

# 論文 修正Goodmanの関係式から得たS-N曲線を用いた鋼製伸縮装置を設置したRC床版の耐疲労性の評価

木村 延久<sup>\*1</sup>・阿部 忠<sup>\*2</sup>・野口 博之<sup>\*3</sup>・佐々木 茂隆<sup>\*4</sup>

**要旨**：本研究では、5タイプの鋼製伸縮装置を設置したRC床版供試体を用いて階段状載荷輪荷重走行疲労実験を実施し、それぞれの耐疲労性および伸縮装置の構造特性を調べた。各タイプの疲労耐久性は、階段状載荷疲労試験結果を阿部らのはり供試体を用いた既往研究で提案されたS-N曲線式の傾きの逆数の絶対値 $m=10.5$ を用いて、基準荷重に対する等価走行回数に換算し比較評価した。その結果、従来型伸縮装置に対して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こと、はり供試体を用いた既往研究で得られた $m$ 値の床版への適用性があることを確認した。

**キーワード**：鋼製伸縮装置、RC床版、輪荷重走行疲労実験、耐疲労性

## 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する既往研究は、非鋼製系伸縮装置を有するRC床版供試体を用いた関口ら<sup>1)</sup>の研究や鋼製伸縮装置を有するRCはり供試体を用いた阿部ら<sup>2), 3)</sup>研究がみられるものの報告例が少ないのが現状である。

関口ら<sup>1)</sup>の研究では、荷重支持型および突き合わせ型の伸縮装置を設置したRC床版供試体の輪荷重走行疲労試験結果に、S-N曲線の傾きの逆数の絶対値 $m$ として松井ら<sup>4)</sup>が提案した $m=12.7$ と東京都の実橋から採取したRC床版提案した $m=4.0$ を適用して基準荷重に対する等価繰返し回数を求め疲労耐久性を評価している。ここで用いられた2つの $m$ 値はいずれも、伸縮継手を有さないRC床版供試体を用いた輪荷重走行疲労試験から得られたものであるが、 $m=12.7$ を適用した場合はかなり長寿命側の推算値を与え、 $m=4.0$ を適用することで実橋における疲労被害状況を説明できることを示している。

一方、阿部ら<sup>2)</sup>の研究では、鋼製伸縮装置を有するRC床版の基本的な疲労特性を検証するため、2種類の鋼製伸縮装置を設置したRCはり供試体を用いて静荷重実験と定点疲労試験を行った。ここでは、修正Goodmanの関係式を用いて算定した等価走行回数と破壊荷重の関係からS-N曲線式の提案およびS-N曲線の傾きの逆数の絶対値として $m=10.5$ を提案したが、RC床版としての疲労性状との関係や適用性については未検討であった。

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、得られた実験走行回数に前述したRC床版部について松井ら<sup>4)</sup>ら、

東京都の伸縮装置を設置した場合について関口ら<sup>1)</sup>ら、そして修正Goodmanの関係式から得られた阿部ら<sup>2)</sup>が提案したS-N曲線式の傾きの逆数 $m=12.7, 4.0, 10.5$ を適用し、それぞれの等価走行回数を算定した。実験には、従来型および荷重分布型の高さ、構造形式の異なる5タイプ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実施し、伸縮装置を設置したRC床版の耐疲労性および寿命推定を行った。

## 2. 本実験に用いる伸縮装置の概略

標準タイプの伸縮装置は、伸縮部の縦鋼板に鉄筋が溶接された構造であり、これを従来型(J90-N-P)とする。また、荷重分布型伸縮装置(J90-N-W)は従来型と同様に、組立て鉄筋を配置し、その下面に荷重分布鋼板を設けた構造である。実験に用いる標準タイプの伸縮装置は道路橋示方書(以下、道示とする)<sup>5)</sup>に規定する1日1方向の大型の自動車の交通量2,000台(以下、大型自動車の交通量2,000台/日とする)を考慮した高さ90mmの伸縮装置を用いる。

