

I-507 増設桁工法による補修床版の疲労耐久性について

大阪大学工学部 正員 松井繁之
J R 西日本 正員 ○木村元哉

1. はじめに 道路橋、なかでも床版は、その建設時の予測をこえるような過酷な自動車荷重を受けて、そのままでは疲労劣化が進展することが自明となっている。そこで、種々の補修・補強が加えられてきた。これまでに開発されてきた主な補強工法の一つに増設桁工法がある。しかし、既往の研究により床版の疲労破壊性状はせん断破壊であること明らかとなっている。床版支間を変化させた3種の床版について輪荷重走行試験法による疲労実験を行った結果、床版支間の短い方が疲労強度が低くなる、という報告もした¹⁾。また、実際に本工法を施した実橋床版においても、再び押抜きせん断破壊が生じている事例もある。そこで、本工法の疲労に対する効果を再確認することにした。そこでA~D橋の4実橋について、桁増設前後の疲労寿命を解析的に計算し、本工法の効果の定量的評価を試みた。

2. 疲労寿命評価方法 輪荷重走行試験法による既往の疲労実験により、RC床版のS-N曲線が得られておりこれをもとに、実橋床版の疲労寿命を算定する。

既往の研究により、床版の疲労に関してもマイナーの線形疲労被害則が適用できることが分かっており、ある着目点に作用する全荷重による等価繰り返し回数は、ある基本せん断力 Q_0 に換算して次式で表される。 C_1 および C_2 はそれぞれ実橋における通行位置のばらつきと自動車荷重のばらつきを考慮するための補正係数である。この $N_{e,q}$ と、実験により求められる疲労寿命 N_f との比が疲労寿命 Y (年)として求められる。

表-1 対象橋梁の主要諸元

橋梁	形式	橋長 (m)	桁間 (cm)	床版厚 (cm)	有効高さ (cm)	主鉄筋かぶり (cm)	床版コンクリート強度 (kg/cm ²)	主鉄筋 (mm)	配鉄筋 (mm)
A橋	鋼3径間連続	129.0	3.1 (1.55)	16.5	13.5	3.5(引張側)	213	D16-90(引張側)	D13-238(引張側)
	3.2(圧縮側)					D16-180(圧縮側)		D13-263(圧縮側)	
B橋	鋼3径間連続	77.0	2.8 (1.4)	15.8	13.0	3.0(引張側)	329	D16-100(引張側)	D13-250(引張側)
	3.6(圧縮側)					D16-200(圧縮側)		D13-500(圧縮側)	
C橋	連続	170.9	2.65 (1.325)	17.5	12.2	3.8(引張側)	363	D16-100(引張側)	D13-230(引張側)
	非合成桁橋					4.9(圧縮側)		D16-200(圧縮側)	D13-240(圧縮側)
D橋	鋼単純	295.6	2.7 (1.35)	18.6	14.7	3.3(引張側)	441	D16-100(引張側)	D13-245(引張側)
	合成桁橋					2.5(圧縮側)		D16-200(圧縮側)	D13-243(圧縮側)

$C_1 C_2$ の式

$$N_{e,q} = C_1 \cdot C_2 \cdot N_f \quad (1)$$

$$C_1 = \int_{\alpha}^{\beta} \left(\frac{Q_x}{Q_0} \right)^m \cdot p(x) dx = \int_{\alpha}^{\beta} \eta^m \cdot p(x) dx \quad (2)$$

$$C_2 = \int_0^{P_{max}} \left(\frac{P}{P_0} \right)^m \cdot f(p) dp \quad (3)$$

- η : せん断力の影響値
- m : S-N曲線の傾きの絶対値の逆数 ($m=12.76$)
- α, β : 通行の限界位置
- $p(x)$: 通行位置に関する確率密度関数
- P_{max} : 載荷荷重の最大値
- P_0 : 基本輪荷重
- $f(p)$: 荷重に関する確率密度関数
- N_f : 年間の交通量

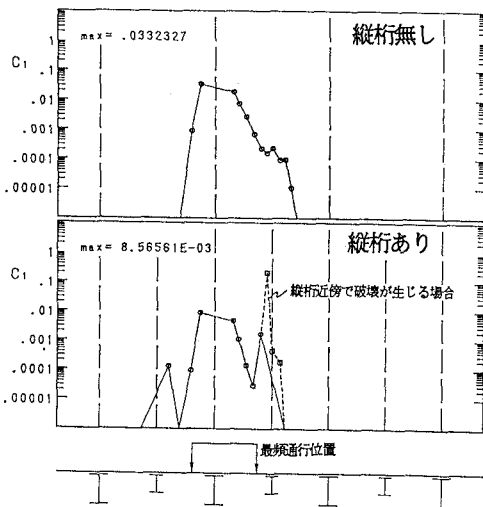


図-1 C_1 算定例(A橋, 走行車線)

