

輪荷重走行疲労実験におけるRC床版の耐疲労性の評価法

日本大学 正会員 ○水口 和彦

フェロー会員 阿部 忠

フェロー会員 川井 豊

1. はじめに

道路橋 RC 床版の耐疲労性の評価として S-N 曲線式が提案されている^{1), 2)}。例えば、筆者らは床版寸法、圧縮強度の異なる RC 床版供試体を用いて、段階荷重載荷での走行疲労実験を行い、松井らが提案する S-N 曲線の傾きの逆数の絶対値 $m = 12.7$ を適用して等価走行回数を算定している。しかし、一定荷重のみでの実験は行っていないのが現状である。そこで本研究は、1994 年以降の道路橋示方書・同解説³⁾（以下、道示とする）の規定に準拠した 3/5 モデルの供試体を用いて一定荷重による輪荷重走行疲労実験を実施し、筆者らが提案する S-N 曲線式²⁾との整合性を検証する。なお、S-N 曲線式には既往の研究結果⁴⁾も含めて考察する。

2. 供試体の使用材料・寸法

(1) 供試体概要 本実験に用いる輪荷重走行疲労試験装置の車輪幅は 300mm であり、道示に規定する T 荷重幅 500mm の 3/5 である。そこで、供試体寸法を 3/5 モデルで製作する。なお、1980 年改定の道示では、大型車両の 1 日 1 方向の計画交通量や施工の難易度により最小床版厚が決定されていた。さらに、鉄筋の許容引張応力度は 20N/mm^2 程度の余裕を持たせている。したがって、本供試体は 1994 年改定以降の道示に準拠しているが、床版厚、鉄筋の配置および構造細目については 1980 年改訂以降の道示にも準拠している。

(2) 使用材料 本供試体のコンクリートには、普通ポルトランドセメントと 5mm 以下の砕砂および 5mm ～ 20mm の砕石を使用した。また、供試体の鉄筋には SD295A, D13 を配置した。輪荷重走行疲労実験に用いた供試体の材料の力学特性値を表-1 に示す。なお、表-1 に示す供試体記号は A-RC25 は、A が一定荷重での疲労実験、RC25 はコンクリートの圧縮強度である。また、B は段階荷重載荷による実験および文献 1 に示す結果である。

(3) 供試体寸法および鉄筋の配置 供試体の寸法は、全長は 1,600mm、支間 1,400mm、床版厚 150mm、鉄筋は複鉄筋配置とし、引張側の軸直角方向および軸方向に D13 を 120mm 間隔で配置した。その有効高さは、それぞれ 125mm, 115mm である。また、圧縮側には引張鉄筋量の 1/2 を配置した。

3. 実験方法および等価走行回数

(1) 実験方法 RC 床版の輪荷重走行疲労実験は、RC 床版の中央から両支点方向に 450mm（走行範囲：

キーワード：RC 床版、一定荷重、段階荷重載荷、S-N 曲線、押抜きせん断耐力

連絡先 〒275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1 日本大学生産工学部土木工学科

TEL 047-474-2459

表-1 輪荷重接地面積および材料特性値

供試体名称	輪荷重接地面積寸法 (mm)	コンクリートの圧縮強度 N/mm^2	鉄筋 (SD295A)			
			使用鉄筋	降伏強度 N/mm^2	引張強度 N/mm^2	ヤング係数 kN/mm^2
A-RC25	300×50	24.8	D13	354	497	200
A-RC30	300×50	30.0	D13	355	498	200
A-RC35-1	300×50	35.2				
A-RC35-2	300×60	35.0				
B-RC30	300×50	28.0	D13	365	513	200
B-RC30	300×50	30.0				
B-RC26	300×50	26.0				
B-RC30	300×50	30.0	D13	368	515	200
B-RC34	300×50	34.0				

