

R C床版の輪荷重走行疲労実験

Wheel Running Fatigue Test for RC Slabs

関口幹夫*

Mikio SEKIGUCHI

*正会員 東京都土木技術研究所 技術部材料研究室 (〒136-0075 東京都江東区新砂 1-9-15)

In order to compare the fatigue characteristics of RC slabs, based on the Specifications for highway Bridges, Part II (SHB-II), issued in 1964 and 1996, we conducted testing of four samples of two different concrete strength levels using the wheel running machine for fatigue test. The dimension of the testing sample is 3 meter in width, 4.5 meter in length, and as for the thickness of slabs, 16 cm for the 1964 version and 20 cm for the 1996 version. We set the strength at 20N/mm^2 to simulate poor construction and 30N/mm^2 to simulate high quality construction.

The fatigue test was conducted by running the wheel running machine for fatigue test with large airplane tires, setting the width of slab support at 2.5 meter simple support, operation speed at approximately 3 km/h, running load at 16tf.

Key words : wheel running fatigue test, RC slabs, fatigue capacity, crack

1. まえがき

道路橋 RC 床版の疲労損傷問題では、実橋の調査や疲労実験結果などによって、損傷メカニズムは概ね把握されつつある。しかし、ひび割れの予測や各種補強工法の補強時期と補強効果の関係他、新形床版の疲労性能の確認など多くの課題が残されている。

多くの古い橋梁を維持管理する東京都では、これまでに鋼板接着などの補強工法で延命化を図って来たが、各種補強工法の補強効果は、どの程度の期間有効であるのか、また、25tf 対応に有効と考えられる上面増厚工法の組合せによる補強効果はどの程度期待できるかといったことが大きな関心事となっている。

本研究は、輪荷重の疲労損傷を再現する航空機用大型タイヤを用いた 25tf 走行疲労試験機を使用して、次のテーマを取り上げ実験的研究を行っているものである。

- ① 仕様の異なる昭和 39 年版道路橋示方書 (以下: 道示と略記) と平成 8 年道示適用の RC 床版の疲労耐久性を把握する。
- ② コンクリートの品質の影響を把握するため、施工不

良を想定した約 200 kg f/cm^2 と良好な出来上りを想定した 300 kg f/cm^2 の比較を行う。

- ③ 補強事例の多い昭和 39 年道示 RC 床版の鋼板接着工法による補強効果の確認および炭素繊維シート接着工法による補強効果の確認。
- ④ 上面増厚工法の単体と鋼板接着又は炭素繊維補強との組合せにおける補強効果の確認。

以下に、上記③までの実験の概要、疲労耐久性、ひび割れ、たわみなどの調査結果について報告する。

2. 実験概要

2. 1 床版の諸元

供試体の寸法は、図-1 に示す幅 $2.85 \times$ 長さ 4.5m 、床版厚は $16 \sim 20\text{ cm}$ で、諸元の詳細を表-1 に示す。No.1~2 は S39 年道示適用の床版厚 16 cm 、配力鉄筋比約 30% 、No.3~4 は H8 道示適用の床版厚 20 cm 、No.5~6 は No.1,2 と同等で鋼板接着補強用、No.7~8 は建設省土木研究所の S39 年標準疲労供試体と同一の床版厚 19 cm の炭素繊維補強用である。

2. 2 実験方法

床版の支持は、支間 2.5 m とし、支持桁の支持部には直径 75 mm の半割丸鋼を使用した。床版支持部には板厚 15 mm の鋼板を挟み単純支持とした。床版端部と中央部は浮き上がり防止を行っている。写真-1, 2 に実験状況を示す。走行疲労実験は、効率的に実験を行うために、床版 2 体を支持桁中央の横桁上で突き合わせてセットし、2 体の上をタイヤが約 6.5 m 区間往復する方式とした。

