

輪荷重走行疲労実験による荷重分布型伸縮装置（標準タイプ）を設置した RC 床版の耐疲労性の評価

日大生産工(院) ○佐々木茂隆 日大・名誉教授 阿部忠
日大生産工 水口和彦 澤野利章 (株)小野工業所 木村延久

1. はじめに

本研究では、従来型の伸縮装置および荷重分布型伸縮装置を設置した RC 床版を用いて輪荷重走行疲労実験を実施し、耐疲労性を評価した。実験供試体には高さ 90mm の従来型伸縮装置、高さ 90mm の荷重分布型伸縮装置の 2 タイプを用いた。実験においては、床版張出部のたわみが 4.0mm に達するまで輪荷重走行疲労実験を実施し、耐疲労性を評価する。耐疲労性の評価には RC 床版の S-N 曲線および伸縮装置を設置した RC はりの S-N 曲線における傾きの逆数の絶対値 m を適用して得られた等価走行回数より評価する。

2. 荷重分布型伸縮装置の概略

実橋で採用された標準タイプの荷重分布型伸縮装置を図-1 示す。図-1 に示すように縦鋼板の側面にジベル筋を溶接し、そのジベル筋に縦鉄筋を 2 本溶接した骨組み構造である。次に、荷重分布鋼板の上に縦鋼板および骨組みの鉄筋を溶接する。縦鋼板と荷重分布鋼板には座屈防止として補剛材を溶接する。また、4 角にはアンカーボルトおよび中間部の数か所をアンカー筋を打ち込みする。設置後、RC 床版と荷重分布鋼板には 10mm の隙間を設け、10mm の隙間には流動性モルタルを充填し、荷重分布鋼板上面には超速硬コンクリートを打設する施工法である。

3. 使用材料および伸縮装置の寸法

(1) RC床版の使用材料

RC 床版のコンクリートは、道路橋示方書・同解説（以下、道示とする）³⁾に規定する設計基準強度 24N/mm^2 を目標とし、配合条件を表-1に示す。材料は普通セメントと 5mm 以下の砕砂および 5mm ~ 20mm の砕石を使用した。材齢 28 日でのコンクリートの圧縮強度は 31.2N/mm^2 である。

次に、供試体の鉄筋には SD345, D13 を用いた。材料特性値を表-2に示す。

(2) 伸縮装置に用いる鋼材

従来型および荷重分布型伸縮装置の縦鋼板には厚さ 12mm の溶接構造用圧延鋼材 SM400, 荷重分布鋼

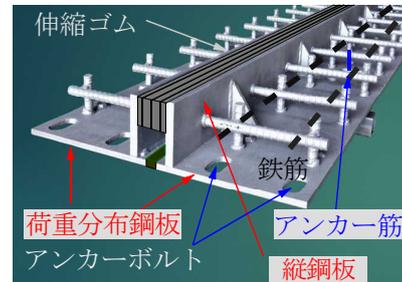


図-1 荷重分布型伸縮装置の概略

表-1 RC床版コンクリートの配合表

スランブ (cm)	W/C (%)	s/a (%)	単位重量 (kg/m ³)				減水剤 (C×%)
			水	セメント	細骨材	粗骨材	
8.0+2.5	43.8	48.3	183	418	813	1288	3.13

表-2 材料特性値

コンクリート 圧縮強度 (N/mm ²)	鉄筋 (SD345)			
	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)
31.2	D13	380	586	200

表-3 伸縮装置の材料特性値

材料		板厚および鉄筋径	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
縦鋼板	鋼板SS400	12mm	299	430	200
誘導板	鋼板SM400	9mm	332	467	
荷重分布鋼板	縦鋼板SS400	9mm	299	430	
鉄筋	SD345	D13	383	552	

板には厚さ 9mm の一般構造用圧延鋼板 SS400 を用いた。また、ジベル筋および縦筋には SD345, D16, 横筋には D13 を用いた。ここで、鋼材・鉄筋の材料特性値を表-3に示す。鋼材のヤング係数は 200kN/mm^2 である。

(3) 伸縮装置の設置に用いるセメント系材料

従来型および荷重分布型伸縮装置の設置には材齢 3 時間で道示³⁾に規定するコンクリートの設計基準強度 24N/mm^2 以上発現する専用のプレミックス材を用いる。

