

鋼製伸縮装置を設置した RC 床版の輪荷重走行疲労試験における 耐疲労性および荷重変動と衝撃係数

日大生産工（院） ○木村延久 日大・名誉教授 阿部忠 （株）橋梁保全研究所 佐々木茂隆
日大生産工 水口和彦 日大生産工 小林莉子

1. はじめに

本研究は、標準タイプの従来型伸縮装置と荷重分布型伸縮装置の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行い、耐疲労性を評価する。RC 床版の耐疲労性の評価には RC 床版の S-N 曲線の傾きの逆数の絶対値 m が適用されている。本研究では修正 Goodman の関係式から S-N 曲線式の傾きの逆数の絶対値 $m = 10.5^1)$ を適用して耐疲労性を評価する。次に、道路橋床版端部と橋台、あるいは床版間には鋼製伸縮装置が設置されているが、大型車両が伸縮装置を通過する際に発生する輪荷重の荷重変動が作用し、これが衝撃荷重として RC 床版に作用する。そこで本研究では、輪荷重走行疲労試験中に 1 走行し、伸縮装置および遊間部を通過する際に発生する荷重変動を計測する。また、荷重変動を基に動的増幅率から衝撃係数を評価し、鋼製伸縮装置を設置した RC 床版の維持管理の一助としたい。

2. 伸縮装置を設置する RC 床版の使用材料および寸法

(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。コンクリートの設計基準強度は、道路橋示方書・同解説（道示）²⁾に規定する 24N/mm^2 を目標とした。材料特性値は表－1 に示すように、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。また、供試体の鉄筋は SD345, D13 を用い、降伏強度は 380N/mm^2 である。

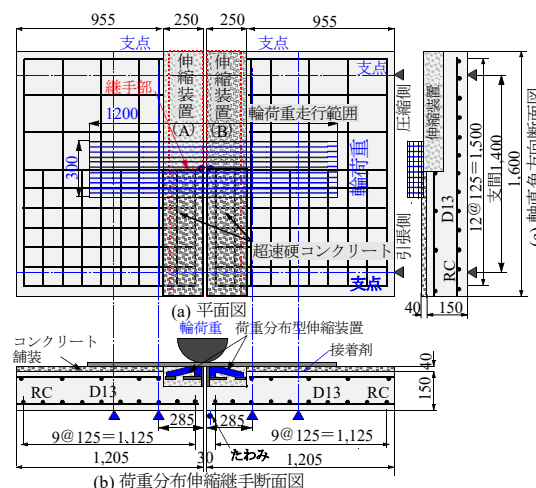
(2) 伸縮装置を設置する RC 床版の寸法・鉄筋配置

1) RC 床版供試体寸法 伸縮装置を設置する RC 床版供試体寸法は 3/5 モデルとする。ここで、供試体寸法および伸縮装置設置位置を図－1 に示す。供試体の支間は 1,400mm、全幅 1,600mm とした。また、軸方向全長は 1,205mm、遊間部 30mm とした場合の伸縮装置設置後の全長が 2,440mm となる。

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 90mm の伸縮装置を設置することから 40mm の段差が生じる。この 40mm の段差を超速硬コンクリートで舗装し、

表－1 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



図－1 RC 床版供試体寸法（単位：mm）

剛性を高め押抜きせん断破壊を防止する。

(3) 伸縮装置の材料

1) 伸縮装置の材料 従来型伸縮装置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 を用いる。また、ジベル筋および縦筋には SD345, D16 を使用し、横筋には従来型同様に D13 を用いた。

荷重分布鋼板には厚さ 9mm の SM400 を用いた。ここで、伸縮装置の材料特性値を表－2 に示す。

2) 従来型伸縮装置の設置に用いる材料

従来型伸縮装置の設置には超速硬コンクリートを用いる。このコンクリートは、材齢 3 時間で道示²⁾に規定するコンクリートの設計基準強度 24N/mm^2 以上を確保することができる。よって、セメントには超速硬セメントを用い、最大寸法 15mm の骨材が配合された本装置専用のプレミックス材を用いた。ここで、超速硬コンクリートの配合条件を表－3 に示す。なお、3 時間後の圧縮強度は 26.8N/mm^2 である。

Fatigue resistance and impact coefficients under load fluctuation in wheel load running fatigue tests of
RC slabs with steel expansion joint

by

Nobuhisa KIMURA, Tadashi ABE, Shigetaka SASAKI, Kazuhiko MINAKUCHI and Riko KOBAYASHI

表－2 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	M400	12mm	305	445	200
荷重分布鋼板		9mm			
ジベル筋		(SD345) D16	388	516	
縦筋		(SD345) D16	401	574	
交差部軸方向筋	(SD345)	D13	389	592	

