

大阪大学工学部 フェロー 松井繁之 大阪大学工学部 学生員 ○ 桐川 潔
株式会社 春本鐵工 正員 江頭慶三

1. はじめに

少数主桁橋の鉄筋コンクリート床版（以下、RC床版とする）の支間は、道路橋示方書（以下、道示）の規定範囲(4m)を超えることが予想され、その設計法の確立が急がれる。そこで、筆者らはこれまでに長支間床版に対応した活荷重設計曲げモーメント式を提案してきた¹⁾。これらの式は、道示の設計思想を改良・拡張してきたものである。整数台の自動車載荷・ひびわれによる直交異方性を考慮し、許容応力度法を適用して最小床版厚を決定した。道示の規定支間範囲では、床版の疲労破壊はコンクリートのせん断破壊が先行すると考えられるが、支間長が増大すると床版厚が増加し、せん断耐力が向上し、疲労破壊はコンクリートのせん断破壊から鉄筋の疲労破壊に移行すると考えられる。よって、正確にはこれら2種の疲労減少を考慮した疲労設計から最小床版厚を決定すべきだと考え、床版支間2m~6mの範囲内で試設計を行った。

2. 既往の設計手法による床版の基準設計

筆者らがこれまでに提案した曲げモーメント式により、2m~6mの床版支間長に関して基準の床版断面を決定し、表-1に示す。提案式は床版コンクリートのひびわれに伴う直交異方性が考慮されている。なお、参考値として現行の道示の床版厚規定値を()内に付加えた。

3. 押し抜きせん断疲労破壊に抵抗する床版厚

3.1. S-N曲線 これまでに、移動輪荷重走行試験機を用いた床版の疲労実験によりコンクリートのせん断破壊に対するS-N曲線が求められている²⁾。今回はこの式を輪荷重の載荷縁に発生するせん断力に対する式に置き換えた。(1)式にこれを示す。

$$\log(Q/P_{sx}) = -0.07835 \log N + \log 0.4554 \quad (1)$$

ここに、 Q :コンクリートのひびわれが進展し、床版支間方向にはり状化したときのはり幅 B に分布する載荷縁の橋軸直角方向せん断力 (tf) (図-1にその位置を示す)、 P_{sx} : B の幅のよりのせん断耐力 (tf)、 N :活荷重走行回数。

3.2. せん断疲労から求められる最低床版厚 床版のせん断疲労破壊はマイナー則が適用できることが実験で確かめられており²⁾、今回の検討を行うにあたり、輪荷重実測値を軸重(輪荷重 $\cdot 10$ tf)に換算して等価繰り返し回数を算出した。その結果を表-2に示す。RC床版の疲労寿命としては100年程度を考えるが、押し抜きせん断疲労破壊に対しては、コンクリート自身の不均質性や、水の侵入によって、疲労耐久性が著しく損なわれるので、その5倍程度を考えた。この回数に対してS-N曲線を用いて疲労破壊しない床版厚を計算する。せん断力 Q の算出は有限要素法を用い、各支間長ごとに疲労照査用軸重を載荷して求めた。この載荷は橋軸直角方向には1台とし、その隣には1/2を載荷し、図-1の着目点に最大のせん断力が発生するように配置するものである。これは同時に2台の設計軸重が載荷され

表-1 床版設計断面(単純版)

		()道示規定による床版厚				
支間長 b (m)		2	3	4	5	6
床版厚 t (cm)		21 (24)	23 (29)	25 (34)	28 (39)	34 (44)
主鉄筋	pitch (mm)	D19@115	D22@130	D22@110	D22@100	D22@100
	σ_s	1353	1373	1366	1374	1385
	σ_c	72	75	76	74	65
	M_y	4.79×10^5	6.50×10^5	8.47×10^5	1.08×10^6	1.39×10^6
配力鉄筋	pitch (mm)	D16@135	D16@115	D16@105	D16@100	D16@115
	σ_s	1368	1369	1381	1340	1367
	σ_c	63	64	62	56	46
	M_x	2.63×10^5	3.44×10^5	4.25×10^5	5.05×10^5	5.84×10^5

σ_s :鉄筋の曲げ引張応力度 (kgf/cm²) , σ_c :コンクリートの曲げ圧縮応力度
 M_y :主鉄筋断面の曲げモーメント (tf・m/m) , M_x :配力鉄筋断面の曲げモーメント
 提案式 $M_y = (0.09b + 0.14) \times 10^6 (1+i)$, $M_x = (0.06b + 0.07) \times 10^6 (1+i)$

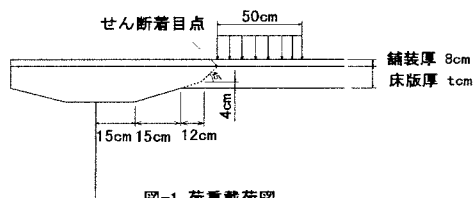


図-1 荷重載荷図

表-2 10tfでの等価繰り返し回数

大型車交通量	等価繰り返し回数	
	100年間	500年間
1000台/日以下	4.29×10^6	5.31×10^7
2000台/日以上	3.32×10^7	4.74×10^8