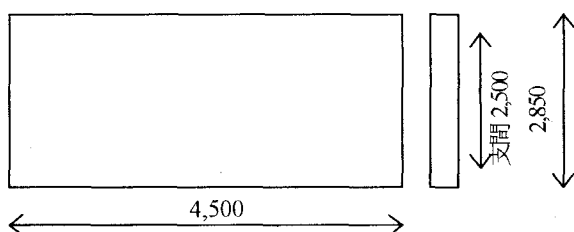


図-1 床版の形状寸法

表-1 床版の諸元

床版 No.	適用示方書	床版厚 (cm)	コンクリート強度 (kgf/cm ²)	主筋		配力筋		舗装厚 (cm)	走行荷重 (tf)	補強工法
				圧縮	引張	圧縮	引張			
1	S39	16	180	D16@300	D16@150	D16@300	D16@300	5	16	なし
2	S39	16	300	D16@300	D16@150	D16@300	D16@300	5	16	なし
3	H8	20	180	D16@300	D16@100	D16@300	D16@150	5	16	なし
4	H8	20	300	D16@300	D16@100	D16@300	D16@150	5	16	なし
5	S39	16	200	D16@300	D16@100	D16@300	D16@300	0	16	鋼板接着
6	S39	16	300	D16@300	D16@150	D16@300	D16@300	0	16*	鋼板接着
7	S39	19	200	D16@300	D16@150	D16@300	D16@300	0	16	炭素繊維
8	S39	19	300	D16@300	D16@150	D16@300	D16@300	0	16	炭素繊維

*: 補強後16tf50万回+18tf4万回+20tf6万回+静的破壊

実験に用いた走行タイヤは、航空機トライスタータイプのサイズ 50×20.0-20 32PR (最大荷重 25tf)、窒素ガスの充填圧は約 15 kg f/cm²、タイヤの接地幅は 16tf で約幅 26×長さ 30 cm である。走行荷重は 16tf 一定荷重で破壊まで走行させることを基本とした。

床版の補強は、補強前にひび割れ密度 10m/m² を目標に 16tf の走行荷重でダメージを与え、無載荷の状態では鋼板接着 (t=6mm) および炭素繊維接着 (高弾性タイプ 3 層) 補強を行い、樹脂の硬化が完了した後に補強後の実験を再開した。補強後の走行荷重は、16tf を基本とし、50 万回で破壊しない No.8 供試体は、さらに荷重を大きくして 18tf 4 万回、20tf 6 万回後にタイヤホイールが疲労破壊したために走行疲労実験を中止し、最後に静的破壊試験を行った。

静的破壊試験の載荷版の接地幅は、道示の輪荷重の接地幅と同じ幅 50 cm×長さ 25 cm の鋼板を介して載荷した。

たわみ、鉄筋およびコンクリートのひずみを計測するとともに、ひび割れ密度は、目視で確認できるひび割れ幅約 0.1 mm 以上のひび割れを対象にマーキングを行い、格子密度法によりひび割れ密度を算出した。

3. 調査結果と考察

3.1 道示 S39 と H8 の疲労耐久性

走行疲労実験結果は、表-2 のとおりである。なお、実験開始時のコンクリート強度は、No.1, 3 が 230, No.2, 4 が 364, No.5, 7 が 245, No.6, 8 が 372 kg f/cm² である。

S39 道示 16 cm の補強なしの破壊走行回数は、No.1 が 3,020 回、No.2 が 5,000 回である。一方、H8 道示 20 cm の破壊走行回数は、No.3 が 39 万回、No.4 が 144.9 万回である。

No.4 は、コンクリートの品質が良好にも関わらずひび割れ密度が No.3 より大きく推移した理由として、舗装厚が自由端で 8 cm と規定の 5 cm を 3 cm 上回り、走行荷重が 2~3tf 大きく作用したことが原因と考えられる。また、No.3, No.4 の実験中にオイル漏れが発生し、オイルによって舗装が軟化してわだち掘れが生じたために 20 万回で舗装を撤去し、同等の厚さのエポキシ樹脂舗装を再施工して実験を続行した。No.3 は横桁との接着層が劣化するなど端部の支持条件が実験中に悪化したために、コンクリートの品質の悪い No.3 は端部から破壊した走行回数であり、実際より小さめの実験結果と考える。以上の結果より、現行基準の H8 道示床版 20 cm は、S39 道示 16 cm に比べ本実験条

