

鋼製伸縮装置を設置した RC 床版の輪荷重走行疲労実験における 耐疲労性および荷重変動による衝撃係数

日大生産工(院) ○小林 莉子 日大・名誉教授 阿部 忠
日大生産工(院) 木村 延 日大生産工 水口 和彦, 野口 博之

1. はじめに

道路橋伸縮装置を設置した RC 床版の耐疲労性の評価に関して、関口ら¹⁾や阿部ら²⁾が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、耐疲労性を評価している。とくに阿部ら²⁾は鋼製伸縮装置を設置した RC 床版の耐疲労の評価では、修正 Goodman の関係式から得られた S-N 曲線式を提案し、S-N 曲線の傾きの逆数の絶対値 $m=10.5$ が提案されている。また、阿部ら²⁾は輪荷重走行疲労実験において、輪荷重が伸縮装置を通過する際に荷重変動が生じ、これが衝撃となって作用することも指摘している。そこで本研究では、鋼製伸縮装置を設置した RC 床版供試体を用いて輪荷重走行疲労実験を実施し、修正 Goodman の関係式から得られた S-N 曲線の傾きの逆数の絶対値 $m=10.5$ を適用し、それぞれの等価走行回数を算定し、耐疲労性を評価する。次に、伸縮装置上を輪荷重が走行することによる荷重変動および衝撃係数を検証する。衝撃係数の検証においては、動的増幅率⁴⁾から検証する。

2. 使用材料および伸縮装置の寸法

2.1 使用材料

(1) RC床版の使用材料 伸縮装置を設置する RC 床版のコンクリートは、道路橋示方書・同解説(道示)³⁾に規定する設計基準強度 24N/mm^2 を目標とし、配合条件とした。材齢 28 日でのコンクリートの圧縮強度は 31.2N/mm^2 で、実験時の圧縮強度は 35.1N/mm^2 である。次に、供試体の鉄筋には SD345, D13 を用いる。材料特性値を表-1 に示す。

(2) 伸縮装置に用いる鋼材 伸縮装置の縦鋼板には厚さ 12mm の溶接構造用圧延鋼材 SM400、また荷重分布鋼板には厚さ 9mm の一般構造用圧延鋼板 SS400 を用いた。ジベル筋および縦筋には SD345, D16, 交差部軸方向鉄筋には D13 を用いた。ここで、鋼材・鉄筋の材料特性値を表-3 に示す。

(3) 伸縮装置の設置に用いるセメント系材料

荷重分布型伸縮装置の設置は 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 の隙間には市販の流動性モルタルを充填

表-1 コンクリート、鉄筋の材料特性値

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

表-2 伸縮装置に用いる材料特性値

材料		降伏強度 (N/mm^2)	引張強度 (N/mm^2)	ヤング係数 (kN/mm^2)
RC床版	主筋・配力筋	D13 (SD345)	360	496
	鋼製パラペット 荷重分布鋼板	一般鋼板 SS400	305	445
伸縮装置	ジベル筋	D16 (SD345)	388	516
	縦筋	D16 (SD345)	401	574
	交差部軸方向筋	D13 (SD345)	389	592

表-3 超速硬流動性モルタル

示方配合		圧縮強度	
水材料比	練り上げ量 (約13.5l)		材齢 3時間
	プレミックス	水	
18	25kg	4.8	26.8N/mm^2

表-4 超速硬コンクリート

練り上げ量 (25l)			圧縮強度	
セメント 骨材	粗骨材	水・減水剤 遅延剤	材齢 3時間	材齢 24時間
30kg	25kg	4.0kg	25.4N/mm^2	51.9N/mm^2

する。また、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の超速硬コンクリートを用いた。流動性モルタル配合条件を表-3、超速硬コンクリートの配合条件を表-4 に示す。

(4) 浸透性接着剤および付着用接着剤 荷重分布型伸縮装置の設置において、旧伸縮装置の撤去をブレーカなどで衝撃を与えながら撤去することからひび割れが生じる。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、打継用の超速硬コンクリートとの付着力を高めるために高耐久型エ

Fatigue Durability and Impact Factor of Load Fluctuation of RC Slab with Steel Expansion Joint by Fatigue Test

