

## 論文

## 輪荷重走行疲労実験におけるRC床版のS-N曲線に関する研究

阿部忠\*, 水口和彦\*\*, 川井豊\*\*\*

\*博(工), 日本大学教授, 生産工学部土木工学科 (〒 275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1)

\*\*博(工), 日本大学准教授, 生産工学部土木工学科 (〒 275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1)

\*\*\*工博, 日本大学非常勤講師, 生産工学部 (〒 275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1)

筆者らは、これまで RC 床版をモデル化した供試体を用いて、階段載荷による輪荷重走行疲労実験を行い、走行荷重を受ける RC 床版の押抜きせん断耐荷力  $P_{sx}$  の算定式およびマイナー則から一定荷重載荷時の等価走行回数に換算した S-N 曲線式の提案を行ってきた。しかし、一定荷重載荷のみでの走行疲労試験、コンクリートの圧縮強度や鉄筋の強度、鉄筋量などの設計パラメータの疲労寿命への影響度、実橋床版への適用性など、幾つかの課題が未検証であった。本研究では、一連の既往研究で用いた供試体と同一諸元の供試体を用いて、荷重 100kN の一定荷重載荷による走行疲労実験を行い、筆者らの既往実験データを再解析し各種設計パラメータの影響度を検証した。

キーワード: RC 床版, 輪荷重走行疲労実験, 一定走行荷重, S-N 曲線

## 1. はじめに

道路橋 RC 床版の寿命予測式には、輪荷重走行疲労実験結果に基づく S-N 曲線式が用いられ、破壊までの寿命予測や破壊までの車両走行回数をもとに劣化係数を適用して維持管理に活用されている。松井ら<sup>1)</sup>は、輪荷重走行疲労実験機を用いて 1964 年改定の設計基準に準拠した RC 床版を対象に輪荷重走行疲労実験を実施し、輪荷重  $P$  を押抜きせん断耐荷力  $P_{sx}$  で除した無次元化した  $S (= P/P_{sx})$  値を縦軸に用いた S-N 曲線式を提案している。また、松井ら<sup>2)</sup>は、押抜きせん断耐荷力  $P_{sx}$  について、はり幅  $B$  を考慮した RC 床版の押抜きせん断力学モデルおよび耐荷力式も併せて提案している。その後、土木研究所では 1996 年改定の設計基準に準拠して製作した RC 床版を用いて輪荷重走行疲労実験を行い、土研式を提案している<sup>3)</sup>。土研式では、S-N 曲線式の押抜きせん断耐荷力  $P_{sx}$  は松井らが提案する押抜きせん断耐荷力式が用いられている。

一方、筆者らは 1994 年改定の道路橋示方書・同解説(以下、道示とする)<sup>4)</sup>に準拠した RC 床版供試体を用いて 20,000 回走行ごとに荷重を増加する段階荷重載荷による走行疲労実験を行い、S-N 曲線式の提案を行っている<sup>5), 6)</sup>。

S-N 曲線式に用いる押抜きせん断耐荷力に関しては、寸法、コンクリート強度が異なる RC 床版供試体を用いて、静荷重実験および走行荷重実験を行い、それぞれの力学モデルおよび耐荷力式を提案している<sup>7), 8)</sup>。よって、筆者らが提案する RC 床版の寿命予測式である S-N 曲線式には、走行荷重実験による破壊荷重付近の力学モデルおよび耐荷力式が適用されている<sup>5), 6), 8)</sup>。RC 床版の耐疲

労性の評価において、線形累積疲労被害則(以下、マイナー則と呼ぶ)を適用し、松井らが提案する S-N 曲線式の傾きの逆数の絶対値  $m=12.7$  を用いて算定された等価走行回数に基づき評価してきた<sup>5), 6)</sup>。