次に、雪国タイプの伸縮装置は除雪車のスノープラウが接触しないように縦鋼板に誘導板が溶接された構造である。従来型は、縦鋼板に誘導板および鉄筋が溶接された構造(J-S-P)、荷重分布型伸縮装置は縦鋼板に誘導板が溶接され、その下に荷重分布鋼板が溶接された構造(J-S-W)である。実験に用いる雪国タイプの高さ70mmの伸縮装置は大型自動車の交通量1,000台/日、高さ90mmの伸縮装置は2,000台/日を考慮した。

以上の標準タイプおよび雪国タイプの鋼製伸縮装置を

\*1 日本大学 生産工学研究科土木工学専攻博士後期課程(正会員)(〒275-8575 千葉県習志野市泉町1-2-1)

\*2 日本大学 名誉教授(正会員)(〒275-8575 千葉県習志野市泉町1-2-1)

\*3 日本大学 生産工学部土木工学科(正会員)(〒275-8575 千葉県習志野市泉町1-2-1)

\*4 (株)橋梁保全研究所(正会員)(〒980-0013 宮城県仙台市青葉区花京院1-1-20 花京院スクエア18階)

表-1 RC床版コンクリートの配合条件

| スランブ<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 コンクリート、鉄筋の材料特性値

| 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 伸縮装置に用いる材料特性値

| RC床版 | 材料                |             | 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> ) |
|------|-------------------|-------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
|      | 主筋・配力筋            | D13 (SD345) | 360                          | 496                          |                                |
| 伸縮装置 | 鋼製バラベツト<br>荷重分布鋼板 | 一般鋼板SS400   | 305                          | 445                          | 200                            |
|      | 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                          |                                |

設置した RC 床版の耐疲労性および寿命推定を行った。

### 3. 使用材料および伸縮装置の寸法

#### 3.1 供試体材料

##### (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、道示<sup>3)</sup>に規定する設計基準強度 24N/mm<sup>2</sup> を目標とし、配合条件を表-1 に示す。材齢 28 日でのコンクリートの圧縮強度は 31.2N/mm<sup>2</sup> である。実験時の圧縮強度は、雪国タイプが 34.5N/mm<sup>2</sup>、標準タイプは 35.1N/mm<sup>2</sup> 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 に示した。

##### (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する。また、伸縮装置の設置には材齢 3 時間で道示<sup>3)</sup>に規定するコンクリートの設計基準強度 24N/mm<sup>2</sup> 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る。流動性モルタルの配合条件を表-4、超速硬コンクリートの配合条件を表-5 に示す。

##### (4) 浸透性接着剤および付着用接着剤

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等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、打継ぎ用の超速硬コンクリートとの付着力を

表-4 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<br>(約13.5l) |      | 材齢<br>3時間             |
|      | プレミックス            | 水    |                       |
| 18   | 25kg              | 4.8l | 26.8N/mm <sup>2</sup> |

表-5 超速硬コンクリート

| 練り上げ量 (25l) |      |                  | 圧縮強度                  |                       |
|-------------|------|------------------|-----------------------|-----------------------|
| セメント<br>骨材  | 粗骨材  | 水・減水<br>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-6 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 (主：硬) | 10 : 3                 |        | 5 : 1                   |
| 硬化物比重     | 1.2                    |        | 1.42                    |
| 圧縮強度      | 104.4N/mm <sup>2</sup> |        | 102.9N/mm <sup>2</sup>  |
| 圧縮弾性係数    | 3.172N/mm <sup>2</sup> |        | 3.976N/mm <sup>2</sup>  |
| 曲げ強さ      | 92.8N/mm <sup>2</sup>  |        | 41.6N/mm <sup>2</sup>   |
| 引張せん断強さ   | 58.2N/mm <sup>2</sup>  |        | 14.9N/mm <sup>2</sup>   |
| 付着強さ      | 2.6N/mm <sup>2</sup>   |        | 3.7N/mm <sup>2</sup> 以上 |