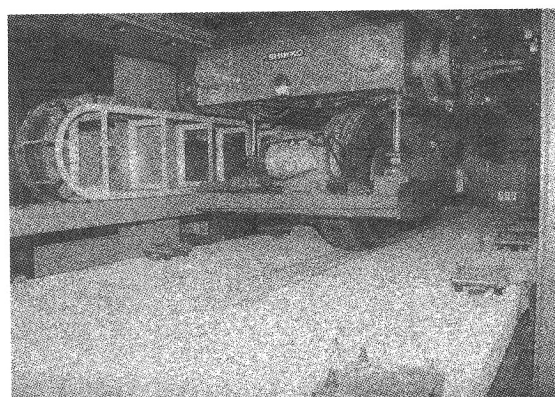


写真-1 実験状況

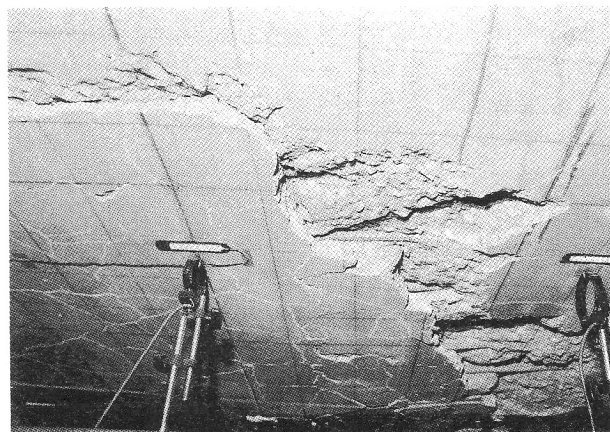


写真-2 No.1 供試体の破壊状況

表-2 走行疲労実験結果

床版 No.	補強前走行回数	ひび割れ密度 (m/m ²)	補強後走行回数	備考
1	3,020	22.29	—	疲労破壊
2	5,000	20.00	—	疲労破壊
3	390,000	13.62	—	疲労破壊
4	1,449,000	18.93	—	疲労破壊
5	300	10.81	300,000	疲労破壊
6	300	9.79	600,000*	静的80tf破壊
7	10,000	10.77	実験中	
8	200,000	9.94	実験中	

*: 補強後16tf50万回+18tf4万回+20tf6万回+静的破壊

件下では、100 倍程度疲労耐久性が優れていると評価される。コンクリートの品質の影響は、良好な品質と考えられる 300 kg f/cm² に対し、施工不良を想定した 200 kg f/

cm²では、疲労耐久性は1/2程度に低下すると評価される。

過去に陥没した実橋床版のコンクリート強度の調査¹⁾でも、陥没部あるいはその周辺から採取したコア強度の多くは、200 kg f/cm²程度であり、コンクリートの品質は疲労耐久性に大きく影響することが実験的に確認できた。