筆者らの研究においても、輪荷重走行疲労実験において、マイナー則を適用した段階荷重載荷実験の結果に基づく耐疲労性の評価については、一定荷重のみでの疲労実験を行っていないことから、その妥当性については未検証であった。そのため、一定荷重のみで破壊に至るまで輪荷重走行疲労実験を行い、筆者らの既往の研究における段階荷重載荷により得られた等価走行回数との整合性の検証を行う必要があると考えられた。

そこで本研究では、筆者らの一連の既往研究における未検証課題を取り上げ、一定荷重のみによる輪荷重走行疲労実験を含めた追加実験を行い、段階荷重載荷実験における S-N 曲線式との整合性から検証する。次に、実橋床版の押抜きせん断耐荷力算定値と提案 S-N 曲線式との整合性を図るため、押抜きせん断耐荷力算定式の再検討を行うことにより、道路橋 RC 床版の耐疲労性の評価法の一助とする。

## 2. 供試体の寸法諸元および使用材料

本研究では、筆者らの既往研究との相関性を持たせる必要があるため、新たに追加した輪荷重走行疲労実験でも一連の既往の実験<sup>5), 6)</sup>に使用した供試体の寸法諸元と同条件とする。以下に、供試体の寸法諸元、使用材料、材料特性値および実験方法を示す。



式(1)における基準荷重  $P$  は、B 活荷重 100kN の 3/5 に安全率 12 を考慮した 72kN とし、S-N 曲線の傾きの逆数  $m$  には、松井らが提案する  $m = 12.7$  を適用する<sup>5), 6)</sup>。

#### 4. 等価走行回数

輪荷重走行疲労実験より得られた各供試体の実験走行回数および等価走行回数を表-2 に示す。なお、表-2 には既往の研究結果も併記した。

##### 4.1 コンクリート強度の影響

走行面に 3.2mm 厚の鋼板を敷いて、輪荷重 100kN のみの荷重で破壊するまで輪荷重走行疲労実験を行った供試体 RC25 の等価走行回数は  $4.091 \times 10^6$  回、供試体 RC30 は  $9.045 \times 10^6$  回、供試体 RC35-1, RC35-2 は、それぞれ  $12.385 \times 10^6$ ,  $16.315 \times 10^6$  回となっており、筆者ら<sup>5)</sup>の研究にも報告済みであるが、本実験においても圧縮強度の増加に伴い等価走行回数は大幅に向上する結果となった。

次に、段階荷重載荷による輪荷重走行疲労実験を行った供試体 RC28, RC30 の等価走行回数は、それぞれ  $6.880 \times 10^6$  回、 $11.238 \times 10^6$  回であり、圧縮強度が  $2.0\text{N/mm}^2$  高くなることで、等価走行回数には大幅な向上が見られる。同様に、既往の研究においても圧縮強度  $26\text{N/mm}^2$ ,  $30\text{N/mm}^2$ ,  $34\text{N/mm}^2$  の供試体 RC26, RC30-2, RC34 で、等価走行回数はそれぞれ  $5.889 \times 10^6$  回、 $8.319 \times 10^6$  回、 $14.391 \times 10^6$  回となっており、供試体 RC26 に対して供試体 RC30, RC34 でそれぞれ 1.41 倍、2.44 倍増加している。

次に、走行面に 3.2mm 厚の鋼板を敷いて、輪荷重 100kN で破壊するまで走行させた供試体 RC25 の等価走行回数は  $4.091 \times 10^6$  回、供試体 RC30 は  $9.045 \times 10^6$  回、供試体 RC35-1, RC35-2 は、それぞれ  $12.385 \times 10^6$  回、 $16.315 \times 10^6$  回となっており、段階荷重載荷で実施した供試体同様に、圧縮強度の増加に伴い等価走行回数は大幅に向上する結果となった。