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-6 に示す。

#### 3.2 伸縮装置を設置するRC床版供試体の寸法

道示<sup>3)</sup>に規定する輪荷重幅は 500mm であり、本実験装置（写真-1）の輪荷重幅は 300mm で設置面は 300×45mm である。よって伸縮装置を設置する RC 床版寸法を 3/5 (= 300/500) 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-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、RC 床版厚は 150mm である。また、伸縮装置を設置する箱抜き寸法は、幅 250mm、高さ 50mm である。よって、この部分の床版厚は 100mm となる。RC 床版には主鉄筋には D13 を 125mm 間隔、圧縮側は 250mm 間隔とした。

次に、RC 床版供試体 100mm 厚に高さ 70mm の伸縮装置を設置した場合は 20mm、90mm の場合は 40mm の段差が生じる。そこで、図-1 に示す青線枠内を超速硬コンクリートで舗装を施し、高さ調整をするとともに押抜きせん断破壊を防止させる効果がある。また、実験においては端部から 285mm の位置に支点、さらに 300mm の位置にも押抜きせん断破壊を防止するために仮支点を設けた。よって、破壊状況の検証区間は端部から 585mm の区間とする。

#### 3.3 伸縮装置供試体の寸法

伸縮装置の寸法は図-2 に示す。なお、寸法を理解す



写真-1 輪荷重走行疲労実験装置

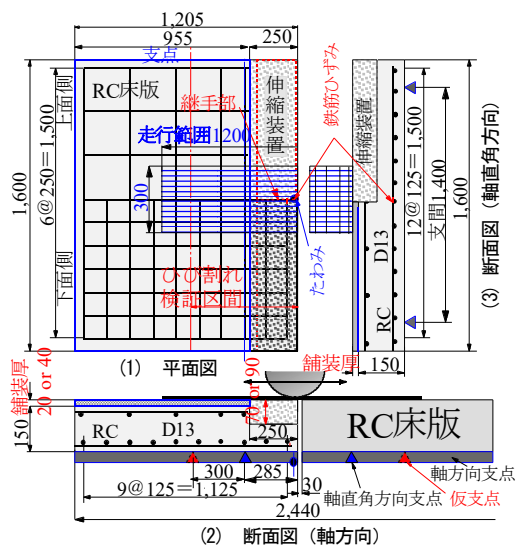


図-1 RC床版供試体寸法 (高さ70mm)

るために平面図に対して断面図を拡大寸法とした。

#### (1) 標準タイプの伸縮装置

従来型伸縮装置の寸法は図-2(1)に示すように、全長1,600mmで高さ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。この供試体記号をJ90-N-Pとする。

次に、荷重分布型伸縮装置の寸法は図-2(2)に示すように全長1,600mm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。荷重分布鋼板下面の10mmの隙間に流動性モルタルを充填する。

設置においては2種類の接着剤を用いた。また、鋼材面には付着用接着剤を塗布して超速硬コンクリートを打ち込みした。この供試体記号をJ90-N-Wとする。

#### (2) 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(3)に示すように、全長1,600mmで高さ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。この供試体記号をJ70-S-Pとする。次に、高さ70mmの