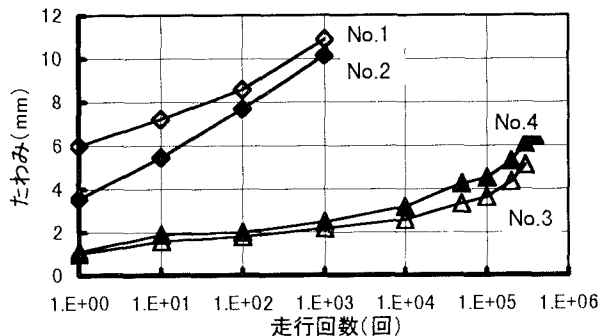


図-2 床版中央点たわみの変化

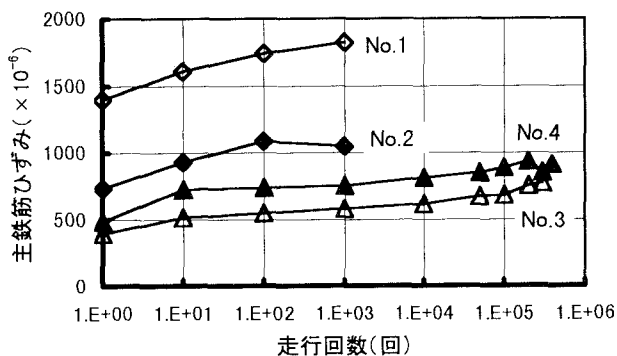


図-3 床版中央点の主鉄筋ひずみの変化

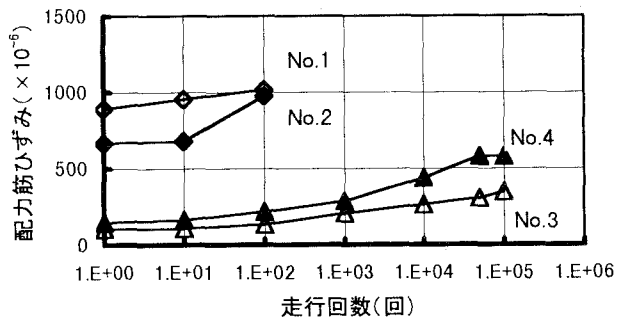


図-4 床版中央点の配力筋ひずみの変化

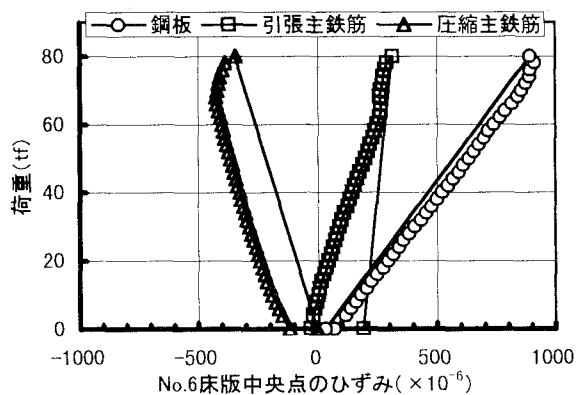


図-7 鋼板接着床版 60万回疲労後の静的破壊試験結果

3.2 たわみおよび鉄筋ひずみ

各床版中央のたわみと鉄筋ひずみの最大荷重16tf時の推移は、図-2~4に示すとおりである。たわみは破壊直前に急激に大きくなる傾向がみられる。主鉄筋および配力筋のひずみも走行回数とともに増加するものの、たわみで見られる破壊直前の急激な増加は見られない。

3.3 鋼板接着工法の補強効果

鋼板接着工法の補強効果は、表-2に示すS39道示のNo.1,2とNo.3,4で比較する。No.3,4は走行回数300回で補強前ひび割れ密度の目標値10m/m²に達した。ひび割れ密度10m/m²の目標値は、一般的にいわれている幅0.2mm以上のひび割れ密度に換算すると概ね50%の5~7m/m²程度に相当する。東京都の床版健全度判定では、5段階評価の3(C)に相当し、補強や補修の必要性有りの区分に該当する。

No.1の3,020回に対しNo.5は補強後30万回で破壊、一方、No.2の5,000回に対しNo.6は補強後60万回以上の疲労耐久性があり破壊せず、残存静的耐荷力は80tfであった。

以上の結果より、鋼板接着補強工法の走行疲労耐久性は、100倍程度の補強効果が期待でき、H8道示と同様な疲労耐久性である。

たわみ、鋼板ひずみ、主鉄筋ひずみの変化は、図-5,6のとおりである。補強直後のたわみは補強前の1/10程度に低減するが、走行回数とともに増加し、破壊時には補強前の1/2程度まで増加、破壊直前で急激に大きくなる。

コンクリートの品質が悪いNo.5では、鋼板とコンクリートの接着部のはく離は、コンクリート面であった。鋼板

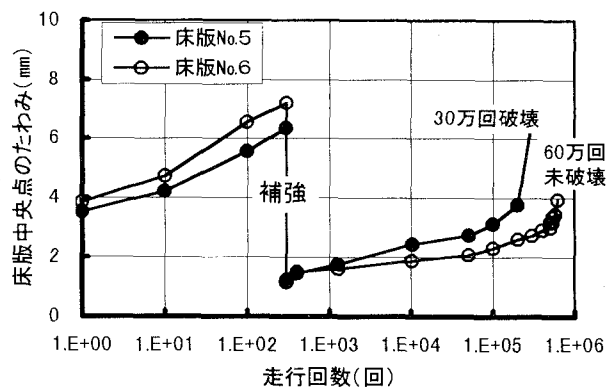


図-5 鋼板接着補強床版のたわみの変化

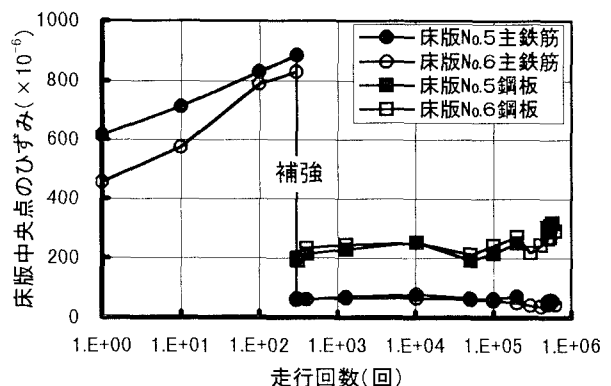


図-6 鋼板および主鉄筋ひずみの変化

はく離部のアンカーボルトは、引き抜けているものが多く、破断しているものは少ない。No.6は60万回疲労後の静的破壊荷重は80tfであったが、図-7に示すとおり60tfまでは、たわみ、鋼板および鉄筋のひずみはほぼ完全弾性体として挙動しており、疲労体力が十分残存していた。