以上より、コンクリートの圧縮強度を高くすることで等価走行回数が大幅に向上することから、RC 床版の耐疲労性にはコンクリートの圧縮強度の影響が顕著となることが明らかとなった。そのため、現行道示で規定している RC 床版のコンクリートの設計基準強度は  $24\text{N/mm}^2$  であるが、耐疲労性の向上を目的とした場合には、コンクリートの設計基準強度を  $30\text{N/mm}^2$  程度まで引き上げることも対策の 1 つであると考えられる。とくに、積雪寒冷地域の RC 床版は凍害の影響と輪荷重走行による疲労との複合作用による土砂化することから圧縮強度を高めることで耐疲労性の向上が図られるものと考えられる<sup>11)</sup>。

##### 4.2 接地面の影響

100kN の一定荷重で 3.2mm 厚の鋼板を敷いて輪荷重走行疲労試験を行った供試体 RC35-1, RC35-2 の等価走行回数はそれぞれ  $12.385 \times 10^6$  回、 $16.315 \times 10^6$  回となり、平均で

表-2 実験走行回数  $N$  および等価走行回数  $N_{eq}$

供試体	荷 重		等価走行回数 合計
	100 kN	120kN	
RC25	N	63,100	
	$N_{eq}$	4,091,728	4,091,728
RC30	N	139,500	
	$N_{eq}$	9,045,895	9,045,895
RC35-1	N	191,000	
	$N_{eq}$	12,385,419	12,385,419
RC35-2	N	251,600	
	$N_{eq}$	16,315,033	16,315,033
RC35-3	N	378,800	
	$N_{eq}$	24,563,332	24,563,332
RC28	N	20,000	8,501
	$N_{eq}$	1,296,902	5,584,048
RC30-1	N	20,000	15,135
	$N_{eq}$	1,296,902	9,941,720
RC26 <sup>*1</sup>	N	20,000	6,991
	$N_{eq}$	1,296,902	4,592,175
RC30-2 <sup>*1</sup>	N	20,000	10,691
	$N_{eq}$	1,296,902	7,022,592
RC34 <sup>*1</sup>	N	20,000	19,935
	$N_{eq}$	1,296,902	13,094,694

$14.350 \times 10^6$  回である。

一方、走行面に 9.0mm 厚の鋼板を敷いて 100kN の一定荷重で走行させた供試体 RC35-3 の等価走行回数は  $24.563 \times 10^6$  回で、供試体 RC35-1, RC35-2 と比較すると鋼板厚を 9.0mm とすることで 1.71 倍等価走行回数が向上する結果となった。よって、鋼板を厚くしたことで輪荷重の接地面が広がることで、耐疲労性が大幅に向上する結果となった。

#### 5. 走行荷重が作用するRC床版の押抜きせん断耐力

RC 床版の S-N 曲線の評価において、床版の断面寸法諸元や使用材料の強度特性値に関する情報は、すべて押抜きせん断耐力  $P_{sx}$  の算定式を介して表現される。そのため、 $P_{sx}$  の算定式には、できるだけ多くの RC 床版の構造特性を示す設計パラメータが含まれていることが望ましい。

走行荷重が作用する RC 床版の押抜きせん断破壊の力学モデルは前田・松井ら<sup>1)</sup>により最初に提案され、輪荷重載荷位置から 45 度の傾斜で破壊し、はり幅  $B$  と主鉄筋方向の中立軸の位置  $X_m$  の範囲にコンクリートのせん断強度  $f_{c0}$  が及ぼすものとしている。中立軸  $X_m$  は鉄筋および圧縮側コンクリートともに弾性状態の内力のつり合いから求められる。これに対し、筆者らは輪荷重走行疲労実験より得られた供試体の押抜きせん断破壊状況から、異形鉄筋の効果や終局限界状態での内力分布を考慮して、破壊荷重付近の押抜きせん断力学モデル (図-2) および押抜きせん断耐力式を提案してきた<sup>8)</sup>。

本研究では、筆者らが提案した走行荷重が及ぼす押抜きせん断力学モデルおよびせん断耐力式を基に、破壊荷重付近の押抜きせん断耐力 ( $P_{sx}$ ) を想定した力学モ

