強工法の効果についても明らかにされつつある。

本研究は既設RC床版に対する各種工法の補強効果を確認することを目的として、損傷を与えたRC床版を対象に、上面増厚および鋼板接着工法を実施し、輪荷重走行試験により、疲労耐久性について検討を行ったものである。

3. 実験概要

3.1 供試体

表-1に供試体の一覧を示す。供試体は、配力鉄筋量が少なく、損傷事例の見られる昭和39年鋼道路橋設計示方書(以下、S39道示)⁵⁾に準じて設計・製作したRC床版を基準供試体とした。図-2にS39道示床版の形状および寸法を示す。補強を行う供試体は、S39道示床版に対してあらかじめ初期損傷を与えた後に上面増厚および鋼板接着工法を実施した。また、各種補修・補強工法の比較として、過去に同様の試験を行った無補強のS39道示床版5体および平成8年道路橋示方書(以下、H8道示)⁶⁾に準

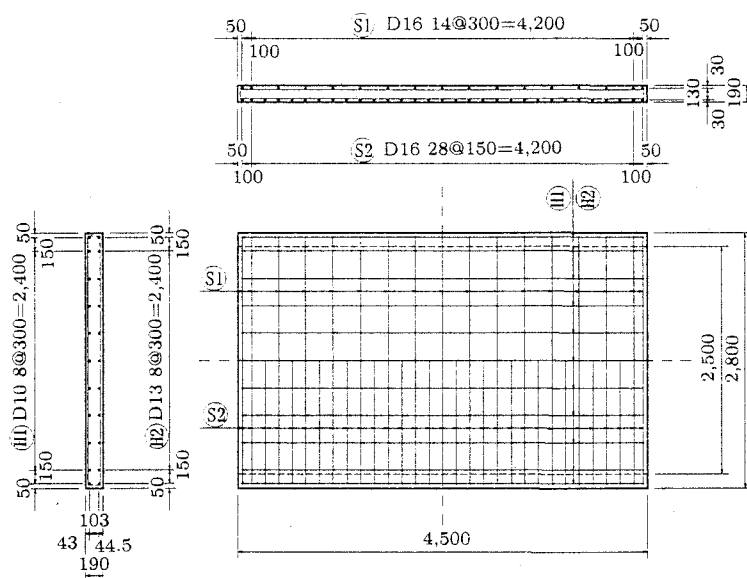


図-2 S39道示床版の形状および寸法 (単位: mm)

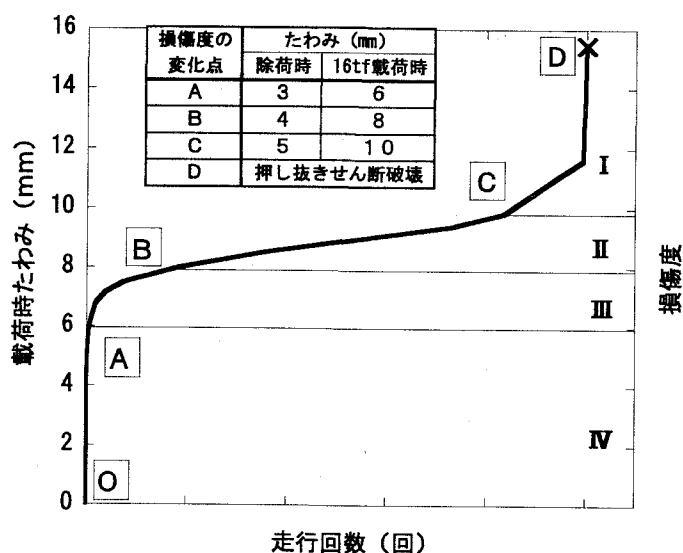


図-3 RC床版の繰り返し荷重下におけるたわみ変化

じて設計・製作した床版1体との比較を行うものとした。なお、供試体の設計は床版支間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。供試体は、単純支持にて試験を行うため支間中央の曲げモーメントが同様となる2.5mで支持するものとした。

3.2 載荷方法

載荷は、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の載荷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。