表－3 超速硬コンクリートの配合条件

示方配合			圧縮強度	
水材料比	練り上げ量 (約13.5l)		材齢 1時間	材齢 3時間
	プレミックス	水		
18	25 kg	4.8 l	7.7 N/mm ²	26.8 N/mm ²

表－4 超速硬性流動性モルタルの配合条件

練り上げ量 (25 l)			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
30 kg	25 kg	4.0 kg	25.4 N/mm ²	51.9 N/mm ²

3) 荷重分布型伸縮装置の設置に用いる材料

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－4 に示す。

材齢 24 時間の圧縮強度は 51.9N/mm² である。また、荷重分布鋼板上面には従来型と同様に超速硬コンクリートを用いる。

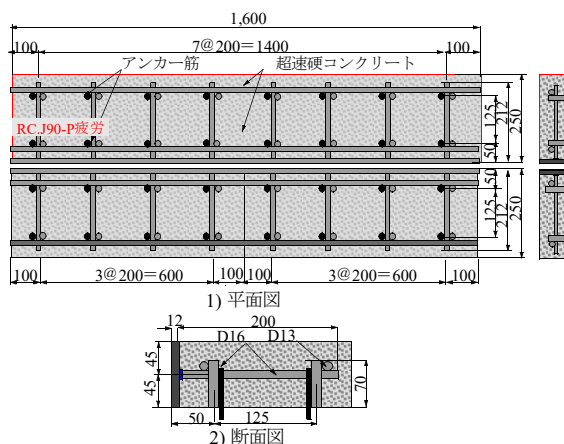
4) 荷重分布型伸縮装置の設置に用いる接着剤

荷重分布型伸縮装置の設置においては伸縮装置の撤去時の削り作業で発生するひび割れ幅 0.05mm 以上の微細なひび割れ補修を施す。付着力は 2.6N/mm² である。また、打ち継ぎモルタル、コンクリートおよび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である付着用接着剤を用いた。なお、接着剤の付着強さ 3.7N/mm² 以上である。

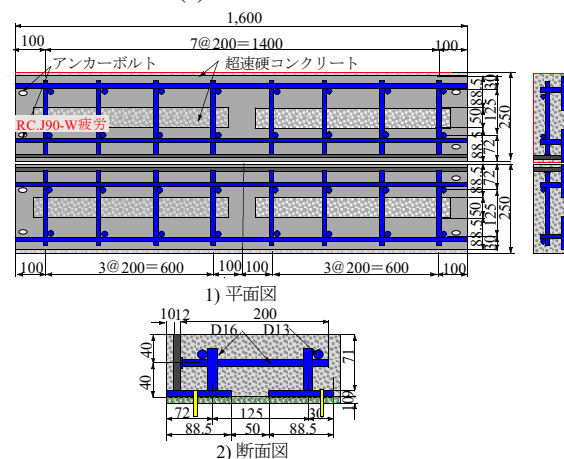
(4) 伸縮装置供試体の寸法

1) 従来型伸縮装置 従来型伸縮装置の寸法は図－2(1)に示すように、全長 800mm および 1,600mm、それぞれ幅 200mm とし、高さは 90mm である。製作は、高さ 90mm の縦鋼板側面に D16 のジベル筋を 200mm 間隔で溶接し、縦筋も同様に 200mm の間隔で配置する。また、軸方向に D13mm の鉄筋を 2 本配置する。供試体は全長 800mm を 2 体用いて中央で継手構造とした伸縮装置および全長 1,600mm を継手なしで製作した伸縮装置をそれぞれ RC 床版へ設置し、供試体名を RC.J90-P (RC slab, joint Height 90 P-load) とする。耐疲労性の評価は全供試体ともに全長 1,600mm の伸縮装置を設置した RC 床版側で検証し、荷重変動および衝撃係数は両供試体で検証する。

2) 荷重分布型伸縮装置 荷重分布型伸縮装置の寸法は図－2(2)に示すように、全長 800mm および 1,600mm でそれぞれ幅 227mm、厚さ 9mm



(1) 供試体 RC.J90-P



(2) RC.J90-W

図－2 標準・雪国タイプの伸縮装置

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 箇所引き抜き、10mm の隙間に流動性モルタルを充填する。全長 800mm の伸縮装置を中央で継手部を設けた伸縮装置および全長 1,600mm を継手なしで製作した伸縮装置をそれぞれ RC 床版へ設置する。供試体名は RC.J90-W (RC slab, joint Height 90 W-load) とする。

3. 輪荷重走行疲労実験方法および等価走行回数

(1) 輪荷重走行疲労実験方法

本実験では、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った。輪荷重走行疲労実験における荷重条件は、荷重 100kN で 20,000 回走行し、荷重を 20kN 増加する。その後、20,000 回ごとに荷重を 10kN 増加する。輪荷重走行疲労実験は図－1 に示すように、伸縮装置を設置した RC 床版との遊間部を 30mm 設け、両サイドの RC 床版が同一高さとなるよう設置した。実験では、橋梁定期点検要領に規定される健全度評価 IV 相当の損傷を想