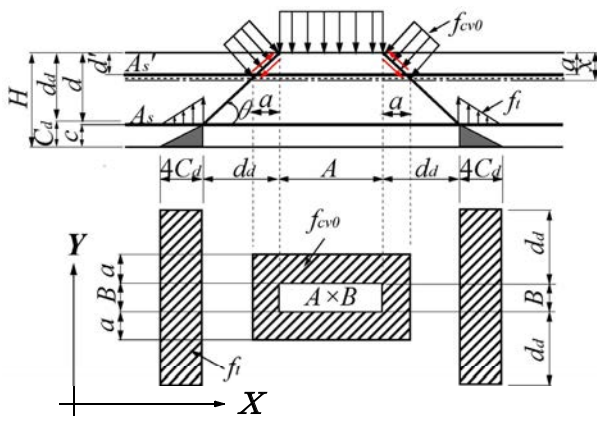


図-2 破壊荷重付近の押抜きせん断力学モデル

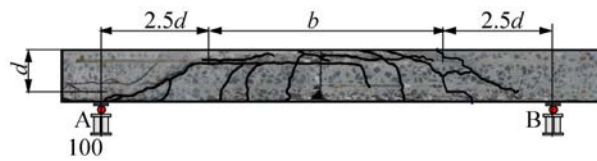


図-3 せん断スパン比

デルと押抜きせん断耐荷力式を提案する。なお、松井らが提案する押抜きせん断力学モデルおよび押抜きせん断耐荷力式との関係は既に文献 5) で比較検証済みであることから本研究では触れないこととする。

### 5.1 押抜きせん断力学モデルと押抜きせん断耐荷力式

破壊荷重付近では、RC 床版供試体には主鉄筋および配力筋方向にひび割れが発生し、RC 床版は貫通ひび割れによりはり状化することから、等方性が失われる。したがって、部材の有効幅  $b$  を  $1,000\text{mm}$  とした場合の 4 辺支持された単純版に走行荷重が作用した場合の等価応力ブロック  $a$  は上縁側となり、コンクリートのせん断強度の影響を受ける範囲が減少し、押抜きせん断耐荷力が実験値に比して下回る結果となる。

また、本実験で使用した供試体は 3/5 モデルであり、破壊時のひび割れ状況は図-3 に示すように、軸方向の支点 A, B からせん断スパン比  $L/d = 25$  ( $L$ : 荷重位置,  $d$ : 配力筋方向の有効高) <sup>11)</sup> 内は、軸方向の支点の影響を受けてひび割れはせん断領域には斜めひび割れ、曲げ領域には水平ひび割れが発生している <sup>5)</sup>。そこで、破壊荷重付近の等価応力ブロック  $a$  の算出における有効幅  $b$  は、せん断スパン比の範囲を除いた幅  $b$  とする。なお、4 辺単純支持された単純版のせん断スパン比を考慮した場合に有効幅  $b$  が  $1,000\text{mm}$  以上の供試体、すなわち実橋 RC 床版の有効幅  $b$  は  $1,000\text{mm}$  とする。よって、RC 床版に配置した圧縮鉄筋が全供試体ともに降伏に至らないことから式(2)を適用する。押抜きせん断破壊力学モデルは図-2 と同様である。破壊時におけるはく離幅は、かぶり  $25\text{mm}$  に対して 4 倍以上、すなわち  $100\text{mm}$  以上である。したがって、ダウエル効果が及ぼす底面の応力分布幅は

破壊荷重付近であることから、主鉄筋のかぶり ( $C_x$ ) と配力筋方向のかぶり ( $C_y$ ) の平均値  $C_d$  として与え、その 4 倍の範囲に三角分布力として作用させる。既往の研究における破壊荷重付近の最大押抜きせん断耐荷力を  $P_{sx}$  として評価したが、本論文では破壊荷重付近の押抜きせん断耐荷力であることから  $P_{s,max}$  とする。ここで、破壊荷重付近の押抜きせん断力学モデルは図-2 とし、その評価式を式(2)とする。なお、式(2)におけるダウエル効果の影響を示す寸法効果  $C_d$  は主鉄筋のかぶり ( $C_x$ ) と配力筋方向のかぶり ( $C_y$ ) の平均値  $C_d$  とする。よって、破壊荷重付近の押抜きせん断耐荷力  $P_{s,max}$  は式(2)となる。

$$P_{s,max} = f_{c0}\{2(B + 2a)a + 2(A \times a)\} + f_i\{4(2da + B)C_d\} \quad (2)$$

