

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

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

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、耐疲労性および構造特性および破壊状況を検証した。実験供試体には雪国タイプの高さ 70mm の従来型伸縮装置、高さ 70mm, 90mm の荷重分布型伸縮装置の 3 タイプを設置した RC 床版を用いた。耐疲労性の評価は輪荷重走行疲労実験を行い、等価走行回数を得て耐疲労性を評価した。

2. 荷重分布型伸縮装置の概略

雪国タイプの荷重分布型伸縮装置の概略は図-1に示すように、伸縮部の縦鋼板に除雪車のスノープラウが接触しないように誘導板が設けられる。この誘導板の傾斜にそって除雪車のスノープラウが誘導され、除雪による事故の防止を図っている。本荷重分布型伸縮装置は SM400 の縦鋼板の側面に誘導板を溶接し、縦鋼板の側面および誘導板下面に、荷重分布鋼板が溶接され、一体化される。設置においては両端部 4 角をアンカーボルト、中間部の数か所にアンカー筋を打ち込み、誘導板と溶接する。最後に超速硬コンクリートの打ち込みを行う施工法である。

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)¹⁾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。表-1より普通セメントと 5mm 以下の砕砂および 5mm ~ 20mm の砕石を使用した。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

伸縮装置の縦鋼板には厚さ 12mm の溶接構造用圧延鋼材 SM400, 荷重分布鋼板には厚さ 9mm の一般構造用圧延鋼材 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。

(3) 伸縮装置の設置に用いるセメント系材料

雪国タイプの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¹⁾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。ここで、超速硬コンクリートの

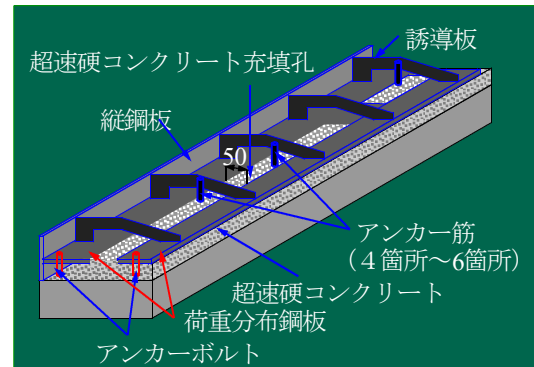


図-1 荷重分布型伸縮装置（雪国タイプ）

表-1 RC床版コンクリートの配合条件

スランプ (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)
縦鋼板	305	445	200
荷重分布鋼板			
ジベル筋	388	516	
縦筋	401	574	
交差部軸方向筋	389	592	

表-4 超速硬コンクリートの配合

水材 料比	示方配合		圧縮強度
	練り上げ量 (約13.5l)	材齢 3時間	
18	25kg	4.8l	26.8N/mm ²

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

伸縮装置の取替工事において、伸縮装置の撤去はブレード等で衝撃を与えながら撤去することからひび割れの発生が懸念される。そこで、撤去時のひび割れ補修として、低粘度エポキシ系接着剤（以下、

Evaluation of fatigue durability in running wheel load tests of RC slabs using load distribution type of expansion joint for cold weather specification

by

Hisanobu KIMURA, Tadashi ABE, Toshiaki SAWANO, Hiroyuki NOGUCHI and Shigetaka SASAKI

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

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. 伸縮装置供試体およびRC床版の寸法

(1) 雪国タイプの伸縮装置の寸法

従来型伸縮装置の寸法は図-2(1)に示すように、全長1,600mm、幅247mm、高さ70mmである。誘導板の間隔は200mmとした。縦鋼板および誘導板の厚さは12mmである。コンクリート表面からかぶり30mmの位置にD13の鉄筋を2本配置する。供試体名をJ70-S-Pとする。

