

## 誘導板付き伸縮装置を設置した RC 床版の輪荷重走行疲労実験による耐疲労性の評価

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 野口博之  
山王(株) 深水弘一 金子昌明

## 1. はじめに

近年，道路橋の伸縮装置が老朽化により取替工事が行われている．そこで本研究では，従来型の誘導板付き伸縮装置と本提案する誘導板付き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，等価走行回数を基に耐疲労性を評価する．なお，伸縮装置の設置においては伸縮装置の中央部を走行した場合とする．また，構造特性としてたわみ，ひずみから実用性を評価し，交通量の多い道路橋伸縮装置の一助としたい．

## 2. 使用材料および伸縮装置の寸法

## (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（以下，道示とする）<sup>1)</sup>に規定する  $24\text{N/mm}^2$  を目標とした．ここで，配合条件を表－ 1，材料特性値を表－ 2 に示す．材齢 28 日でのコンクリートの圧縮強度は  $31.2\text{N/mm}^2$  である．次に，供試体の鉄筋には SD345，D13 を用い，降伏強度は  $380\text{N/mm}^2$  である．

## (2) 伸縮装置に用いる鋼材

従来型の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，誘導板には厚さ 9mm の一般構造用圧延鋼板 SS400 を用いる．また，荷重分布鋼板には超速硬コンクリートとの付着力を高めるために厚さ 9mm の縞鋼板（SS400 相当）を用いる．ここで，縞鋼板の形状および寸法を図－ 3 に示す．従来型の伸縮装置の鉄筋には SD345，D13 を用いる．ここで，伸縮装置に用いる鋼板および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材料

伸縮装置の設置には，超速硬コンクリートが用いられる．このコンクリートは，材齢 3 時間で道示に規定するコンクリートの設計基準強度  $24\text{N/mm}^2$  以上を発現することができる．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る．ここで，超速硬コンクリートの

表－ 1 RC 床版コンクリートの配合表

| スランプ<br>(cm) | W/C<br>(%) | s/a<br>(%) | 単位重量 (kg/m <sup>3</sup> ) |      |     |      | 減水剤<br>(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<br>圧縮強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 鉄筋 (SD345) |                              |                              |                                |
|----------------------------------------|------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
|                                        | 使用<br>鉄筋   | 降伏強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 引張強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | ヤング係数<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) |
| 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<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 引張強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | ヤング係数<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) |
|--------|----------|----------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| 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 | 縞鋼板SS400 | 9mm      | 299                          | 430                          |                                |
| 鉄筋     | SD345    | D13      | 383                          | 552                          |                                |

表－ 4 超速硬コンクリートの配合条件

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

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 <sup>2</sup>  | 114.0N/mm <sup>2</sup>  |
| 圧縮弾性係数         |     | 2.904N/mm <sup>2</sup>  | 3.612N/mm <sup>2</sup>  |
| 曲げ強さ           |     | 96.0N/mm <sup>2</sup>   | 50.0N/mm <sup>2</sup>   |
| 引張せん断強さ        |     | 14.0N/mm <sup>2</sup>   | 14.9N/mm <sup>2</sup>   |
| コンクリート<br>付着強さ |     | 2.6N/mm <sup>2</sup> 以上 | 3.7N/mm <sup>2</sup> 以上 |

配合条件を表－ 4 に示す．実験時の 3 時間後の圧縮強度は  $25.4\text{N/mm}^2$  である．

## (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発生する微細なひび割れ補修には，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，打ち継ぎ，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．なお，付着用接着剤の鋼板およ

Evaluation of fatigue durability by running wheel fatigue test of RC slabs using expansion joint on guiding plate

by

Shigetaka SASAKI, Tadashi ABE, Kazuhiko MINAKUCHI, Hiroyuki NOGUCHI, Koichi FUKAMI and Masaaki KANEKO

びコンクリートとの付着強度について、既の実証済みである<sup>2)</sup>。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。

### 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

伸縮装置を設置する RC 床版供試体は実橋 RC 床版の 3/5 モデルとする。ここで、RC 床版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張出部は設置幅 250mm、高さ 50mm とする。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 間隔とする。配筋筋も同様の配置間隔とする。次に、RC 床版と伸縮装置とに 20mm の差が生じることから、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。また、輪荷重の走行により RC 床版とコンクリート舗装との界面ははく離することから表－5 に示す付着用接着剤を塗布して一体化する。

#### (2) 伸縮装置供試体の寸法

本実験に用いる誘導板付き伸縮装置の寸法を図－2に示す。

##### 1) 従来型の伸縮装置 (高さ70mm)

従来型の伸縮装置の断面形状は図－2(1)、1)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。誘導板の配置は図－2(1)、2)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 (表－3) を伸縮装置の軸方向に 2 本配置する。この供試体