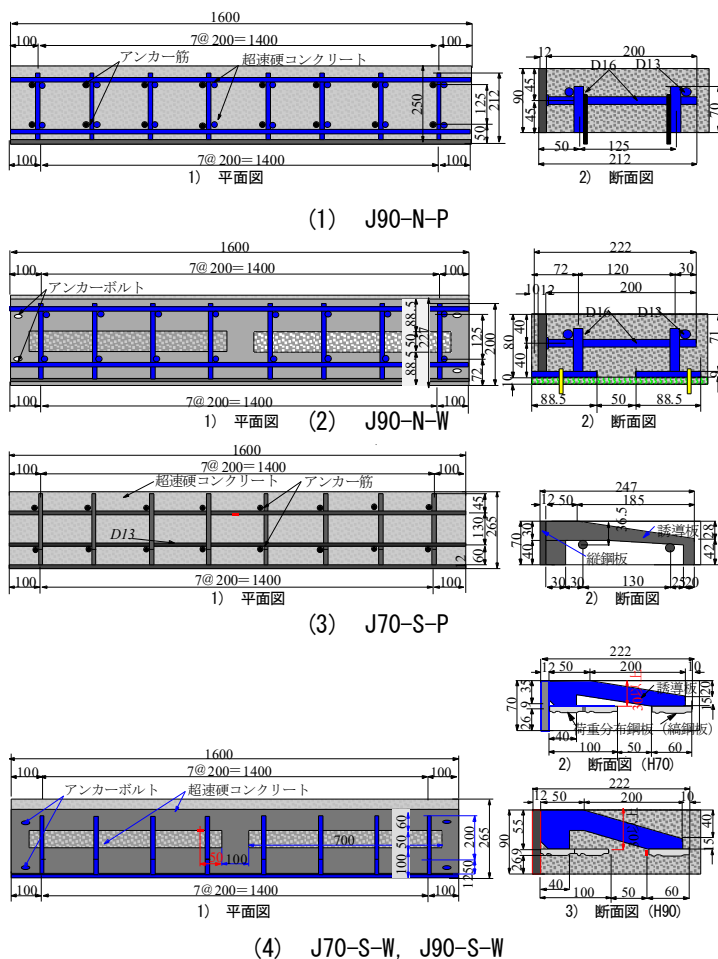


図-2 標準タイプおよび雪国タイプ伸縮装置

荷重分布型伸縮装置は図-2(4)に示すように全長は1600mmである。縦鋼板側面に誘導板を溶接し、その底面に荷重分布鋼板を溶接する。荷重分布鋼板にはSS400の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、疲労性を検証する。高さ90mmの荷重分布型伸縮装置の寸法を図-2(4)に併記した。伸縮装置の設置においては、2種類の接着剤を用いた。また、鋼材面には付着用接着剤を塗布して超速硬コンクリートを打ち込みした。この供試体記号をそれぞれJ70-S-W, J90-S-Wとする。

#### 4. 輪荷重走行疲労実験

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。ここで、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荷重条件は荷重100kN, 120kN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-1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、伸縮装置を設置したRC床版の健全性IVを想定し、たわみが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。

## 5. 伸縮装置を設置したRC床版の耐疲労性の評価

### 5.1 伸縮装置を設置したRC床版のS-N曲線

阿部ら<sup>2)</sup>は、図-3に示すように鋼製伸縮装置を設置した RC 床版および荷重分布型鋼製伸縮装置を設置した RC はりの定点疲労実験における S-N 曲線式を式(1)として与えている。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(2)として与える。

鋼製伸縮装置を設置した供試体（接着剤なし）

$$\log(P/P_u) = -0.0949 \log N + \log 1.139 \quad (1)$$

鋼製伸縮装置を設置した供試体（接着剤あり）

$$\log(P/P_u) = -0.0949 \log N + \log 1.032 \quad (2)$$

ここに、 $P$ ：基準荷重 (kN)、 $P_u$ ：静的最大耐力 (kN)、 $N$ ：繰り返し回数 (回)

図-3には、式(1)、(2)で表される鋼製伸縮装置を有する RC 床版の S-N 曲線を示す。同図には、松井らの伸縮装置を有さない RC 床版の S-N 曲線を参考のため示した。両者で縦軸に対応する無次元化した荷重範囲の定義が異なる。

以下、本研究においては阿部らの S-N 曲線式の傾きの逆数の絶対値  $m$  を用いて階段状荷重疲労試験結果を基準荷重に対する等価走行回数を求めて評価する。また、参考として松井らや、関口らが提案する 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も計算し疲労寿命推算結果を比較する。