次に、荷重分布型伸縮装置は図-2(2)に示すように、伸縮装置の全長、高さは従来型と同様であり、幅が222mmである。縦鋼板側面に誘導板を溶接し、その底面には全長1,600mm、幅210mm、厚さ9mmの荷重分布鋼板を溶接する。また、幅50mm、長さ700mmを切り抜き、超速硬コンクリートを充填する。荷重分布鋼板にはSS400相当の縞鋼板を用いた。また、高さ90mmの荷重分布型伸縮装置を製作し、耐疲労性を検証す。高さ90mmの伸縮装置の寸法を図-2(2)に併記した。誘導板間隔の寸法は高さ70mmと同様である。供試体名をJ70-S-W、J90-S-Wとする。

(2) RC床版供試体寸法

本実験に使用する供試体は、道示¹⁾に規定するRC床版の3/5モデルである。供試体寸法および伸縮装置設置位置を図-3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が2,440mmとなる。伸縮装置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。伸縮装置の高さを70mm、90mmとしたことから輪荷重を走行させるため厚さの差を超速硬コンクリートで舗装した。高さ70mmの伸縮装置を設置するRC床版には20mm、90mmの伸縮装置を設置するRC床版には40mm厚のコンクリート舗装を施した。

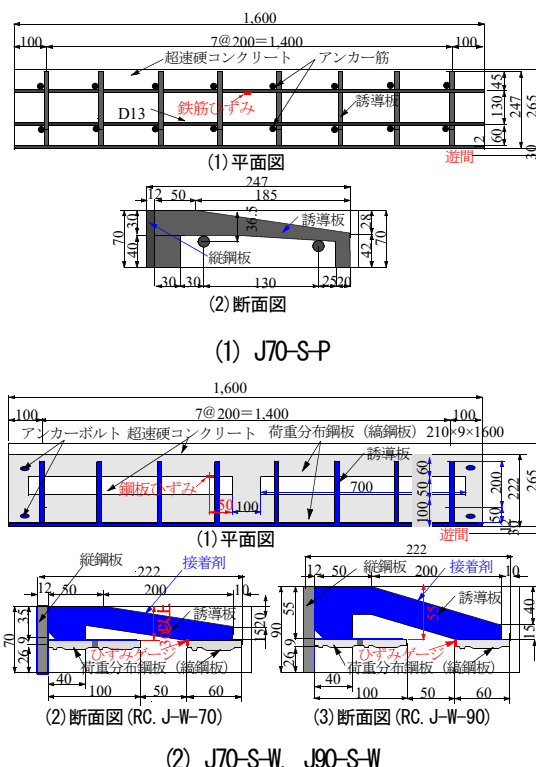


図-2 荷重分布型伸縮装置の寸法(雪国タイプ)

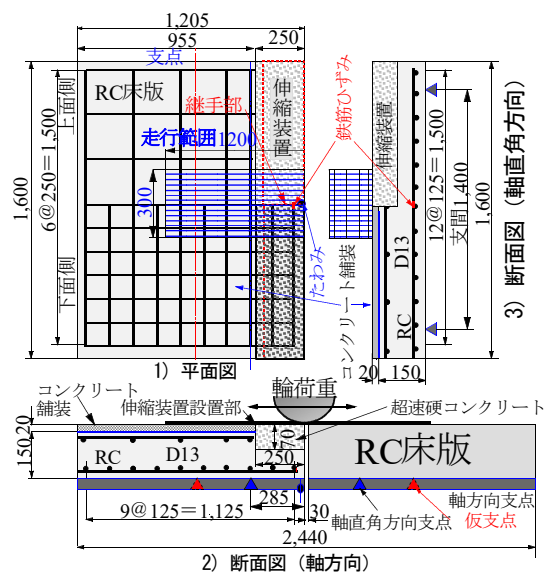


図-3 伸縮装置を設置するRC床版の寸法

5. 伸縮装置施工方法(雪国タイプ)

(1) 従来型の伸縮装置の施工手順

雪国タイプの従来型の伸縮装置の施工手順を写真-1(1)に示す。伸縮装置を設置する(写真-1(1),1)に示すように伸縮装置を仮設置する。次に、軸方向および軸直角方向に200mm間隔でφ16mm、深さ60mmの孔を削孔し、アンカー筋を挿入して、ハンマーで打ち込みする(写真-1(1),2)次に、アンカー筋を誘導板および鉄筋等に溶接する。設置が完了した後、