次に、標準タイプの荷重分布型伸縮装置は RC 床版コンクリート上面から 10mm の位置に設置することから、この 10mm の隙間には流動性モルタルを充填する。ここで流動性モルタルの配合条件を表-5に示す。

(4) 浸透性接着剤および付着用接着剤

伸縮装置の取替工事において、伸縮装置の撤去はブレーカーやチッパー等で衝撃を与えながら撤去す

Evaluation of fatigue durability of RC slabs using load distribution type of expansion joint for standard form by running wheel fatigue test

by

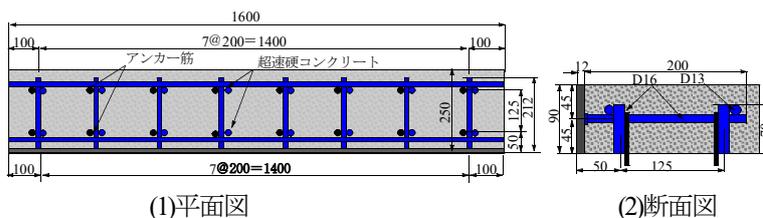
Shigetaka SASAKI, Tadashi ABE, Kazuhiko MINAKUCHI, Toshiaki SAWANO, Nobuhisa KIMURA

表-4 超速硬流動性モルタル

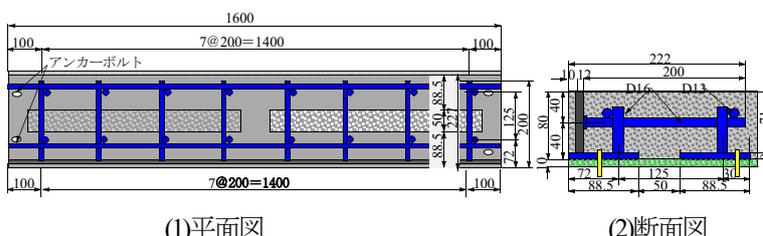
練り上げ量 (25l)		
セメント 骨材	粗骨材	水・減水剤 遅延剤
30kg	25kg	4.0kg

表-5 接着剤の性能

項目	浸透性接着剤	付着用接着剤	
外観	主剤	無色液状	白色ペースト状
	硬化剤	無色液状	青色液状
混合比	10 : 3	5 : 1	
硬化物比重	1.2	1.4	
圧縮強度	108.0N/mm ²	114.0N/mm ²	
圧縮弾性係数	2.904N/mm ²	3.612N/mm ²	
曲げ強さ	96.0N/mm ²	50.0N/mm ²	
引張せん断強さ	14.0N/mm ²	14.9N/mm ²	
コンクリート 付着強さ	2.6N/mm ² 以上	3.7N/mm ² 以上	



(1)平面図 (2)断面図
図-2 従来型の伸縮装置の寸法 (単位: mm)



(1)平面図 (2)断面図
図-3 荷重分布型伸縮装置の寸法 (単位: mm)

ることからひび割れの発生が懸念される。そこで、ひび割れ補修として、低粘度エポキシ系接着剤（以下、浸透性接着剤とする）を用いる。また、打継ぎ用の超速硬コンクリートと鋼板との付着力を高めるために高耐久型エポキシ系接着剤（以下、付着用接着剤とする）を用いる。ここで、浸透性接着剤および付着用接着剤の特性値を表-5に示す。

4. 伸縮装置供試体の寸法

(1) 標準タイプの伸縮装置の寸法

従来型伸縮装置の寸法は図-2に示すように、全長 1,600mm・幅 200mm・高さ 90mm である。高さ 90mm の縦鋼板側面に D16 のジベル筋を 200mm 間隔で溶接した。縦筋も同様に 200mm の間隔で配置し、また軸方向に D13mm の鉄筋を 2 本配置した。

(2) 荷重分布型伸縮装置の寸法

荷重分布型伸縮装置の寸法は図-3に示すように全長 1,600mm・幅 227mm・厚さ 9mm の荷重分布鋼板の上面に高さ 80mm の縦鋼板を溶接し、縦鋼板の側面に D16 のジベル筋を 200mm 間隔で溶接する。また、荷重分布鋼板に縦筋を 200mm 間隔で溶接した骨組み構造である。荷重分布鋼板に幅 50mm・長さ 700mm を 2 箇所切り抜き、10mm の隙間に流動性モルタルを充填する。