### 5.2 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(3)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<sup>3)</sup>に規定する荷重 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(3)における RC 床版の S-N 曲線の傾きの逆数の絶対値には  $m=12.7^{4), 6)}$ 、 $m=10.5$ 、 $m=4.0$  を適用する。

$$N_{eq} = \sum_{i=1}^n (P_i/P)^{m \times n_i} \quad (3)$$

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<sup>4)</sup>、10.5<sup>2)</sup>、4.0<sup>1)</sup>)

## 6. 結果および考察

### 6.1 等価走行回数

輪荷重走行疲労実験による式(3)より評価した等価走行回数を表-7に示す。

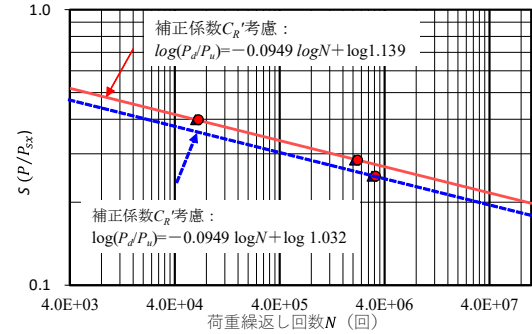


図-3 伸縮装置を設置したRC床版のS-N曲線式<sup>2)</sup>

表-7 等価走行回数および等価走行回数比

| 供試体名称   | 等価走行回数        | 等価走行回数比    |      | たわみが4.0mmに達する年数 |       |
|---------|---------------|------------|------|-----------------|-------|
|         |               |            |      |                 |       |
| J90-N-P | $N_{eq,12.7}$ | 7,967,149  | —    | —               | 10.91 |
|         | $N_{eq,10.5}$ | 2,976,530  | 0.37 | —               | 4.08  |
|         | $N_{eq,4.0}$  | 192,692    | 0.02 | —               | 0.26  |
| J90-N-W | $N_{eq,12.7}$ | 19,203,808 | —    | 2.41            | 26.31 |
|         | $N_{eq,10.5}$ | 6,617,353  | 0.34 | 2.22            | 9.06  |
|         | $N_{eq,4.0}$  | 325,595    | 0.02 | 1.69            | 0.45  |
| J70-S-P | $N_{eq,12.7}$ | 1,847,167  | —    | —               | 5.06  |
|         | $N_{eq,10.5}$ | 944,145    | 0.51 | —               | 2.59  |
|         | $N_{eq,4.0}$  | 138,494    | 0.07 | —               | 0.38  |
| J70-S-W | $N_{eq,12.7}$ | 13,020,584 | —    | 7.05            | 35.67 |
|         | $N_{eq,10.5}$ | 5,198,076  | 0.40 | 5.51            | 14.24 |
|         | $N_{eq,4.0}$  | 400,952    | 0.03 | 2.90            | 1.10  |
| J90-S-W | $N_{eq,12.7}$ | 26,421,591 | —    | 3.32            | 36.19 |
|         | $N_{eq,10.5}$ | 8,584,794  | 0.32 | 2.88            | 11.76 |
|         | $N_{eq,4.0}$  | 367,160    | 0.01 | 1.91            | 0.50  |

#### (1) 標準タイプ (J90-N-P, J90-N-W)

従来型の伸縮装置の長さ 1.6m の伸縮装置の中央を輪荷重が走行した場合の供試体 J90-N-P の等価走行回数は、式(3)に S-N 曲線の傾きの逆数  $m=12.7$  を適用した等価走行回数は  $7.967 \times 10^6$  回、および式(3)に S-N 曲線の傾きの逆数  $m=10.5$  を適用した等価走行回数は  $2.976 \times 10^6$  回である。等価走行回数比 ( $N_{eq,10.5}/N_{eq,12.7}$ ) は 0.37 である。関口らが用いた  $m=4.0$  を適用した場合は、 $0.192 \times 10^6$  回であり、等価走行回数比 ( $N_{eq,4.0}/N_{eq,12.7}$ ) は 0.02 であり、かなり少ない結果となった。よって、以降は  $m=4.0$  を適用した等価走行回数についての考察は省略する。

