

I - A 178

鉄筋コンクリート床版のせん断疲労に関する一試案

春本鐵工 正員 江頭慶三*1

大阪大学工学部 フェロー 松井繁之*2

大阪大学工学部 学生員 桐川 潔*2

1. はじめに

建設業において、コスト削減に向けた合理化が進められているが、鋼橋においても様々な合理化の提案がなされている。このような提案の一つに、例えば 6m 程度の床版支間を有する少数主桁橋がある。この形式のコンクリート床版は床版支間方向にプレストレスが導入されることが一般的であり、その結果、曲げモーメント・せん断力に対する静的耐荷力および、疲労耐久性が大幅に向上している。しかし、経済性を考えるとそのプレストレスの導入量が検討項目になると考えられる。そこで最も条件の厳しい鉄筋コンクリート床版(以下 RC 床版とする)の疲労耐久性を検討しておくことも必要と考えられる。鉄筋の疲労照査方法はいくつか提案されており、その方法に準拠することができるが、床版コンクリートのせん断疲労照査方法はこれまで、短支間のもの(3m 程度)について提案されており、長支間床版に対応した方法は今のところ考えられていないようである。というも長支間になると床版が厚くなり、せん断耐力が飛躍的に向上し、照査の必要が無いと考えられているからである。しかしながら、その境界、つまりどの程度の床版支間・床版厚になると床版の疲労破壊形態がせん断疲労から、曲げ破壊(鉄筋の疲労破断)に移行するのかが明確になっていない。以上のことから、床版支間長に関わらず、せん断疲労の照査を行う方法があれば、上記の点について明らかにすることができる。そこで本文では既往のせん断疲労に関する実験とそこから得られた S-N 曲線を用いて長支間でも疲労照査する方法を考案した。

2. 既往のせん断疲労照査方法

これまで、床版支間に輪荷重が 1 つだけ載荷された条件でのせん断疲労試験が行われており、その時の実験概要を図-1 に示す。さらにこの実験を含めた S-N 曲線が以下の式で与えられている¹⁾。

$$\log(P/P_{sx}) = -0.07835 \log N + \log 1.520 \quad (a)$$

ここに、P：作用荷重、 P_{sx} ：移動輪荷重の繰返しにより、コンクリートのひびわれが進展し、主鉄筋方向にはり状化した時のはり幅(=B)のせん断耐荷力で、以下の式で算出できる。

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

$$B = b + 2d_d \quad (c)$$

ここに d_d ：配力鉄筋の有効高さ(cm)、 τ_{smax} ：コンクリートの最大せん断応力度(=0.252 σ_{ck} - 0.000246 σ_{ck}^2 kgf/cm²)、 σ_{tmax} ：コンクリートの最大引張応力度(=0.583 $\sigma_{ck}^{2/3}$ kgf/cm²)、 X_m ：引張側コンクリート無視の状態での主鉄筋断面の中立軸(cm)(弾性計算で求める。ただしコンクリートの弾性係数は $E_c = 210000 + 900(\sigma_{ck} - 300)$ として算出する)、 C_m ：主鉄筋のかぶり(cm) b ：輪荷重の軸方向辺長(cm)

床版の疲労破壊、S-N 曲線、直交異方性

*1 〒551 大阪市 大正区 南恩加島 6-20-34 TEL 06-552-1464

*2 〒565 吹田市 山田丘 2-1

TEL 06-879-7621

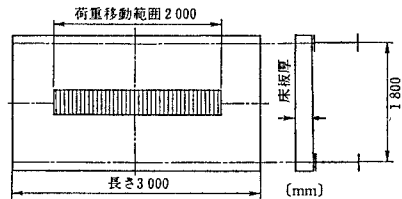


図-1 試験体概要

表-1 試験床版

供試体 シリーズ	寸法(幅・長・厚) [cm]	支間 (cm)	主鉄筋[cm]			配力鉄筋[cm]		
			種別	有効高	間隔	種別	有効高	間隔
F A	200×300×19	180	D16	16 (3)	9 (18)	D13	14.5 (4.6)	25 (40)
F B	200×300×19	180	D16	15 (4)	10 (20)	D16	13.4 (5.6)	13 (26)

