

23年供用したRC床版の損傷実態・残存疲労寿命と維持管理との関係に関する基礎的研究

石井 孝男¹・谷倉 泉²・庄中 憲³・國原 博司⁴・松井 繁之⁵

¹正会員 工博 石川島播磨重工業 橋梁事業部 (前日本道路公団 東京第一管理局 技術部) (〒135 東京都江東区毛利 1-19-10)

²正会員 工修 建設機械化研究所 研究第二部 (〒417 静岡県富士市大淵 3154)

³正会員 工修 建設機械化研究所 研究第二部 (〒417 静岡県富士市大淵 3154)

⁴正会員 日本道路公団 静岡建設所 静岡工事事務所 (〒420 静岡県静岡市竜南 1-26-20)

⁵正会員 工博 大阪大学 工学部 土木工学科 (〒565 大阪府吹田市山田丘 2-1)

本研究は、23年間供用した高速道路から採取したRC床版を用いて、建設当時の施工状況、現在の損傷実態および残存寿命を明らかにするとともに、合理的な維持管理手法の確立へ向け、各種の調査、実験を実施したものである。その結果、床版のひびわれ密度、たわみ量、耐荷力等のパラメータを用いて損傷程度の推定が可能なこと、静的耐荷力が新規製作床版より2~3割低下していること、既往のS-N曲線と比較して、本実橋床版の残存寿命が短いこと等が明らかとなった。このため、S-N曲線については初期乾燥ひびわれの影響、実交通荷重による繰返し載荷の影響、および水の影響を考慮し、S-N曲線の補正を試みた。最終的に、遊離石灰法を用いている日本道路公団の維持修繕要領は、床版の損傷度をほぼ正しく評価していること等が再確認できた。

Key Words : bridge deck, deterioration, punching shear, fatigue test, S-N curve.

1. まえがき

鋼橋の鉄筋コンクリート床版(以下RC床版と呼ぶ)のひびわれ損傷は、すでに昭和40年代初期に発生が認められ、大学・公的研究機関等での室内実験および実橋調査等により損傷機構の研究が行われてきた。その結果、累積損傷理論である「マイナー則」の適用がRC床版にも鋼材同様に成立すること; また、RC床版のひびわれ損傷の主因は大型車による活荷重の移動繰返し作用に基づくせん断疲労であること、さらに床版下面のひびわれ密度とその床版の劣化度とに相関が見られること等が明らかにされてきている¹⁾。

しかし、実橋床版と既往の実験床版では施工条件や荷重条件および環境状態が異なるため、これまでの室内実験の成果を直接に設計や維持管理等の実務へ適用するには課題が残されていた。このような課題を解決していくためには実橋床版を用いて調査・実験を行うことが好ましいが、長期間供用された損傷床版を得ることはこれまで非常に困難であった。

このような中、平成3年度に行った東名大井松田～御殿場IC間のリフレッシュ工事において、実交通下で経年劣化を受けた多くの床版を採取する機会を得た。

本論文は実橋から採取した床版の断面調査、材料試験、ひびわれ調査等によってその施工実態および損傷実態を明らかにするとともに、静的載荷実験による残存耐荷力の確認、および輪荷重走行試験機による疲労

実験を行い、残存疲労寿命のS-N曲線を求めたものである。そして、既往の実験床版のS-N曲線から寿命の低下度を各種条件で検討し、実験床版と実橋床版の疲労寿命の相違点を考察し、維持管理の基礎資料とするとともに、日本道路公団の維持修繕要領の妥当性を評価した。

2. 実橋床版の施工調査

実橋床版を取囲む周辺環境および床版の断面性状等の調査結果をもとに、東名高速道路建設当時の施工実態を調査した²⁾。その結果、以下に説明するように、建設当時は突貫工事で施工が行われていたこと、冬期は凍結防止剤の散布を行う山間部に位置すること、鉄筋のかぶりが床版の上下面で異なっていること等が明らかになったが、特に床版の劣化に大きな影響を及ぼすような要因は見当たらなかった。しかし、供用当初に行われたRC床版のひびわれ調査によると、床版張出し部に橋軸直角方向のひびわれが発生している床版も認められていた²⁾。

(1) 使用骨材およびコンクリートの打設状況

東名高速道路の建設史および工事資料によると、昭和30年代後半から40年代前半にかけて河川からの骨材の採取が規制されたため、東名高速道路の本線工事が開始される頃から、関東地方のコンクリート用骨材

表-1 実橋床版の配合表

粗骨材 の最大 寸法 (cm)	スラン プの範 囲 (cm)	空気量 の範 囲 (%)	水セメ ント 比 (%)	細骨材 率 (%)	単位置量(kg/m ³)				
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 G
25	8~9	2~3	47.3	37.0	142	300	716	1233	1.5

の供給状況が極端に悪化した。その結果、御殿場周辺の構造物には前もって確保されていた富士川産の良質な骨材が供給されたが、やむを得ない場合には骨材試験により品質を確認して陸砂利も使用された。骨材調査は、比重、吸水量、粒度、洗い試験、単位容積重量、有機不純物、すりへり減量、安定性の試験および骨材の凍結融解試験等が行われた。また、碎石混入率20%以上の場合、コンクリートのワーカビリティが減少し単位水量および細骨材率を増す必要があると提案されていた。東名の生コン工場調査も事前に行われ、工場の設備、生産能力、使用材料およびコンクリートの需給・運搬関係等が調査され、プラント検査も実施されている。RC床版の配合設計によると、設計基準強度は240kgf/cm²であり、セメントは普通ポルトランドを使用し、単位セメント量は290kgfとなっていた。

骨材が地域的に異なることから、試験練りによってコンクリートの現場配合が決定されていた実橋から採取した床版の配合記録を表-1に示す。なお、床版コンクリートは生コン工場のものがポンプ車により打設され、スランプは8~10cm、空気量は2~3%であり、切断断面からは碎石が見られなかった。この区間は全線開通(昭和44年5月)に向けての最後の区間となったため、突貫工事が行われ、さらに施工時期が冬期となったこともあり、施工状況は必ずしも良好な状況下になかったものと推測される。

(2) 実橋の環境条件と特異性

日本気象協会および日本道路公団の資料をもとに、本実橋床版付近の10年間(1981~1990)の気象・環境条件を調査した^{3),4)}。

その結果、御殿場では年間平均の冬日日数が73日、降雪日数が12日、降雪量が40cmと多く、そのため毎年の御殿場管理事務所管内の凍結防止剤の使用量は、他の管理事務所(富士以西)の年間使用量が数トンであるのに比べ、約350トンと非常に多くなっていた。

また、年間平均降雨量(約2800mm)も全国平均の約2倍弱と多く、湿度(79%)も高いため、RC床版のひびわれ損傷箇所から凍結防止剤の塩分が雨水とともに浸

表-2 主鉄筋・配力鉄筋のかぶりおよび版厚測定結果

橋梁名		A		B		C		D		
設計	床版厚	180 (mm)		190 (mm)		180 (mm)		190 (mm)		
	鉄筋方向	主鉄筋 配力鉄筋		主鉄筋 配力鉄筋		主鉄筋 配力鉄筋		主鉄筋 配力鉄筋		
	鉄筋径 (mm)	D16	D16	D16	D16	D16	D16	D16	D16	
	かぶり (mm)	22.0	38.0	22.0	38.0	22.0	38.0	22.0	38.0	
施工	床版厚	平均値 190.00 (mm)		210.55 (mm)		176.79 (mm)		195.42 (mm)		
		標準偏差 8.39		9.19		6.22		5.67		
実測	かぶり	上面平均値	35.5	53.3	44.0	63.7	25.3	44.7	33.3	48.9
		上面標準偏差	8.98	9.16	7.59	10.7	4.29	8.12	6.24	5.77
	版厚	下面平均値	17.3	35.5	20.1	39.1	25.4	45.9	38.3	58.8
		下面標準偏差	5.54	3.71	4.27	6.80	4.53	5.09	6.47	2.87
	データ数	175	125	56	73	55	84	112	87	