本試験では、補強を行う供試体については、実橋床版の損傷を想定し、あらかじ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-3にS39道示床版の繰り返し荷重下における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として試験を行っている。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)⁷⁾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、損傷度II「二方向のひび割れが生じ、漏水や遊離石灰が認められ、さらに、ひび割れの最小間隔が50cm未満」を想定し、載荷時のたわみが8mm、除荷時のたわみが4mm程度(図-3のB点)となった状態とした⁸⁾。

S39道示床版5、補強を行った供試体およびH8道示床版については、段階的に載荷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載荷(以下、階段載荷)により行うものとした。階段載荷は16tfを初期荷重として4万回毎に2tfずつ荷重を増加させ、破壊に至るまで繰り返し走行を行い、破壊時の回数および載荷荷重を直接比較することとした。なお、S39道示床版1～4については、破壊に至るまで輪荷重を一定とし載荷を行った⁹⁾。

3.3 補強工法

図-4に上面増厚工法の概略図を示す^{10) 11)}。床版コンクリート上面を1cm切削し、ショットブラストによる研掃を行った後、その上面に新たに鋼繊維補強超速硬コンクリートを7cm打設し、床版厚を25cmとした。さらにS39+上面2については、供試体上面の既設コンクリートと増厚コンクリートとの付着切れを防ぐために、供試体側面から10cm内側の位置にせん断補強筋(M13×70)を20cmピッチ(四隅50cmは10cmピッチ)で配置した。

図-5に鋼板接着工法の概略図を示す^{10) 11)}。床版下面のサンダーケレンによる下地処理を行った後、厚さ4.5mmの鋼板(SS400)をアンカーボルト(M10×40)で固定し、その隙間(5mm)にエポキシ樹脂を注入し接着した。なお、鋼板(3枚)の接合には、添接板(2枚)を用い連結した。

4. 試験結果および考察

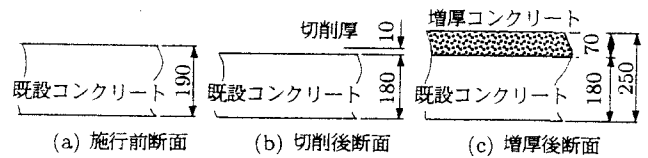
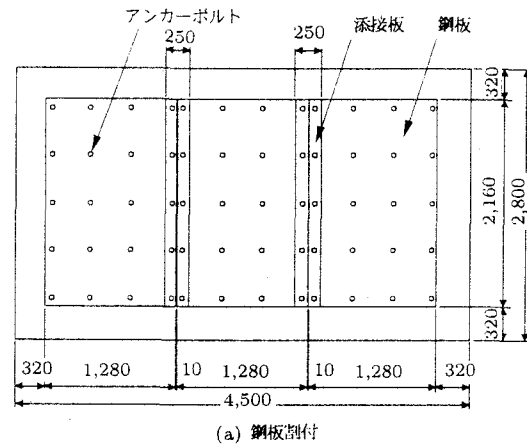
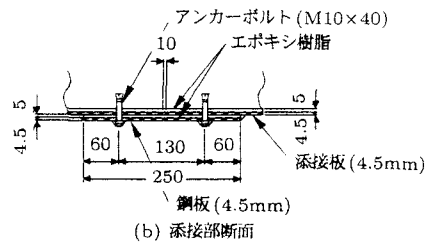


図-4 上面増厚工法 (単位:mm)



(a) 鋼板割付



(b) 添接部断面

図-5 鋼板接着工法 (単位:mm)

表-2 実験結果

供試体名	補強工法	載荷荷重 (tf)	破壊時 載荷荷重 (tf)	破壊時 走行回数 (回)
S39道示床版1	無補強	10.7	10.7 (16)	142,312 (8,387)
S39道示床版2		20	20 (16)	881 (15,190)
S39道示床版3		17	17 (16)	45,034 (52,817)
S39道示床版4		15	15 (16)	130,828 (43,875)
S39道示床版5		階段載荷	16	27,392
S39+上面1	上面増厚	階段載荷	28	261,970
S39+上面2		階段載荷	34	366,527
S39+鋼板1	鋼板接着	階段載荷	34	365,719
S39+鋼板2		階段載荷	32	324,419
H8道示床版	無補強	階段載荷	28	255,649

