

論文 伸縮継手の段差による荷重変動を想定した走行振動荷重がRC床版の耐疲労性に及ぼす影響

木内 彬喬*1・阿部 忠*2・澤野 利章*3・川井 豊*4

要旨：道路橋 RC 床版は伸縮継手の段差によって発生する走行振動荷重の影響により耐疲労性が低下している。そこで本研究は走行振動荷重が及ぼす耐疲労性の検証を行った。実験では基準荷重に対して荷重変動を想定した振動荷重 $\pm 20\%$, $\pm 30\%$ による疲労実験を行い、一定荷重による疲労実験を基準に耐疲労性を評価した。その結果、一定荷重に対して、振動荷重 $\pm 20\%$, $\pm 30\%$ で走行した場合の等価走行回数はそれぞれ 30%, 11% となり、大幅に寿命が低下する結果となった。これらの結果をもとに走行振動荷重が作用した場合の RC 床版の S-N 曲線式を提案し、耐疲労性が著しく低下することを明らかにした。

キーワード：RC 床版, 走行一定荷重, 走行振動荷重, 輪荷重走行疲労実験, S-N 曲線

1. はじめに

高度経済成長期に建設された道路橋 RC 床版は、大型車両の交通量の増大により、疲労損傷が生じている。とくに、伸縮継手を通過した付近の損傷が著しい。この原因の 1 つに、大型車両が伸縮継手の段差部を通過することによって発生する荷重変動による衝撃力^{1), 2), 3), 4)}が挙げられる。さらに、橋面防水工が施されていない床版は、荷重変動と雨水の浸透によりさらに寿命が低下するもと考えられる。

一方、阿部ら⁴⁾は、伸縮継手を通過する時に発生する荷重変動を想定した走行振動荷重が RC 床版に作用した場合の衝撃係数について走行振動荷重による走行実験を行い、衝撃係数を評価している。その結果、基準荷重に対して $\pm 30\%$ の振動荷重が作用した場合の衝撃係数は、道路橋示方書・同解説（以下、道示とする）⁵⁾に規定する衝撃係数 i を大きく上回る結果が得られている。よって、伸縮継手付近の RC 床版はひび割れ損傷が著しくなる可能性を報告している。しかし、RC 床版に輪荷重の荷重変動、すなわち振動荷重が作用した場合の耐疲労性の評価に関する実験研究は行われていないのが現状である。

そこで本研究は、RC 床版供試体を用いて一定荷重および荷重変動を想定した基準荷重 100kN に対して $\pm 20\%$, $\pm 30\%$ の荷重変動を正弦波形⁴⁾で作用させた輪荷重走行疲労実験を行い、一定荷重による輪荷重走行疲労実験における等価走行回数を基準に振動荷重が作用した場合の耐疲労性を評価した。加えて、既往の研究⁶⁾における押抜きせん断耐荷力式を適用して得られる S-N 曲線式⁶⁾との整合性を検証するとともに、振動荷重 $\pm 20\%$, $\pm 30\%$ が作用した場合の S-N 曲線式を提案した。

2. 既往の研究

2.1 大型自動車の荷重変動

大型自動車が段差を有する伸縮継手部を走行する際に発生する荷重変動および衝撃力に関する研究はこれまで幾つか行われている^{1), 2), 3), 4)}。横山ら^{2), 3)}は、実験車両に総重量 21.0tf のタンデム式ダンプトラックを用いて段差量 20mm の伸縮継手部を通過するとき発生する中軸・後軸の荷重変動について実験を行い、その結果を図-1のように示している。図-1より、大型車両の荷重分担は中軸左動荷重が 3.85tf、後軸左動荷重が 3.79tf である。これによると、中軸の荷重変動は軸重量 3.85tf に対して最大荷重 11.0tf、すなわち 2.86 倍、後軸の軸重量 3.78tf に対して 10.5tf、すなわち 2.77 倍の荷重が作用している。よって、軸重量に対して $\pm 41 \sim \pm 48\%$ の荷重変動が作用することになる。

2.2 伸縮継手付近のRC床版の損傷事例

伸縮継手付近の RC 床版の損傷事例を写真-1に示す。写真-1(1)は、積雪寒冷地域の RC 床版の損傷事例であり、大型車両の走行による疲労と融雪剤の散布による塩害と凍害の複合劣化により RC 床版上面のコンクリート