(単位、床版厚: mm、かぶり: mm、かぶりは純かぶり)

入し易い環境におかれていた。このため、塩分がコンクリート内部の鉄筋の腐食を促進させること等による床版の劣化が懸念された。

(3) 仕上がり床版寸法

東名建設時の施工実態を確認するため、大井松田~御殿場I.C間の鋼板桁橋の4橋から採取した床版について、版厚および鉄筋かぶり、ピッチ等を測定し、設計条件と比較した。

主な調査結果を表-2に示すとともに以下に説明する。

- ① 床版厚については、設計値18cmあるいは19cmに対し、施工誤差は-3mm~+21mmの範囲でばらついていた。版厚が多少厚くなっている傾向が見られたが、いずれの床版も道路橋示方書の規定値(±30mm)は満たしていた。
- ② 上側主鉄筋398本の実測かぶりの平均値は34.7mmとなり、設計かぶり22mmに対して約13mm大きいことがわかった。その理由として、①で述べたように版厚が厚めに施工されていること、および施工時にコンクリートの重量等により上側主鉄筋が設計位置よりも下がったことが推定される。
- ③ 下側主鉄筋398本の実測かぶりの平均値は24.7mmとなり、設計かぶり22mmに対してほぼ設計どおりのかぶりとなっていることが認められた。
- ④ 鉄筋ピッチは、主鉄筋の上側および下側ともに設計値に対し、±20mm(上下、左右)以内の誤差であったが、配力鉄筋については、B橋やD橋の上側鉄筋において70~80mmの施工誤差が認められた。

表-3 日本道路公団の損傷度判定基準

パネル別床版(主桁×横桁)

損傷度	床版の状況	判定の標準
A	一般部 遊離石灰が2方向に発生しており、両方向ともその間隔が50cm以下で、かつ、遊離石灰が泥水、錆汁で変色している。また、「B」でその進行が早いもの。	損傷が著しい。 緊急な補修が必要。
	縦目部 施工継目部において、遊離石灰が泥水、錆汁で変色している。	
B	一般部 遊離石灰が2方向に発生しており、両方向ともその間隔が50cm以下で、その色が白いもの。また、「C」でその進行が早いもの。	損傷が大きい。 早急な補修が必要。
	縦目部 施工継目部において、遊離石灰が発生しており、その色が白いもの。	
C	遊離石灰が2方向に発生しており、いずれかの方向の間隔が50cm以上となっている。 (急早状となっていない。またはその間隔が大きい。) また、Dの損傷度でその進行の早いもの。	損傷が大きくなりつつある。 適時な補修が必要。
D	遊離石灰が1方向に発生している。	損傷は小さい。 定期的な点検が必要
E	遊離石灰が認められない。	-

スパン別床版(支間×幅員)

損傷度	床版の状況	判定の標準
I	床版パネルの40%以上にB以上の損傷がある。	損傷が著しく、第三者に被害を与える恐れがある。 緊急な補修が必要。
II	床版パネルの30%以上にB以上の損傷がある。	損傷が大きい。 早急な補修が必要。
III	床版パネルの40%以上にD以上の損傷がある。	損傷が大きくなりつつある。 適時な補修が必要。
IV	床版パネルの30%以上にD以上の損傷がある。	損傷は小さい。 定期的な点検が必要。
V	床版パネルの30%未満にD以上の損傷がある。	損傷は小さい。 定期的な点検が必要。

3. 損傷状況調査

これまで多くの研究機関で実施された室内実験および実橋での追跡調査等により、RC床版の損傷機構はかなり詳しく説明されるようになってきた^{1),5)}。

その状況を簡単に説明すると、輪荷重の繰返しに伴ってRC床版の疲労損傷が進み、床版下面のひびわれ密度が増すとともに、貫通ひびわれに至った部位では遊離石灰の浸出が顕著になる。このような点に着目して、実橋から採取した床版の損傷程度を明らかにするとともに、コンクリートおよび鉄筋の材料試験等を実施し、力学的特性を求めた⁶⁾。

(1) 点検マニュアルによる損傷度判定

日本道路公団では打替えを必要とする重度の損傷床版は、漏水および遊離石灰の浸出状況が損傷程度の指標になると考え、表-3に示す漏水・遊離石灰による判定基準を採用している⁷⁾。

この基準によると、4橋から採取した床版のスパン別損傷度は、全ての床版が最も損傷の著しい損傷度Iと判定された。

なお、最近の調査によると、東名高速道路(東京～

表-4 各橋梁床版のひびわれ発生状況

(注)ひびわれ密度; m/m²

橋梁名	床版下面のひびわれ (遊離石灰等)	ひびわれ密度	
		下面	上面
A 橋	・登坂車線側の損傷が著しい。 ・ハンチ部にも遊離石灰が発生。 ・泥水模様も見られる。	7.6	4.9
		~ 9.1	~ 6.2
B 橋	・ハンチに沿って貫通ひびわれが多く部分的に錆汁や泥水が見られる。 ・橋軸直角方向の遊離石灰の方が多い。	5.3 m/m ²	2.4 m/m ²
		~ 6.7	~ 3.4
C 橋	・遊離石灰が橋軸直角方向に発生している。 ・スパン中央部の損傷が著しい。	4.1 m/m ²	2.9 m/m ²
		~ 4.9	~ 2.9
D 橋	・全体に遊離石灰が発生し数箇所格子状となり泥水模様が見られる。	7.2 m/m ²	1.3 m/m ²
		~8.7	~3.9

三ヶ日)の鋼橋112橋の全1,096スパン中、8.2%に当たる90スパンが損傷度Iであり、7.5%に当たる82スパンが損傷度IIに相当していた⁸⁾。日本道路公団の維持修繕要領によると、この損傷度Iは損傷が著しく緊急な補修が必要であり、損傷度IIは損傷が大きく早急な補修が必要とされることから、全体の約16%に当たるスパンの床版が補修対象にあった。

(2) ひびわれの発生状況

床版のひびわれ密度は、床版の損傷程度を表す1つの重要な指標である。筆者の一人は、既往の実験床版では、貫通ひびわれの劣化が進み、それに段差が出始めた状態を、板の連続性の喪失開始と考え、使用限界と定義しており、この時点での下面のひびわれ密度は約10m/m²と提案している⁹⁾。床版下面のひびわれ密度の算出に当たっては、2m×2mに採取した床版の橋軸方向2辺をスパン1.8mの間隔で単純支持し、幅0.05mm以上のひびわれを観察スケッチし、これらをプランメータで測定したひびわれ長さの合計を面積で除して算出した。

各橋梁床版のひびわれの発生状況の特徴を表-4に示すとともに以下に述べる。

① 床版下面のひびわれ密度はC橋で5m/m²以下と比較的少なかったが、他の3橋の床版は5~9m/m²の範囲で分布しており、中には使用限界に近いと考えられるひびわれ密度の床版も存在していた。

② 床版上面のひびわれ密度はA橋が5~6m/m²と多く、他の3橋は4m/m²以下であった。また、上面のひびわれ密度は下面のひびわれ密度の1/2程度であった。

③ 下面で遊離石灰の浸出が見られる多くの床版は、そ

表-5 コンクリートの材料試験結果

橋梁名	コア数	圧縮強度		静弾性係数		ポアソン比		圧縮強度の標準偏差		引張強度	
		コア数	コア数	$\times 10^4$	コア数	コア数	コア数	コア数	コア数	コア数	
採取した床版	A橋	239	27	19.4	16	0.19	3	37.5	31.9	3	
	B橋	254	34	21.3	18	0.18	3	32.8	16.0	3	
	C橋	351	14	26.4	12	0.19	3	53.7	25.6	3	
	D橋	263	32	22.0	18	0.21	3	37.7	19.6	3	