(3) RC床版供試体寸法

道示³⁾に規定する輪荷重幅は 500mm であり、本実験装置の輪荷重幅は 300mm、すなわち 3/5 モデルである。よって伸縮装置を設置する RC 床版供試体寸法を 3/5 モデルとした。ここで、供試体寸法および伸縮装置設置位置を図-4に示す。

供試体の支間は 1,400mm・全幅 1,600mm とする。また、軸方向全長は 1,205mm・遊間部 30mm とし、伸縮装置設置後の全長は 2,440mm である。伸縮装置

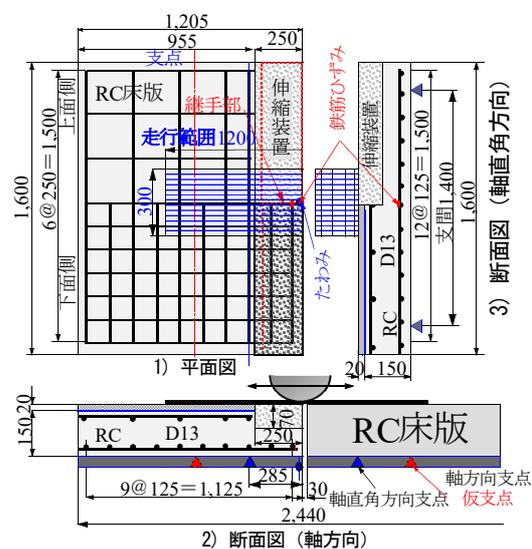


図-4 RC床版供試体寸法 (単位: mm)

を設置する部分の寸法は、幅 250mm・高さ 50mm である。RC 床版の鉄筋には D13 を用いる。引張主鉄筋の間隔は 125mm 間隔、圧縮側は 250mm 間隔とした。標準タイプの伸縮装置を設置した RC 供試体の名称を J90-N-P、荷重分布型伸縮装置を設置した RC 供試体の名称を J90-N-W とした。

(4) 高さ調整用コンクリート舗装

伸縮装置の寸法を 90mm としたことから、輪荷重を走行させるために厚さの差を超速硬コンクリートで舗装した。超速硬コンクリートで舗装することで輪荷重走行における押抜きせん断破壊を防止することが可能となる。

5. 輪荷重走行疲労実験方法

本実験は伸縮継手上を輪荷重が一定な荷重で連続走行する輪荷重走行疲労実験を行う。

輪荷重走行疲労実験における初期荷重 P_i を道示に

規定する活荷重相当の荷重 100kN, 120kN で 30,000 回走行し、その後は 30,000 回ごとに荷重を 10kN 増加し、たわみが 4.0mm (床版支間 L = 1,400mm の 1/350 : 加速期後期程度の損傷) に達するまで走行と荷重増加を繰り返す。本実験では図-4 に示すように左側に伸縮装置を設置した RC 床版を台車に設置する。各供試体における遊間部を 30mm とし、なお供試体 J90-N-W は、荷重分布鋼板を縦鋼板から 15mm の位置に溶接することから遊間部を 35mm とする。各実験において輪荷重走行 1, 10, 100, 1,000, 5,000 回および 5,000 回以降は 5,000 回走行ごとの等価走行回数を得て、耐疲労性を評価する。

6. 伸縮装置を設置するRC床版の耐疲労性の評価

(1) RC床版および伸縮装置を設置したRC床版のS-N曲線

RC 床版および伸縮装置を設置した RC 床版の S-N 曲線を図-5 に示す。

伸縮装置を設置する RC 床版の耐疲労性の評価においては、一般的に RC 床版の S-N 曲線式が用いられている。伸縮装置の取り替え工事が対象となっている RC 床版は 1994 年改訂の道示で設計されている。そこで、RC 床版の寿命推定式には松井ら²⁾が提案する S-N 曲線式(1)を用いる。

$$\log(P/P_{sx}) = -0.07835 \log N + \log 1.52 \quad (1)$$

ここに、P: 基準荷重, P_{sx} : 幅 B の押抜きせん断耐荷力 (kN), N: 繰り返し回数 (回)

一方、阿部らは既往の研究⁶⁾から、図-5 に示すように伸縮装置を設置した RC 床版および荷重分布型伸縮装置した RC 床版の定荷重疲労実験におけるそれぞれの S-N 曲線式を式(2)として与えられている。また、接着剤を用いて設置した荷重分布型伸縮装置の S-N 曲線を式(3)として与える。