1) 伸縮装置設置

2) アンカー筋打ち込み

3) コンクリート打設

4) 表面仕上げ・養生

(1) 従来型伸縮装置



1) 浸透性接着剤塗布

2) 付着用接着剤塗布

3) 伸縮装置設置

4) コンクリート打設

(2) 荷重分布型伸縮装置 (雪国タイプ)

写真-1 従来型誘導板付き伸縮装置の施工手順

超速硬コンクリートを打込む(写真-1(1),3))。最後に表面仕上げし、養生して完成となる(写真-1(1),4))。従来型伸縮装置の設置に要する時間は、アンカー筋を片側16箇所、両側で32箇所打ち込み溶接することから220分、コンクリート打設で40分、併せて260分を要する。

(2) 荷重分布型伸縮装置の施工手順

RC床版コンクリート表面にひび割れ補修用の浸透性接着剤を塗布する(写真-1(2),1))。次に、伸縮装置の鋼材表面には付着用接着剤を塗布する(写真-1(2),2))。その後、荷重分布型伸縮装置の4隅をアンカーボルトで固定し(写真-1(2),3))、鋼材に付着用接着剤を塗布する。次に、超速硬コンクリートを打設し(写真-1(2),4))、表面仕上げし、養生して完成となる。荷重分布型伸縮装置の設置に要する時間は、アンカーボルト両側で10箇所70分、接着剤塗布時間60分、コンクリートの打ち込みまで40分とすると、併せて170分である。よって、従来の伸縮装置のアンカー筋を打ち込みして設置する施工法に比べて2/3程度の時間で施工が可能となった。

6. 輪荷重走行疲労実験

(1) 実験方法

本実験は輪荷重走行疲労実験を行う。荷重走行疲労実験における初期荷重 P_1 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 $L = 1,400\text{mm}$ 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。耐疲労性の評価においては、たわみが4.0mmに達した時の走行回数から評価する。

本実験では片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幅は30mm

である。よって、輪荷重が伸縮装置を通過する際には走行荷重に対する荷重変動が生じる。そこで、供試体ごとに荷重100kNで走行100回における荷重変動を計測する。また、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回走行ごとにたわみを計測する。

(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¹⁾に規定するT荷重100kNに、3/5モデルとした60kNに安全率13を考慮した78kNとする。なお、式[1]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⁾。

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

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)²⁾

7. 結果および考察

(1) 伸縮装置通過における荷重変動

輪荷重走行疲労実験における輪荷重が伸縮装置を通過時に発生する荷重変動について荷重と走行距離の関係を図-4に示す。

既往の研究³⁾において段差量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、段差量0mmの場合でも $\pm 25\%$ 程度作用している。本実験においては、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、図-4に示すように従来型の伸縮装置を設置した供試体J70-S-Pの荷重変動は

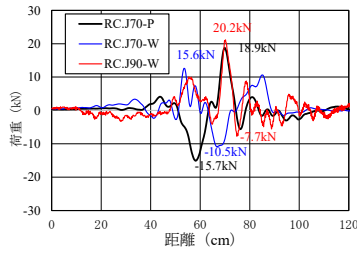


図-4 荷重と走行距離の関係

表-6 等価走行回数

供試体名称	等価走行回数	等価走行回数比	
	合計 (回)		
RC.J70-P	1,847,167	—	—
RC.J70-W	13,020,584	7.05	—
RC.J90-W	26,421,591	14.30	2.03

+18.9kN, -15.7kNである。実験荷重 100kN に対して 1.19 倍、荷重変動は ±17.3 % である。また、荷重分布型伸縮装置を設置した供試体 J70-S-W の荷重変動は +15.6kN, -10.5kN であり、実験荷重に対して 1.16 倍、荷重変動は ±13.1% である。高さ 90mm の荷重分布型伸縮装置を設置した供試体 J90-S-W は +20.2kN, -7.7kN であり、実験荷重に対して 1.20 倍、荷重変動は ±13.9% である。