次に、長さ 1.6m の伸縮装置の中央を輪荷重が走行した場合の供試体 J90-N-W の式(3)における S-N 曲線の傾きの逆数  $m=12.7$  および  $m=10.5$  を適用した等価走行回数はそれぞれ  $19.203 \times 10^6$  回、 $6.617 \times 10^6$  回であり、等価走行回数比は 0.34 である。

#### (2) 雪国タイプ (J70-S-P, J70-S-W, J90-S-W)

従来型の雪国タイプの伸縮装置 1.6m を設置した供試体 J70-S-P の等価走行回数は、S-N 曲線の傾きの逆数  $m=12.7$  を適用した等価走行回数は  $1.847 \times 10^6$  回、および S-N 曲線の傾きの逆数  $m=10.5$  を適用した等価走行回数は  $0.944 \times 10^6$  回である。等価走行回数比はそれぞれ 0.51

である。

次に、1.6m の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、S-N 曲線の傾きの逆数の絶対値  $m=12.7$ 、 $m=10.5$  を適用して算出した等価走行回数はそれぞれ  $13.020 \times 10^6$  回、 $5.198 \times 10^6$  回であり、 $m=10.5$  を適用した等価走行回数比は 0.40 である。

長さ 1.6m、高さ 90mm の伸縮装置を設置した供試体 J90-S-W の等価走行回数は、S-N 曲線の傾きの逆数  $m=12.7$ 、 $m=10.5$  を適用した場合、それぞれ  $26.421 \times 10^6$  回、 $8.584 \times 10^6$  回であり、 $m=12.7$  を適用した等価走行回数に対して  $m=10.5$  を適用した等価走行回数比は 0.32 である。高さ 70mm の供試体 J70-S-W の等価走行回数と比較すると  $m=12.7$ 、 $m=10.5$  でそれぞれ 2.03、1.65 倍である。高さ 20mm 増加することで曲げ剛性が向上し、耐疲労性が向上する結果が得られた。

#### (3) 従来型伸縮装置と荷重分布型伸縮装置の比較

従来型の伸縮装置を設置した供試体 J90-N-P と荷重分布型伸縮装置を設置した供試体 J90-N-W を比較すると、S-N 曲線の傾きの逆数  $m=12.7$  および  $m=10.5$  を適用した等価走行回数は供試体 J90-N-P に対してそれぞれ、2.41、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。

#### (4) 同一高さの標準タイプと雪国タイプの比較

高さ 90mm の標準タイプの伸縮装置を設置した供試体 J90-N-W と荷重分布型伸縮装置を設置した供試体 J90-S-W の等価走行回数を比較すると、S-N 曲線の傾きの逆数  $m=12.7$ 、 $m=10.5$  を適用した場合で、それぞれ 1.38、1.30 倍である。よって、標準タイプの骨組みは鉄筋に対して雪国タイプは縦鋼板と誘導板および荷重分布鋼板が一体となり曲げ剛性が高いことから耐疲労性が向上する結果が得られた。従来型の雪国タイプの供試体 J70-S-P と荷重分布型伸縮装置を設置した供試体 J70-S-W の等価走行回数を比較すると、は供試体 J70-S-P に対してそれぞれ 7.05、5.51 倍となった。よって、標準タイプと同様に荷重分布型伸縮装置の耐疲労性が向上する結果となった。

## 6.2 たわみが4mmに達するまでの寿命年数

等価走行回数から、大型自動車の交通量を考慮した場合の破壊年数は式(4)として与えられる。なお、高さ 90mm の伸縮装置は大型自動車の交通量を 2,000 台/日、高さ 70mm の場合は 1,000 台/日として算定する。

$$N_{YL} = N_{eq}/(n \times 365) \quad (4)$$

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(回)、 $n$ ：大型自動車の交通量(高さ 90mm の伸縮装置；2,000 台/日、高さ 70mm の場合は 1,000 台/日)