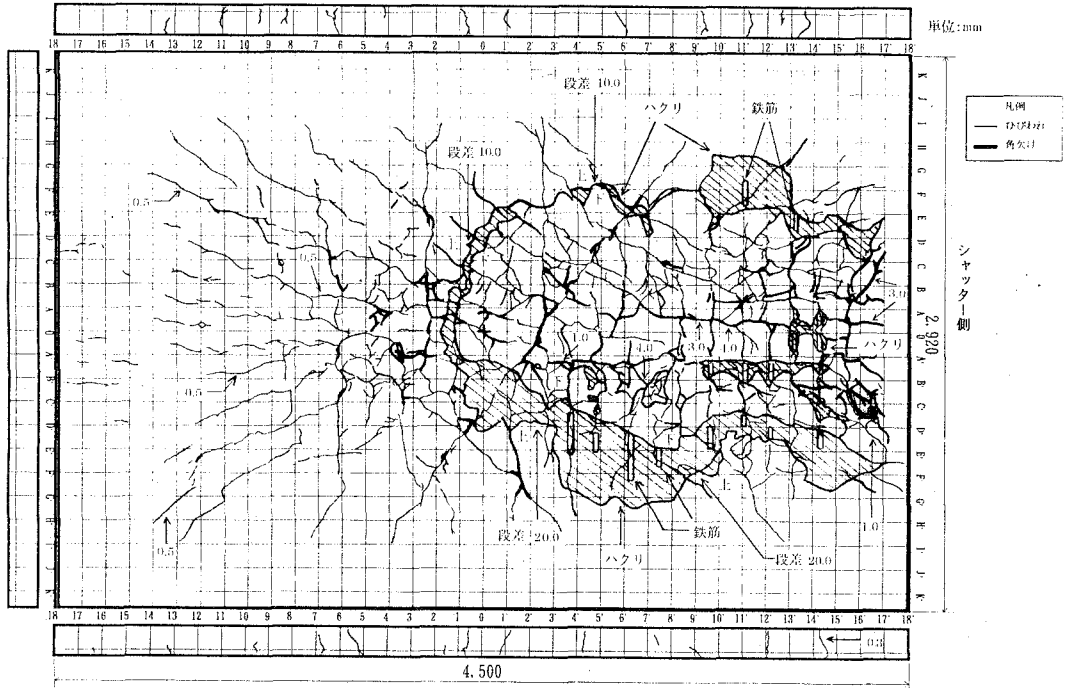
3.4 ひび割れパターン

床版下面のひび割れは、走行回数の増加とともに増加

し、ひび割れの角欠けが顕著に観察された後に破壊した。

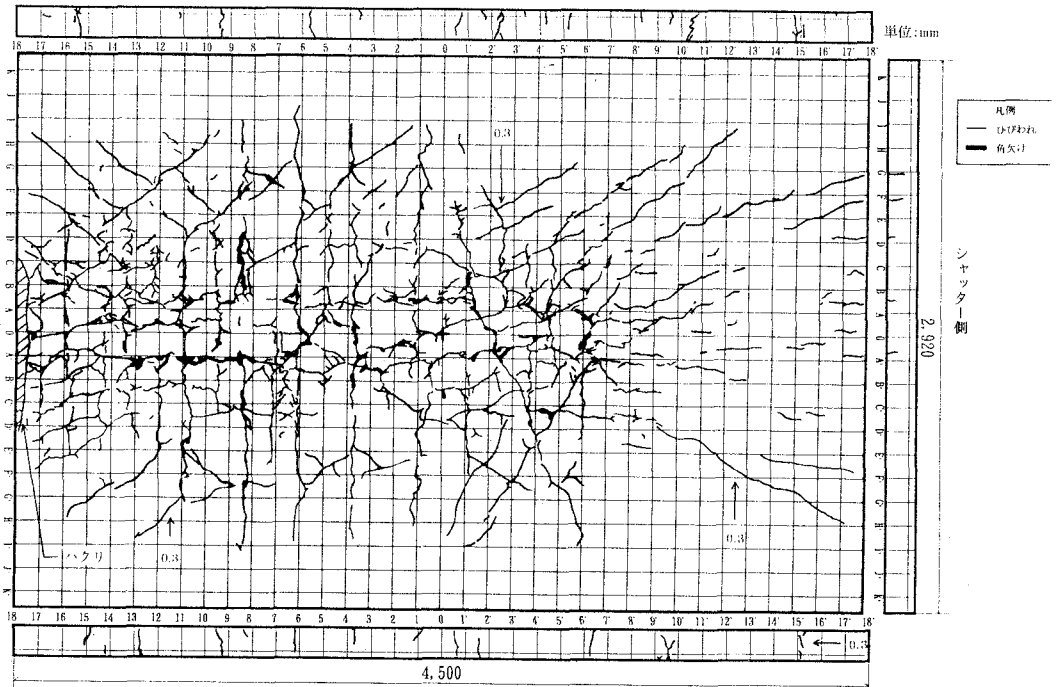
各床版の破壊時又は破壊直前のひび割れパターンは、図-8, 9に示すとおりである。走行輪近傍は実橋と同様に格子状が顕著である。一方、走行部外周は、放射状のパターンとなっており、走行輪の作用位置が一定であることと、横桁による拘束の影響によるものと考えられる。床版上面のひび割れは、舗装がある供試体では確認でき