以上より、伸縮装置の縦鋼板を輪荷重が走行することで荷重変動が生じる。この荷重変動による衝撃は、RC 床版の損傷および騒音発生的重要因素となることから、荷重変動を減少させる工夫が必要になると考える。

(2) 等価走行回数および等価走行回数比

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 3/5 モデルを考慮した場合 60kN となり、荷重変動 (1.2 = 72kN) に安全率を考慮して 13 倍の 78kN を基準荷重とし、式[1]に適用して等価走行回数を評価する。本実験によって得られた等価走行回数と等価走行回数比を表-6に示す。

従来型誘導板付き伸縮装置を設置した供試体 J70-S-P のたわみが 4.0mm に達した時点の等価走行回数は 1.847×10^6 回である。

荷重分布型伸縮装置を設置した供試体 J70-S-W の等価走行回数は 13.020×10^6 回であり、RC 床版供試体 J70-S-P の等価走行回数の 7.05 倍である。

また、高さを 20mm 高くした伸縮装置を設置した供試体 J90-S-W の等価走行回数は 26.421×10^6 回であり、供試体 J70-S-P の 14.3 倍である。高さ 70mm の供試体 J70-S-W と比較すると 2.03 倍となり、伸縮装置の高さ 20mm 高くすることで伸縮装置の剛性が向上し、併せて耐疲労性が向上した。

(3) たわみ 4.0mm の時点のひび割れ状況

輪荷重走行疲労実験におけるたわみ 4.0mm の時点

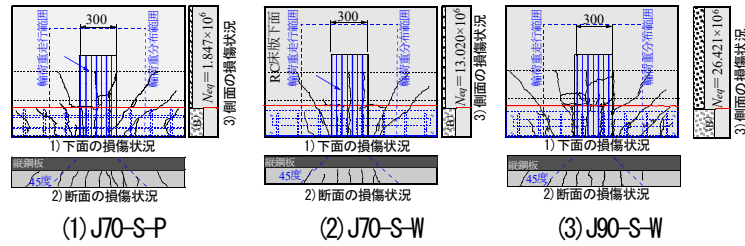


図-5 たわみ 4.0mm 時のひび割れ状況

の各供試体のひび割れ状況を図-5に示す。

供試体 J70-S-P のひび割れ状況は図-5(1)に示すように、下面は底面から発生したひび割れは、誘導板に荷重が集中し、誘導板間隔でひび割れが発生している。

次に、供試体 J70-S-W のひび割れ状況は図-5(2)に示すように、供試体 J70-S-P と比較して等価走行回数が 7.05 倍にもかかわらず上面、前面ともにひび割れが分散して発生している。また、供試体 J90-S-W のひび割れ状況は図-5(3)に示すように、供試体 J70-S-W と同様に荷重分布鋼板によりひび割れが分散して発生している。

6. まとめ

- (1) 雪国タイプの高さ 70mm の従来型伸縮装置を輪荷重 100kN が通過した時に ± 17.3% の荷重変動が生じたことに対し、荷重分布型伸縮装置では高さ 70mm で ± 13.1%、高さ 90mm で ± 13.9% であった。従って、荷重分布型伸縮装置を設置した RC 床版では従来型を設置した場合と比較して荷重変動が低減されている。
- (2) 雪国タイプの高さ 70mm の従来型の伸縮装置に対して荷重分布型伸縮装置を設置した RC 床版は 7.05 の等価走行回数が得られた。また、高さ 90mm の荷重分布型伸縮装置を設置した RC 床版は 14.30 倍となった。よって、雪国タイプの荷重分布型伸縮装置を設置することで耐疲労性が向上する結果が得られ、実用的であると考えられる。
- (3) ひび割れ状況においては、従来型は誘導板に荷重が集中し、誘導板間隔でひび割れが発生し、荷重分布型伸縮装置では荷重分布鋼板の影響により、均等にひび割れが分散して発生している。よって、雪国タイプの荷重分布型伸縮装置ではひび割れの発生が抑制されている。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I, II (1994)
- 2) 松井繁之：道路橋床版設計・施工と維持管理, 森北出版 (2007)
- 3) 横山功一ほか：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)