ただし、

$$f_{c0} = 0.688f_c^{0.610} \leq f_c = 80\text{N/mm}^2$$

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

$$C_d = (C_x + C_y)/2$$

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) ( $= (a_x + a_y)/2$ ),  $C_d$ : ダウエル効果の影響を示す寸法効果 (mm), すなわち主鉄筋のかぶり  $C_x = \alpha_x + D_x/2$ ,  $\alpha_x$ : 主鉄筋かぶり,  $D_x$ : 主鉄筋の直径) と配力筋方向のかぶり  $C_y = \alpha_y + D_y/2$ ,  $\alpha_y$ : 配力筋かぶり,  $D_y$ : 配力筋の直径) の平均 (mm) ( $= (C_x + C_y)/2$ ),  $da$ : 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) ( $da = H - C_d$ ),  $H$ : 床版全厚 (mm),  $f_{c0}$ : コンクリートのせん断強度 ( $\text{N/mm}^2$ ) <sup>5)</sup>,  $f_i$ : コンクリートの引張強度 ( $\text{N/mm}^2$ ) <sup>11)</sup>,  $f_c$ : コンクリートの圧縮強度 ( $\text{N/mm}^2$ )

破壊荷重付近のコンクリートの押抜きせん断耐荷力は、降伏荷重付近の場合と同様にせん断応力度が等価応力ブロック  $a$  の範囲に及ぼす影響によるものとする。降伏荷重付近の等価応力ブロックの大きさ  $a$  は鉄筋の降伏強度  $f_{sd}$  を適用して算出したが、ひずみ破壊荷重付近の等価応力ブロック  $a$  の算出には鉄筋の引張強度  $f_t$  を適用する。したがって、RC 床版に配置した圧縮鉄筋は降伏しないことから式(3)として与えられる。なお、式(3)は複鉄筋長方形断面における等価応力ブロック  $a$  の一般式であり、主鉄筋方向  $a_x$  および配力筋方向  $a_y$  をそれぞれ算出して、その平均値を  $a$  とする。

#### (1) 等価応力ブロック : $a$

$$a = (\alpha_x + \alpha_y)/2 \quad (3)$$

ここに、 $a$ : 等価応力ブロック (mm),  $\alpha_x$ : 主鉄筋方向の等価応力ブロック (mm),  $\alpha_y$ : 配力筋方向の等価応力ブロック (mm)



(2) 主鉄筋方向 :  $a_x$

$$a_x/d_x = \frac{m2[p_x - p'_x(\epsilon'_{cu} \cdot E_s/f_y)]}{\sqrt{(p_x - p'_x(\epsilon'_{cu} \cdot E_s/f_y))^2 + p'_x \cdot 4\beta/m \cdot d'_x d_x \cdot \epsilon'_{cu} \cdot E_s/f_y}} \quad (3.1)$$

ただし,

$$m = f_y / 0.85f_c, \quad p_x = A_{s1}/(b \cdot d_x), \quad p'_x = A'_{s1}/(b \cdot d), \quad \beta = 0.8$$

(3) 配力鉄筋方向 :  $a_y$

$$a_y/d_y = \frac{m2[p_y - p'_y(\epsilon'_{cu} \cdot E_s/f_y)]}{\sqrt{(p_y - p'_y(\epsilon'_{cu} \cdot E_s/f_y))^2 + p'_y \cdot 4\beta/m \cdot d'_y d_y \cdot \epsilon'_{cu} \cdot E_s/f_y}} \quad (3.2)$$

