

輪荷重走行振動疲労実験におけるRC床版の耐疲労性の評価

日本大学大学院 学生会員 木内彬喬, 日本大学 正会員 (フェロー) 阿部 忠
日本大学 正会員 澤野利章, 日本大学 正会員 (フェロー) 川井 豊

1. はじめに

道路橋 RC 床版のひび割れ損傷や陥没の多くは伸縮継手付近で発生している. その原因の 1 つに伸縮継手の段差, すなわち橋梁点検においては路面の凹凸によって発生する荷重変動の影響である. 例えば, タンデム式ダンプロックが 20mm の段差を通過した後の荷重変動は, 軸重量 3.85tf に対して 2.77 倍から 2.86 倍の荷重が作用している¹⁾.

そこで本研究は, RC 床版を用いて一定荷重および基準荷重に対して ± 20 % および ± 30 % の荷重変動, すなわち振動荷重による疲労実験を実施し, 走行振動荷重が及ぼすことによる耐疲労性を検証する.

2. 供試体の使用材料・寸法

(1) 使用材料 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. 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る供試体の材料特性値を表-1 に示す. なお, 表-1 に示す供試体記号は, RC-R は一定荷重での疲労実験, RC-V20 は振動荷重 ± 20 %, RC-V30 は振動荷重 ± 30 % の荷重による疲労実験を行う供試体である.

(2) 供試体寸法および鉄筋の配置 RC 床版供試体は, 現行道路橋示方書 (2012 年版)²⁾ の規定に準拠して 3/5 モデルで製作した. よって, 供試体の寸法は, 図-1 に示すように, 全長 1600mm, 支間 1400mm, 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.

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: 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 で破壊するまで連続走行する.

次に, 荷重変動を考慮した走行振動荷重による実験は, 一定荷重実験同様に RC 床版の中央から両支点方向に 900mm の範囲を 9.0sec で連続走行させる. 振動荷重は図-2 に示すように, 一定荷重の 100kN に対して ±20 % (最小 80kN, 最大 120kN), ±30 % (最小 70kN, 最大 130kN) とし, 振動数は 2.0Hz の正弦波形の片振荷重載荷とする.

(2) 等価走行回数 等価走行回数は, マイナー則に従

キーワード: RC 床版, 走行振動荷重, 等価走行回数, 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 材料特性値

供試体名称	リートの 圧縮強度 N/mm ²	鉄 筋 (SD295A)			ヤング係数 kN/mm ²
		使用 鉄筋	降伏強度 N/mm ²	引張強度 N/mm ²	
RC-R, RC-V	30.0	D13	355	498	200

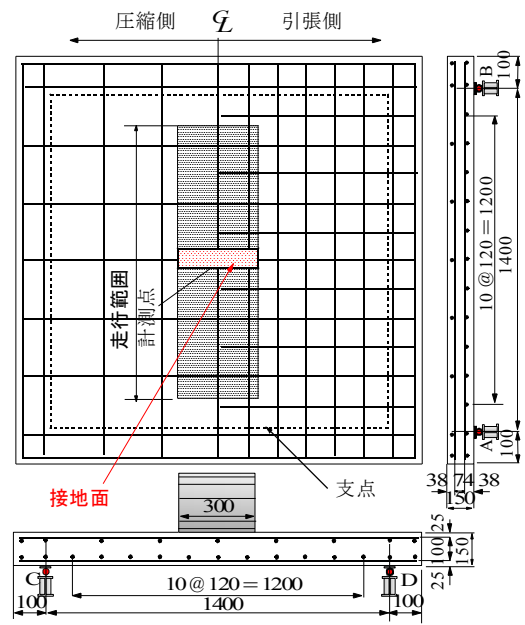


図-1 供試体寸法および鉄筋配置

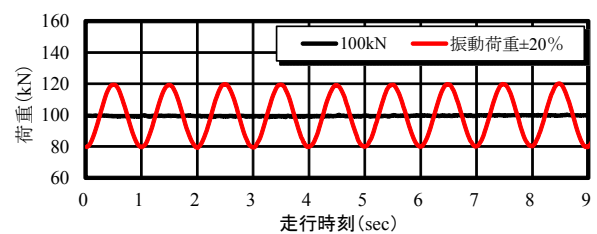


図-2 荷重変動

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, 式(1)における m は, 松井ら³⁾が提案する RC 床版の S-N 曲線式における傾きの逆数の絶対値 $m = 12.7$ を適用する.

