

# 供用履歴を受けたコンクリート舗装の 疲労特性に関する研究

小梁川雅<sup>1</sup>・野田悦郎<sup>2</sup>・伊藤正秀<sup>3</sup>

1正会員 博(工) 東京農業大学生産環境工学科(156-8502 東京都世田谷区桜丘1-1-1)

2正会員 日本道路株式会社技術研究所(146-0095 東京都大田区多摩川2-11-20)

3正会員 独立行政法人土木研究所(305-8516 つくば市南原1-6)

実供用下にあるコンクリート舗装の調査結果より、設計で用いられている破壊確率を考慮した疲労曲線の妥当性を検証した。さらに調査によって得られた切り出し供試体の疲労試験結果の検討により、コンクリートの疲労現象に対するマイナー則の妥当性に関しても検討を行った。その結果、破壊確率を考慮した疲労曲線を用いて推定されたコンクリート版の疲労程度は、実際のひび割れ率とよく一致し、設計用疲労曲線の妥当性が示された。また切り出し供試体の疲労寿命と、マイナー則によって推定される疲労程度は合致し、コンクリートの疲労過程がマイナー則に従って生じていることが示された。

**key words** : concrete pavement, fatigue properties, performance of concrete pavement, Miner's rule

## 1. はじめに

コンクリート舗装の破壊は、輪荷重応力および温度応力が繰り返し作用することによるコンクリートの曲げ疲労により生じるとされており、コンクリート版厚の設計はコンクリートの曲げ疲労特性に基づいて行われている。コンクリートの疲労現象は大きなばらつきを有し、従って載荷応力と疲労寿命の関係、いわゆる疲労曲線として現行のコンクリート版厚設計法では、破壊確率を考慮した疲労曲線が示されている。この疲労曲線は室内の促進試験によって得られたものであり、実舗装での検証はなされていない。本研究では、20年以上の供用履歴のあるコンクリート舗装を対象とした調査結果より、現行疲労曲線の妥当性を検証した。

曲げ疲労に基づく設計法では、様々な大きさの載荷重とその繰り返し数に対して、いわゆるマイナー則を適用している。マイナー則は累積疲労損傷理論を基にしており、次式で表される。

$$FD = \sum \frac{n_i}{N_i} \quad (1)$$

ここに FD:疲労度 (= 1.0で破壊)

$n_i$ :応力レベル  $i$  における繰り返し数

$N_i$ :応力レベル  $i$  における許容繰り返し数  
応力レベル:疲労試験における繰り返し応力と静的強度の比

すなわち各応力レベルにおける疲労の程度を単純に合計し、 $FD = 1.0$ となったときに疲労破壊が生じるとするものである。

マイナー則の妥当性は、金属材料などではすでに確認されているが、コンクリートにおいては載荷される応力レベルの順序や、載荷の休止期間の影響が問題となることが報告されている<sup>1),2)</sup>など、マイナー則の妥当性が否定されているわけではないが、その適用性に関しては、十分検討されているとは言えない。

マイナー則が成立しているとする、供用履歴を受けたコンクリート舗装のコンクリートは累積疲労損傷を受けていることになる。すなわち供用履歴を受けていないコンクリートに比較して、供用履歴を受けたコンクリートの疲労寿命は短くなり、その残存疲労寿命はマイナー則により予測できることとなる。従って、供用下のコンクリートの残存疲労寿命を調べることによって、マイナー則の妥当性を検討できる。本研究では、上述の調査により得られた切り出し供試体を用いた疲労試験結果より、供用履歴

を受けたコンクリートの疲労寿命とマイナー則の妥当性についても検討を行った。

## 2. 調査概要

### (1) 対象舗装

今回調査が実施されたのは、国道4号黒磯バイパスのコンクリート舗装である。同バイパスでは昭和50～53年にかけて、延長約5.9kmにわたって試験舗装区間が施工された。舗装種別は、無筋コンクリートのほかに鋼繊維補強コンクリート舗装、連続鉄筋コンクリート舗装が含まれている。平成12年に、同区間に関する供用性および実態調査が建設省(現国土交通省)により行われ、路面性状調査、FWD測定、材料試験などが実施されている。