()内は複鉄筋断面における上側鉄筋の諸量

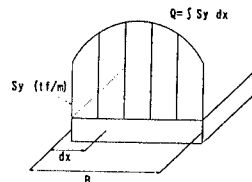


図-2 せん断力分布図

3. S-N 曲線の変換

床版コンクリートのせん断疲労破壊に対する検討は(a)式を応用することにした。この式は、作用荷重をはり状化した主鉄筋断面のせん断耐力で除して無次元化し、移動輪荷重走行試験での疲労破壊回数をプロットして求められた式である。実験床版と支間が異なる場合には、載荷される輪荷重の数や位置が異なるので、床版支間中央の輪荷重載荷縁におけるせん断力 Q に換算することでこの式を用いることができる。したがって、 P/P_{sx} の代わりに Q/P_{sx} を用いても同じ傾きを持つ S-N 曲線が作成できるので、一例として直交異方性度 $\alpha=0.45$ の床版モデルを考え、輪荷重を載荷してせん断力の分布を算出し、はり状化すると考えられる幅 B に分布する橋軸直角方向せん断力を積分して Q とした。この計算には FEM 解析を用い、相対する 2 辺を単純支持した一方向無限板モデルの中央に実験と同じ載荷面積を持つ荷重を載せ、輪荷重の載荷縁に作用するせん断力の分布を求めた（載荷面積を道路橋示方書に規定されている $20\text{cm} \times 50\text{cm}$ で解析しても同じ結果になることを確認している）。そのせん断力の分布を図-2 に示す。この Q/P_{sx} と P/P_{sx} で得られる疲労破壊回数 N をプロットして式を算出した結果、下記の式となった。

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

さて、上記の式はコンクリートの設計基準強度 $\sigma_{sk}=240\text{kgf/cm}^2$ を前提に計算したものである。(a) 式が作成された時のコンクリート強度を調べると、 $\sigma_{sk}=170 \sim 400\text{kgf/cm}^2$ の範囲であり、設計基準強度は P/P_{sx} によって反映されていると考えられ、(d)式も同様にコンクリート強度に関係なく適用できる。ただし、ここで注意すべきことは床版の直交異方性度が異なると、発生せん断力が異なり、(d)式の切片が異なる。したがって、引張側コンクリートを無視した RC 床版の断面 2 次モーメントを主鉄筋断面(I_m)と配力鉄筋断面(I_d)について計算し、その比 ($\alpha=I_d/I_m$) が異なれば別途、上記と同様な方法で算出しなければならない。なお、(d)式の算定にあたり、 $\alpha=0.45$ としたのは、床版支間が 6m 程度になると主鉄筋断面と配力鉄筋断面各々に作用する曲げモーメントに応じた RC 断面がほぼ 0.45 に収束するためである。なお、表-2 に $\alpha=0.25, 0.45, 0.60$ の各ケースにおける FEM 解析値を示す。またこれらの値を用いた場合の S-N 曲線を以下に示す。

$$\log(Q/P_{sx}) = -0.07835 \log N + \log 0.4969 \quad \alpha=0.25 \quad (e)$$

$$\log(Q/P_{sx}) = -0.07835 \log N + \log 0.4340 \quad \alpha=0.60 \quad (f)$$

4. 照査例

実際の長支間床版のせん断耐力の照査方法をここで示す。モデルケースを表-3 に示す。まず、FEM 解析等でせん断疲労を照査する着目点のせん断力分布を算出する。通常せん断力最大の箇所は支点上であるが、この部分はハンチが存在しており、せん断疲労の照査箇所はハンチの端部付近とする。この着目点からトラック 1 台分の輪荷重を載荷し、床版支間が長いのでもう 1 台（ただし重量は 1/2）のトラックを想定する。そして着目点に作用するせん断力を上で述べた方法で算出する。次にせん断耐力 P_{sx} を算出し、その比から疲労破壊回数を求める。計算結果を表-4 に示す。B 活荷重相当の大型車両の交通量が 1 日あたり 1000 台とし、着目点を通過すると仮定しても疲労破壊に至るまでは $1.92 \times 10^9 / (1000 \times 365) = 5260$ 年となり、せん断疲労破壊は起こり得ず、逆に鉄筋の応力度が支配的となって疲労破壊が先行する可能性が考えられる。なお、第 52 回年次講演会「長支間床版の設計について」で鉄筋の疲労破壊との比較を行っているので参照されたい。今回の検討では走行位置や車種の特性など確率的要因を考慮していないので今後はその検討も追加する予定である。

【参考文献】1) 松井繁之：橋梁の寿命予測，安全工学 Vol.30, No.6, 1991

表-2 解析結果

直交異方性 α	0.25	0.6	0.45
床版支間(m)	1.8	1.8	1.8
床版厚(cm)	19	19	20
B (cm)	40.8	38.8	40.5
P_{sx} (tf)	30.713	29.737	33.744
載荷面積	12*30	12*30	12*30
載荷荷重(tf)	7.5	7.5	7.5
Q_{max} (tf/m)	11.217	9.26	9.659
Q (tf)	2.452	2.141	2.247

表-3 照査モデル

床版支間	6m
床版厚	30cm
構造	RC構造
直交異方性度 α	0.45

表-4 照査結果

せん断力 Q (tf)	6.153
せん断耐力 P_{sx} (tf)	72.110
疲労破壊回数	1.92×10^9