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

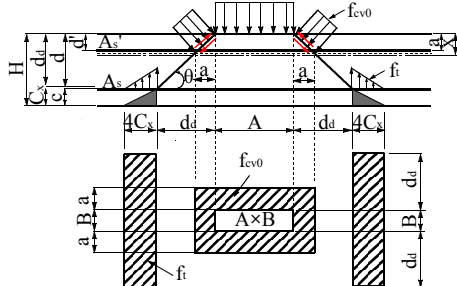
ここで, N_{eq} : 等価走行回数 (回), P_i : 載荷荷重 (kN), P : 基準荷重 (72kN), n_i : 実験走行回数 (回)

4. 結果および考察

一定荷重で走行した RC-R の等価走行回数は表-2 より 9.045×10^6 回である. これに対して振動荷重

表－2 等価走行回数

供試体名称	実験走行回数(回)	等価走行回数(回)	等価走行回数の平均(回)	等価走行回数比
RC-R	139,500	9,045,895	9,045,895	
RC-V20-1	59,780	3,876,442	3,562,592	0.39
RC-V20-2	50,100	3,248,741		
RC-V30-1	18,001	1,167,278	1,044,040	0.12
RC-V30-2	13,000	920,802		



図－3 押抜きせん断耐力力学モデル

±20 %で走行した RC-V20 の等価走行回数の平均は 3.562×10^6 回、振動荷重 ±30 %で走行した RC-V30 は 1.044×10^6 回であり、一定荷重で走行した RC-R の等価走行回数に比して RC-V20 が 0.39, RC-V30 が 0.12 となり、輪荷重に振動荷重が重畳することで耐疲労性が大幅に低下する結果となった。

4.1 S-N曲線式

阿部らが提案する S-N 曲線式は 1994 年改定の道示に準拠した 1/2, 3/5 モデルの RC 床版供試体を用いて、輪荷重走行疲労実験から評価した S-N 曲線式(2)を提案している。また、S-N 曲線式に適用する押抜きせん断耐力式(3)も併せて提案している。

1) S-N 曲線式

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

ここで、P：基準荷重 (kN)， P_{sx} ：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

阿部らが提案する RC 床版の押抜きせん断耐力は式(2)を用いて評価している。

$$P_{sx} = f_{cv0} \{2(B+2a)a + 2(A \times a)\} + f_i \{4C_x(2d_d + B)\} \quad (3)$$

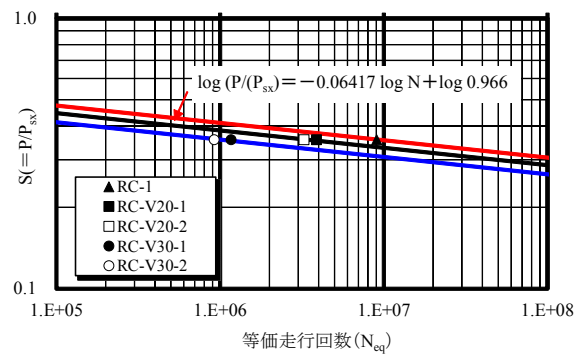
$$f_{cv0} = 0.688f_c^{0.610} \leq f_c = 80\text{N/mm}^2$$

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

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

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)， C_x ：ダウエル効果の影響を示す寸法効果 (mm)， d_d ：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)

押抜きせん断耐力式(3)に適用する輪荷重の設置面は $300 \times 50\text{mm}$ である。また、等価応力ブロック a の平均は 24.7mm，ダウエル効果が及ぼす寸法効果 C_x は 31.5mm である。よって、押抜きせん断耐力 P_{sx}



図－4 S-N 曲線

は 202.3kN である。

4.2 走行振動荷重が及ぼす S-N 曲線

基準荷重 P を押抜きせん断耐力 P_{sx} で除した無次元化輪荷重値 S 値 ($= 72/202.3 = 0.356$) と等価走行回数 N_p の関係を図－4 に示す。供試体 RC-R の疲労試験結果は式(2)で与えられる S-N 曲線上にプロットされており、式(2)の適用が有効であることが分かる。また、振動荷重が重畳する場合には、一定荷重時の疲労破壊の破壊モードと同じであることから S-N 曲線の勾配は同じであり切片のみが変化するものと仮定することにより、供試体 RC-V20 および供試体 RC-V30 の場合は S-N 曲線は式(4)，(5)となる。

$$\log(P/P_{sx}) = -0.06417 \log N + \log 0.935 \quad (4)$$

$$\log(P/P_{sx}) = -0.06417 \log N + \log 0.865 \quad (5)$$

なお、式(4)，(5)は S 値は基準荷重 P を押抜きせん断耐力 P_{sx} で除した値に RC 床版の S-N 曲線式をスライドさせた結果である。

5. まとめ

伸縮継手の段差により発生する荷重振幅 ±20 % および ±30 で走行した場合は、一定荷重で走行した場合の等価走行回数に対して、等価走行回数はそれぞれ 61%，88%減少している。よって、伸縮継手の段差量の経年増加に伴う衝撃的な振動荷重の重畳により S-N 曲線が急激に短寿命側にシフトする結果となった。

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試験調査報告書(I－1987)，土木研究所資料，No. 2508，1987.
- 2)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I，II，2012.
- 3)松井繁之：道路橋床版 設計・施工と維持管理，森北出版，2007.
- 4)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