Riko Kobayashi, Hisanobu Kimura, Tadashi Abe, Kazuhiko Minakuchi and Hiroyuki Noguchi

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付着強度は浸透性接着剤が 2.6N/mm^2 、付着用接着剤は 3.7N/mm^2 以上を有している。

2.2 伸縮装置供試体の寸法

本実験では、従来型伸縮装置および荷重分布型伸縮装置を用いた。それぞれの伸縮装置の形状および寸法を図-1, 2に示す。

(1) 従来型伸縮装置（高さ70mm） 従来型の伸縮装置の誘導板の配置は図-1に示すように200mm 間隔で配置する。誘導板の上面からかぶり30mm の位置にD13 の鉄筋を伸縮装置の軸方向に2本配置する。断面形状は図-1(2)に示すように、厚さ12mm の縦鋼板側面に厚さ9mm の誘導板を接合する。ここで、供試体をRC.J70-P とする。

(2) 荷重分布型伸縮装置（高さ70mm） 荷重分布型伸縮装置の誘導板の配置は図-2に示すように、従来型の伸縮装置と同様に200mm 間隔で配置する。断面形状は図-2(2)に示すように、厚さ12mm の縦鋼板側面に厚さ9mm の誘導板を接合する。誘導板の下面の荷重分布鋼板には厚さ9mm の縞鋼板を用いる。供試体をRC.J70-W とする。

2.3 伸縮装置を設置するRC床版供試体の寸法

(1) RC床版供試体寸法 道示³⁾に規定する輪荷重幅は500mm である。しかし、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-3に示す。図-3(1)に示す赤破線は伸縮装置の設置位置である。

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が2,440mm である。伸縮装置を設置する切り欠き部の寸法は図-3(2)に示すように、幅250mm, 高さ50mm とする。RC床版の鉄筋にはD13を用いる。引張側主鉄筋の間隔は125mm 間隔、圧縮側は250mm 間隔とする。

(2) コンクリート舗装 伸縮装置の設置寸法は幅250mm, 切り欠き高さ50mm に高さ70mm の伸縮装置を設置することから、20mm の段差が生じる。そこで本実験では、厚さ20mm を超速硬コンクリートで舗装を行い、押抜きせん断破壊を防止する。

3. 輪荷重走行疲労実験

輪荷重走行疲労実験における荷重条件は荷重100kN, 110kN で30,000回走行ごとに荷重を10kN 増加する。輪荷重走行疲労実験は図-3に示すように、伸縮装置を設置したRC床版と遊間部の幅30mm を開け、同一高さのRC床版を設置し、たわ