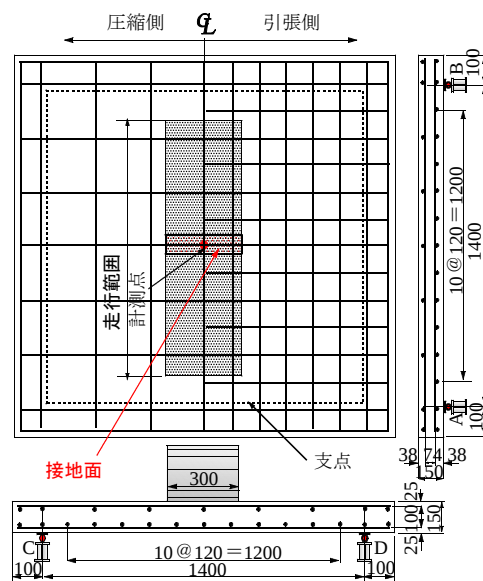


図-1 供試体寸法および鉄筋配置

900mm) の範囲に連続走行させる実験である。一定荷重による疲労実験は荷重 100kN で破壊するまで走行する。また、段階荷重載荷による疲労実験は荷重 100kN で 2 万回走行し、その後、20kN 増加し、破壊するまで走行した。

(2) 等価走行回数 等価走行回数は、マイナー則に従うと仮定すると式(1)として与えられる。式(1)における基準荷重 P は 72kN ($= 100\text{kN} \times 3/5 \times 1.2$) とする。また、S-N 曲線の傾きの逆数 m は等価走行回数に大きく影響するものであり、松井らの $m = 12.7$ を適用する。

$$N_{eq} = \sum_{i=1}^n (P_i / P)^m \times n_i \quad (1)$$

ここで、 N_{eq} ：等価走行回数(回)、 P_i ：載荷荷重(kN)、 P ：基準荷重(72kN)、 n_i ：実験走行回数(回)、 m ：S-N 曲線の傾きの逆数の絶対値(= 12.7)

式(1)より算定した等価走行回数を表-2 に示す。

表-2 等価走行回数および押抜きせん断耐力

供試体名称	荷重		等価走行回数 の合計 (回)	P _{ss} (kN)
	100 kN	120kN		
A-RC25	4,091,728		4,091,728	192.2
A-RC30	9,045,895		9,045,895	202.4
A-RC35-1	16,315,033		16,315,033	212.2
A-RC35-2	24,563,332		24,563,332	218.2
B-RC30	1,296,902	5,584,048	6,880,950	200.8
B-RC30	1,296,902	9,941,720	11,238,623	204.5
B-RC26	1,296,902	4,592,175	5,889,077	197.3
B-RC30	1,296,902	7,022,592	8,319,495	204.8
B-RC34	1,296,902	13,094,694	14,391,597	212.2

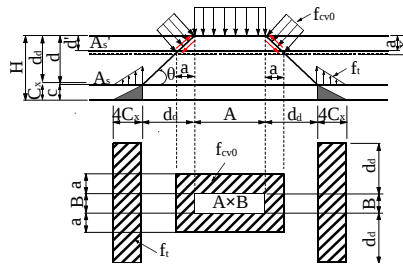


図-2 押抜きせん断力学モデル

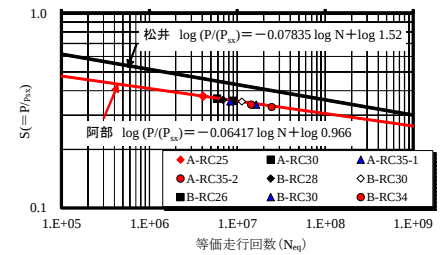


図-3 S-N曲線

4. S-N曲線式

筆者らが提案する S-N 曲線式は 1994 年改定の道示に準拠した 1/2 モデルおよび 3/5 モデルの RC 床版供試体寸法で、コンクリートの圧縮強度および床版厚の異なる試験体を用いて輪荷重走行疲労実験より得られた S-N 曲線式であり、式(2)として与えている。また、S-N 曲線式に適用する押抜きせん断耐力 P_{ss} として式(3)を提案している。

(1) S-N曲線式

$$\log (P/P_{ss}) = -0.06417 \log N + \log 0.996 \quad (2)$$

ここで、 P ：基準荷重 (72kN)， P_{ss} ：押抜きせん断耐力 (kN)， N ：繰返し回数 (回)