今回検討対象とした舗装は、昭和50年に施工された版厚30cmの無筋コンクリート舗装であり、鉄網が使用されている。収縮目地間隔は10m、版幅は3.5mである。なお、収縮目地部にはダウエルバーが入っている。この区間で行われた調査内容は、以下の通りである。

路面性状調査

ひび割れ調査、横断形状測定、平坦性測定、縦断プロファイル測定、すべり抵抗測定、目地部調査

FWD測定

コンクリート版たわみ、コンクリート版内温度測定

コンクリート試験

曲げ強度試験、曲げ疲労試験

平板載荷試験

走行位置分布測定

本研究では、上記調査項目のうち、ひび割れ調査結果と平板載荷試験結果、走行位置分布測定結果を用いて、設計用疲労曲線の検証を行った。さらに、この区間より得られた切り出し供試体を用いて、曲げ疲労試験を実施した。

### (2) 切り出し供試体

同区間では既に、コンクリート版にひび割れの発生が認められている。本研究ではコンクリートの疲労に対する供用の影響を検討するため、ひび割れ調査が行われた区間のコンクリート版の中からひび割れのあるコンクリート版(非健全部)と、ひび割れないコンクリート版(健全部)を1枚ずつ無作為に抽出し、それぞれから疲労試験用供試体の切り出しを行った。供試体の切り出しにあたっては、目地部およびひび割れ部をさけ、さらに供試体が車輪通過位置付近より得られることを考慮した。まず健全部、非健全部それぞれのコンクリート版を図-1に示すように6つのブロックに分け、このうち5ブロックより6本ずつ、計30本の曲げ試験用供試体を作成した。供試体寸法は15×15×53cmである。供試体の成形に当たっては、上面および下面から70mm程度を削除し、版厚中央部15cmに相当する厚さを確保することとした。切り出された供試体は実験室に搬入後、試験実施まで気乾養生とした。

なおこのコンクリート版には、表面から厚さの1/3付近に鉄網が埋設されている。しかし曲げ強度試験、曲げ疲労試験においては、供試体の上下方向をコンクリート版の上下方向と合わせて試験を行ったので、鉄網は供試体の圧縮領域に存在することとなり、試験結果に対する鉄網の影響はないと考えられる。

### (3) 曲げ疲労試験

曲げ疲労試験は、スパン45cmの3等分2点荷重とし、周波数5Hzの正弦波形応力により行った。用いた試験機は、東京農業大学が所有する油圧サーボ式材料強度試験機である。

繰り返し応力の最大値は、静的強度試験結果と応力レベルより求めた。応力レベルSLは、

$$SL = \sigma_{\max} / \sigma_s \quad (2)$$

ここに、 $\sigma_{\max}$ ：繰り返し最大応力

$\sigma_s$ ：静的強度

で定義され、本試験の場合  $S = 0.9, 0.8$  に設定した。

図-1に示す各ブロックから得られる6本の供試体

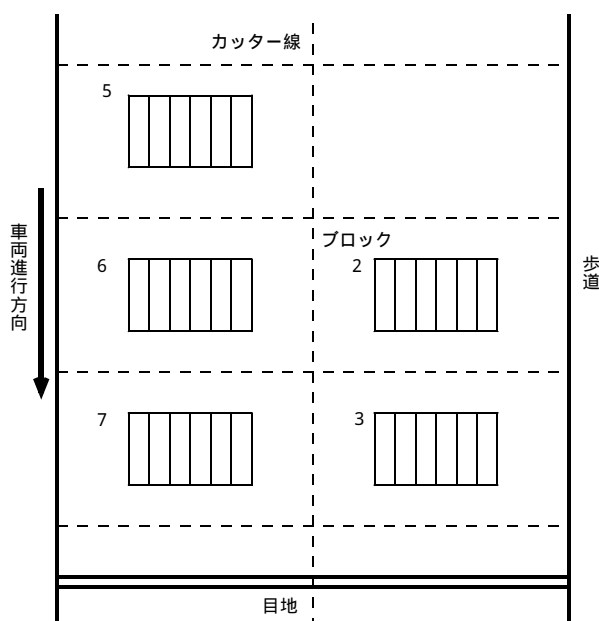


図-1 供試体切り出し概要図

のうち、2本を用いて静的強度試験を行い、同ブロックの平均曲げ強度とした。残りの4本により曲げ疲労試験を行ったが、この際それぞれの応力レベルにおいて、2本ずつ試験を実施した。従って疲労試