()内は、階段載荷に換算した値

4.1 破壊形態および疲労耐久性

各供試体の補強後の段階載荷による輪荷重走行試験の結果を表-2および図-6に、各供試体の破壊後の供試体上

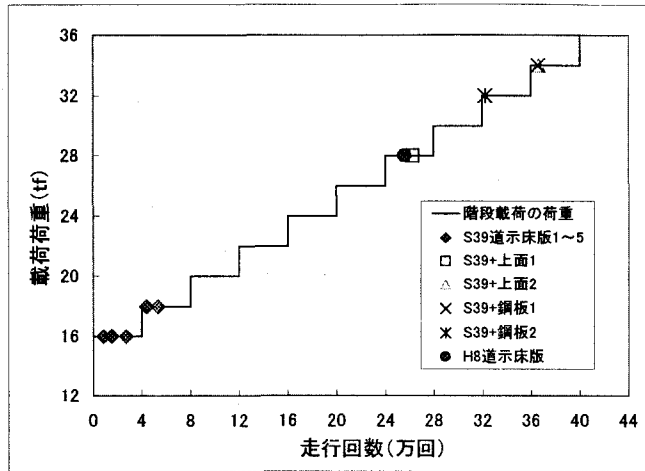
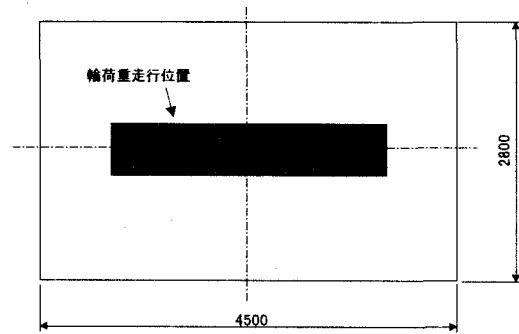
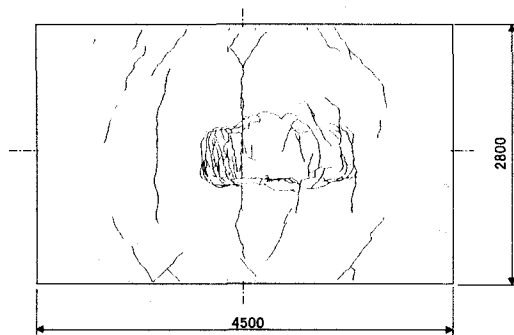