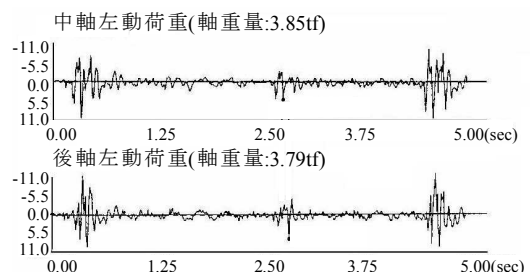


図-1 大型車両の中軸・後軸の荷重変動¹⁾

*1 日本大学大学院 生産工学研究科土木工学専攻博士前期課程 (学生会員)

*2 日本大学 生産工学部土木工学科教授 博(工) (正会員)

*3 日本大学 生産工学部土木工学科教授 工博 (正会員)

*4 日本大学 生産工学部非常勤講師 工博



(1) 土砂化 (2) 抜け落ち⁶⁾
写真-1 伸縮継手付近の損傷状況の一例

のスケーリングが著しい⁷⁾。また、伸縮継手付近はスケーリングした箇所に雨水が滞水した形跡も見られる。この RC 床版は供用開始から 33 年で撤去されている。写真-1(2)も積雪寒冷地域の床版損傷事例⁸⁾であり、この床版は既に鋼板接着補強された床版である。損傷位置は伸縮継手から 1m 付近である。

以上のように、伸縮継手付近の RC 床版は振動荷重の影響を受け、損傷が著しいことから、走行振動荷重による疲労実験を行い、振動荷重が RC 床版の耐疲労性に及ぼす影響を明確にする必要があると考える。

3. 供試体の使用材料・寸法

3.1 使用材料

RC 床版供試体のコンクリートには、普通セメントと 5mm 以下の砕砂および 5mm ~ 20mm の砕石を使用した。目標圧縮強度は、材齢 28 日でコンクリートの圧縮強度 24N/mm² および 30N/mm² の 2 種類とする。目標圧縮強度 24N/mm² で製作した供試体を A タイプとし、一定荷重で走行する供試体を RC-A、振動荷重で走行する供試体を RC-A-V とした。また、目標圧縮強度 30N/mm² で製作した供試体を B タイプとし、それぞれの名称を RC-B、RC-B-V とした。次に、供試体の鉄筋には SD295A、D13 を配置した。ここで、実験時のコンクリートの圧縮強度および鉄筋の材料特性値を表-1に示す。

3.2 供試体寸法および鉄筋の配置

RC 床版供試体は、1994 年版以降の道示⁵⁾の規定に準拠して 3/5 モデルで製作した。供試体の寸法は、図-2に示すように、全長は 1,600mm、支間 1,400mm、床版厚 150mm の等方性版とする。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。主鉄筋および配力筋の有効高さはそれぞれ 125mm、112mm である。また、圧縮側には引張鉄筋量の 1/2 を配置した。

4. 実験方法および等価走行回数

4.1 実験方法

(1) 走行一定荷重による疲労実験

RC 床版の輪荷重走行疲労実験は、図-2に示すように

表-1 供試体の材料特性値

供試体	コンクリート 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)
RC-A、RC-A-V	30.0	D13	355	498	200
RC-B	35.0	D13	355	498	200
RC-B-V	33.0	D13	355	498	200