の上面で橋軸直角方向に幅の広いひびわれが発生しており、貫通ひびわれの存在を裏付ける状況が確認できた。

(3) コンクリートの力学的性質

コンクリートの力学的特性を把握する目的で圧縮強度、弾性係数、ポアソン比等を求めた。長期間供用された床版では、コンクリート内部に多くの微小ひびわれが発生していることが予想されたため、コア($\phi 7\text{cm}$)の採取に当たっては床版の上下面でひびわれの発生していない部位を選定するとともに、データのばらつきを考慮してコア数も橋梁毎に14~34本採取した。コンクリートの材料試験結果を表-5に示し、要点を以下に述べる。

① コンクリートの圧縮強度は、4橋とも設計基準強度が 240kgf/cm^2 である。これに対して、C橋では平均 351kgf/cm^2 と比較的高い強度が得られた。しかし、他の3橋では平均 $239\sim 263\text{kgf/cm}^2$ となり、設計基準強度を大きく上回る結果は得られなかった。

② コンクリートの静弾性係数はJSCE-1988の試験方法によると、圧縮強度が 240kgf/cm^2 の場合、標準値が $2.5 \times 10^5\text{kgf/cm}^2$ であることから判断すると、C橋が高いものの、他の3橋は僅かに標準値よりも小さな値を示した。

(4) コンクリートの化学的性質

RC床版は実交通荷重の繰返し作用だけでなく、その置かれている環境によっても化学的な劣化が進む。一般に、問題となるのは中性化と塩分含有量であることから、両者に関して、各橋それぞれ1個づつ採取したコア($\phi 7\text{cm}$, 高さ $18\sim 20\text{cm}$ を半割)を基に調査を行った。その結果を表-6に示すとともに以下に説明する。なお、表面の中性化深さは床版下面からの値を示し、塩分含有量は床版上面からの値を示している。

① A橋、C橋およびD橋の中性化深さ $1.1\sim 1.6\text{cm}$ に比べ、B橋は 2.3cm となった。岸谷式¹⁰⁾による中性化速度の計算によると、20年以上経過した場合の中性化深さは約 $1.0\sim 1.5\text{cm}$ となることから推定すると、B橋

表-6 化学的試験結果

橋梁名	中性化深さ (cm)	塩化物含有量(全塩化物イオン量) kg/m^3			
		0~1.0cm	1.5~2.5cm	3.0~4.0cm	10~11.0cm
A橋	1.06	0.54	0.45	0.45	0.45
B橋	2.25	0.47	0.33	0.33	0.35
C橋	1.54	0.63	0.58	0.83	1.04
D橋	1.61	1.46	1.44	1.32	0.67

では中性化がかなり進んでいると言える。その理由として、B橋はトンネル出口に近いので、車両の排出する炭酸ガスの影響によって中性化が促進されたと推定される。

② コンクリート構造物の塩化物イオンの規制値については、道路橋示方書他の各種の基準で 0.3kgf/m^3 以下を採用しているが、何らかの処置を行うか使用する部材によっては 0.6kgf/m^3 となっている¹¹⁾。また、宮川らは劣化度判定基準に用いるかぶり位置におけるコンクリート中の塩化物イオンの値として、 1.2kgf/m^3 を提案している¹²⁾。このような値を参考にすると、C橋とD橋で 0.6kgf/m^3 を超過し、D橋の上面側では 1.2kgf/m^3 を越えていた。高橋脚のC橋、日照時間の少ないD橋等では、凍結防止材の塩散布量が他橋に比べて多いためと考えられる。しかし、実橋から採取したD橋の床版上面を観察した結果、著しいひびわれや剥離などの劣化は特に認められなかった。

(5) 鉄筋の腐食状況

鉄筋が腐食し膨張することにより、コンクリートのひびわれや剥離が促進され、床版の劣化がさらに進行する。鉄筋の腐食実態を知るためにA橋とC橋から採取した床版を用いて、自然電位法(米国のASTM-C876)による鉄筋の腐食調査と、はつり出し後の外観調査を行った。自然電位法はコンクリート表面とコンクリート内鉄筋との電位差により、鉄筋の腐食状況を測定する方法で、鉄筋表面が腐食していると電位差が大きくなることを利用し、この電位差分布から腐食箇所や状況を判定するものである。採取したA橋、C橋の床版を 50cm 間隔のメッシュにマーキングし、その各交点の電位差を床版上面から上筋を、床版下面から下筋をそれぞれ測定した。

調査の結果、図-1に示すようにA橋の上筋の平均が -0.09V (ボルト)、下筋の平均が -0.22V であり、C橋の上筋の平均が -0.18V 、下筋の平均が -0.04V となった。この評価基準によると、A橋の上筋とC橋の下筋は90%以上の確立で腐食が生じていない結果となる。

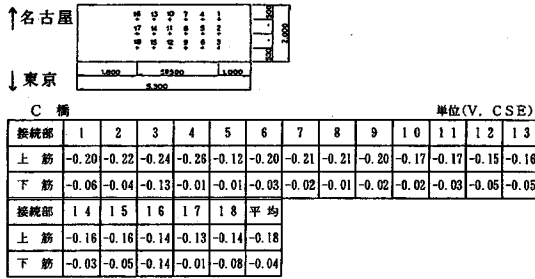
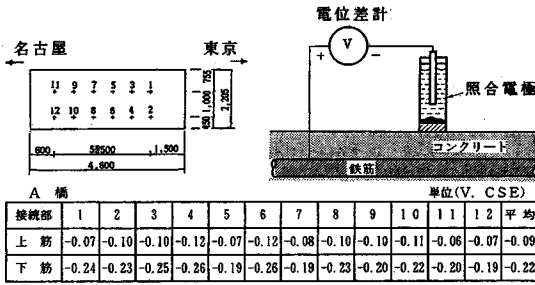


図-1 電位測定結果

ただし、A橋の下筋とC橋の上筋の一部には $-0.35V < E \leq -0.20V$ の範囲にあり、腐食発生の不確定領域と判定された。そのため、不確定領域の箇所をはずり、鉄筋を引出し外観調査を行った。しかし、腐食は認められなかった¹³⁾。また、各種試験のために切断した本実橋床版より露出した鉄筋からも、特に腐食は見られなかった。

名神高速道路資料¹⁴⁾によると、床版の自然電位差が $-0.3V$ 以上の場合、鉄筋は腐食し赤錆びが発生していた。また、鉄筋の断面欠損と自然電位との関係の調査結果によると、 $-0.24V$ 以下では断面欠損がなかったため、今回調査を行った4橋では鉄筋の腐食はなかったものと推測できる。

4. 静的載荷による残存耐力と損傷度評価

実橋床版の残存耐力を求める目的で静的載荷実験を行った。一般に輪荷重のように小さな載荷面で載荷する場合、RC床版の静的終局破壊は押抜きせん断破壊を呈する。実橋床版と比較するため、同寸法・同配筋のものを新規に製作したモデル床版についても実験を行った。なお、押抜きせん断耐力は算定式とも比較する必要があり、ここでは、前田・松井の提案している押抜きせん断耐力式¹⁵⁾を用いて算定することとした。

表-7 モデル床版の諸元

橋梁名	床版名	床版厚 (cm)	主筋鉄筋間隔 (cm)	配筋鉄筋間隔 (cm)	純かぶり (cm)
A橋	TNN	18.0	上 26.0 下 13.0	上 34.0 下 17.0	3
C橋	OYN	18.0	上 20.0 下 10.0	上 28.0 下 14.0	3
D橋	TKN	19.0	上 24.0 下 12.0	上 30.0 下 15.0	3