験供試体数は、健全部、非健全部とも応力レベル0.9で10本、0.8で10本となった。

各ブロックの疲労試験に際しては、ブロックごとの平均曲げ強度と式(2)より、繰返し最大応力を決定した。なお繰返し応力の最小値は、試験機の安定を考慮して2kNとした。

表-1 静的曲げ強度試験結果

| 健全部    |                           | 非健全部   |                           |
|--------|---------------------------|--------|---------------------------|
| ブロック番号 | 曲げ強度<br>N/mm <sup>2</sup> | ブロック番号 | 曲げ強度<br>N/mm <sup>2</sup> |
| 2      | 6.05                      | 2      | 5.82                      |
|        | 4.88                      |        | 5.32                      |
| 3      | 6.12                      | 3      | 5.93                      |
|        | 5.36                      |        | 5.13                      |
| 5      | 5.51                      | 5      | 4.61                      |
|        | 5.92                      |        | 5.88                      |
| 6      | 5.55                      | 6      | 5.02                      |
|        | 5.59                      |        | 5.78                      |
| 7      | 6.02                      | 7      | 5.37                      |
|        | 5.71                      |        | 5.38                      |
| 平均     | 5.67                      | 平均     | 5.42                      |
| 標準偏差   | 0.38                      | 標準偏差   | 0.43                      |

### 3. 試験結果

#### (1) 静的強度試験

静的強度試験結果は、表-1に示すようになった。この表からわかるように、健全部、非健全部において両者の曲げ強度に差は見られなかった。また施工後25年を経過しても、十分な曲げ強度を有していることがわかる。

#### (2) 曲げ疲労試験結果

表-2に、曲げ疲労試験の結果得られた疲労寿命を示す。なお、応力レベル0.9、非健全部ブロック番号2の供試体のうち1本については、試験中の手違いにより疲労寿命が得られなかった。

表-2に示すように、疲労寿命は大きなばらつきを示しているので単純な比較はできない。そこで健全部と非健全部のコンクリートの疲労寿命の相違を検討するため、統計的仮説検定を行った。ここでは各応力レベルにおける健全部、非健全部の疲労寿命が、それぞれある1つの分布から得られたデータであると仮定し、その分布の平均値および分散に関して比較検討を行った。平均値の検定では、帰無仮説として「双方の分布の平均値は等しい」をたて、t検定を行った。また分散に関しては、帰無仮説として「双方の分布の分散は等しい」をたて、F検定を行った。いずれも危険率は5%で検定を行った。

この結果応力レベル0.9、0.8いずれにおいても、健全部と非健全部の疲労寿命の平均、および分散に差はないことが明らかとなった。すなわち健全部、非健全部のコンクリートの疲労寿命に差はなく、両者の疲労寿命は同じ分布から得られた標本であると考えられる。

### 4. 切り出し供試体の疲労寿命

#### (1) 疲労寿命分布

前記より健全部、非健全部のコンクリートから得られた疲労寿命は、同じ確率分布に属することから、両者を統合し、応力レベルごとの破壊確率を求めた。表-3に、順序統計量の方法により求めた応力レベル

表-2 曲げ疲労試験結果

| 応力レベル | ブロック番号 | 健全部   | 非健全部   |
|-------|--------|-------|--------|
|       |        | 破壊回数  | 破壊回数   |
| 0.9   | 2      | 33    | 6166   |
|       |        | 220   | -      |
|       | 3      | 19    | 12     |
|       |        | 135   | 2822   |
|       | 5      | 383   | 1446   |
|       |        | 501   | 171    |
|       | 6      | 31    | 484    |
|       |        | 1700  | 221    |
|       | 7      | 2093  | 310    |
|       |        | 129   | 303    |
| 0.8   | 2      | 2748  | 13341  |
|       |        | 45017 | 960    |
|       | 3      | 5492  | 175    |
|       |        | 11029 | 811    |
|       | 5      | 8113  | 192038 |
|       |        | 31821 | 109247 |
|       | 6      | 51375 | 1577   |
|       |        | 26351 | 1039   |
|       | 7      | 26453 | 42895  |
|       |        | 768   | 45015  |