床版No.1



ひびわれ図 床版No.1 (見下げ図・3000回走行：後)

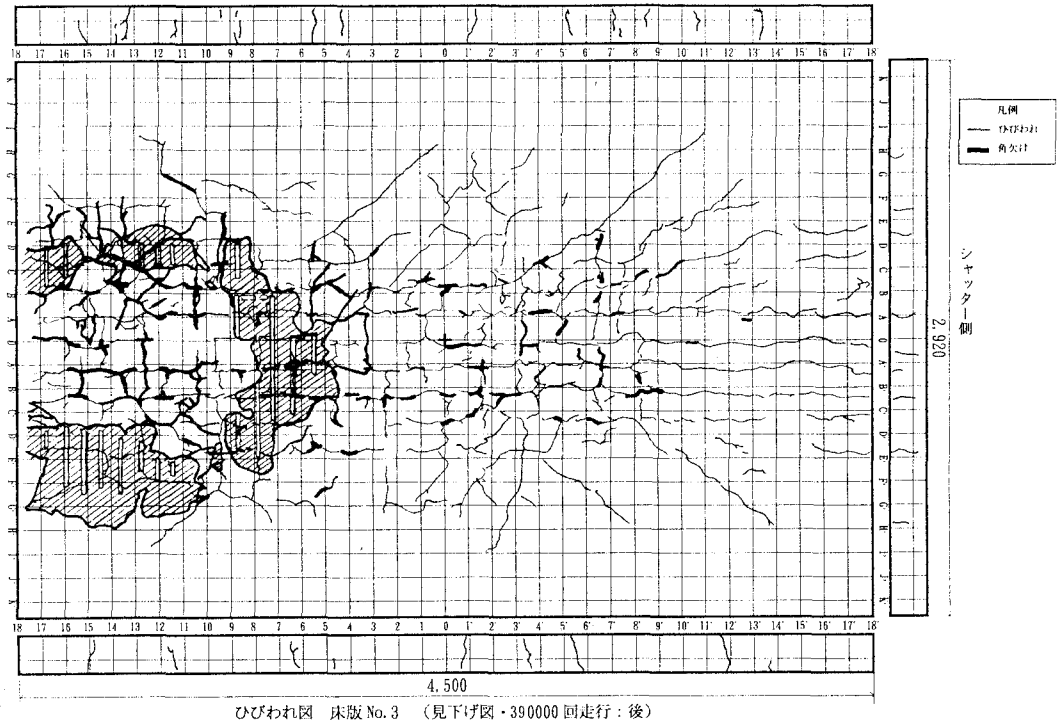
床版No.2



ひびわれ図 床版No.2 (見下げ図・3000回走行：後)

図-8 ひび割れ図 (No.1, 2)