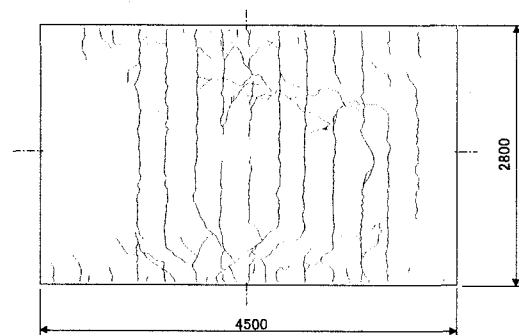
図-6 破壊荷重とその時の回数



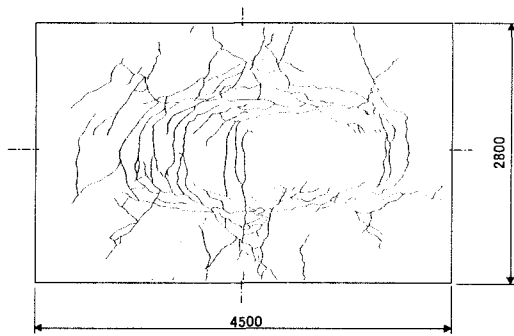
輪荷重走行位置



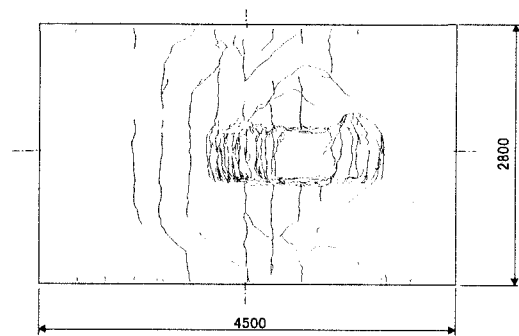
(a) S39道示床版5



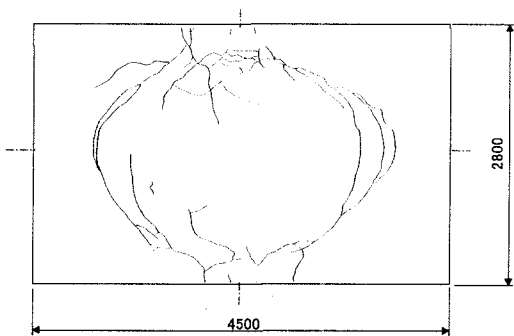
(d) S39+鋼板1



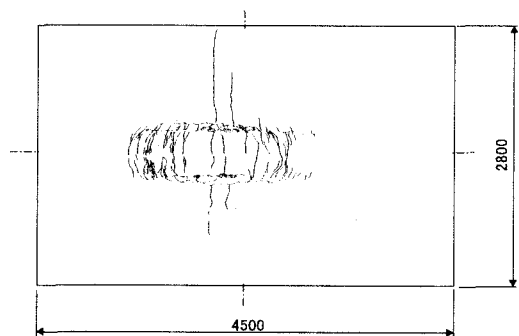
(b) S39+上面1



(e) S39+鋼板2



(c) S39+上面2



(f) H8道示床版

図-7 破壊後の供試体上面のひび割れ状況 (単位:mm)

面および内部のひび割れ状況を図-7、図-8に示す。図-6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の載荷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⁹⁾。

各道示床版の破壊時載荷荷重は、S39道示床版が16~18tf、H8道示床版が28tfで押抜きせん断破壊を生じた。

S39+上面1, 2は、既設コンクリート部が押抜きせん断破壊したが増厚コンクリート部は押抜きせん断破壊を生じず、供試体上面において輪荷重の走行位置より離れた位置にひび割れが生じた。これは、試験中の供試体側面の観察より、S39+上面1では、既設コンクリートと増厚コンクリートとの付着切れが全周にわたり生じ、また、せん断補強筋を配置したS39+上面2においても一部に発生したことと、破壊後の供試体内部の状況から、付着切れが確認されたことから、既設コンクリートと増厚コンクリートの一体性が損なわれたためと考えられる。S39+上面1, 2の破壊時載荷荷重は28, 34tfとなり、H8道示床版を上回る疲労耐久性となった。