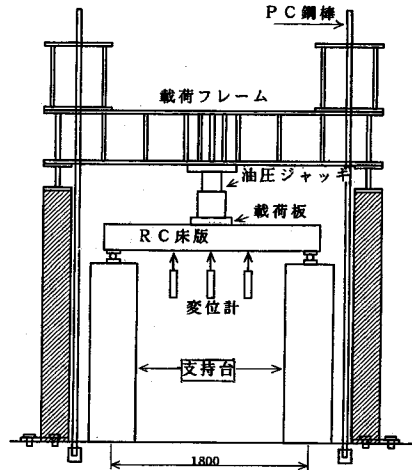


図-2 静的載荷装置の概要

(1) 残存耐力

a) 実橋から採取した床版と新規製作床版

実験には、実橋から採取した床版11体と新規製作床版3体を供試体として使用した。実橋から採取した床版は3橋からそれぞれ3体ずつ、1橋から2体の合計11体とした。各橋の1体は全体の約25%が部分打替え部を含んだ供試体である。供試体の寸法は全て $2m \times 2m$ に整形し、ハンチ部を含んでいない。

また、供用による劣化がなかったと仮定した場合の床版の耐力を求めるため、各橋梁毎に本実橋床版の設計諸元に合わせたモデル床版供試体を1体ずつ製作した。A橋とB橋は床版の諸元が同じであるため、モデル床版は両橋で1体とした。モデル床版の3体の名称は、TNN(A橋およびB橋)、OYN(C橋)およびTKN(D橋)とし、その諸元を表-7に示す。

b) 載荷実験方法

載荷装置の概要を図-2に示す。供試体はコンクリート製支持台上で相対2辺を単純支持(スパン1.8m)し、他の2辺を自由にした状態で据付けた。載荷は鋼製はりPC鋼棒で反力フレームを形成し、油圧ジャッキで載荷する方法とした。床版4隅には供試体の浮上がり防止装置を設置した。

載荷方法は第1サイクル(0~8tf)、第2サイクル(0~16tf)、第3サイクル(0~24tf)と載荷荷重を上げて

表-8 静的載荷実験結果

橋梁名	供試体名	ひびわれ密度 (m/m ²)	押抜きせん断耐力 (ton)		耐力比 ①/②	1枚当たりのたわみ量 (mm)				たわみによる劣化度 (D)
			① 実測値	② 計算値 (松井式)		③ 実測値 (2材併)	④ 解析値		⑤ 引張	
						④全断面有効	④引張無視	⑤	③/④	
A	TN 2 9	7.58	35.9	45.2	0.79	0.142	0.058	0.161	2.45	0.816
	TN 3 1 (部分打替え)	9.19	(40.2)	(42.0)	(0.95)	-	-	-	-	-
B	S K 1	5.33	44.0	54.5	0.81	0.067	0.036	0.109	1.86	0.425
	S K 7	6.73	43.7	51.8	0.84	0.100	0.040	0.116	2.50	0.789
	S K 9 (部分打替え)	5.12	(38.9)	(48.5)	(0.80)	-	-	-	-	-
C	OY 2 2	4.10	40.3	50.5	0.80	0.114	0.071	0.211	1.61	0.307
	OY 2 6	4.85	52.4	60.3	0.87	0.078	0.045	0.136	1.73	0.363
	OY 2 4 (部分打替え)	2.74	(49.4)	(53.5)	(0.92)	-	-	-	-	-
D	TK 1 0	8.66	39.4	53.1	0.74	0.144	0.052	0.194	2.77	0.648
	TK 1 6	7.23	38.0	53.7	0.71	0.125	0.057	0.208	2.19	0.450
	TK 1 4 (部分打替え)	5.28	(43.2)	(49.8)	(0.87)	-	-	-	-	-
モデル床版	T K N	0	48.3	48.2	1.00	0.046	0.054	0.157	0.85	-
	O Y N	0	49.1	47.5	1.03	0.068	0.061	0.162	1.11	-
	T N N	0	43.7	44.3	0.99	0.068	0.070	0.193	0.97	-

その変形性能を確認し、第4サイクルで0tf~破壊までの載荷を行った。載荷位置は床版中央を基本とし、載荷板の寸法(30cm×12cm)は輪荷重走行試験機による疲労実験と同じとした。

部分打替え床版の載荷位置は、打替え部と旧床版部の境界の旧床版部としたため、中央から20~30cm離れた位置となった。実験中は各荷重ステップ毎に床版のたわみ、床版上下面のひびわれの発生状況を調査した。

c) 実験結果と考察

静的載荷実験で得られた各床版の押抜きせん断耐力等の実験結果を表-8に示す。これより、部分打替え床版を除き、実橋から採取した床版7体の押抜きせん断耐力は、平均42tfであった。これは設計後輪荷重(9.6tf)の4.4倍に相当する。しかし、その値は30cm×12cmの載荷面積による押抜き耐力であるため、これを道路橋示方書のT荷重の載荷面である50cm×20cmによる耐力に換算すると、およそ60~80tf程度になる。すなわち、本実橋床版は設計活荷重(9.6tf)の約6~8倍の静的耐力を保有していると推定できる。したがって、実橋においては、実際の輪荷重程度では静的な押抜き破壊を生じる可能性は非常に少ないと考えられる。

また、部分打替え床版は、境界の旧床版部を載荷したため耐力が低下すると予測されたが、全体的には打替え部のない床版と同程度の耐力を有していることがわかった。新規に製作したモデル床版3体の押抜きせん断耐力は、平均47tfであった。

押抜きせん断耐力の実測値を、前田・松井の提案式¹⁵⁾による計算値と比較すると、モデル床版では3体

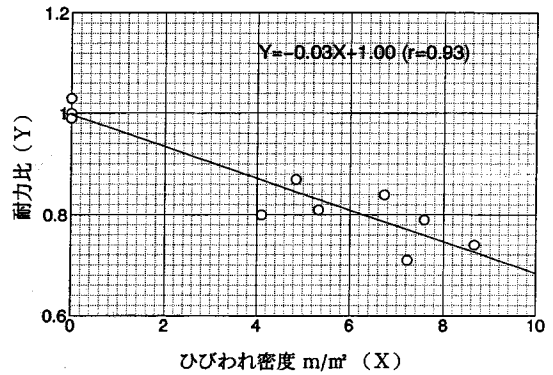


図-3 耐力比と下面ひびわれ密度

とも耐力比(実測値/計算値)がほぼ1.0となった。このことは、提案式が床版の静的耐力を評価できることを示している。したがって、押抜きせん断耐力を実橋から採取した床版の実測値と計算値と比較すると、D橋では約3割、B橋およびC橋では2割弱の耐力低下が認められる。23年間供用した本実橋床版では、貫通ひびわれ等の劣化の影響により、押抜きせん断耐力が約2~3割低下したと言える。

(2) 損傷程度の評価

RC床版にひびわれが発生し、ひびわれ密度が増加するに従って劣化が進行する。このことは、静的載荷実験で得られた静的耐力の低下からも確認できた。一方、筆者の一人は既往の実験床版を用いて、ひびわれ密度と床版のたわみ量から劣化度を評価している⁹⁾。そこで、ここでは、ひびわれ密度、床版のたわみ量および耐力をパラメータとし、それぞれの関係を明らかにすることによって、実橋床版の損傷程度の評価を試みた。

a) 耐力比とひびわれ密度の関係

床版の劣化度を表すパラメータとして、ひびわれ密度と耐力比(押抜きせん断耐力の実測値と計算値との比)との関係を調べた。その関係を図-3に示す。なお、部分打替え床版はコンクリートの種類や施工時期が既設の床版部と違うため、ひびわれ性状も異なると考えて除外した。