床版No.3



床版No.4

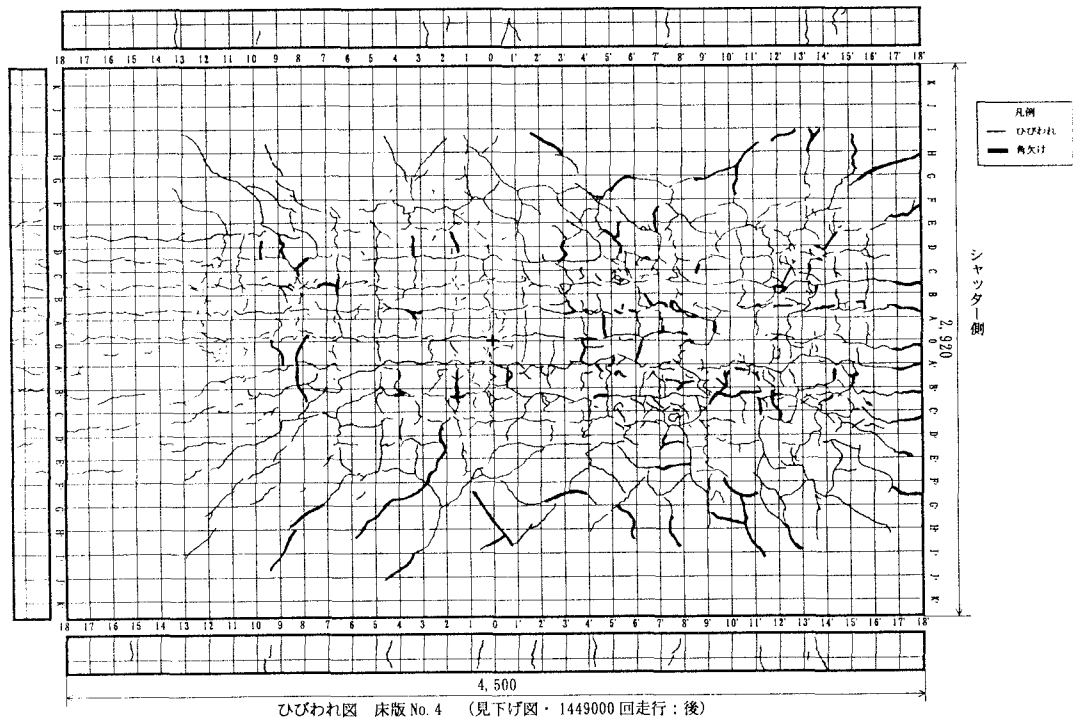


図-9 ひび割れ図 (No.3, 4)

なかったが、舗装のない供試体では、いずれも主鉄筋と同じ方向に3~5本程度貫通ひび割れが発生した。なお、上面には配力鉄筋方向のひび割れは、全ての供試体において発生しなかった。

3.5 ひび割れ密度

幅約0.1mm以上のひび割れを対象とし、格子密度法による測定範囲は幅1.5m、長さ方向は中央横桁から2.5mの

範囲で12.5cmメッシュを基準にひび割れの交点を計測して行った。ひび割れ密度の測定結果は、表-3とおりである。No.1,2は、養生中に乾燥収縮ひび割れが発生した。

無補強で疲労破壊したNo.1~4の破壊時又は破壊直前の最大ひび割れ密度は、No.3が13.62m/m²と小さいものの、No.1は22.29m/m²、No.2は20.0m/m²、No.4は18.83m/m²であり、概ね20m/m²位まで増加すると破壊するようである。

表-3 ひび割れ密度(m/m²)の測定結果

走行回数	0	1	10	100	300	1,000	3,000	5,000	10,000	100,000	200,000	300,000	500,000	1,449,000	破壊回数
No.1	5.49	5.88	10.97	13.96	—	17.88	22.29	—	—	—	—	—	—	—	3,020
No.2	2.89	3.67	9.28	11.44	—	14.22	17.22	20.00	—	—	—	—	—	—	5,000
No.3	0.00	0.00	0.52	2.03	—	4.85	—	—	8.08	10.65	12.82	13.62	—	—	390,000
No.4	0.00	0.00	0.46	4.10	—	6.93	—	—	11.18	14.59	15.68	17.04	18.54	18.83	1,449,000
No.5	0.00	0.12	4.35	7.68	10.81	—	—	—	—	—	—	—	—	—	(300回後鋼板接着補強) 300,000
No.6	0.00	0.00	3.85	8.03	9.79	—	—	—	—	—	—	—	—	—	(300回後鋼板接着補強) 600,000~
No.7	0.00	0.00	1.00	1.87	—	6.10	—	—	10.77	—	—	—	—	—	(1万回後炭素繊維補強) 実験中
No.8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.29	—	—	4.12	8.35	9.94	—	—	—	(20万回後炭素繊維補強) 実験中