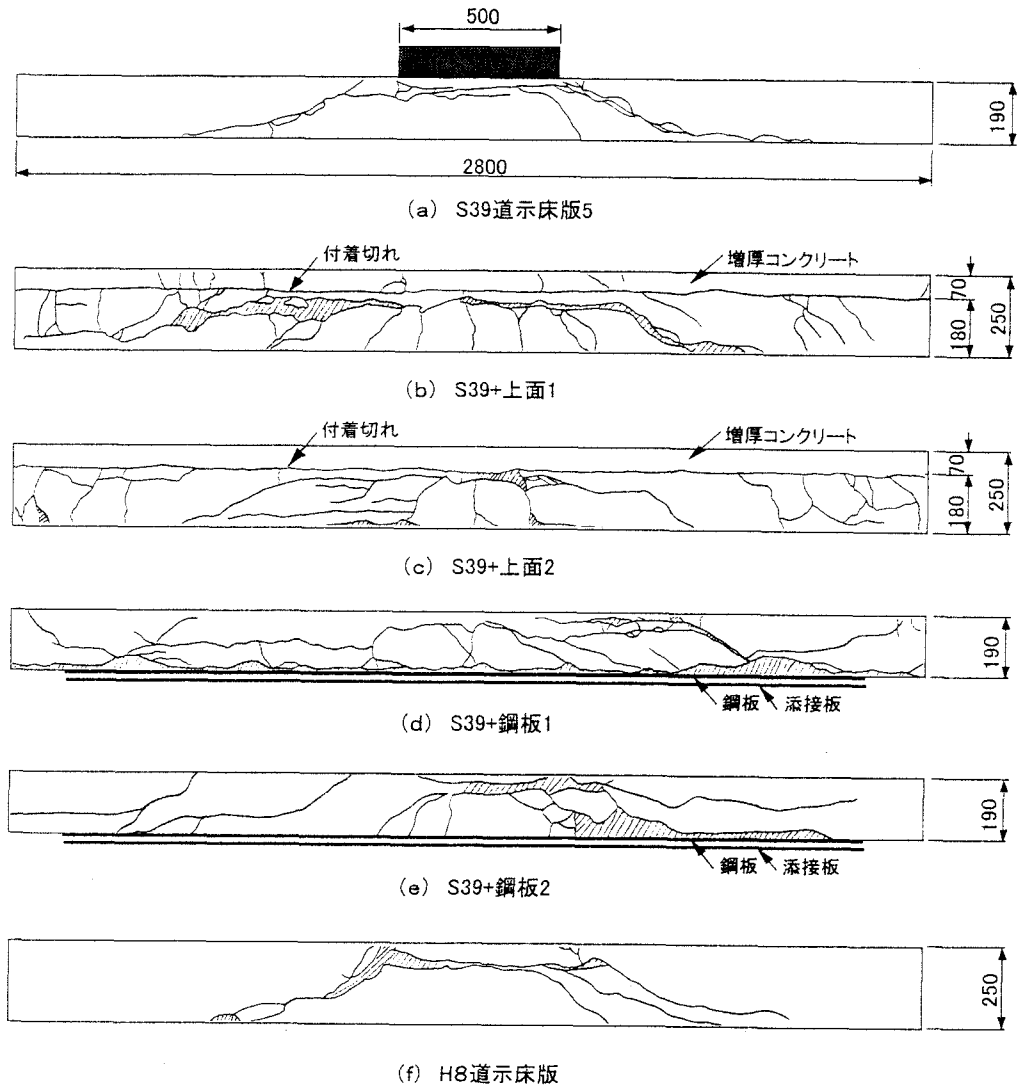


図-8 破壊後の供試体内部のひび割れ状況 (単位: mm)

表-3 補強前後の活荷重たわみ

供試体名	補強工法	活加重たわみ (輪荷重16tf)		
		補強前 (mm)	補強後 (mm)	補強後/補強前 (%)
S39+上面1	上面増厚	3.87	1.74	45
S39+上面2		4.02	1.63	41
S39+鋼板1	鋼板接着	4.29	1.14	27
S39+鋼板2		4.21	1.05	25

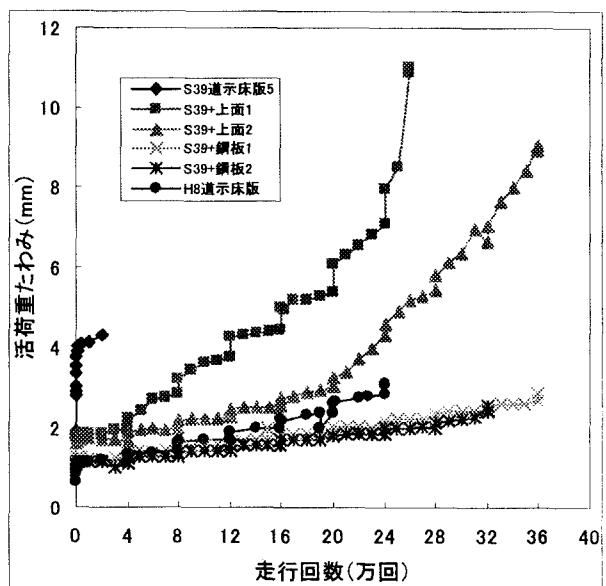


図-9 活荷重たわみと走行回数の関係

S39+鋼板1,2の破壊形態は、添接板位置で鋼板がコンクリートと付着した状態で剥離し、S39+鋼板1が支点端部におけるせん断破壊、S39+鋼板2が押抜きせん断破壊であった。また、アンカーボルトは、鋼板の剥離に伴い抜けが生じた。S39+鋼板1,2の破壊時載荷荷重は34,32tfとなり、H8道示床版を上回る疲労耐久性となった。