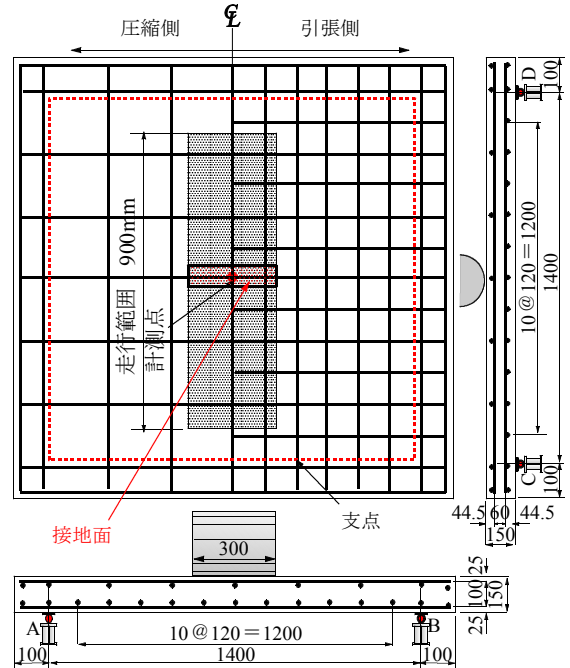


図-2 供試体の寸法

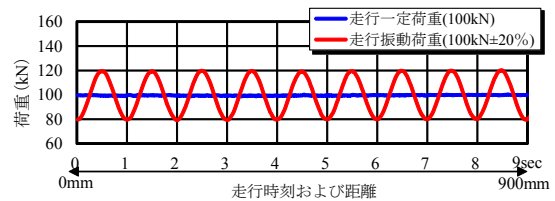


図-3 走行一定荷重および走行振動荷重±20%

一走行 900mm の範囲を、輪荷重が 100kN で供試体が破壊するまで連続走行させる。

供試体 RC-A には、輪荷重走行範囲に幅 300mm、厚さ 4.5mm の鋼板、供試体 RC-B には幅 300mm、厚さ 9.0mm の鋼板を敷いて輪荷重走行疲労実験を実施した。鋼板厚の影響については、本論文 6.2 項で検証する。ここで、RC 床版供試体を一定荷重で 1 走行 900mm を走行した場合の荷重波形を図-3に示す。たわみの計測は輪荷重走行 1, 10, 100, 1,000, 5,000 回、5,000 回以降は 5,000 回走行ごととする。計測点は床版中央のたわみとし、図-2に併記した。

(2) 走行振動荷重による疲労実験

本実験における走行振動荷重実験⁴⁾は、基準荷重 100kN に対して振動荷重 ±20% (上限荷重 120kN, 下限荷重 80kN), ±30% (上限荷重 130kN, 下限荷重 70kN) とし、振動数を 1.0Hz の正弦波形の片振荷重載荷とした。ここで、振動荷重 ±20%で走行する供試体名称をそれぞれ

れ、RC-A-V20, RC-B-V20 とする。また振動荷重 $\pm 30\%$ で走行する供試体名称をそれぞれ、RC-A-V30, RC-B-V30 とする。

なお、本実験における振動数は、図-1に示したタンデム式の中軸・後軸が交互に振動するものと仮定し、橋梁の支間長 45m を走行速度で除して 1m あたりの波長を求め、本実験では 1 走行 900mm を 9.0sec とし、振動数を 1.0Hz とした正弦波形の片振り荷重とした (図-3) 1) 4)。なお、たわみの計測については一定荷重走行による疲労実験と同様とした。

4.2 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。なお、式(1)における基準荷重 P は、本供試体は 3/5 モデルであることから、1994 年改訂以降の道示の活荷重 100kN の 3/5 に安全率 1.2 を考慮し、72kN ($= 100\text{kN} \times 3/5 \times 1.2$) とした^{6), 9)}。また、式(1)における S-N 曲線の傾きの逆数 m には、松井らが提案する S-N 曲線の傾きの逆数の絶対値 $m = 12.7$ を適用する^{10), 11)}。

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

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

5. 結果および考察

5.1 等価走行回数

本実験供試体における走行回数および式(1)より算定した等価走行回数 N_{eq} を表-2に示す。

(1) Aタイプの供試体

一定荷重走行で疲労実験を行った供試体 RC-A の等価走行回数は 9.045×10^6 回である。一方、振動荷重 $\pm 20\%$ の荷重で疲労試験を行った供試体 RC-A-V20-1, 2 の平均等価走行回数 N_{eq} は 3.562×10^6 回である。一定荷重で走行した供試体 RC-A の等価走行回数の 39%であり、振動荷重が及ぼすことで等価走行回数が大幅に減少している。

次に、走行振動荷重 $\pm 30\%$ で疲労実験を行った供試体 RC-A-V30-1, 2 の平均等価走行回数 N_{eq} は 1.044×10^6 回であり、供試体 RC-A の等価走行回の 11%と、さらに等価走行回数が減少する結果が得られた。

(2) Bタイプの供試体

一定荷重で疲労実験を行った供試体 RC-B の等価走行回数は 24.563×10^6 回である。圧縮強度 30.0N/mm^2 の供試体と比較すると 2.7 倍の等価走行回数である。