表-3 破壊確率

| 順位 | SL=0.9 |       |      | SL=0.8 |       |      |
|----|--------|-------|------|--------|-------|------|
|    | N      | logN  | Pf   | N      | logN  | Pf   |
| 1  | 12     | 1.079 | 0.05 | 175    | 2.243 | 0.05 |
| 2  | 19     | 1.279 | 0.10 | 768    | 2.885 | 0.10 |
| 3  | 31     | 1.491 | 0.15 | 811    | 2.909 | 0.14 |
| 4  | 33     | 1.519 | 0.20 | 960    | 2.982 | 0.19 |
| 5  | 129    | 2.111 | 0.25 | 1039   | 3.017 | 0.24 |
| 6  | 135    | 2.130 | 0.30 | 1577   | 3.198 | 0.29 |
| 7  | 171    | 2.233 | 0.35 | 2748   | 3.439 | 0.33 |
| 8  | 220    | 2.342 | 0.40 | 5492   | 3.740 | 0.38 |
| 9  | 221    | 2.344 | 0.45 | 8113   | 3.909 | 0.43 |
| 10 | 303    | 2.481 | 0.50 | 11029  | 4.043 | 0.48 |
| 11 | 310    | 2.491 | 0.55 | 13341  | 4.125 | 0.52 |
| 12 | 383    | 2.583 | 0.60 | 26351  | 4.421 | 0.57 |
| 13 | 484    | 2.685 | 0.65 | 26453  | 4.422 | 0.62 |
| 14 | 501    | 2.700 | 0.70 | 31821  | 4.503 | 0.67 |
| 15 | 1446   | 3.160 | 0.75 | 42895  | 4.632 | 0.71 |
| 16 | 1700   | 3.230 | 0.80 | 45015  | 4.653 | 0.76 |
| 17 | 2093   | 3.321 | 0.85 | 45017  | 4.653 | 0.81 |
| 18 | 2822   | 3.451 | 0.90 | 51375  | 4.711 | 0.86 |
| 19 | 6166   | 3.790 | 0.95 | 109247 | 5.038 | 0.90 |
| 20 |        |       |      | 192038 | 5.283 | 0.95 |

ごとの各供試体の疲労寿命と破壊確率 Pf の関係を示す。

これを対数正規確率紙上にプロットすると、図-2 に示すようになる。図中の縦軸は、破壊確率 Pf に対応した標準正規変量となっている。標準正規変量  $S = 0$  は、Pf = 50% に対応しており、 $S = 1.0$  はほぼ 85% に対応している。

図-2によれば、各応力レベルごとの疲労寿命の対数値と破壊確率の関係はほぼ直線となっており、図中の直線で近似できる。この際相関の強さを示す  $R^2$  値は、SL=0.9の場合0.98，SL = 0.8の場合で0.96を示しており、非常に強い相関関係にある。従って、試験の結果得られた疲労寿命は、対数正規分布に従うと考えられる。一般にコンクリートの曲げ疲労寿命は対数正規分布に従うとされており<sup>3)</sup>、今回の試験結果もこれを裏付けるものとなっている。また、供用履歴を受けたコンクリートの曲げ疲労試験に関しては、小松原らによる報告<sup>4)</sup>があるが、ここでも今回と同様に疲労寿命が対数正規分布に従うことが報告されている。