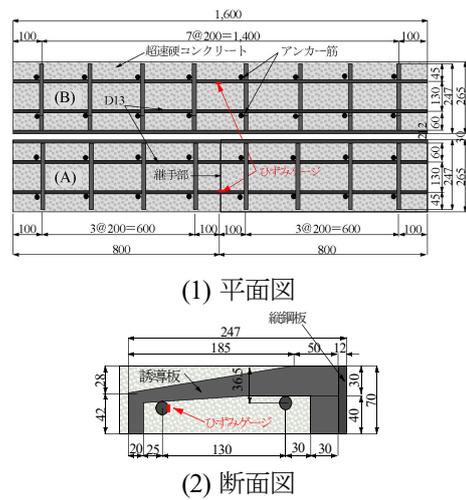


図-1 従来形伸縮装置

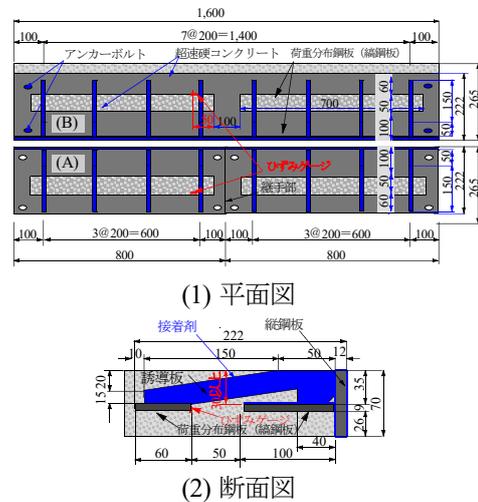


図-2 分布荷重型伸縮装置

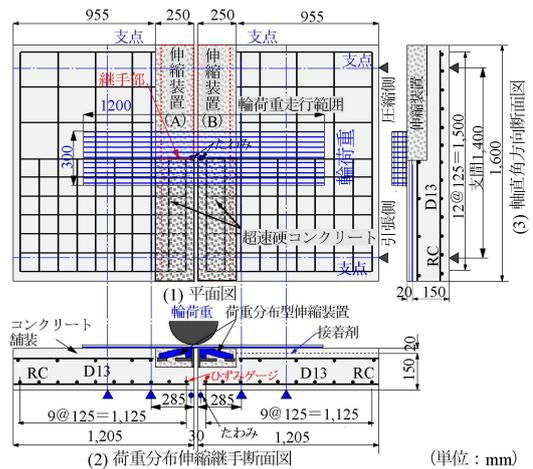


図-3 RC床版供試体寸法

みが4.0mm に達した時点で実験を終了する。耐疲労性の評価は等価走行回数を得て評価する。

3.1 等価走行回数の算定

本実験では、段階荷重載荷による輪荷重走行疲労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。なお、式

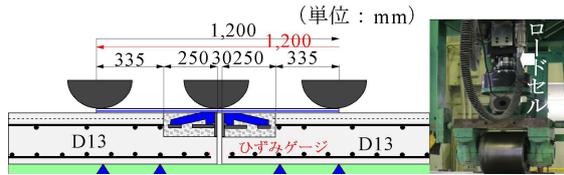


図-4 輪荷重走行範囲および計測状況

(1)における RC 床版の S-N 曲線の傾きの逆数の絶対値には $m=10.5$ を適用する。

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

ここに、 P_i : 載荷荷重 (kN), P : 基準荷重 (kN), n : 実験走行回数 (回), m : S-N 曲線式の傾きの逆数の絶対値 ($= 10.5$)²⁾

3.2 輪荷重走行疲労実験の結果および考察

輪荷重走行疲労実験による耐疲労性の評価は式

(1)より算定した等価走行回数とする。

従来型の雪国タイプの伸縮装置を設置した供試体(B)の等価走行回数は、S-N 曲線式の傾きの逆数の絶対値 $m = 10.5$ を適用した等価走行回数は 0.944×10^6 回である。

次に、荷重分布型伸縮装置を設置した供試体(B)の等価走行回数は、 5.198×10^6 回である。従来型の伸縮装置の等価走行回数に対して、5.51 倍の等価走行回数である。

以上より、誘導板下面に荷重分布鋼板を設けることで耐疲労性が向上する結果となった。

4. 伸縮装置および遊間部を輪荷重が走行する際に発生する荷重変動

4.1 荷重変動に関する実験方法

本実験における荷重変動の計測範囲および計測状況を図-4に示す。輪荷重は図-4に示す供試体左端部から走行開始し、遊間部を通過し、右端部までの1,200mmを走行し、折り返して元の位置までの合計2,400mmの区間の荷重変動を動的に計測する。荷重変動は輪荷重装置のロードセルから検出する。計測は10回目 ($N_{eq} = 137$ 回) と、荷重110kNで30,001回目 ($N_{eq} = 407,537$ 回) とする。ここで、基準荷重100kNでの荷重変動を図-5(1)、110kNでの荷重変動を、図-5(2)に示す。