式(4)より算出したたわみが 4.0mm に達するまでの年数を表-7に併記した。なお、関口らが用いた  $m=4.0$  を適用した場合の等価走行回数は東京都の交通量を考慮して得られたことからかなり安全側となる。よって、年数の算定については考察は行わないこととする。

#### (1) 高さ90mmの伸縮装置

高さ 90mm の伸縮装置は大型自動車の交通量 2,000 台/日を考慮した伸縮装置である。よって、たわみが 4.0mm に達するまでの年数の算定式(4)より算定した。

従来型の伸縮装置を設置した供試体 J90-N-P のたわみが 4.0mm に達する年数は、S-N 曲線の傾きの逆数  $m=12.7$  および  $m=10.5$  を適用して算出した等価走行回数より算出すると、それぞれ、10.91、4.08 年である。また、荷重分布型伸縮装置を設置した供試体 J90-N-W はそれぞれ 26.31、9.06 年である。次に、高さ 90mm の雪国タイプの伸縮装置を設置した供試体 J90-S-W はそれぞれ、36.19、11.76 年である。

以上より、 $m=12.7$  は RC 床版の部の年数であり、 $m=10.5$  を適用した場合は伸縮装置を設置した RC 床版の年数となり、寿命が減少した。

#### (2) 高さ70mmの伸縮装置

高さ 70mm の伸縮装置は大型自動車の交通量 1,000 台/日を考慮したものである。雪国タイプの従来型伸縮装置を設置した供試体 J70-S-P のたわみが 4.0mm に達した年数は、S-N 曲線の傾きの逆数  $m=12.7$  および  $m=10.5$  を適用した場合はそれぞれ、5.06、2.59 年である。また、雪国タイプの荷重分布型伸縮装置を設置した供試体 J70-S-W の年数はそれぞれ 35.67、14.24 年である。

以上より、 $m=12.7$  を適用した RC 床版の年数である。 $m=10.5$  を適用した場合は、伸縮装置を設置した場合の年数、すなわち修繕が必要となる年数である。

なお、関口ら<sup>1) 7)</sup>の調査によると東京都の道路橋伸縮装置の補修サイクルは、3～15年で平均は10年程度であると報告されている。

## 6.3 たわみ4.0mmの時点のひび割れ状況

#### (1) 標準タイプ (J90-N-P, J90-N-W)

供試体 J90-N-P のひび割れ状況は図-4(1)に示すように、下面は輪荷重が 45 度で分布する範囲に集中して発生している。前面においても輪荷重は骨組みの縦筋に集中荷重として作用するため、輪荷重 45 度範囲の損傷が著しい。また、側面の損傷において赤線で示したように貫通ひび割れが発生している。次に、供試体 J90-N-W のひび割れ状況(図-4(2))は下面は広範囲に亘って発生している。供試体 J90-N-P と比較するとひび割れは同等であるが等価走行回数が 2.41 倍である。なお、上面から発生した支間方向のひび割れが下面まで到達し、貫通している。