3. 通行位置補正係数 C_1 今回用いた4橋梁はすべて2車線を有しており、主要諸元を表-1に示す。通行位置補正係数 C_1 の計算に用いる確率密度関数 $p(x)$ は正規分布とし、標準偏差は $\sigma=0.065a$ (a :車線幅)²⁾、最頻通行位置は現地調査結果を用いた。 η は各橋梁とも支間中央の橋軸直角断面全幅にわたり57点の着目点を選定し、それぞれF. E. M. 解析により求めた。これらの結果から、 C_1 を算出した。一例を図-1に示す。なお、増設桁30cm以内では車輪のエッジから約45°方向に入るせん断ひびわれの下端が増設桁により拘束されることからこの範囲では破壊が起こらないものとして計算した。また、増設桁の接着不良などから、この範囲で破壊が生じる場合を考慮して計算した結果も参考として図中に示した。さらに、 C_1 の値が最大となる着目点を疲労に関して最も危険となる箇所として選定して以下の計算に用いた。この結果を表-2に示す。

表-2 C_1 の算定結果

橋梁	縦桁	車線	C_1 が最大となる位置	C_1 最大値
A橋	有	走行	G2桁左50cm	0.00857
		追越	G3G4間縦桁右30cm	0.01072
A橋	無	走行	G2桁左50cm	0.03323
		追越	G3桁右50cm	0.00988
B橋	有	走行	G2G3間縦桁左30cm	0.00138
		追越	G4桁左50cm	0.00102
B橋	無	走行	G2桁左70cm	0.00483
		追越	G4桁左50cm	0.00635
C橋	有	走行	G2桁右50cm	0.00221
		追越	G3G4間縦桁右30cm	0.00123
C橋	無	走行	G2桁右50cm	0.01433
		追越	G4桁左50cm	0.00284
D橋	有	走行	G2桁右50cm	0.00387
		追越	G3G4間縦桁右30cm	0.00152
D橋	無	走行	G2桁右50cm	0.01597
		追越	G4桁左50cm	0.00737

4. 荷重補正係数 C_2 松井らは近畿管内の橋梁で自動車荷重の実測を行っており、車種別軸重分布の平均値、標準偏差、およびそれによく適合する分布関数が得られている³⁾。荷重に関する確率密度関数 $f(p)$ についてはこのデータを用いることとする。これを用いた C_2 の算定結果を表-3に示す。

表-3 C_2 の算定結果

車種	C_2	混入率 a_1	$C_2 \times a_1$
2軸車	0.022237	0.6239	0.01340
後クデーA3軸車	0.12981	0.2512	0.03261
前クデーA3軸車	0.20301	0.0857	0.01740
セミトレー型4軸車	8.06505	0.0153	0.12346
タンクロー型4軸車	0.17744	0.0287	0.00510
フルトレー型5軸車	0.042621	0.0116	0.00050
フルトレー型6軸車	0.014470	0.0051	0.00007
C_2			0.19245

5. 疲労寿命算定結果 実験より得られているS-N曲線を次式で示す⁴⁾。

$$\log(P/P_{sx}) = -0.07835 \cdot \log N + \log 1.51965 \quad (4)$$

これにより各橋梁の疲労寿命回数 N_f を求めて、日交通量を1レーンあたり3万台、大型車混入率40%として、疲労寿命 Y (年) を計算すると各橋梁の桁増設前後の疲労寿命は表-4に示すようになった。

6. まとめ 増設桁工法を施すことにより、増設前に最も危険であった部位では疲労寿命がおよそ1オーダー伸びることが分かった。しかし、A橋とB橋では施工後の疲労寿命は110~160年で、増設桁付近では大きなせん断力が発生し、その部位が最も危険になることが分かった。計算結果の寿命は非常に大きいものであるが、舗装に浸透した水が床版のひびわれに入ると、この寿命は極端に短くなることに注目する必要がある。以上から、縦桁増設を行うと、既存の主桁付近の疲労寿命は伸びるが、逆に増設桁付近が危険になる可能性があり、単純に縦桁を床版支間の1/2点にいれるという設計は見直す必要があるといえる。さらに、図-1に示したように、増設桁に接着不良などが生じた場合、桁30cm以内で疲労強度が極端に低下することが考えられる。

表-4 疲労寿命の算定結果

橋梁	縦桁	車線	N_f (回)	疲労寿命 Y (年)
A橋	有	走行	1.2712×10 ⁷	180
		追越		130
A橋	無	走行	1.2712×10 ⁷	42
		追越		140
B橋	有	走行	2.3747×10 ⁶	110
		追越		150
B橋	無	走行	2.3747×10 ⁶	31
		追越		24
C橋	有	走行	2.1391×10 ⁷	490
		追越		890
C橋	無	走行	2.1391×10 ⁷	77
		追越		380
D橋	有	走行	4.4819×10 ⁷	1780
		追越		4550
D橋	無	走行	4.4819×10 ⁷	430
		追越		930

《参考文献》

- 1) 松井ら: 疲労強度に与える床版支間の影響の実験的評価, 平成2年度土木学会関西支部学術講演概要集 I-4
- 2) 田井戸米好: 交通荷重の現状, 鉄筋コンクリート床版の損傷と疲労設計へのアプローチ, 土木学会関西支部鉄筋コンクリート床版疲労設計委員会報告, 昭和52年7月
- 3) 合田研吾ら: 自動車荷重特性と設計活荷重, 第47回年次学術講演会講演概要集, 1992-9
- 4) 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講演会論文集