ただし,

$$m = f_y / 0.85f_c, \quad p_y = A_{s2}/(b \cdot d), \quad p'_y = A'_{s2}/(b \cdot d_x), \quad \beta = 0.8$$

ここで,  $a_x, a_y$ : 主鉄筋および配力鉄筋方向の等価応力ブロックの大きさ (mm),  $f_c$ : コンクリートの設計圧縮強度 (N/mm<sup>2</sup>),  $f_y$ : 鉄筋の引張強度 (N/mm<sup>2</sup>),  $f_y$ : 圧縮鉄筋の引張強度 (N/mm<sup>2</sup>),  $A_{s1}, A'_{s1}, A_{s2}, A'_{s2}$ : 引張側, 圧縮側の鉄筋量 (mm<sup>2</sup>),  $d_x, d_y$ : 有効高さ (mm),  $d'_x, d'_y$ : 圧縮縁から圧縮鉄筋の図心までの距離 (mm),  $b$ : 部材幅 (mm),  $E_s, E'_s$ : 鉄筋のヤング係数 (kN/mm<sup>2</sup>),  $\epsilon'_{cu}$ : コンクリートの終局ひずみ (=0.0035)

5.2 RC床版の押抜きせん断耐力

式(2)を用いて算定した各供試体の押抜きせん断耐力  $P_{s,max}$  を表-3に示す。

供試体 RC-25 は, 供試体上面に 32mm の鋼板を設けた輪荷重走行疲労実験であることから, 輪荷重の軸直角方向の辺長  $A$  が 300mm, 軸方向の辺長  $B$  は 47mm である。また, コンクリートの圧縮強度は 24.8N/mm<sup>2</sup> であることから, 押抜きせん断耐力  $P_{s,max}$  は 190.6kN となる。供試体 RC-30, RC-35-1, RC-35-2 のコンクリートの圧縮強度はそれぞれ 30.0N/mm<sup>2</sup>, 35.0N/mm<sup>2</sup>, 35.0N/mm<sup>2</sup> であり,  $P_{s,max}$  は 200.6kN, 210.0kN, 210.3kN である。したがって, 圧縮強度が増加することで  $P_{s,max}$  も増加し, 耐疲労性が向上する結果となる。

一方, 供試体 RC-35-3 の供試体には 9mm の鋼板を設けたことから輪荷重の軸直角方向の辺長が 300mm, 軸方向の辺長は 58mm である。コンクリートの圧縮強度は 35.0N/mm<sup>2</sup> であり,  $P_{s,max}$  は 217.0kN となる。よって, 設置面の軸方向の辺長が約 10mm 広がることで  $P_{s,max}$  は約 7.0kN 増大することになる。

さらに, 段階荷重載荷による輪荷重走行疲労実験を行った供試体 RC28, RC30-1, RC26, RC30-2, RC34 の軸直角方向の辺長は 300mm, 軸方向の辺長は 47mm である。供試体 RC28, RC30 の押抜きせん断耐力はそれぞれ, 199.1kN, 202.8kN である。また, 既往の研究結果である供試体 RC26, RC30-2, RC34 の押抜きせん断耐力は, それぞれ 195.7kN, 203.1kN, 210.4kN である。なお, 圧縮強度が 30N/mm<sup>2</sup> の供試体 RC30-1 と RC30-2 における押抜き

表-3 S値と等価走行回数

供試体名称	コンクリートの圧縮強度 ( $f_c$ ) (N/mm <sup>2</sup> )	基準荷重 ( $P$ ) (kN)	押抜きせん断耐力 ( $P_{sx}$ ) (kN)	S値 ( $P/P_{sx}$ )	等価走行回数 ( $N_{eq}$ ) (回)
RC25	24.8	72.0	190.6	0.378	4,091,728
RC30	30.0	72.0	200.6	0.359	9,045,895
RC35-1	35.0		210.0	0.343	12,385,419
RC35-2	35.2		210.3	0.342	16,315,033
RC35-3	35.0	72.0	217.0	0.332	24,563,332
RC28	28.0		199.1	0.362	6,880,950
RC30-1	30.0		202.8	0.355	11,238,623
RC26※1	26.0	72.0	195.7	0.368	5,889,077
RC30-2※1	30.0		203.1	0.355	8,319,495
RC34※1	34.0		210.4	0.342	14,391,597