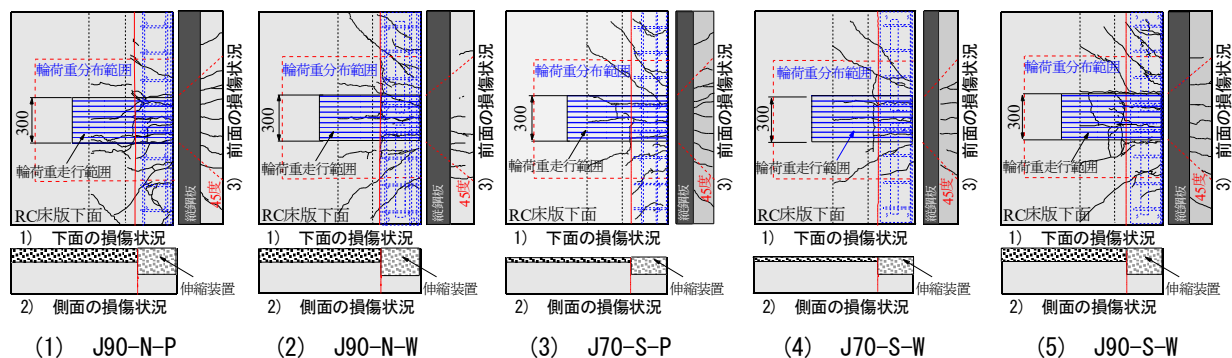


図-4 たわみが4.0mmに達した時点のひび割れ状況

## (2) 雪国タイプ (J70-S-P, J70-S-W, J90-S-W)

供試体 J70-S-P のひび割れ状況は、図-4(3)に示すように、下面は底面から発生したひび割れが床版の両支点方向に伸展して広範囲に発生している。前面のひび割れは、輪荷重が45度で分布することから、輪荷重が誘導板を介して集中荷重として作用し、RC床版支間全体に渡ってほぼ等間隔で発生している。また、側面には床版前面から250mmの位置に上面から発生したひび割れが貫通している。次に、供試体 J70-S-W のひび割れ状況は図-4(4)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、前面ともに輪荷重の45度分布範囲に集中して発生しているがひび割れ範囲は減少している。これは誘導板下面の荷重分布鋼板の効果によるものと考えられる。また、供試体 J90-S-W のひび割れ状況は図-4(5)に示すように、供試体 J70-S-W と同様のひび割れ形状である。従来型の供試体 J90-N-W のひび割れに対して供試体 J90-S-W のひび割れが多いのは、供試体 J90-S-W の荷重分布鋼板の設置面積に対して供試体 J90-N-W の面積は90%と小さいためにひび割れが多く発生したのと考えられる。供試体 J70-S-P, J70-S-W の等価走行回数がそれぞれ7.05, 14.30倍にも関わらず、ひび割れの発生範囲が狭い。これは、荷重分布鋼板の効果によるものと考えられる。

## 7. まとめ

- (1) 耐疲労性の評価において阿部ら提案を適用する  $m=10.5$  を適用した場合の寿命推定を1日1方向の大型の自動車の交通量から算定した。従来型伸縮装置を設置したRC床版寿命は4,5年と寿命が少ない。荷重分布型伸縮装置を設置したRC床版の寿命は9~14年程度となり、一般的な寿命と近似している。
- (2) 従来型の伸縮装置を設置したRC床版に対して、雪国タイプの伸縮装置を設置したRC床版の等価走行回数を比較すると、高さ70mmの雪国タイプが従来型に対して5.51倍となった。さらに高さ90mmの標準タイプが2.88倍であった。標準タイプ、雪国タイプ

ともに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た。

- (3) たわみが4.0mmに達するまでの年数においては、高さ90mmの標準タイプの伸縮装置はそれぞれ4.08, 9.06年、雪国タイプの荷重分布型伸縮装置を設置したRC床版は11.76年であった。高さ70mmの伸縮装置を設置した場合、従来型、荷重分布型それぞれで、2.59, 14.24年であった。
- (4) ひび割れ状況においても、従来型はひび割れが集中して発生したが、荷重分布型伸縮装置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た。よって、荷重分布型伸縮装置は標準タイプおよび雪国タイプともにひび割れの進展が抑制され、実用的であると考えられる。

## 参考文献

- 1) 関口幹夫, 橋原正周, 堀川都志雄: 各種ジョイント付きCFRP補強床版の疲労耐久性, 造工学論文集 Vol.58A, pp.1144-1155, 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) 阿部忠, 佐々木茂隆, 水口和彦, 野口博之, 深水弘一: 雪国タイプの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および構造特性, 構造工学論文集, Vol.69A, pp.693-704, 2023
- 4) 松井繁之: 道路橋床版の長寿命化技術, 森北出版, 2016.
- 5) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説I, II, 1994.
- 6) 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, 第七回路橋床版シンポジウム論文報告集, pp.263-268, 2012.
- 7) 関口幹夫, 大石幹夫: 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.