- 1) 荷重分布型伸縮装置供試体(接着剤なし)

$$\log(P_d/P_u) = -0.0949 \log N + \log 1.14 \quad (2)$$

- 2) 荷重分布型伸縮装置供試体(接着剤あり)

$$\log(P_d/P_u) = -0.0949 \log N + \log 1.03 \quad (3)$$

ここに、 P_d : 基準荷重 (kN), P_u : 静的最大耐荷力 (kN), N: 繰り返し回数

輪荷重走行疲労実験における伸縮装置を設置した RC 床版の疲労寿命の評価においては、松井らや阿部らが提案する S-N 曲線式の傾きの逆数の絶対値 m を用いて得られた等価走行回数より評価する。

(2) 等価走行回数

本実験では、段階荷重載荷による輪荷重走行疲労

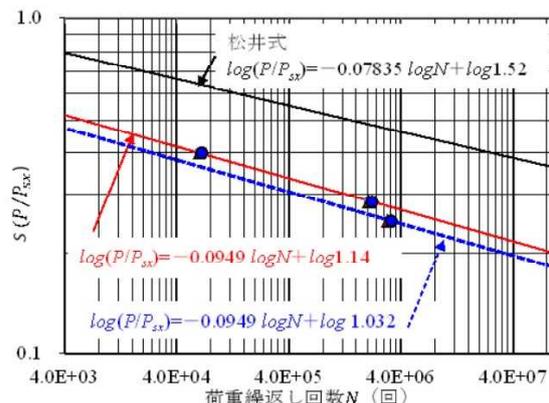


図-5 RC 床版および伸縮装置を設置した RC 床版の S-N 曲線

実験を行ったことから耐疲労性の評価は等価走行回数 N_{eq} を式[1]より算出して評価する。等価走行回数の算定における基準荷重は道示³⁾に規定する T 荷重 100kN に、3/5 モデルとした 60kN に安全率 1.3 を考慮した 78kN とする。なお、式(4)における RC 床版の S-N 曲線の傾きの逆数の絶対値 m は松井らが提案する $m = 12.7$ を適用する⁴⁾。また、伸縮装置を設置する RC 床版の S-N 曲線の傾きの逆数の絶対値 m は阿部らが提案する $m = 10.5$ を適用する。

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

ここに、 P_i : 載荷荷重 (kN), P: 基準荷重 (kN), n_i : 実験走行回数 (回), m: S-N 曲線の傾きの逆数 (=12.7, 10.5)⁴⁾

7. 結果および考察

(1) 等価走行回数および等価走行回数比

段差量 20mm を通過するときの実橋の荷重変動は、基準荷重の $\pm 47\%$ 程度発生し⁵⁾、段差量 0mm の場合でも $\pm 25\%$ 程度作用している。本実験においても段差量を設けない状態で伸縮装置を通過する時の荷重変動は輪荷重の $\pm 20 \sim 25\%$ 程度発生している。よって、本実験の等価走行回数の算定における基準荷重は道示に規定する活荷重 100kN にモデル化した 3/5 を考慮した 60kN の荷重変動に安全率を考慮して 1.3 倍の 78kN を基準荷重とした。たわみが 4.0mm に達した走行回数を用いて式 (1) より算出した各供試体の等価走行回数および等価走行回数比、たわみが 4.0mm に達するまでの年数を表-6 に示す。

(2) S-N曲線の傾きの逆数の絶対値 $m=12.7$ および 10.5 を用いた場合の等価走行回数比

松井らが提案する S-N 曲線の傾きの逆数の絶対値 $m = 12.7$ を用いた場合の等価走行回数は、従来型伸

表－6 たわみが4.0mmに達した時点の等価走行回数および等価走行回数比

供試体名称		荷重				等価走行回数 合計 (回)	等価走行回数比		たわみが 4mmに達 する年数
		100kN	120kN	130kN	140kN				
RC.J90-P	N	20,000	20,000	4,901			$N_{eq,12.7}/N_{eq,10.5}$		
	$N_{eq,12.7}$	469,277	4,278,554	3,219,318		7,967,149	—	—	10.91
	$N_{eq,10.5}$	271,668	1,658,465	1,046,397		2,976,530	0.37	—	4.08
RC.J90-W	N	30,000	20,000	20,000	501		$N_{eq,12.7}/N_{eq,10.5}$	W/P	
	$N_{eq,12.7}$	469,277	4,753,685	13,137,391	843,456	19,203,808	—	2.41	26.31
	$N_{eq,10.5}$	271,668	1,842,637	4,270,138	232,910	6,617,353	0.34	2.22	9.06