次に、振動荷重 $\pm 20\%$, $\pm 30\%$ で疲労実験を行った供試体 RC-B-V20-1 および供試体 RC-B-V30-1 の等価走行回数はそれぞれ 6.743×10^6 回、 2.075×10^6 回であり、一

表-2 実験走行回数・等価走行回数および走行回数比

供試体名称	コンクリートの圧縮強度 (N/mm ²)	走行回数および等価走行回数(回)		平均等価走行回数(回)	走行回数比 (V/RC)
		N	N _{eq}		
RC-A	30.0	N	139,500	9,045,895	—
		N _{eq}	9,045,895		
RC-A-V20-1	30.0	N	59,780	3,562,592	0.394
		N _{eq}	3,876,442		
RC-A-V20-2	30.0	N	50,100	3,562,592	0.394
		N _{eq}	3,248,741		
RC-A-V30-1	30.0	N	18,001	1,044,040	0.115
		N _{eq}	1,167,278		
RC-A-V30-2	30.0	N	14,200	1,044,040	0.115
		N _{eq}	920,802		
RC-B	35.0	N	378,800	24,563,332	—
		N _{eq}	24,563,332		
RC-B-V20-1	33.0	N	104,000	6,743,893	0.275
		N _{eq}	6,743,893		
RC-B-V30-1	33.0	N	32,000	2,075,045	0.084
		N _{eq}	2,075,045		

定荷重で走行した供試体 RC-B の 27%と 8%である。なお、一定荷重で走行した供試体のコンクリートの圧縮強度が 35.0N/mm^2 に対して振動荷重で走行した供試体の圧縮強度 33.0N/mm^2 であることから、コンクリートの圧縮強度の差が等価走行回数に反映され、低下率が大きくなった結果である。

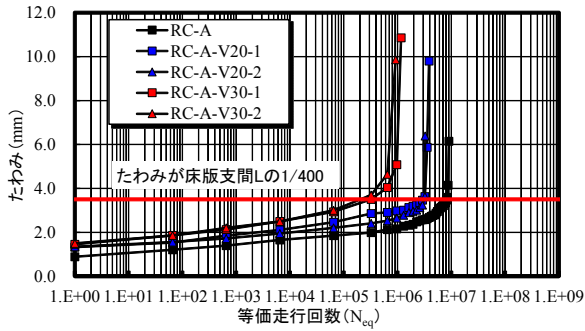
以上のように、振動荷重 $\pm 20\%$, $\pm 30\%$ で疲労実験を行った供試体の等価走行回数は一定荷重による疲労実験による等価走行回数に対して大幅に減少する結果が得られた。

5.2 たわみと等価走行回数の関係

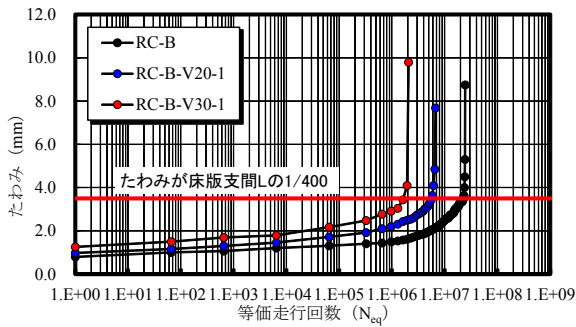
たわみと等価走行回数の関係を図-4に示す。なお、RC床版の補修・補強時期の目安として、たわみが支間 L の 1/400 付近として提案¹²⁾されていることから、支間 L の 1/400、すなわち 3.5mm のたわみを図-4併記した。

(1) Aタイプの供試体

A タイプの供試体 RC-A の 1 走行後の初期たわみは 0.89mm であり、走行の増加に伴いたわみも増加している。供試体 RC-A-V20-1, 2 の初期たわみはそれぞれ 1.33mm, 1.34mm であり、この時点で一定荷重のたわみの 1.35 倍である。また、供試体 RC-A-V30-1, 2 の初期たわみはそれぞれ 1.46mm, 1.50mm であり、一定荷重の初期たわみの 1.49 倍、1.50 倍である。次に、たわみが 3.5mm に達した時点の等価走行回数を比較すると、一定荷重で走行した供試体 RC-A の等価走行回数は 5.511×10^6 回である。また、振動荷重 $\pm 20\%$ で走行した供試体 RC-A-V20-1, 2 の等価走行回数はそれぞれ 1.938×10^6 回、 1.679×10^6 回であり、一定荷重の等価走行回数との比は 0.352, 0.305 である。さらに、振動荷重 $\pm 30\%$ の供試体 RC-A-V30-1, 2 の等価走行回数はそれぞれ 0.324×10^6 回、 0.241×10^6 回であり、一定荷重の等価走行回数との比は 0.06, 0.04 である。たわみが 3.5mm を超えた付近からたわみの増加が著しなり、押抜きせん破壊となった。