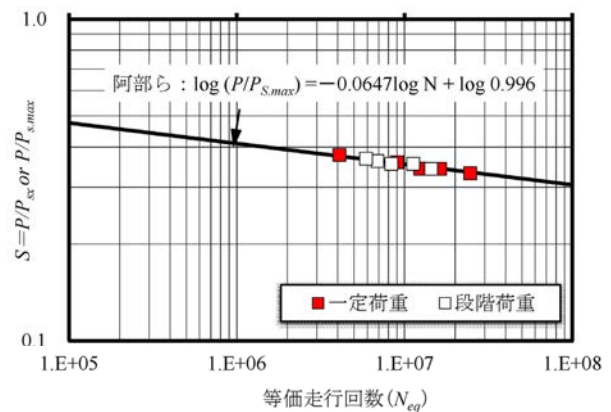


図-4 疲労試験結果と S-N 曲線

せん断耐力の差は, 配置した鉄筋の材料特性値の差である。

モデル化した RC 床版の押抜きせん断耐力算定式においては, 破壊荷重付近の等価応力ブロック  $a$  を算出するために鉄筋の引張強度  $f_y$  を適用し, せん断スパン比を考慮した断面幅を適用している。なお, 実床版においては, せん断スパン比を考慮する必要はなく, 断面幅  $b = 1,000\text{mm}$  あたりの等価応力ブロックを算出する必要がある。

6. 輪荷重走行疲労実験におけるRC床版のS-N曲線

6.1 筆者らが提案するRC床版のS-N曲線

筆者らは, 1994 年改定道示に従って設計した RC 床版の 3/5 モデルとした RC 床版供試体を用いて, 輪荷重走行疲労実験を実施し, 式(4)で表される S-N 曲線式を提案している<sup>5), 6)</sup>。なお, S-N 曲線式(4)に適用する押抜きせん断耐力  $P_{s,max}$  は式(2)を用いて算定しているが, 走行荷重実験における破壊荷重の 95%程度の押抜きせん断耐力が評価されている<sup>10)</sup>。

$$\log(P/P_{s,max}) = -0.06417 \log N + \log 0.996 \quad (4)$$

ここに、 $P$ ：基準荷重、 $P_{s,max}$ ：式(2)で与えられる押抜きせん断耐力 (kN)、 $N$ ：繰り返し回数 (回) (ここでは、等価走行回数  $N_{eq}$  を適用する)

## 6.2 本実験供試体のS値および等価走行回数

本実験供試体の設計荷重に安全率を考慮した基準荷重  $P$  をコンクリートの圧縮強度および鉄筋の材料特性値を用いて算定した押抜きせん断耐力  $P_{sx}$  で除して無次元化した  $S$  値と、式(1)を用いて計算した等価繰り返し回数をまとめて表-3に示す。等価繰り返し回数の算定においては、松井らの研究による  $m = 12.7$  を用いた。

### (1) S-N曲線

表-3に示した無次元化した  $S$  ( $= P/P_{sx}$ ) 値と破壊までの等価走行回数  $N_{eq}$  の関係を図-4にプロットして示す。

図-4に示すように、段階荷重増荷により実験を行った5体の供試体の実験結果は、いずれも筆者らが既往研究で提案したS-N曲線上にプロットされた。また、荷重100kNの一定荷重で輪荷重走行疲労実験を行った5体の供試体の実験結果は、走行面の鋼板厚が異なる場合においてもS-N曲線の95%信頼限界内にプロットされている。