表-3 せん断疲労破壊の検討結果

大型車	支間長(m)	2	3	4	5	6
1000台/日以下	床版厚(cm)	18	20	21	22	23
	疲労破壊回数($\times 10^5$)	5.91	6.05	8.30	8.92	8.20
	Q (tf)	3.50	4.19	4.57	4.97	5.34
2000台/日以上	床版厚(cm)	22	24	25	26	27
	疲労破壊回数($\times 10^5$)	7.51	5.11	6.29	6.30	5.48
	Q (tf)	3.79	4.60	5.01	5.44	5.81

Q :輪荷重載荷縁におけるせん断力

る確率は非常に低いと考えたからである。また、解析モデルは床版の直交異方性を考慮し、主鉄筋断面と配力鉄筋断面の剛性の比は0.45とした。

表-3にせん断疲労の検討結果を示す。大型車の多い路線の橋梁では床版支間が短いと、曲げモーメントにより設計した床版厚では不足することになる。逆に支間長が長くなると薄くでき、十分なせん断耐力を有していることが解る。

4. 鉄筋の疲労の検討

4.1. S-N曲線 コンクリート中の鉄筋疲労のS-N曲線は次式を使用した。

$$\log \sigma_{max} = 2.037 - 0.1450 \log N \quad (2)$$

ここに、 σ_{max} :活荷重による鉄筋の曲げ引張応力度(kgf/cm²)、この式は文献3)のS-N曲線において、疲労破壊に対する信頼性95%とした式である。

4.2. 鉄筋の疲労から求められる最低床版厚 鉄筋の疲労寿命は床版にあわせて100年とした。したがって表-2の結果を使用して疲労の検討を行う。鉄筋の曲げ応力度を算出するための活荷重設計曲げモーメントはせん断力の算出の時と同様に行った。ただし、活荷重は支間中央に最大曲げモーメントが生じるように載荷位置をずらしている。

表-4に検討結果を示す。鉄筋の疲労破壊に着目すると、床版支間長に関わらず、曲げモーメントによる応力度で設計した床版厚に等しいか、薄くできる結果となった。したがって鉄筋の疲労破壊は現状の設計法では起こり得ないことが判明した。

5. 疲労耐久性を考慮した床版厚

コンクリートのせん断破壊と鉄筋の疲労破壊から決定される床版厚の比較を行い、厚い方が疲労耐久性を満足する床版厚となる。床版厚が疲労照査によって薄くできる場合、その床版厚で再度設計曲げモーメントに対して応力照査を行うと、許容応力度を超えることが予想される。鉄筋については過去の損傷事例から許容応力度を低めに設定した経緯があるが、疲労耐久性の検討を行うなら、 $\sigma_{sa}=1800\text{kgf/cm}^2$ まで引き上げても問題ないと考えられる。この考えに基づき、設計応力度も満足するよう配慮を加えた。その結果コンクリートの圧縮応力度が床版厚を決定する際に支配的となった。そこで、図-6に示すように、コンクリートの設計基準強度 $\sigma_{ck}=240\text{kgf/cm}^2$ と 300kgf/cm^2 の2ケースについて計算を行い、床版厚を算出した。この結果から、床版厚をより薄く設計するには高強度のコンクリートを使用すれば可能という結果が得られた。

6. あとがき

長支間床版では経済性、耐久性を考慮してプレストレスを導入することが一般的であるが、フルプレストレスでなく、その導入量を少なくすることが、経済性や施工性の面から求められている。したがって、RC構造の検討も基礎的な資料として生かされると考えられる。今回の検討は単純版に限定し、疲労耐久性を満足する最適床版厚を提案したが、今後は連続版についても検討を予定している。

[参考文献] 1)Matsui・Egashira: Study on Design Bending Moments for Various Concrete Floor Slabs on Highway Bridges, Osaka University Technical Report Vol.47, No.1,1997 (印刷中), 2)松井繁之: 橋梁の寿命予測, 安全工学Vol.30, No6, 1991, 3)藤岡・平城・大谷・鬼頭: 異形鉄筋の疲労試験データの統計的処理, 土木学会第48回年次学術講演会概要集第I部, pp730-731, 1993

表-4 鉄筋の疲労破壊の検討結果

大型車	支間長(m)	2	3	4	5	6
1000台/日以下	床版厚(cm)	17	18	19	20	23
	疲労破壊回数($\times 10^6$)	5.95	4.96	4.68	5.00	5.32
	σ_s (kgf/cm ²)	846	845	859	871	862
2000台/日以上	床版厚(cm)	21	23	24	25	29
	疲労破壊回数($\times 10^6$)	4.51	4.53	4.06	3.67	3.94
	σ_s (kgf/cm ²)	1134	1165	1174	1163	1153

σ_s : 鉄筋の曲げ引張応力度

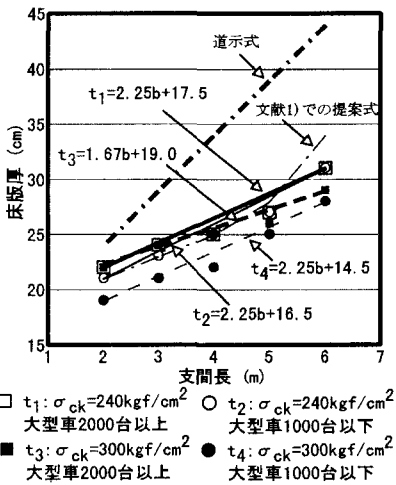


図-2 床版厚検討結果