その結果、ひびわれ密度で表した損傷度と残存耐力の間には相関(相関係数 r = 0.93)が見られ、ひびわれ密度の大きな床版ほど耐力比が小さくなり、耐力の低下と明瞭な相関が得られた。

b) たわみによる劣化度とひびわれ密度の関係

床版の劣化度を推定するための一手法として、筆者の一人が提案しているたわみによる劣化度評価を試み

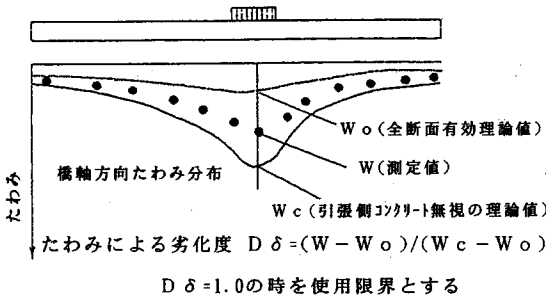


図-4 たわみによる劣化度の判定方法

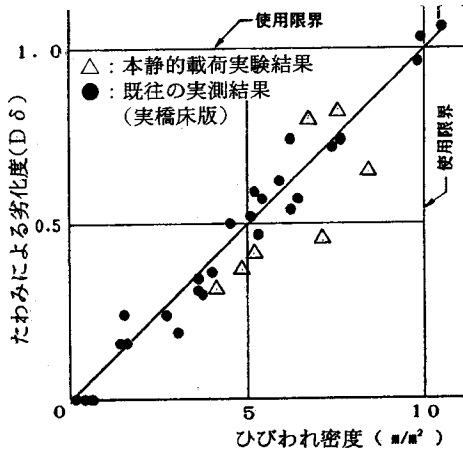


図-5 たわみによる劣化度とひびわれ密度

た⁹⁾。この方法は図-4に示すように、実測たわみと理論たわみから劣化度を計算するものである。

図-4に示した式を用いて、たわみによる劣化度 $D\delta$ を計算すると、前出表-8のとおり、0.31~0.82の範囲でばらついた。橋梁別にはC橋の劣化度が小さく、A橋のみ劣化度が0.8を超えており、損傷の著しい傾向が見受けられた。

既往の実橋床版の調査結果によると、たわみによる劣化度とひびわれ密度との間には良い相関が得られている⁹⁾。そこで本実橋床版のたわみによる劣化度とひびわれ密度の関係を図-5に示す。ばらつきは大きいが既往のデータ付近にプロットでき、たわみによる劣化度とひびわれ密度による劣化度の相関が見受けられた。

c) たわみ比とひびわれ密度の関係

床版では、ひびわれが進行するに従ってたわみ量も増加し、薄板理論の有効断面が欠損していくものと想定されるため、新たに、この剛性の変化を数値化したたわみ比との関係を調べた。

ここで言うたわみ比とは、静的載荷実験における第2サイクル目の実測たわみ量と、コンクリートの全断面

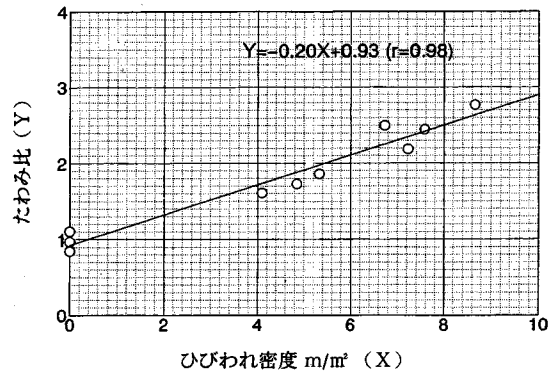


図-6 たわみ比とひびわれ密度

を有効と仮定して計算した直交異方性弾性薄板理論値との比をとったものであり、コンクリートの静弾性係数には実測値を用いた。

ひびわれのないモデル床版のたわみ比はほぼ1.0に近い値を示したが、本実橋床版のたわみ比は1.6~2.8と大きくなった。すなわち、ひびわれの発生によって床版剛性が約1/2~1/3に低下したと推定される結果が得られた。たわみ比とひびわれ密度の関係は図-6に示すように相関係数 $r = 0.98$ の良い相関が得られており、ひびわれ密度の大きい床版ほどたわみ比も大きくなることが明らかとなった。これにより、損傷度をたわみ比で評価することも維持管理の指標になると考えられる。

5. 疲労実験による残存寿命の推定

これまでに実施されてきた室内実験による研究から、ひびわれ損傷の主因は大型車による活荷重の移動繰返し作用によるせん断疲労であること、コンクリート構造物にも累積損傷理論である「マイナー則」の適用が可能であること、また、ひびわれ密度比と寿命比との相関性があること等⁹⁾が明らかにされてきている。

筆者の一人が提示している既往の実験床版のS-N曲線は、鉄筋量、床版厚、コンクリート強度等の影響を受けないように、図-7に示した縦軸を無次元化(作用荷重/静的耐力)し対数表示したものである^{1), 16)}。

実橋から採取した床版について輪荷重走行実験を行い、この図にプロットすることにより寿命低下度および残存寿命を明らかにすることにした。

(1) 輪荷重走行試験機による疲労実験

a) 供試体

A橋の床版は、スパン別損傷度がIであり、最も損傷が著しい(遊離石灰の浸出が多い)と判定されたもので

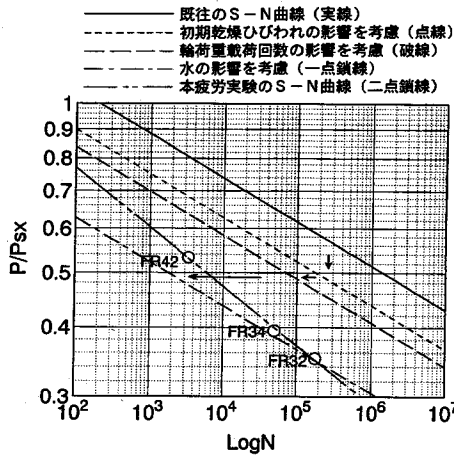


図-7 S-N関係

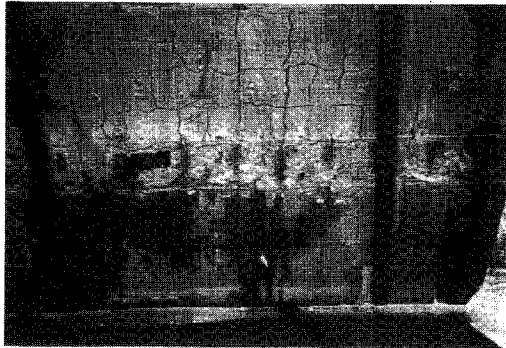


写真-1 床版下面のひびわれ発生状況

ある。このA橋から採取した床版供試体3体(約2.0m×3.0m)を使用して疲労実験を行った。

登坂車線部から採取した2体内、供試体FR42は伸縮装置部から約5mの位置から、供試体FR34は橋梁中央部の位置からそれぞれ採取した。両者ともひびわれ密度は6.5~7.8m/m²であり、写真-1に示すように、格子状のひびわれから遊離石灰が発生し、損傷状況は厳しいものであった。残り1体の供試体FR32は追越車線部の橋梁中央部の位置から採取したもので、ひびわれ密度は6.0m/m²であり損傷状況は標準的なものであった。これらの供試体の諸元は表-9のとおりである。

b) 疲労実験方法

輪荷重走行試験機の概要を図-8に示す。載荷面積は設計上の載荷面(50cm×20cm)の寸法を60%に縮小させ、30cm×12cmとした。

実験方法については、まず疲労試験開始前に載荷荷重までの静的載荷実験を行い、床版下面のひびわれ密

表-9 供試体の諸元

(単位: 鉄筋mm 有効高, かぶりcm)