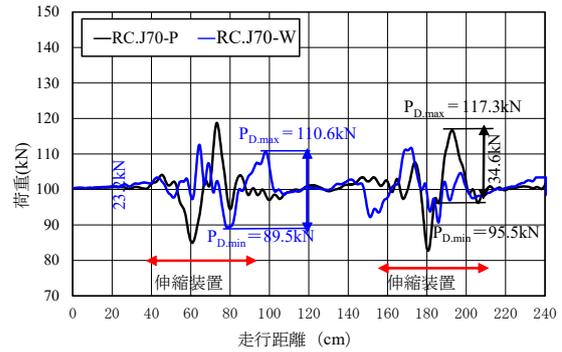
4.2 1走行における荷重変動

輪荷重走行疲労実験における1走行の荷重振幅を図-5に示す。

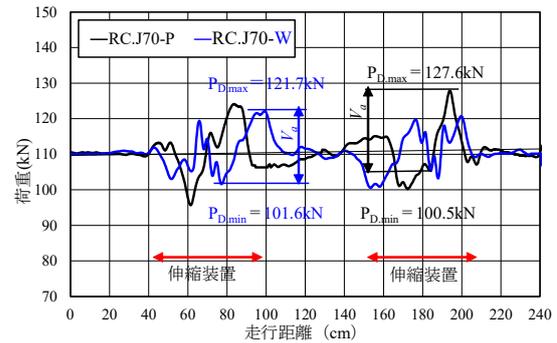
(1) 振動荷重の算定 1 走行の荷重変動は式(2)より算出する。

$$P_F = (P_{D,max} - P_{D,min})/2 \quad (2)$$

ここに、 P_F : 荷重変動 (\pm kN), $P_{D,max}$: 1 走行に



(1) 荷重100kN時の荷重変動



(2) 荷重110kN時の荷重

図-5 荷重100kN, 110kN 走行時の荷重変動

おける最大動的荷重 (kN), $P_{D,min}$: 1 走行における最小動的荷重 (kN)

(2) 基準荷重100kNで走行した場合の荷重変動

従来型伸縮装置を設置した RC 床版上を荷重100kNで走行した場合の荷重変動は図-5(1)に示すように、走行距離180cm、すなわち1,200mmで折り返し600mmの位置の最大動的荷重が $P_{D,max} = 117.3$ kN, 最小動的荷重 $P_{D,min} = 95.5$ kN である。式(2)より荷重変動を算出すると $P_F = \pm 10.9$ kN である。これに対して荷重分布型伸縮装置を設置した RC 床版は、最大動的荷重 $P_{D,max} = 110.6$ kN, 最小動的荷重 $P_{D,min} = 89.5$ kN, 荷重変動 $P_F = \pm 10.5$ kN である。

以上より、従来型の荷重変動に対して荷重分布型の荷重変動は96%であった。

(3) 基準荷重110kNで走行した場合の荷重変動

110kNで走行した場合の従来型の荷重変動は図-5(2)に示すように、走行距離160cm付近から荷重変動が生じ、最大動的荷重 $P_{D,max} = 127.6$ kN, 最小動的荷重 $P_{D,min} = 100.5$ kN である。よって、荷重変動 $P_F = \pm 13.6$ kN である。これに対して荷重分布型伸縮装置を設置した RC 床版は走行距離600mm、すなわち遊間部を通過する際に最大荷重121.7kN, 最小荷重101.6kN, 荷重変動 $P_F = \pm 10.1$ kN である。よって、従来型の荷重変動に対して荷重

分布の荷重変動は74%である。

以上より、従来型の伸縮装置を設置した場合は伸縮装置の縦鋼板を通過する際に荷重変動が最大となる。これに対して荷重分布型伸縮装置を設置した場合は荷重分布鋼板により、荷重分布鋼板により基準荷重の輪荷重が広く分布したことにより、荷重変動が小さくなる結果が得られた。

4.3 衝撃係数 I

本実験における荷重変動およびそれに伴う衝撃係数の評価に関する実験は、鋼製の伸縮装置を設置し、遊間部 30mm 上を通過する際に発生する荷重変動を、輪荷重装置から得られる荷重から動的に計測する。実験装置の輪荷重のロードセルから直接走行中の荷重変動を直接計測したことから、動的増幅率(以下 DAF)によるたわみ値を荷重に置き換えて衝撃係数 I を評価する。

(1) 動的増幅率 DAF の概念⁵⁾ DAF は、最大静的たわみ値を基準に、その値と最大動的たわみ値の差を最大静的たわみで除したものと定義され、式(3.1)で与えられる。道路橋の DAF による衝撃係数は、走行実験による動的増幅率から 1 を引いた値と定義し、式(3.2)で与えている。

$$DAF = 1 + (y_{D,max} - y_{S,max})/y_{S,max} \quad (3.1)$$

$$I = DAF - 1 \quad (3.2)$$

ここに、 DAF : 動的増幅率、 $y_{D,max}$: 最大動的たわみ、 $y_{S,max}$: 最大静的たわみ、 I : 衝撃係数

そこで、最大動的たわみ $y_{D,max}$ を最大動的荷重 $P_{D,max}$ 、最大静的たわみを本実験の最大静的荷重を本実験の基準荷重 $P_{S,max}$ とすると衝撃係数 I を式(4)として与えられる。

$$I = (P_{D,max} - P_{S,max})/P_{S,max} \quad (4)$$

ここに、 I : 衝撃係数、 $P_{D,max}$: 最大動的荷重、 $P_{S,max}$: 最大静的荷重 (基準荷重 = 100kN, 110kN)