(1) 供試体Aタイプ



(2) 供試体Bタイプ

図-4 たわみと等価走行回数の関係

(2) Bタイプの供試体

Bタイプの供試体 RC-B の初期たわみは 0.79mm, 供試体 RC-B-V20-1 および供試体 RC-B-V30-1 の初期たわみはそれぞれ 0.98mm, 1.25mm であり, 一定荷重の初期たわみとの比は 1.25 倍, 1.58 倍である。A タイプの供試体に対して初期たわみが小さいが, これは圧縮強度の差であると考え。次に, 一定荷重で走行した供試体 RC-B のたわみが床版支間 L の $1/400$ に達した時点の等価走行回数は 12.969×10^6 回である。これに対して振動荷重 $\pm 20\%$, $\pm 30\%$ の供試体 RC-B-V20-1, RC-B-V30-1 の等価走行回数はそれぞれ 3.165×10^6 回, 0.925×10^6 回である。一定荷重の等価走行回数との比は 0.244, 0.071 であり, かなり早い段階でたわみが支間 L の $1/400$ に達する結果となった。また, たわみが支間 L の $1/400$ を超えた付近からたわみの増加著しくなり, 押抜きせん断破壊となった。

以上より, RC 床版の補修・補強時期の目安と提案されているたわみが床版支間 L の $1/400$ に達した時点¹²⁾ で比較すると, 荷重振幅が大きくなることでたわみの増加が著しいことから, 荷重振幅を最小限に維持管理する必要があると考えられる。

6. S-N曲線式および耐荷力式

6.1 RC床版のS-N曲線式

阿部ら⁶⁾ (以下, 文献 6)とする)は 1994 年改定の道

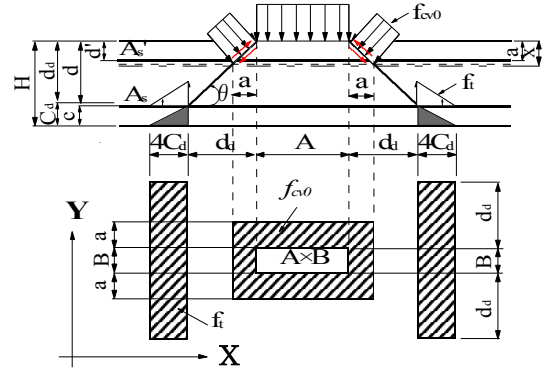


図-5 押抜きせん断力学モデル

示に準拠した 1/2, 3/5 モデルの RC 床版供試体を用いた輪荷重走行疲労実験結果を基に S-N 曲線式を式(2)を提案している。

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

ここで, P : 基準荷重 (kN), $P_{S,max}$: 押抜きせん断耐荷力 (kN), N : 繰返し回数 (回)

6.2 RC床版の押抜きせん断力学モデルおよび耐荷力式

S-N 曲線式(2)に適用する RC 床版の押抜きせん断力学モデルを図-5に示す。文献 6)に示す RC 床版の押抜きせん断耐荷力 $P_{S,max}$ は, 等価応力ブロック a の範囲にはコンクリートのせん断強度 f_{c0} の影響, ダウエル効果の影響を受ける範囲 Cd の範囲にはコンクリートの引張強度 f_i の影響を考慮した耐荷力式として提案している。よって, S-N 曲線式(2)に適用する押抜きせん断耐荷力 $P_{S,max}$ は, 式(3)として与えられる⁷⁾。

$$P_{S,max} = f_{c0} \{2(B+2a)a+2(A \times a)\} + f_i \{4Cd(2da+B)\} \quad (3)$$

ただし,

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

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

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) ($= (a_x + a_y)/2$), Cd : 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 Cd ($= c_x + D_x/2$, c_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 ($= c_y + D_x + D_y/2$, c_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) ($da = H - Cd$), H : 床版全厚 (mm), f_{c0} : コンクリートのせん断強度 (N/mm^2), f_i : 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)で表される文献 6)に示す押抜きせん断耐荷力式には, 主鉄筋および配力筋方向の等価応力ブロックの平均値 a が適用されている。ここで, 破壊荷重付近の等価応力ブロック a は, 鉄筋が降伏し, 引張強度付近に達す