4.2 補強効果

表-3に各補強を行った供試体の補強前後における16tf載荷時の供試体中央位置の活荷重たわみ（載荷時たわみと除荷時たわみの差）の実測値を示す。補強後の活荷重たわみは、S39+上面1,2が補強前のたわみの45,41%、S39+鋼板1,2はそれの27,25%に減少した。

図-9に各供試体の活荷重たわみと走行回数との関係を示す。

S39+上面1,2は、S39道示床版5の破壊時の活荷重たわみを超えても破壊に至らず、他の供試体と比較して、走行回数および載荷荷重が大きくなるとたわみの増加が著しくなることがわかる。たわみの増加は、本試験が一種の促進試験のため、実際よりも大きい荷重をかけていること、供試体の大きさが限られていることから、供試体内部での既設コンクリートと増厚コンクリートの付着切れの進行に伴って起こっているものと考えられる。

S39+鋼板1,2は、H8道示床版の活荷重たわみを下回っており、破壊直前までほぼ載荷荷重の増加に対して漸増した値を示している。

5. まとめ

本研究では、比較的大きな損傷を与えたRC床版（S39道示床版）に上面増厚および鋼板接着工法を実施し、階段載荷による輪荷重走行試験を行った結果、それぞれの補強工法を行った損傷床版は、H8道示床版を上回る疲労耐久性を示すことが確認された。

ただし、各補修・補強工法の実施工では、以下の点に注意することが必要である。上面増厚工法においては、既設コンクリートと増厚コンクリートの一体化を図ることが重要であるため、床版全面にわたり確実な締固めること、また、鋼板接着工法の実施工においては、コンクリートと鋼板の一体性が重要であるため、エポキシ樹脂を鋼板全面に充填させることが必要である。

6. おわりに

既設RC床版の補修・補強は、床版の損傷原因あるいは損傷メカニズムに基づいた工法の選択が重要であり、各工法の長所短所から選択する必要がある。本試験では、損傷がかなり進んだ損傷度IIにおいて補強を行ったが、より早期の対策（損傷度III、IV）であれば、補修・補強工法の選択の幅が広がり、さらに安価かつ効果的である。しかし、対策が遅くなればなるほど、同じ効果に対する

コストは高くなるものと考えられる。

現在、各種の補修・補強工法が開発されている中、今後は、損傷レベルおよび施工条件等に合わせた道路橋RC床版の最適な補修・補強工法について検討していく予定である。

【参考文献】

- 1) 西川和廣：ライフサイクルコストを最小にするミニマムメンテナンス橋の提案，橋梁と基礎，1997.8
- 2) 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
- 3) 建設省土木研究所橋梁研究室：既設RC床版の補修補強工法，土木技術資料，第40巻，第8号，1998.
- 4) 松井繁之，西川和廣，大田孝二：鋼橋の床版 RC床版とその損傷，橋梁と基礎，1998.6
- 5) 日本道路協会：鋼道路橋設計示方書，1964
- 6) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説II鋼橋編，1996
- 7) 建設省土木研究所：土木研究所資料 橋梁点検要領(案)，1988.7
- 8) 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
- 9) 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研究，第22回日本道路会議論文集，1997.12
- 10) 西川和廣，内田賢一，廣松新：各種補強工法を施した床版の疲労耐久性に関する実験的研究，第22回日本道路会議論文集，1997.12
- 11) 宮崎和彦，西川和廣，内田賢一，廣松新，松尾伸二：上面増厚工法および鋼板接着工法で補強したRC床版の輪荷重走行試験，第53回年次学術講演会概要集，1998.10