以上の結果より、一定荷重走行による試験データ数が必ずしも十分であるとは言えないものの、段階荷重増荷による輪荷重走行疲労実験より得られる実験走行回数にマイナー則を適用して得られる等価走行回数は、適切であると思われる。また、提案した押抜きせん断耐力についても破壊荷重付近であることから、S-N曲線式より破壊付近の寿命推定が可能であると考えられる。

## 7. まとめ

- (1) 段階荷重増荷により輪荷重走行疲労実験を行った5体の供試体の実験結果は、いずれも筆者らが既往の研究で提案したS-N曲線上にプロットされた。また、荷重100kNの一定荷重で輪荷重走行疲労実験を行った5体の供試体の実験結果においても、走行面の鋼板厚が異なる場合を含めて本提案S-N曲線の近傍にプロットされた。よって、一定荷重による実験結果と、段階荷重増荷による疲労実験結果を式(1)より算定した等価走行回数は妥当なものであると思われる。また、提案した押抜きせん断耐力耐力についても破壊荷重付近であることから、S-N曲線式は破壊付近の寿命推定が可能である。
- (2) RC床版の構造諸元および使用材料の強度が異なる3/5モデルの供試体の疲労実験データについても、式(4)で与えられるS-N曲線付近にプロットされる。このことから、RC床版の構造諸元および使用材料強度が異なった場合においても筆者らが提案する押抜きせん断耐力算定式を用いて押抜きせん断耐力  $P_{s,max}$  を得ることにより1本のS-N曲線上にプロットされ、S-N

曲線式における傾きも適切であると評価できる。

- (3) 式(2)、式(3)で表される押抜きせん断耐力に影響を及ぼすコンクリートの圧縮強度、鉄筋の強度、鉄筋量をパラメトリックに変化させて、押抜きせん断耐力、疲労寿命に及ぼす影響度を検証した。その結果、コンクリートの圧縮強度、鉄筋強度、鉄筋量の増減に伴い押抜きせん断耐力は数パーセントのオーダーで変化し、疲労寿命においては数倍のオーダーで変化する。とくに、コンクリートの圧縮強度の影響は他の設計パラメータに比べ大きく、コンクリートの圧縮強度を高めることが疲労耐久性向上には最も有効であることが確認できた。

## 参考文献

- 1) 前田幸雄, 松井繁之, 田中敏幸: 鉄筋コンクリート床版に関する2, 3の考察, 昭和46年度土木学会関西支部年次学術講演会概要集, 1971
- 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) 中谷晶一, 内田賢一, 西川和廣, 神田昌幸, 宮崎和彦, 川間重一, 松尾伸二, 道路橋床版の疲労耐久性に関する実験, 国総研資料, 第28号, 2002.3
- 4) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 I, II, III, 1994
- 5) 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
- 6) 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
- 7) 阿部忠, 木田哲量, 徐銘謙, 澤野利章: 道路橋RC床版の押抜きせん断耐力評価式に関する研究, 構造工学論文集, Vol.53A, pp.199-207, 2007.3
- 8) 阿部忠, 木田哲量, 高野真希子, 澤野利章, 加藤清志: 静荷重・走行荷重を受けるRC床版の押し抜きせん断耐力, 構造工学論文集, Vol.50A, pp.919-926, 2004.3
- 9) 川井豊, 阿部忠, 木田哲量, 高野真希子: 道路橋RC床版のS-N曲線に関する一考察, 第七回路橋床版シンポジウム論文報告集, pp.263-268, 2012.7
- 10) 川井豊, 中村聖三, 阿部忠: 信頼度を考慮した道路橋RC床版の疲労耐久設計について, 構造工学論文集, Vol.62A, pp.1160-1167, 2016.3
- 11) 水口和彦, 阿部忠, 勝呂翔平: 輪荷重走行による疲労と凍害の複合劣化を受けたRC部材の耐疲労性評価, セメント・コンクリート論文集, Vol.70, pp.421-427, 2017.3
- 12) 岡田清, 不破昭, 伊藤和幸, 平沢征夫: 鉄筋コンクリート工学, 鹿島出版, 1997

(2018年7月20日受付)