定し、たわみが 4.0mm に到達した時点で実験を終了した。よって、耐疲労性の評価はたわみ 4.0mm 時の等価走行回数を得て行うこととする。

(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²⁾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は $m = 10.5^1)$ 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 (= 10.5) ¹⁾

4. 輪荷重走行疲労試験における等価走行回数

(1) 従来型 (供試体 RC.J90-P)

従来型の伸縮装置を設置した供試体 RC.J90-P の等価走行回数は、式(1)に S-N 曲線の傾きの逆数 $m = 10.5$ を適用した場合は 2.976×10^6 回である。

(2) 荷重分布型 (供試体 RC.J90-W)

供試体 RC.J90-W の等価走行回数は 6.617×10^6 回である。等価走行回数は供試体 RC.J90-P に対して 2.22 倍となり、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となった。

5. 荷重変動に関する実験方法

本実験では、輪荷重走行試験機のロードセルから検出する荷重波形から荷重を動的に計測する。具体的には、図-3 に示すように支点 A 側から支点 B 側に 1,200mm 走行し、折り返して基の位置までの 2,400mm 間を 20 秒で走行した。

荷重変動を計測する荷重は基準荷重 100kN, 120kN, 130kN を載荷し、それぞれ 1 走行した荷重波形を動的に計測する。

6. 荷重変動および衝撃係数

(1) 1 走行による荷重変動

1 走行による荷重変動は走行開始から走行終了ま

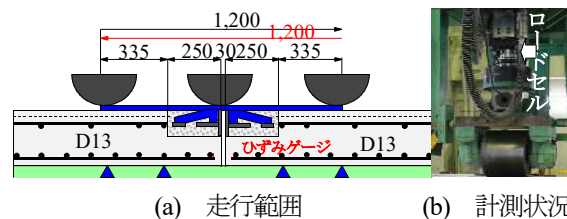


図-3 輪荷重走行範囲および計測状況

での左右の伸縮装置通過時の荷重変動範囲の大きい方の伸縮装置で評価する。よって、荷重変動による変動荷重 V_L は 1 走行における最も大きい最大荷重 $P_{D.max}$ と最小荷重 $P_{D.min}$ を用いて式(2)より算出する。

$$V_L = V_a / 2 \quad (2)$$

ただし、 $V_a = P_{D.max} - P_{D.min}$

ここに、 V_L : 変動荷重 (±kN), V_a : 荷重振幅 (kN), $P_{D.max}$: 最大荷重 (kN), $P_{D.min}$: 最小荷重 (kN)

変動荷重 V_L の算定は各供試体における基準荷重 100, 120, 130kN で走行した場合の荷重変動から評価する。

1) 基準荷重 100kN

基準荷重 100kN で 1 走行した場合の供試体 RC.J90-P, RC.J90-W の荷重変動の波形を図-4(1)に示す。供試体 RC.J90-P の 1 周期における最大動的荷重 $P_{D.max}$ は 135.9kN, 最小動的荷重 $P_{D.min}$ は 90.8kN であり、荷重振幅 V_a は 45.1kN であり、変動荷重 V_L は ± 22.6 kN となる。同様に供試体 RC.J90-W の変動荷重は ± 20.0 kN となる。

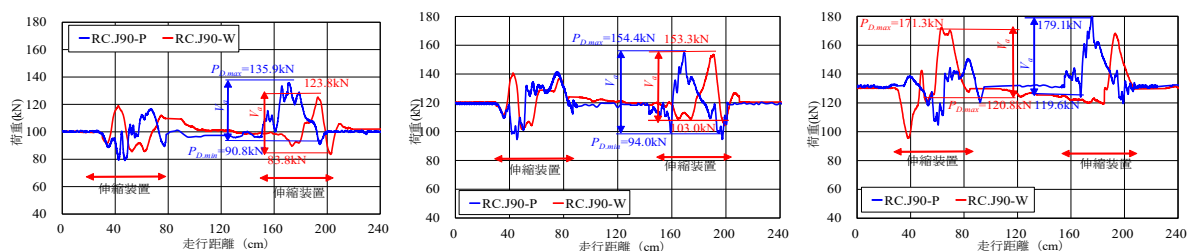
2) 基準荷重 120kN

基準荷重 120kN で 1 走行した場合の荷重変動の波形を図-4(2)に示す。

供試体 RC.J90-P の 1 周期における変動荷重は ± 30.2 kN である。同様に供試体 RC.J90-W の変動荷重は ± 25.2 kN である。

3) 基準荷重 130kN

基準荷重 130kN で 1 走行した場合の荷重変動の波形を図-4(3)に示す。供試体 RC.J90-P は輪荷重折り返し後の伸縮装置設置位置、供試体 RC.J90-W は走行開始後の伸縮装置設置位置の変動荷重が大きい。供試体 RC.J90-P の変動荷重は ± 29.8 kN, 供試体 RC.J90-W の変動荷重は ± 25.3 kN である。