の記号を RC.J-P とする。

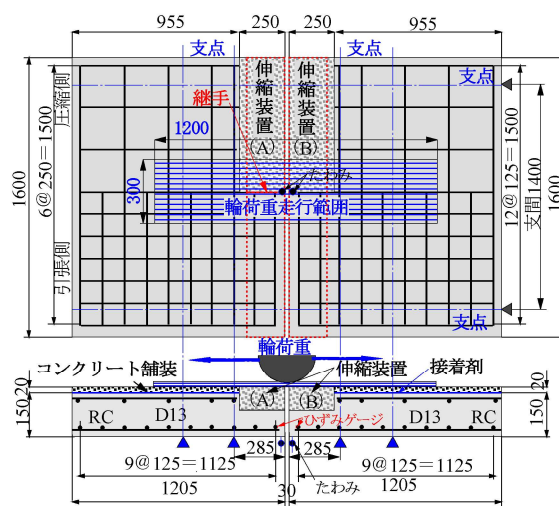
##### 2) 荷重分布型伸縮装置 (高さ70mm)

荷重分布型伸縮装置の断面形状は図－2(2)、1)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。誘導板の配置は図－2(2)、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。誘導板の下面には厚さ 9mm の縞鋼板を用い、縞面を下面側とし、コンクリートとの付着力を高める。荷重分布鋼板には幅 50mm×長さ 700mm を切り抜き、ここから超速硬コンクリートを充填する。この供試体を RC.J-W とする。

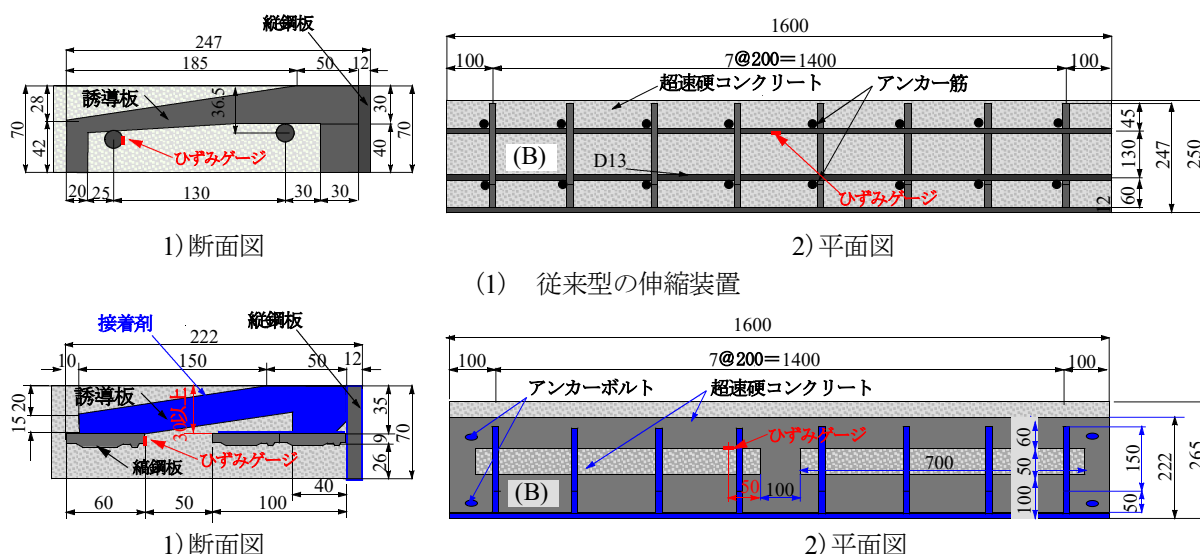
### 4. 輪荷重走行疲労実験

#### (1) 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。実験状況



図－1 RC床版供試体寸法



(2) 荷重分布型伸縮装置  
図－2 伸縮装置の寸法



写真－１ 輪荷重走行疲労実験状況

を写真－１に示す。

輪荷重走行疲労実験における初期荷重  $P_i$  を 100kN とし、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では、中央のたわみが 4.0mm（床版支間  $L$  の 1/350：加速期後期程度の損傷）に達した時点で実験を終了する。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 回走行ごとにたわみ、ひずみを計測する。

## (2) 等価回数

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うことから耐疲労性の評価は等価走行回数を式(1)より算出して評価する。なお、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 に荷重変動と安全率を考慮して 1.3 倍の 78kN を基準荷重とする。また、(1)における S-N 曲線の傾きの逆数の絶対値  $m$  には松井等が提案する RC 床版の S-N 曲線の傾きの逆数の絶対値  $m = 12.7$  を適用する<sup>3), 4)</sup>。