(2) 押抜きせん断耐力式

$$P_{ss} = f_{cv0} \{ 2(B+2a)a + 2(A \times a) \} + f_t \{ 4C_x(2d_a + B) \} \quad (3)$$

$$f_{cv0} = 0.688 f_c^{0.610} \leq f_c = 80 \text{ N/mm}^2$$

$$f_t = 0.269 f_c^{2/3}$$

$$C_x = (C'_x + C'_y)/2$$

ここで、 A, B ：輪荷重の軸直角方向、軸方向の辺長 (mm)， a ：主鉄筋方向 a_x ，配力鉄筋方向 a_y の等価応力ブロックの平均値 (mm) ($= (a_x + a_y)/2$)， C_x ：ダウエル効果の影響を示す寸法効果 (mm)， d_a ：主鉄筋の有効高さ (d_x) と配力筋 方向の有効高さ (d_y) の平均 (mm)，($d_a = (H - C_x)$)， H ：床版全厚 (mm)， f_{cv0} ：コンクリートのせん断強度 (N/mm^2)， f_t ：コンクリートの引張強度 (N/mm^2)， f_c ：コンクリートの圧縮強度 (N/mm^2)

式(3)に適用する等価応力ブロック a は、破壊時を考慮して式(4)として与えられる。

$$a/d = m/2 \{ p - p'(\epsilon'_{cu} \cdot E_s/f_y) + \sqrt{[p - p'(\epsilon'_{cu} \cdot E_s/f_y)]^2 + p' \cdot 4\beta/m \cdot d'/d \cdot \epsilon'_{cu} \cdot E_s/f_y} \} \quad (4)$$

ただし、

$$m = f_y/0.85 f_c, \quad p = A_s/b \cdot d, \quad p' = A'_s/b \cdot d$$

ここで、 f_{cd} ：コンクリートの設計圧縮強度 (N/mm^2)， f_y ：鉄筋の引張強度 ($= 513 \text{ N/mm}^2$)， A_s ：引張側の鉄筋量， A'_s ：圧縮側の鉄筋量， d ：有効高さ， d' ：圧縮縁から圧縮鉄筋の図心までの距離， b ：部材幅， E_s, E'_s ：鉄筋のヤング係数 ($= 200 \text{ kN/mm}^2$)， ϵ'_{cu} ：コンクリートの終局ひずみ ($= 0.0035$)， β ：0.8

押抜きせん断耐力の算定は、輪荷重の破壊時の設定面 ($A \times B$) は表-1に示す値とする。なお、供試体 B

は走行面に 9mm 厚の鋼板を用いた。また、部材幅はせん断スパン比 ($2.5d, d$ ：有効高幅)を除いた値とする。よって、押抜きせん断耐力を表-2に示す。

5. 本実験供試体のS-N曲線

一定荷重による疲労実験における S-N 曲線を図-3に示す。

一定荷重による疲労実験の A, B タイプの供試体の S 値 ($= P/P_{ss}$) と等価走行回数 N_{eq} の関係は、筆者らが提案する S-N 曲線式付近にプロットされ、ほぼ近似している。なお、段階荷重載荷による走行疲労実験においても同様に S-N 曲線式上にプロットされている。よって、異形鉄筋を配置した 1980 年道示の改訂以降 RC 床版の S-N 曲線と押抜きせん断耐力 P_{ss} の関係が適切であることが検証された。

6. まとめ

- (1) 一定荷重による走行疲労実験での等価走行回数は、走行面の鋼板厚が顕著となり、厚くなるほど等価走行回数も増大する結果となったが、基準荷重 P を押抜きせん断耐力 P_{ss} で除した S 値と等価走行回数 N_{eq} の関係は、筆者らが提案する S-N 曲線付近にプロットされ、近似する結果が得られた。
- (2) 既往の研究における段階荷重載荷での走行疲労実験における S-N 曲線も本提案する押抜きせん断耐力式を適用することで S-N 曲線式上にプロットされる。
- (3) RC 床版の押抜きせん断耐力 P_{ss} および S-N 曲線式は、1994 年改訂道示に準拠した試験体での結果である。よって、寿命推定においては、異形鉄筋が用いられた RC 床版の寿命推定が可能となる。

参考文献

- 1) 阿部忠，木田哲量，高野真希子，川井豊：道路橋 RC 床版の押抜きせん断耐力および耐疲労性の評価，土木学会論文集 A1，pp.39-54，2011.1
- 2) 松井繁之：道路橋床版 設計・施工と維持管理，森北出版，2007。
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I, II, III，2002。
- 4) 阿部忠，木田哲量，水口和彦，川井豊：輪荷重走行疲労実験における車輪寸法が RC 床版の耐疲労性に及ぼす影響および評価法，構造工学論文集，Vol.57A，pp. 1305-1315.2011.3