供試体	寸法 cm	主鉄筋種	有効高	かぶり	主鉄筋径	有効高	かぶり	ひびわれ密度
FR42	200×320×19.8	D16	17.0	2.9	D16	15.4	3.3	6.54m/m ²
FR34	199×304×18.4	16	15.5	2.9	16	13.9	2.2	7.79
FR32	203×318×18.5	16	15.8	2.7	16	14.2	1.8	6.04

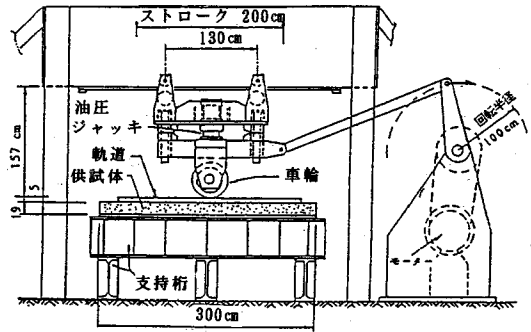


図-8 輪荷重走行試験機の概要

度を調べた。その後、疲労実験の途中においても、荷重を静止させて1~2サイクルの静的載荷実験を行い、床版のたわみおよび床版下面のひびわれ密度を調べた。走行載荷は供試体が疲労破壊するまでを行い、疲労破壊性状や疲労強度および破壊回数等を求めた。

載荷荷重を定めるに当たっては、大型車の最大輪荷重を約14tfと仮定し、これに衝撃係数を考慮すると約19tfとなることから、載荷板の大きさを考慮して最初の供試体(FR42)には、やや大きめな載荷荷重15tfを設定した。この結果、極端に短い回数で破壊することになり、他の供試体では10tf以下に載荷荷重を低減した。

c) 既往のS-N曲線

筆者の一人は多くのRC床版を用いて輪荷重走行試験機による疲労実験を行い、次式で表されるS-N曲線を提示している¹⁶⁾。

$$\log P/P_{sx} = -0.07835 \log N + \log 1.5196 \quad (1)$$

このS-N曲線の縦軸の値(荷重比 P/P_{sx})は、断面諸元とせん断耐荷力の計算から求められ、 P_{sx} は次式に示すように、輪荷重に対する橋軸方向の有効幅をもつはりのせん断耐荷力である¹⁷⁾。これは床版の疲労が進行すると、橋軸直角方向の貫通ひびわれが顕著に拡大し、床版がはり状化することを考慮したものである。本疲労実験結果においても、この P_{sx} を用いて整理することとした。

$$P_{sx} = 2 \cdot \tau_{smax} \cdot X_m \cdot B + 2 \cdot \sigma_{tmax} \cdot C_m \cdot B$$

P_{sx} : 幅 B をもつ主鉄筋断面のせん断耐荷力

τ_{smax} : コンクリートの最大せん断応力度

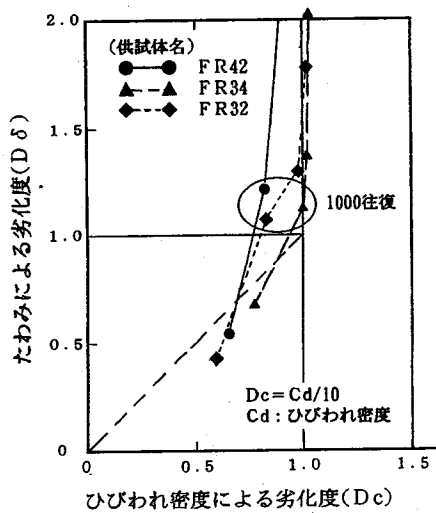


図-9 たわみによる劣化度とひびわれ密度の変化

- $\tau_{smax} = 0.252 \cdot \sigma_{ck} - 0.000246 \cdot \sigma_{ck}^2$
 X_m : 引張側コンクリートを無視した場合の主鉄筋断面の圧縮側コンクリート表面から中立軸までの距離で、通常の複鉄筋断面の弾性時の計算方法によって求める。
 σ_{ck} : コンクリートの実測強度
 $B = b + 2 \cdot D_d$
 b : 載荷板の配力鉄筋方向の辺長
 D_d : 配力鉄筋の有効高さ
 σ_{tmax} : コンクリートの最大引張応力度
 $\sigma_{tmax} = 0.583 \cdot \sigma_{ck}^{2/3}$
 C_m : 主鉄筋のかぶり厚

d) 疲労実験結果と残存寿命

疲労実験の途中で測定したひびわれ密度とたわみから、ひびわれ密度とたわみによる劣化度の変化状況を求め図-9に示す。

供試体の実験前のひびわれ密度は $6.0 \sim 7.8 \text{ m}^2/\text{m}^2$ であったのが、1000 往復では $8.3 \sim 9.0 \text{ m}^2/\text{m}^2$ と急激に増加したように見受けられるが、これは当初から発生していたものが発見出来なかったと推定され、その後の最終ひびわれ密度は $9.1 \sim 10.5 \text{ m}^2/\text{m}^2$ で停留した。

前出図-5の既往の実験床版のひびわれ密度とたわみによる劣化度との関係は、ひびわれ密度が $10 \text{ m}^2/\text{m}^2$ までは、たわみによる劣化度は1.0以下の線形関係を保持し、その後のひびわれ密度は停留し、たわみによる劣化度のみが増加する傾向を示している⁹⁾。しかし、図-9に示した本実橋床版の供試体ではひびわれ密度が $7.5 \sim 9.0 \text{ m}^2/\text{m}^2$ で、たわみによる劣化度は1.0を超過した。こ

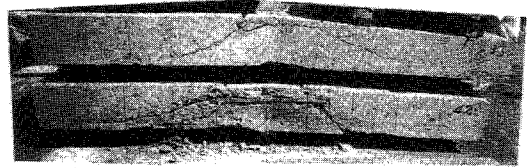


写真-2 押抜きせん断ひびわれ(主鉄筋断面)

表-10 疲労実験結果

供試体	載荷荷重 P	破壊回数 N	最終ひびわれ密度	せん断耐荷力 P _{sx}	荷重比 P/P _{sx}	*Nf	N/Nf
FR42	15t	3400	9.13m ² /m ²	28.15t	0.533	6.4×10 ⁵	0.0053
FR34	10	50400	10.50	25.33	0.395	2.9×10 ⁷	0.0017
FR32	9	178400	10.25	25.58	0.352	1.3×10 ⁸	0.0014

* (Nf: 既往のS-N曲線から算出した計算値, P_{sx}: 主鉄筋断面のせん断耐荷力)

の原因は長期間の荷重の繰返し作用によるひびわれ面の損傷によるせん断耐荷力の低下にあると推測される。

なお、写真-2に示すように疲労実験によるせん断ひびわれ状況は、静的載荷実験結果と同様な斜めひびわれ性状を示していた。

疲労実験で得られた破壊回数と載荷荷重との関係を前出図-7にプロット(○印)し、既往のS-N曲線(実線)と比較した。3供試体の疲労実験からS-N曲線を推定すると次式で表される。

$$\log(P/P_{sx}) = -0.1058 \log N + \log 1.255 \quad (2)$$

既往のS-N曲線に対して、やや傾きの異なる直線が得られた。疲労実験によるS-N曲線からも明らかのように、A橋は既往の実験床版のS-N曲線から水平方向の移動分だけ、これまでの23年間の供用によって激しく劣化が進行していることが認められた。