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

ここに、 $N_{eq}$ ：等価走行回数（回）、 $P_i$ ：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）<sup>3)</sup>

## 5. 結果および考察

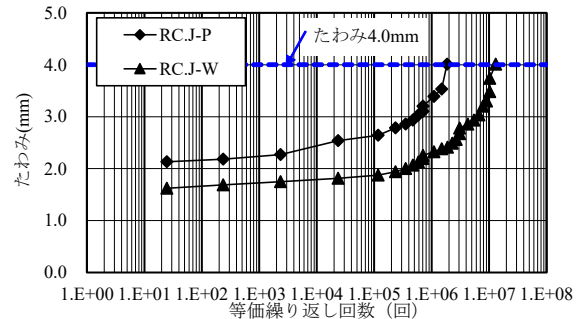
### (1) 等価走行回数

輪荷重走行疲労実験による式(1)より評価した等価走行回数を表－６に示す。なお、本実験では RC 床版の張出部端部の床版支間中央のたわみが 4.0mm まで輪荷重を走行させ、等価走行回数を得たものである。

供試体 RC.J-P のたわみが 4.0mm に達した時点の等価走行繰り返し回数は  $1.847 \times 10^6$  回である。一方、設置において 2 種類の接着剤を用いて設置

表－６ 等価走行回数

| 供試体名   | 走行回数     | 荷 重     |           |           |           | 等価走行回数の合計(回) | 等価走行回数比(W/P) |
|--------|----------|---------|-----------|-----------|-----------|--------------|--------------|
|        |          | 100kN   | 110kN     | 120kN     | 130kN     |              |              |
| RC.J-P | n        | 30,000  | 14,523    |           |           | 1,847,167    | —            |
|        | $N_{eq}$ | 703,915 | 1,143,252 |           |           |              |              |
| RC.J-W | n        | 30000   | 30000     | 30000     | 4300      | 13,020,584   | 7.05         |
|        | $N_{eq}$ | 703,915 | 2,361,603 | 7,130,527 | 2,824,539 |              |              |



図－３ たわみと等価走行回数の関係

した荷重分布型伸縮装置供試体 RC.J-W の等価走行回数は  $13.020 \times 10^6$  回であり、供試体 RC.J-P の 7.05 倍である。よって、荷重分布型伸縮装置を設置した RC 床版は従来型に対して耐疲労性に優れていると言える。

### (2) たわみと等価走行回数

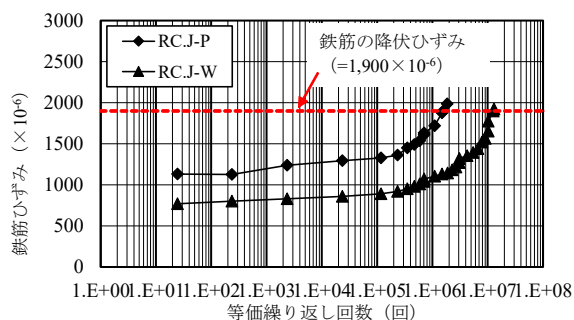
伸縮装置を設置した RC 床版の軸直角方向中央（図－１）のたわみと等価走行回数の関係を図－３に示す。変位計は張出部端部の床版支間の中央である。

供試体 RC.J-P の等価走行回数 24 回での初期たわみは 2.134mm である。等価走行回数 23,465 回からたわみが増加し、たわみが 4.0mm に達した時点の等価走行回数は  $1.847 \times 10^6$  回である。一方、供試体 RC.J-W の等価走行回数 24 回の初期たわみは 1.62mm であり、供試体 RC.J-P のたわみの 88% である。たわみが 4.0mm に達した時点の等価走行回数は  $13.020 \times 10^6$  回である。よって、従来型の伸縮装置を設置した RC 床版と比較して荷重分布型伸縮装置を設置した RC 床版のたわみの増加が抑制された。

### (3) RC床版主鉄筋のひずみと等価走行回数

伸縮装置を設置した RC 床版張出部の主筋（図－１）の中央のひずみと等価走行回数の関係を図－４に示す。主鉄筋の降伏ひずみは表－２に示す鉄筋の降伏強度より、 $1,900 \times 10^{-6}$  であり、図－４に併記した。