ることから、「ひずみ硬化等価荷重付近の等価応力ブロック」⁷⁾として主鉄筋および配力筋の引張強度 f_y を適用して等価応力ブロック a を式(4)として与えている。

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

ただし、

$$m = f_y/0.85f'_c, \quad p = A_s/b \cdot d, \quad p' = A'_s/b \cdot d, \quad \beta = 0.8$$

ここで、 f_y ：鉄筋の引張強度 (N/mm²)、 A_s ：引張側の鉄筋量 (mm²)、 A'_s ：圧縮側の鉄筋量 (mm²)、 d ：有効高さ (mm)、 d' ：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 ：鉄筋のヤング係数 (= 200kN/mm²)、 ϵ'_{cu} ：コンクリートの終局ひずみ (= 0.0035)

6.3 RC床版の押抜きせん断耐荷力

供試体 RC-A タイプの輪荷重走行疲労実験では、走行面に幅 300mm、厚さ 4.5mm、供試体 RC-B タイプには幅 300mm、厚さ 9.0mm の鋼板を設置した。直接輪荷重を設置した場合設置面は 38mm である。そこに、鋼板を敷いた場合は輪荷重設置面から 45 度に分布するものと仮定すると、辺長 B の寸法は、供試体 RC-A タイプは 300mm×47mm、供試体 RC-B タイプは 300×56mm として適用した。なお、式(3)に適用したそれぞれの諸元および押抜きせん断耐荷力 $P_{S,max}$ を表-3に示した。表-3より、圧縮強度 30N/mm² の供試体の押抜きせん断耐荷力は 200.6kN である。また、圧縮強度 35.0N/mm²、33.0N/mm² の供試体はそれぞれ 215.7kN、211.8kN である。

6.4 一定荷重および振動荷重±20%、±30%で疲労実験によるRC床版のS-N曲線

S-N 曲線式における縦軸 S は基準荷重 P を押抜きせん断耐荷力 $P_{S,max}$ で除して無次元化している。本実験供試体の基準荷重 P を押抜きせん断耐荷力 $P_{S,max}$ で除した S 値 (= $P/P_{S,max}$) を求め、表-4に示した。そこで、表-4に示した S と等価走行回数 N_{eq} の関係から振動荷重±20%および±30%で疲労実験した場合の S-N 曲線を検証する。

一定荷重で疲労実験を行った供試体 RC-A の等価走行回数は 9.045×10^6 回である。一方、圧縮強度 35N/mm²、9.0mm の鋼板を敷いた供試体 RC-B の等価走行回数は 24.563×10^6 回であり、供試体 RC-A の等価走行回数の 2.715 倍である。そこで、縦軸 S 値 ($P/P_{S,max}$) である 0.359 と等価走行回数 N_{eq} は 9.045×10^6 回である。また、供試体 RC-B の S 値は 0.334、等価走行回数は 24.563×10^6 回であり、これらの関係を図-6にプロットすると式(2)に示す S-N 曲線式上にプロットされる結果となった。このことから、圧縮強度および輪荷重の設置面が異なる RC 床版においても、押抜きせん断耐荷力を適切に算定することで、文献 6)に示す破壊荷重付近の S-N 曲線の上にプロットされた。