(1) 基準荷重 100kN

(2) 基準荷重 120kN

(3) 基準荷重 130kN

図-4 供試体 RC.J90-P, RC.J90-W

4) 荷重変動比 供試体 RC.J90-P の平均変動荷重は $\pm 27.5\text{kN}$ 、供試体 RC.J90-W は $\pm 23.5\text{kN}$ である。よって供試体 RC.J90-P の平均変動荷重に対し供試体 RC.J90-W の荷重変動比は 0.85 となった。

(2) 衝撃係数 I

1) 動的増幅率 DAF の概念³⁾ 動的増幅率 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。なお道路橋の 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)で与えられる。

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

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

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

ここで、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 $y_{S,max}$ を最大静的荷重 $P_{S,max}$ 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

2) 100kN, 120kN, 130kNの基準荷重で走行した場合の衝撃係数

RC.J90-P の基準荷重 100kN で走行した場合の荷重変動における変動荷重 V_L は $\pm 22.6\text{kN}$ である。本実験における最大静的荷重は $P_{S,max} = 99.9\text{kN}$ である。これに変動荷重 22.6kN を加えた荷重が最大動的荷重 $P_{D,max} = 122.5\text{kN}$ となり、これを式(4)に適用すると衝撃係数 I は 0.226 となる。同様に全供試体の衝撃係数 I を算出する。

a) 供試体 RC.J90-P

供試体 RC.J90-P の衝撃係数 I は、基準荷重 100kN で走行した場合の衝撃係数は 0.226、基準荷重 120kN, 130kN で走行した場合それぞれ 0.233, 0.228 であり、平均衝撃係数は 0.229 となる。本実験の場合は段差量を設けない場合でも平均衝撃係数は 0.229 であり横山らによる段差量 20mm を設けた場合の RC 床版の衝撃係数 $I = 0.35^{4)}$ の約 65% である。この平均衝撃係数を基準に考察する。

b) 供試体 RC.J90-W

供試体 RC.J90-W の衝撃係数 I は基準荷重 100kN, 120kN, 130kN で走行した場合それぞれ 0.199, 0.209, 0.194 であり、平均衝撃係数は 0.201 である。荷重分布鋼板を設けることで、供試体 RC.J90-P の衝撃係数との比は 0.88 となり 12%低下した。

以上のように、荷重分布型伸縮装置の衝撃係数は、従来型を設置した場合よりも小さい値が得られた。

これは、荷重分布鋼板が作用荷重を床版に広く分配した結果と考えられる。しかし、横山らによる段差のない場合の RC 床版の衝撃係数 $I = 0.08^{4)}$ を大きく上回っている。

よって、伸縮装置の種類によっても衝撃係数が異なることから、伸縮装置を設置した RC 床版の維持管理においては衝撃の影響を考慮して、常に平坦性を維持することで衝撃係数の発生を最小限に管理して、耐疲労性の向上を図る必要があると考えられる。

7. 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 $m = 10.5$ を適用して得られた等価走行回数による耐疲労性を評価した。その結果、供試体 RC.J90-P の等価走行回数に対して RC.J90-W の等価走行回数比は約 2.22 倍となった。
- (2) 輪荷重が伸縮装置上を基準荷重 100, 120, 130kN で走行した時に発生する荷重変動を検証した。本供試体の伸縮装置の設置およびコンクリートの表面仕上げを専門の技術者により厳正に仕上げ、実験時に大型サンダーで走行面を平滑に研掃したにも関わらず変動荷重が生じている。その結果、供試体 RC.J90-P, RC.J90-W の平均荷重変動はそれぞれ、 ± 27.5 , ± 23.5 となり、荷重変動比は供試体 RC.J90-P に対して 0.85 となった。よって、荷重分布型伸縮装置は荷重分布鋼板の効果により、荷重変動が減少した。
- (3) 輪荷重が伸縮装置上を基準荷重 100, 120, 130kN で走行した時に発生する荷重変動を用いて衝撃係数 I を評価した。その結果、供試体 RC.J90-P, RC.J90-W の衝撃係数 I は、0.229, 0.201 となった。供試体 RC.J90-P の平均衝撃係数に対して RC.J90-W の衝撃係数比は 0.88 となった。

参考文献

- 1) 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 はりの静的耐力力および修正 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.
- 2) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 I, II, 1980.
- 3) 横山功一, 井上純三, 永原隆: 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.
- 4) 横山功一, 井上純三, 永原隆: 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.750-756, 1989.