(2) 基準荷重100kNで走行した場合の衝撃係数

従来型の伸縮装置を設置した RC 床版上を 100kN で走行した場合の荷重変動は図- 5(1)に示すように、1,200mm で折り返して 600mm(走行開始から 1,800mm の位置)の位置の最大動的荷重 $P_{D,max} = 117.3\text{kN}$ 、最大静的荷重 $P_{S,max} = 95.5\text{kN}$ である。衝撃係数 I を式(4)より算定すると、 $I = 0.228$ である。また、荷重分布型伸縮装置を設置した RC 床版は、最大動的荷重 $P_{D,max} = 110.6\text{kN}$ 、最大静的荷重 $P_{S,max} = 89.5\text{kN}$ であり、衝撃係数 $I = 0.236$ である。

以上より、従来型の衝撃係数に対して荷重分布型の衝撃係数は 1.03 倍であり、ほぼ同等である。

(3) 基準荷重110kNで走行した場合の衝撃係数

基準荷重 110kN で走行した場合の従来型の荷重変動は図- 5(2)に示すように、走行距離 160cm 付

近から荷重変動が生じ、最大動的荷重 $P_{D,max} = 127.6\text{kN}$ 、最大静的荷重 $P_{S,max} = 100.5\text{kN}$ であり、衝撃係数 $I = 0.270$ である。次に、荷重分布型伸縮装置を設置した供試体の最大動的荷重 $P_{D,max} = 121.7\text{kN}$ 、最大静的荷重 $P_{S,max} = 101.6\text{kN}$ であり、衝撃係数 $I = 0.198$ である。

以上より、従来型の衝撃係数に対して荷重分布型の衝撃係数は 74%であり、基準荷重に関わらず衝撃係数を低減できる結果が得られた。

5. まとめ

(1) 輪荷重走行疲労実験における実験走行回数に修正 Goodman の関係式から得られた S-N 曲線式の傾きの逆数の絶対値 $m = 10.5$ を適用して得られた等価走行回数による耐疲労性の評価においては、従来型の等価走行回数に対して荷重分布型伸縮装置の等価走行回数は 5.5 倍となり、荷重分布鋼板の影響により耐疲労性が向上した。

(2) 輪荷重が伸縮装置上を通過する際に発生する荷重変動は、従来型の場合の荷重振幅は荷重 100kN, 110kN の平均で $\pm 12.3\text{kN}$ である。これに対して荷重分布型伸縮装置の荷重振幅の平均は $\pm 10.4\text{kN}$ であり、荷重分布鋼板を設けることで 16% の荷重変動が減少する結果となった。

(3) 輪荷重が従来型の伸縮装置遊間部上を通過する際に発生する衝撃係数 I は荷重 100kN, 110kN で走行した場合、それぞれ 0.228, 0.270 であり、荷重分布型伸縮装置の場合、荷重 100kN, 110kN で走行した場合、それぞれ 0.236, 0.198 であり、従来型の衝撃係数に対して荷重分布型の衝撃係数は 87%である。荷重分布型鋼板を設けることにより、衝撃係数を低減できる結果となった。

参考文献

- 1) 関口幹夫, 大石雅登: 道路橋伸縮装置の補修に関する技術資料, 平成 24 年東京都土木研究所年報, pp.105-116, 2012.
- 2) 阿部忠, 佐々木茂隆, 野口博之, 水口和彦, 川井豊: 伸縮装置を設置した RC はりの静的耐荷力および修正 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, 2023.3
- 3) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 I, II, 1980
- 4) 伊藤清志, 阿部 忠, 児玉孝喜, 小林哲夫: SFRC 上面増厚補強法における湿潤状態での接着剤の効果および耐疲労性の評価, セメント・コンクリート論文集, No. 65, pp.477-484, 2012.2
- 5) 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