縮装置を設置した供試体 J90-N-P の等価走行回数は 7.967×10^6 回である。次に、接着剤を塗布して荷重分布型伸縮装置を設置した供試体 J90-N-W の等価走行回数は 19.203×10^6 回であり、従来型の 2.41 倍である。

一方、阿部らが提案する伸縮装置を設置した RC はりの定点試験における S-N 曲線の傾きの逆数の絶対値 $m = 10.5$ を適用した場合の供試体 J90-N-P の等価走行回数は 2.976×10^6 回、接着剤を塗布して設置した供試体 J90-N-W の等価走行回数は 6.617×10^6 回であり、 $m = 12.7$ を適用した等価走行回数との比は 0.37、0.34 である。また、 $m = 10.5$ を適用した場合の供試体 J90-N-P と J90-N-W の等価走行回数を比較すると、接着剤を塗布した供試体 J90-N-W が 2.22 倍である。

以上より、RC 床版の S-N 曲線の傾きの絶対値 $m = 12.7$ を適用した場合と伸縮装置を設置した RC はりの定点疲労試験より得られた S-N 曲線の傾きの逆数を用いることで等価走行回数との比は 0.37、0.34 となり、かなり安全側となる。

(3) たわみが4mmに達するまでの寿命年数

表－6 に示す等価走行回数から大型車両が 1 日 1 方向の計画交通量を 2,000 台とした場合の破壊年数は式[2]として与えられる。

$$N_{YL} = N_{eq}(2,000/365) \times D_c \quad [2]$$

ここに、 N_{YL} ：たわみが 4mm までの寿命年数、 N_{eq} ：等価走行回数、 D_c ：湿潤状態におけるコンクリート劣化係数 (= 0.7 であるが本研究では 1.0 とする)

湿潤状態におけるコンクリート劣化係数 $D_c = 1.0$ ⁵⁾、⁶⁾とした場合の $m = 12.7$ を用いた供試体 J90-N-P のたわみが 4.0mm に達するまでの寿命年数は 10.91 年である。供試体 J90-N-W は 26.31 年である。次に、 $m = 10.5$ を用いた供試体 J90-N-P のたわみが 4.0mm に達するまでの寿命年数は 4.08 年である。荷重分布型伸縮装置を用いた供試体 J90-N-W は 9.06 年となる。

8. まとめ

従来型の伸縮装置および荷重分布型伸縮装置を設置した RC 床版を用いて輪荷重走行疲労実験から得

た耐疲労性の評価にて、RC 床版の S-N 曲線および伸縮装置を設置した RC はりの S-N 曲線における傾きの逆数の絶対値 m を適用した等価走行回数より以下の知見が得られた。

- (1) S-N 曲線の傾きの逆数の絶対値 $m = 12.7$ を用いた場合の等価走行回数は、J90-N-P の等価走行回数 7.967×10^6 回に対し、J90-N-W は 19.203×10^6 回であり、従来型の 2.41 倍であった。
- (2) S-N 曲線の傾きの逆数の絶対値 $m = 10.5$ を用いた場合の等価走行回数は、J90-N-P の等価走行回数 2.976×10^6 回に対し、J90-N-W は 6.617×10^6 回であり、従来型の 2.22 倍であった。
- (3) たわみが 4mm に達するまでの寿命年数については、 $m = 12.7$ を用いた J90-N-P の寿命年数は 10.91 年に対し、J90-N-W は 26.31 年である。 $m = 10.5$ を用いた J90-N-P の寿命年数は 4.08 年に対し、J90-N-W は 9.06 年となった。

以上から荷重分布型伸縮装置は、耐疲労性が高く設置後の耐用年数が長い長寿命化が図れる。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I, II, 1994
- 2) 阿部忠ほか：普通セメントに低収縮型早強性混和剤を配合した SFRC 舗装による鋼床版の応力低減効果：土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol.71, No.2, pp.47-62, 2015.
- 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) 川井豊ほか：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.
- 5) 阿部忠ほか：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.
- 6) 阿部忠ほか：伸縮装置を設置した RC はりの静的耐力および修正 Goodman の関係式を用いた耐疲労性の評価、構造工学論文集 Vol.69A, pp.871-883, 2023.