## (2) 疲労寿命

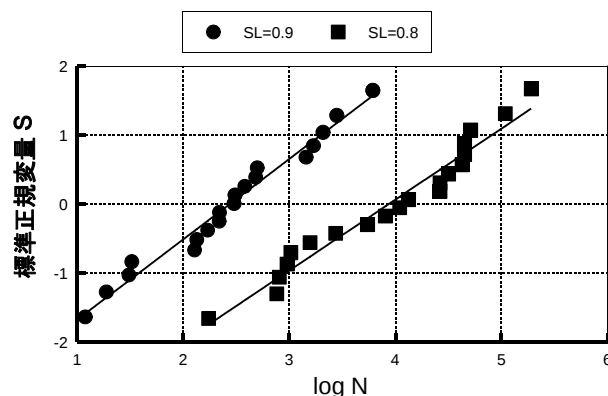


図-2 疲労寿命と破壊確率

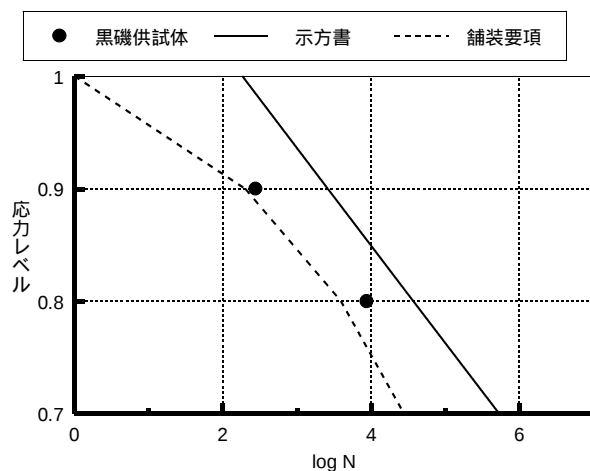


図-3 疲労寿命の比較

上述の回帰直線より、今回の試験で得られた破壊確率50%に相当する繰返し数を求め、これとコンクリート標準示方書<sup>5)</sup>に示される破壊確率50%の疲労曲線、および黒磯バイパス設計時に使用された舗装要綱<sup>6)</sup>に示される疲労曲線を比較すると、図-3 に示すようになる。

示方書に示される疲労曲線は、応力履歴を全く受けていない供試体による疲労試験の結果得られたものであるが、これと比較した場合、応力レベル0.9においては約30%、応力レベル0.8においては約15%疲労寿命が短くなった。なお舗装要綱に示される疲労曲線と比較すると疲労寿命が長くなっているが、この疲労曲線は疲労試験結果の最小寿命から得られたものであり、設計としては安全側になるが、実際のコンクリートの性質を現しているわけではない。

## 5. 設計用疲労曲線の検証

黒磯バイパスコンクリート舗装は供用後25年が経過しており、対象区間の路面調査結果によれば既にひび割れが存在している。従って現時点におけるコンクリート版の疲労解析を行うことにより、コンクリート舗装設計法の妥当性、特に疲労曲線の妥当性

を検証することができる。そこで切り出し供試体を得た無筋コンクリート舗装区間を対象に、疲労解析を行うこととした。

### (1) 対象舗装区間のひび割れ

ひび割れ調査は対象区間の1km、100枚の連続したコンクリート版に対して実施された。ひび割れスケッチ図によれば、縦目地からの横ひび割れが生じている版と横目地からの縦ひび割れが生じている版が混在している。このうち、設計時に想定されていた縦目地からの横ひび割れが発生している版は32枚であり、ひび割れ率は約30%となっている。このひび割れ率は、同舗装区間の横ひび割れに対する破壊確率であると考えられるので、この舗装区間の破壊確率は30%となる。

### (2) 疲労解析

対象コンクリート舗装の疲労程度を、コンクリート標準示方書<sup>5)</sup>の計算方法を用いて算出した。計算条件は表-4に示すとおりである。

コンクリートの曲げ強度は、疲労試験に先立つ静的試験によれば表-1に示すようになっており、平均で5.5N/mm<sup>2</sup>の曲げ強度となっている。しかしコンクリートの曲げ強度では、寸法効果のあることが認められており<sup>5)</sup>、高さ15cmの供試体によって得られた曲げ強度は、実際の版厚である30cmでは、式(3)

により、5.0N/mm<sup>2</sup>となる。

$$f_{300} = 0.8 \times \left( 0.6 + \frac{2.25}{4\sqrt{300}} \right) \times f_{150} \quad (3)$$

ここに、 $f_{300}$ ：版厚30cmの曲げ強度

$f_{150}$ ：版厚15cmの曲げ強度

また路盤支持力係数  $K_{75}$  は、同舗装区間で行われた路盤上での平板載荷試験の結果、 $K_{30}$ の値が平均で0.63N/mm<sup>3</sup>であったことから決定している。