このような疲労実験結果をまとめたのが表-10である。既往のS-N曲線より求めた同荷重による繰返し回数(Nf)に対する本疲労実験結果の破壊回数(N)の比(N/Nf)は、3供試体の平均値が0.0028である。実験での載荷面積(30cm×12cm)と実橋での載荷面積(50cm×20cm)の違いによるせん断力比(1.284)の補正を行い¹⁸⁾、これまで23年間の供用を考慮し、式(1)にこれらの結果を代入して残存寿命(n)を求めると、

$$0.0028 \times 23 / (1 - 0.0028) \times 1.284^{1/0.07835} = 1.57 \text{ 年}$$

が得られる。このことから本実橋床版の残存寿命はほとんどなかったことが推定された。ひびわれ密度やたわみによる劣化度等からはまだ使用限界内であったが、上記のように残存寿命が非常に短かったのは、実橋には貫通ひびわれが多く、かつ、実交通荷重下でのすりみがき作用等によりひびわれ面の劣化が進行していたためと推定される。また、実橋では主桁が床版の乾

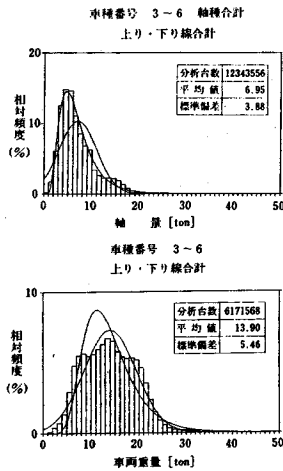


図-10 頻度分布図

1990年における日本平の日交通量の結果に基づく上下線比率を乗ずる。
 上下線別に修正大型混入率を乗じ車種別に分ける。
 各年毎の業務統計資料を1990年日本平日交通量データで除する。
 1990年軸荷重データへ台数比率をそれぞれ乗ずる。
 軸荷重別(1tきざみ)に整理する。(最大24t)

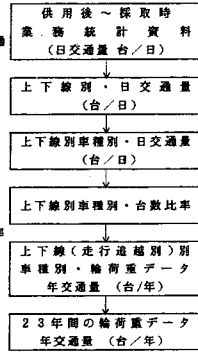


図-11 軸荷重データ推定方法

表-11 等価繰返し回数

供試体	載荷荷重 (tf)	P/P _{stx}	疲労試験の繰返し回数(Nf)	供用による等価繰返し回数(Neq)
FR42	15.0	0.533	3.4 × 10 ³	1.69 × 10 ⁴
FR34	10.0	0.395	5.04 × 10 ⁴	2.99 × 10 ⁶

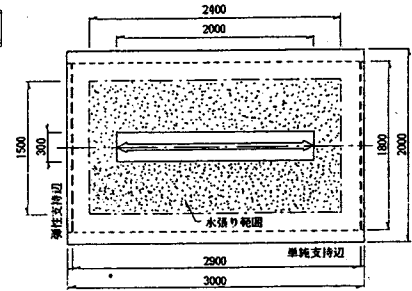


図-12 供試体の諸元

供試体	床版厚 (cm)	鉄筋の配置 (mm)	σ_{ck} (kgf/cm ²)	静的耐力 (tf)	載荷荷重 (tf)
W-1	18	主下 D16@100, 上 D16@200	551	73.9	14.31
W-2		配下 D16@125, 上 D16@250	540	72.6	17.25

乾燥収縮を拘束することにより、床版に初期ひびわれが発生しやすくなっており、これが貫通ひびわれへの進展等によって劣化を促進させていると考えられる。

(2) 実橋床版の疲労強度低下の原因推定

実橋床版の疲労強度の低下を大きくした要因としては、初期乾燥ひびわれ、雨水等の浸入および実交通荷重による繰返し載荷の影響が考えられることから、ここではこれらのパラメータを用いてS-N曲線低下の原因と低下量を同定することを試みた。

a) 初期乾燥ひびわれの影響

鋼桁橋では、主桁による拘束や乾燥収縮の影響により、床版に初期乾燥ひびわれが発生することが考えられる。特に本実橋床版は、必ずしも良好とは言えない条件で施工されていたものもあるため、初期乾燥ひびわれの影響を考慮し、S-N曲線の補正を試みた。しかし、主桁に拘束され、さらに車両の繰返し荷重を受けていない実橋床版を採取し、疲労実験を行うことは難しい。ここでは、床版のコンクリートが乾燥しやすいように、屋外の鋼桁上(高さ1.5m)で床版を製作し、粗雑な養生を行って貫通ひびわれを発生させ、静的載荷実験を行った。結果的に橋軸直角方向に2本の貫通ひびわれが発生し、下面でのひびわれ密度は4.5m/m²にも達した。

静的載荷実験の結果、押抜きせん断耐力は40tfであった¹⁹⁾。一方、理論式(松井式)を用いて計算した押抜きせん断耐力は47tfとなった。このことから、主桁の拘束や乾燥収縮によるひびわれ損傷の影響により、床版の耐力は15%程度低下したことが明らかになった。

このように、床版施工時に初期ひびわれが発生することによって静的耐力が低下するため、縦軸についても15%静的耐力が減少したと仮定し、S-N曲線の補正を行った。縦軸を補正してプロット(点線)すると、前出図-7のように、既往のS-N曲線に対し下方に位置する結果となった。

b) 実交通下の軸荷重載荷回数の影響

実橋床版の寿命を失わせるものに、実交通荷重の繰返し載荷の影響もある。よって、これまで23年間の供用中の疲労損傷度を算出した。筆者の一人は、東名高速道路の日本平付近に設置されている本線軸重計の記録を用いて、図-10に示すように、各車線(走行、追越、上り、下り線)毎に、それぞれ車種別(小型、中型、大型車、トレーラー類)および軸種別(シングル、タンデム、トリプル)の車重頻度分布図および軸重頻度分布図を求めている。また、この頻度分布は毎年変化しない傾向も明らかにしている²⁰⁾。東名高速道路(東京~三ヶ日間)の1990年の年平均断面交通量は約73,000台/日であり、大型車混入率は約40%である。なお、供用時の交通量は約23,000台/日であった。

これらの資料を引用して、車線別車種別の大型車交通量と軸荷重頻度分布を求め、図-11に示す東名高速道

路の供用時から床版採取時までの23年間に床版に作用した輪荷重の載荷回数の累計を推計し予測した^{14),21)}。そして、大井松田～御殿場間のA橋から採取した床版2体(FR42,FR34)について供用時から採取時までの累計交通荷重を求め、実験載荷重に換算した等価繰返し回数を表-11のように求めた。

この結果を用いて、前出図-7に示した既往のS-N曲線に対する横軸の補正を試みた。その結果、図-7に示すように、初期乾燥ひびわれの影響を考慮したS-N曲線(点線)から23年間の実交通荷重による等価繰返し回数(2体)の平均値を差引いたS-N曲線(破線)となった。しかし、補正後のS-N曲線(破線)は本疲労実験結果のプロット点からまだ隔たりが残った。その原因として、水の影響以外にも輪荷重の通行位置とその範囲、タイヤの接地圧分布の形状、輪荷重による衝撃等、多くの影響が含まれているものと推定される。ここではその影響の程度を評価するのは非常に困難であるため、これらの影響は考慮しないこととした。

c) 水の影響

床版上面の舗装等に滞水した雨水は、床版の疲労寿命を著しく短縮させることが知られている。床版を採取した橋梁は、降水量や湿気の多い地域に位置していたことから、水の影響も大きいと考えられ、この影響による疲労寿命の補正を試みた。

筆者の一人は、図-12に示すように配力鉄筋比が約75%の実橋とほぼ同じ断面諸元の床版を用いて、水張り床版2体の疲労実験を行い、乾燥状態の供試体のS-N曲線と比較することにより寿命の減少率を求めた。その結果、床版上面に水を張った疲労実験では寿命が乾燥状態に比べ約1/40に低下した²²⁾。前述したa)およびb)の影響に、この結果を加えて補正すると、前出図-7(一点鎖線)に示したように、実橋床版の疲労実験で得られた結果(二点鎖線)とほぼ一致する結果となった。