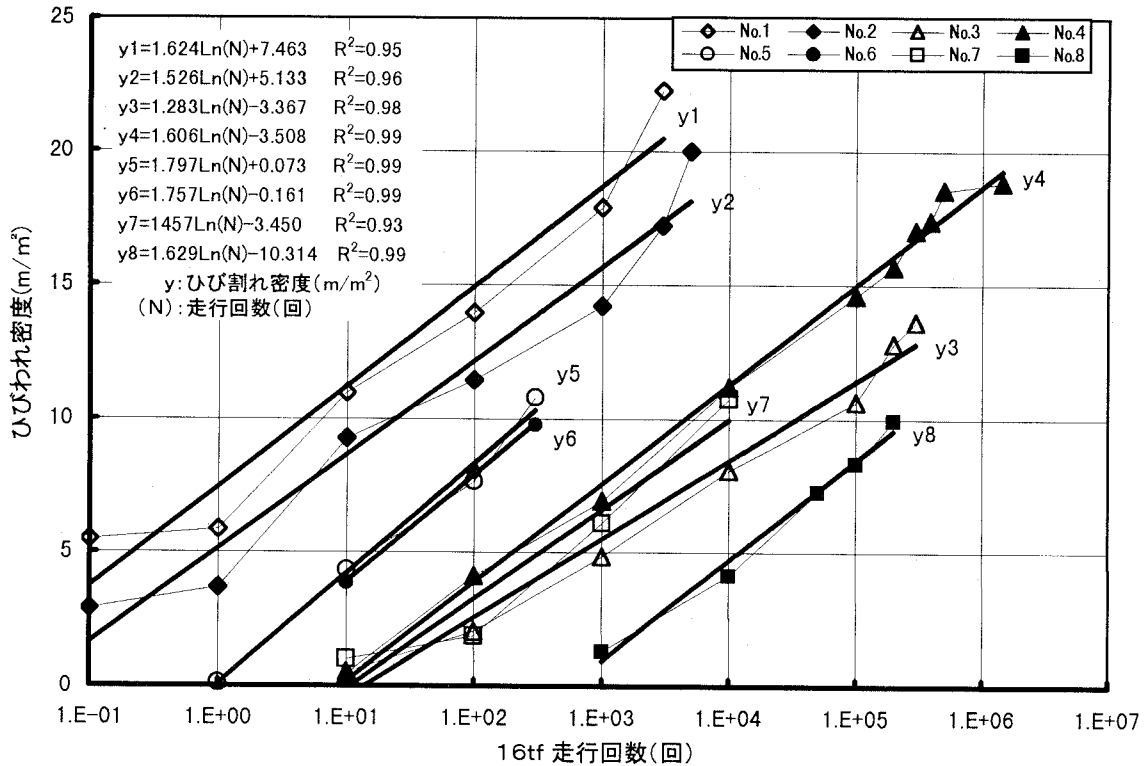


図-10 走行回数とひび割れ密度の関係

高井戸陸橋の追跡調査の結果²⁾では、17.5m/m²位にまで増加しているパネルもある。したがって、本試験方法は、実橋と同程度のひび割れを発生させることができ、有効な疲労試験方法である。

走行回数とひび割れ密度の関係は、図-10に示すように横軸の走行回数(N)はLog(N)とすると、両者には良い相関が見られる。なお、床版No.5~8は、補強前のひび割れ密度を図示している。

ひび割れ密度(y)=a・log(N)+b形式で回帰した結果を図中の太い直線で示した。各回帰式の(a)項は、式の傾きであり、ほぼ1.2~1.8に分布し、平均は1.6程度である。回帰式の傾きがほぼ同じであり、走行回数とひび割れ密度の関係にマイナー則を適用して、疲労損傷のダメージを定量的に評価することが可能であることを示している。したがって、現行のひび割れ密度に基づく健全度の評価法は妥当な方法である。

4. まとめ

輪荷重走行疲労試験機を使用したS39道示およびH8道示適用RC床版の疲労実験から、現行基準のH8道示床版はS39道示床版の100倍程度疲労耐久性が向上している。S39道示床版にひび割れ密度10m/m²程度の損傷を与えてから鋼板接着で補強した場合には、H8道示と同等の疲労耐久性が確保される。また、ひび割れ密度による疲労損傷のダメージの評価は、マイナー則が適用可能であると考えられ、有効な評価指標であることが確認できた。

引き続き、炭素繊維接着および上面増厚工法の補強効果を検証するとともに、S-N線図の検討を行う。

参考文献

- 1) 関口幹夫ほか：既設RC床版の品質と耐久性，第16回日本道路会議論文集，261-264。
- 2) 関口幹夫：供用27年間のRC床版追跡調査結果。鋼橋床版シンポジウム論文集。平成10年11月。