表-3 押抜きせん断耐荷力

圧縮強度		30 N/mm ²	35 N/mm ²	33 N/mm ²
床版厚		15 cm	15 cm	15 cm
主鉄筋	引張鉄筋 (A _s)	10.558 cm ²	10.558 cm ²	10.558 cm ²
	引張鉄筋 (A' _s)	5.279 cm ²	5.279 cm ²	5.279 cm ²
配力鉄筋	引張鉄筋 (A _s)	10.558 cm ²	10.558 cm ²	10.558 cm ²
	引張鉄筋 (A' _s)	5.279 cm ²	5.279 cm ²	5.279 cm ²
鉄筋降伏強度 (f _{td})		355 N/mm ²	355 N/mm ²	355 N/mm ²
鉄筋引張強度 (f _y)		498 N/mm ²	498 N/mm ²	498 N/mm ²
有効高	主鉄筋 (d _m)	12.5 cm	12.5 cm	12.5 cm
	配力鉄筋 (d _a)	11.2 cm	11.2 cm	11.2 cm
かぶり厚	主鉄筋 (c _m)	2.5 cm	2.5 cm	2.5 cm
	配力鉄筋 (c _a)	3.8 cm	3.8 cm	3.8 cm
等価応力ブロック	主鉄筋 (a _m)	2.258 cm	2.258 cm	2.258 cm
	配力鉄筋 (a _s)	2.684 cm	2.684 cm	2.684 cm
押抜きせん断耐荷力 (P _{S,max})		200.6 kN	215.7 kN	211.8 kN

表-4 S値と等価走行回数

供試体	コンクリート圧縮強度 (N/mm ²)	基準荷重 P (N)	押抜きせん断耐荷力 P _{S,max} (kN)	S (=P/P _{S,max})	等価走行回数 N _{eq} (回)
RC-A	30.0	72	200.6	0.359	9,045,895
RC-A-V20-1	30.0				3,876,442
RC-A-V20-2	30.0				3,248,741
RC-A-V30-1	30.0				1,167,278
RC-A-V30-2	30.0				920,802
RC-B	35.0				215.7
RC-B-V20-1	33.0	211.8	0.340	6,743,893	
RC-B-V30-1	33.0			2,075,045	

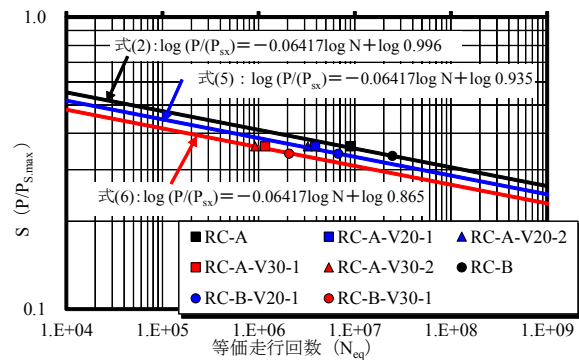


図-6 S-N曲線

次に、振動荷重 ±20%で疲労実験を行った供試体 RC-A-V20-1、2 の S 値は 0.359 であり、等価走行回数はそれぞれ 3.876×10^6 回、 3.248×10^6 回である。一方、供試体 RC-B-V20-1 の S 値は 0.340 であり、 S 値と等価走行回数との関係は、いずれも式(2)に示す RC 床版の S-N 曲線式の下方にプロットされた。

また、振動荷重 ±30%で疲労実験を行った供試体 RC-A-V20-1、2 の S 値 0.359、等価走行回数がそれぞれ 1.167×10^6 回、 0.920×10^6 回である。また、供試体 RC-B-V30-1 の S 値は 0.340 であり、等価走行回数 2.075×10^6 回である。この S 値と等価走行回数の関係をプロットすると、振動荷重 ±20%で疲労実験を行った供試体のさらに下方にプロットされた。

以上より、振動荷重 ±20%、±30%で疲労実験を行った供試体は一定荷重で疲労実験から得られた S-N 曲線の下方にプロットされる結果が得られた。

6.5 走行振動荷重±20%、±30%のS-N曲線式の提案

一定荷重で疲労実験を行った供試体は図-6に示すよ

うに式(2)に示す S-N 曲線上にプロットされる。一方、振動荷重 $\pm 20\%$, $\pm 30\%$ での疲労実験による傾きは、式(2)に示す S-N 曲線の傾きの下方に平行してプロットされている。よって、振動荷重 $\pm 20\%$, $\pm 30\%$ による疲労試験での S-N 曲線式(5), (6)は、S 値は基準荷重 P を押抜きせん断耐荷力 $P_{S,max}$ で除した値に、一定荷重による疲労実験における S-N 曲線式(2)⁶⁾をスライドさせた。これらの関係より、振動荷重 $\pm 20\%$ の供試体 RC-V20 の S 値と走行回数 N の関係、すなわち S-N 曲線式(5)として与える。また、振動荷重 $\pm 30\%$ の供試体 RC-V30 の場合の S-N 曲線式は式(6)として与えられる。