以上から、大まかな補正ではあるが、本実橋床版の残存寿命は、既往の実験床版の寿命から乾燥収縮の影響、実交通荷重による累積疲労損傷および水の影響を差引いたものとほぼ一致することとなった。

6. 実橋床版の損傷の総合評価

東名高速道路のRC床版は、制約の多い施工条件で建設され、供用開始後は厳しい自然環境と重交通下に置かれ、著しい損傷を受けてきた。このような実橋床版の損傷を総合的に評価するため、これまで23年間供用され、経年劣化を受けたRC床版について各種調査・実験を行った。得られた結果および考察のまとめを以下に述べる。

(1) 実橋から採取した床版は、日本道路公団の維持修繕

要領によると、遊離石灰をとまなう貫通ひびわれが発生し、極めて損傷が著しいと判定されたものであったが、コンクリートの力学的・化学的特性からは特に著しい劣化を示すような結果は見当たらなかった。

(2) 新規製作床版の静的載荷実験による押抜きせん断耐荷力の実測値は、前田・松井の提案式による計算値とよく一致(実測値/計算値=1.01)した。これにより、計算値から実橋床版の押抜きせん断耐荷力の推定が可能と考えられ、23年間供用された本実橋床版の静的耐荷力は、約2~3割低下していると言える。

(3) 実橋床版では、床版下面のひびわれ密度が大きいが、残存耐荷力(押抜きせん断耐荷力)が低下する。また、たわみ比とひびわれ密度比にも相関が見られたことから、実橋床版の劣化度はたわみやひびわれ密度を用いて評価することができる。

(4) 本実橋床版の疲労実験で得られたS-N曲線は、既往の実験床版のS-N曲線に比べてはるかに下方に位置し、やや傾きの異なる曲線となった。また、残存寿命もほとんどないという結果が得られた。その理由は、実橋床版ではコンクリートの乾燥収縮を主桁が拘束することによって主鉄筋方向に貫通ひびわれが多く発生し、この部位より浸入した雨水と実交通荷重等の影響により、ひびわれ面の劣化が進行したためと考えられる。

(5) 既往の実験床版のS-N曲線を基準にして、初期乾燥ひびわれの影響、実交通下での輪荷重載荷回数の影響および水の影響を考慮して補正を試みた。その結果、本実橋床版の疲労実験で得られたS-N曲線にほぼ近づいた。すなわち、初期乾燥ひびわれにより約15%静的耐荷力が減少、輪荷重載荷回数の影響により寿命が約1/2に低下、さらに水の影響により寿命が約1/40に低下したと考えられる。このことから、実橋床版の疲労寿命を縮める要因としては、貫通ひびわれ、水および実交通荷重の影響が特に大きいと言える。

(6) 日本道路公団の維持修繕要領による判定基準では、貫通ひびわれ部の遊離石灰の浸出状況をもとに床版の損傷度を評価している。今回もこの基準に基づいて打替えと判定した床版の残存寿命は、疲労実験の結果わずか1.5年程度となり、適切な判定結果であったと評価できる。最終的に、日本道路公団のRC床版に関する損傷度判定基準は、ほぼ妥当な評価基準を与えていることが再確認できたと言える。

7. あとがき

今回の一連の調査・実験により、東名高速道路で供用されてきたRC床版の様々な損傷実態や力学的特性を明らかにすることができた。しかしながら、より正確で簡便な床版劣化度の評価手法および実橋床版の残存

寿命を予測するには、さらなる疲労実験データの蓄積と劣化要因のより正確な影響評価が必要と考える。最後に、本研究に当たっては横浜国立大学池田尚治教授を委員長とする「鋼橋改良検討委員会」のご指導を賜わり、山梨大学楢井勇教授をはじめとした委員の方々には深謝の意を表します。

参考文献

- 1) 土木学会関西支部：「既存橋梁の耐荷力と耐久性」，1985.7.
- 2) 日本道路公団：東名高速道路建設史，1970.3.
- 3) 日本気象協会：静岡周辺道路気象調査報告書，1991.3.
- 4) 日本道路公団東京第一管理局：雪氷関連資料，1992.3.
- 5) 日本道路公団試験所：道路橋鉄筋コンクリート床版の損傷機構に基づく健全度判定と補修工法の選択，試験所技術資料，第413号，1985.3.
- 6) 日本道路公団東京第一管理局：平成2～4年度 東名高速道路 橋梁の維持補修に関する検討報告書，1991～1993.
- 7) 日本道路公団：維持修繕要領，橋梁編，1988.5.
- 8) 日本道路公団東京第一管理局：平成5年度 東名高速道路一般有料道路点検管理委託業務報告書，1993.3.
- 9) 松井，前田：道路橋 RC 床版の劣化度判定法の一提案，土木学会論文集，第374号，pp.419～426，1986.10.
- 10) 岸谷：鉄筋コンクリートの耐久性，鹿島建設技術研究所出版部，1963.
- 11) (社)日本コンクリート工学協会：コンクリート構造物の電気防食法研究委員会報告書，1994.10.
- 12) 宮川：補修，用途広がる補修・補強材料，土木学会誌，Vol.70, No.11, pp.43～47, 1985.11.
- 13) 道路管理技術研究会：鋼橋コンクリート床版における非破壊検査(東名)報告書，1992.6.
- 14) 石井：疲労寿命を考慮した鋼橋 RC 床版の設計法と維持管理に関する研究，東京都立大学博士論文，1994.1.
- 15) 前田，松井：鉄筋コンクリート床版の押抜きせん断耐荷力の評価式，土木学会論文集，第348号，pp.133～141，1984.8.
- 16) 松井：道路橋 RC 床版の疲労設計法試案，平成元年度科学研究費補助金研究成果報告書，1990.3.
- 17) 松井：移動荷重を受ける道路橋 RC 床版の疲労強度と水の影響について，第9回 コンクリート工学年次論文報告集，pp.627～632，1987.9.
- 18) 松井：橋梁の寿命予測，安全工学，Vol.30, No.6, 1991.
- 19) 飯東，木曾，金成，庄中：損傷床版の各種補強工法に関する試験，第47回 年次学術講演会講演概要集 第1部，pp.1194～1195，1992.9.
- 20) 石井，篠原：東名高速道路の交通荷重測定と荷重特性について，土木学会論文集，第453号，pp.163～170，1992.9.
- 21) 日本道路公団東京第一管理局：東名高速道路鋼橋 RC 床版の疲労設計法の検討報告書，1992.3.
- 22) 松井：床版損傷に対する水の振舞い，第43回 年次学術講演会講演概要集 第1部，pp.6～7，1988.10.

(1995. 6. 27 受付)

FUNDAMENTAL STUDY ON DAMAGE AND REMAINING FATIGUE LIFE OF RC SLABS USED FOR 23 YEARS AND THEIR MAINTENANCE

Takao ISHII, Izumi TANIKURA, Tsukasa SHOUNAKA,
Hiroshi KUNIHARA and Shigeyuki MATSUI

RC deck slabs were cut out from highway bridges as the specimens, and various investigations and tests were conducted to clarify the conditions of construction, actual state of damages and remaining fatigue life of those slabs. The following results were obtained. ① The state of damages can be rated by parameters such as crack density, deflection and static loading capacity of the slab. ② The actual bridge deck slabs have 20 to 30 percent less static loading capacity compared to newly constructed slab specimens. ③ Remaining fatigue life of the actual bridge deck slabs is shorter than the estimated life from the existing S-N curves. Finally, correction of the S-N curve for the actual slab was proposed considering equivalent repeated numbers, the effect of drying shrinkage and the effect of water. ④ The present rating criteria for damaged RC slabs by JH was proved to be reasonable through those experiments.