供試体 RC.J-P の初期ひずみは  $1,133 \times 10^{-6}$  である。鉄筋が降伏した等価走行回数は  $1.560 \times 10^6$  回であり、等価走行回数  $1.847 \times 10^6$  回のひずみは  $1,985 \times 10^{-6}$  ある。一方、供試体 RC.J-W の初期ひずみは  $771 \times 10^{-6}$  である。鉄筋が降伏した等価走行回数は  $12.600 \times 10^6$  回であり、供試体 RC.J-P の 8.1 倍



図－4 ひずみと等価走行回数の関係

である．等価走行回数  $13.020 \times 10^6$  回のひずみは  $1,925 \times 10^{-6}$  である．

以上より，たわみと等価走行回数と同様に継手部なしの伸縮装置中央部を輪荷重が走行することでひずみの増加が抑制され寿命が向上した．なお，本実験ではたわみが床版支間  $L$  の  $1/350$  まで疲労試験を行ったが，たわみが  $4.0\text{mm}$  の場合は主鉄筋が降伏することから，補修・補強時期の目安として阿部ら<sup>5)</sup>が提案するたわみが床版支間  $L$  の  $1/400$ ，本供試体の場合はたわみ  $3.5\text{mm}$  を目安とすることを提案する．

#### (4) たわみ4.0mmの時点のひび割れ状況

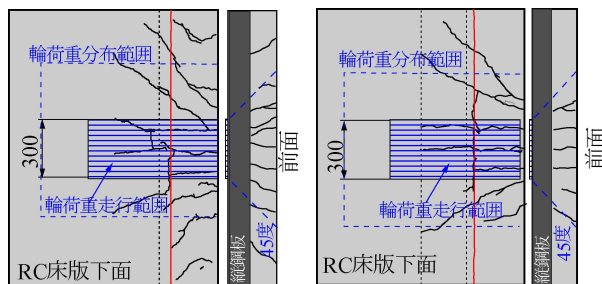
従来型の伸縮装置を設置した供試体 RC.J-P のたわみが  $4.0\text{mm}$  に達した時点の等価走行回数  $1.847 \times 10^6$  回のひび割れ状況は図－5(1)に示すように配筋間隔で張出部および支間方向全面にひび割れが発生し，支点を跨いで発生している．RC床版の前面のひび割れ状況は，RC床版底面から伸縮装置の縦鋼板まで，ほぼ  $45$  度でひび割れが発生している．

荷重分布型伸縮装置を設置した供試体 RC.J-W の等価走行回数  $13.020 \times 10^6$  回のひび割れ状況は図－5(2)に示すようにほぼ継手部ありの供試体と比較して，輪荷重走行位置から  $45$  度の範囲に集中している．

以上より，荷重分布型伸縮装置を設置した場合のひび割れ状況は等価走行回数が多いにも関わらずひび割れが少ない．これは荷重分布鋼板の効果であると考えられる．

## 6. まとめ

(1)雪国タイプの従来型の伸縮装置と荷重分布型伸縮装置を設置した RC 床版の輪荷重走行疲労実験による耐疲労性の評価においては，従来型の伸縮装置に対して荷重分布型伸縮装置の等価走行回数が，7.05 倍となり，荷重分布型伸縮装置



(1)従来型伸縮装置 (2) 荷重分布型伸縮装置  
図－5 たわみ  $4.0\text{mm}$  に到達時のひび割れ状況

を設置することで耐疲労性が向上する結果となった．

(2)RC 床版のたわみ・鉄筋ひずみと等価走行回数の関係においても，従来型の伸縮装置の伸縮装置を設置した場合と荷重分布型伸縮装置を設置した場合を比較すると，荷重分布型伸縮装置の設けた RC 床版は荷重分布鋼板の効果により，輪荷重を広範囲に分布させるとともに荷重分布鋼板の剛性により，たわみ・ひずみの増加が大幅に抑制される結果となった．

(3) 本実験によるたわみが  $4.0\text{mm}$  まで疲労試験を行った場合のひび割れ状況は，従来型の伸縮装置を設置した RC 床版底面のひび割れ発生は著しい．荷重分布型伸縮装置を設置した RC 床版は輪荷重走行位置から  $45$  度底面付近に発生しているもののひび割れ範囲は減少している．以上より，荷重分布型伸縮装置を設置することで RC 床版の損傷が軽減されるもとと考えられ，実橋においても実用的であると考えられる．

## 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，川井豊，山下雄史，一瀬八洋：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 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，阿部忠，木田哲量，高野真希子：道路橋 RC 床版の S-N 曲線に関する一考察，第七回道路橋床版シンポジウム論文報告集，pp.263-268, 2012.
- 5)阿部忠，木田哲量，高野真希子，小森篤也，児玉孝喜：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.