走行振動荷重： $\pm 20\%$

$$\log(P/P_{S,max}) = -0.06417 \log N + \log 0.935 \quad (5)$$

走行振動荷重： $\pm 30\%$

$$\log(P/P_{S,max}) = -0.06417 \log N + \log 0.865 \quad (6)$$

ここで、 P ：基準荷重 (kN), $P_{S,max}$ ：押抜きせん断耐荷力 (kN) (式(3)), N ：繰返し回数 (回)

以上より、段差を有する伸縮継手部などによって発生する荷重変動が基準荷重に対して走行振動荷重 $\pm 20\%$, $\pm 30\%$ が作用することで RC 床版の疲労寿命が大幅に低下することが明らかとなった。

7. まとめ

- (1) 伸縮継手の段差等によって発生する走行振動荷重 $\pm 20\%$, $\pm 30\%$ が作用することで、一定荷重で走行した場合の等価走行回数に対して 39%, 11%と著しく低下する結果が得られた。このことから、伸縮継手の段差等、振動荷重を発生させる原因となる路面の凹凸は、RC 床版の疲労耐久性確保の観点から適切な管理値を設けて荷重変動幅を最小限にする必要があると考えられる。
- (2) 文献 6)に示す押抜きせん断耐荷力式にコンクリートの圧縮強度、輪荷重の設置面の辺長を適切に与えることで、破壊荷重付近の押抜きせん断耐荷力が評価でき、1本の S-N 曲線式上にプロットされたことから整合性を確認することができた。また、振動荷重が S-N 曲線に及ぼす影響についても、振動荷重走行実験結果を、阿部らの $P_{S,max}$ を用いて求めた S 値と等価走行回数 N_{eq} の関係を用いて評価した S-N 曲線と、一定荷重走行実験の S-N 曲線式との関係を明らかにすることができた。
- (3) 走行振動荷重 $\pm 20\%$, $\pm 30\%$ が作用した場合の疲労寿命の予測式として式(5), (6)を提案した。これらの式を用いることにより、段差を有する伸縮装置等により発生する走行振動荷重を基準荷重の $\pm 20\%$, $\pm 30\%$ 許容した場合の疲労寿命予測の推定が可能となると

考えられる。

謝辞

本研究は、科学研究費補助金（基盤研究（C）課題番号 80060218, 研究代表者阿部忠）の助成を受けて行ったものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献：

- 1) 建設省土木研究所構造研究室：橋の衝撃荷重に関する実験調査報告書（II-1987），土木研究所資料，No.2508，1987
- 2) 横山功一，井上純三，福永隆：道路橋床版の衝撃係数に関する実験，構造工学論文集，Vol.35A，pp.749-756，1989.3
- 3) 横山功一，井上純三，福永隆：路面段差部に作用する自動車衝撃荷重の特性，構造工学論文集，Vol.35A，pp.757-764，1989.3
- 4) 阿部忠，木田哲量，星埜正明，加藤清志，徐銘謙：走行振動荷重を受ける RC はり・床版の耐力および動的影響に関する実験研究，土木学会論文集，No.808/I-74，pp.33-45，2006.1
- 5) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I, II，1994
- 6) 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荷力および耐疲労性の評価，土木学会論文集 A1，pp.39-54，2011.1
- 7) 伊藤清志，阿部忠，岩崎正二，大塚祐二：塩害・凍害の複合劣化を受けた RC 床版の上面増厚補強法による耐疲労性の評価，コンクリート構造物の補修・補強アップグレード論文・報告集，第 13 巻，pp.373-381，2013.11
- 8) 坪田浩明：神戸橋の損傷と対応について，第 29 回日本道路会議 [道路橋の維持管理]，長野県建設部道路管理課，2011
- 9) 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
- 10) 松井繁之：道路橋床版設計・施工と維持管理，森北出版，2007
- 11) 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，第七回道路橋床版シンポジウム論文報告集，pp.263-268，2012.6
- 12) 阿部忠，木田哲量，高野真希子，小森篤也，児玉孝喜：輪荷重走行疲労実験における RC 床版上面増厚補強法の耐疲労性の評価法，構造工学論文集，Vol.56A，pp.1270-1281，2010.3