疲労曲線の破壊確率を30%としているが、これは上述のように同舗装区間におけるひび割れ率が30%であることから決定している。

なお交通量として用いた D 交通とは、舗装要綱<sup>6)</sup>に示されたコンクリート版厚30cm に対応する交通量区分であり、計算に当たっては車両重量調査結果<sup>7)</sup>に示される輪荷重とその輪数を用いた。

### (3) 解析結果

疲労度 FD は、縦目地縁部を対象として計算した。その結果、同舗装の25年間の疲労度は、

$$FD = 1.24$$

となった。この疲労度から推定すると、対象舗装が疲労度1.0となる年数は20年であり、設計寿命と一致している。すなわち、標準示方書に示される破壊確率を考慮した疲労曲線は、コンクリート舗装設計用としてほぼ妥当なものであると考えらる。

これまでコンクリートの曲げ疲労曲線の破壊確率と、実際のコンクリート版の破壊確率の関係は明確とはなっていなかった。コンクリートの疲労現象は大きなばらつきを示すため、コンクリートの材料特性である疲労曲線は、破壊確率を考慮したものである必要がある。一方、コンクリート版の疲労破壊に対しては、コンクリートの材料特性ばかりではなく、路盤の材料・構造特性、輪荷重の大きさとその分布、コンクリート版内の温度分布とその発生頻度など多くの要因が影響を及ぼしている。これらの要因はそれぞれに固有のばらつきを有しており、コンクリート版の破壊確率には、各要因のばらつきが影響を及ぼしている。すなわちコンクリートの疲労破壊確率が、そのままコンクリート版の破壊確率に相当するわけではない。

設計時における疲労曲線の破壊確率の選定に関しては、著者らが以前に報告している<sup>8)</sup>。この報告によれば、コンクリート版の破壊確率は、コンクリートの疲労曲線の破壊確率よりも小さくなる。例えば D 交通の場合、疲労曲線の破壊確率を25%として設計を行うと、コンクリート版の破壊確率は15%となる。しかしこの検討は、疲労以外の設計要因にばら

表-4 疲労計算条件

|                  |                       |
|------------------|-----------------------|
| 解析期間             | 25年                   |
| コンクリート版厚         | 30cm                  |
| コンクリートの曲げ強度      | 5.0N/mm <sup>2</sup>  |
| コンクリートの弾性係数      | 35KN/mm <sup>2</sup>  |
| コンクリートの温度膨張係数    | 0.00001/              |
| コンクリートのポアソン比     | 0.2                   |
| 疲労曲線の破壊確率        | 30%                   |
| 交通量              | D 交通                  |
| 路盤支持力係数 $K_{75}$ | 0.15N/mm <sup>3</sup> |
| コンクリート版内温度差      | 大きいところ                |

つきがないと仮定した場合であり、実際のコンクリート舗装の破壊確率による検証は行われていない。従って、コンクリート版の設計における疲労曲線の破壊確率の選定に関しては、明らかとなっていない。

本解析結果によれば、破壊確率30%の疲労曲線を用いて推定されたコンクリート版の状態は、ひび割れが発生した状態となっている。これに対して現況のコンクリート版には実際にひび割れが生じており、そのひび割れ率は30%となっている。すなわち、設計時に選択された疲労曲線の破壊確率と、コンクリート版の破壊確率が一致する結果となった。

以上より、設計時に選択された疲労曲線の破壊確率により、コンクリート版の信頼性を推定できる可能性が示された。しかし本解析結果は、調査時点におけるひび割れ発生状況が、よく説明されるということであり、対象舗装におけるひび割れ発生時期と疲労度の関係、ひび割れ率と疲労度の関係については未だ明らかとなっていない。これらに関しては、今後さらに多くのデータ収集と解析が必要である。

## 6. マイナー則の検証

切り出し供試体の実験結果によれば、供用履歴を受けたコンクリートの疲労寿命は、履歴を受けないコンクリートの疲労寿命と比較して15～30%短くなっており、供用に伴う疲労累積の影響が見られる。これは小松原らの報告<sup>4)</sup>とも一致している。そこで供用の影響を検討するため、切り出し供試体の疲労解析を行い、実験結果と比較することにより、マイナー則の成立について検討を行った。

### (1) コンクリート版と切り出し供試体の疲労寿命の相違

前述のように、対象舗装区間は破壊確率30%で疲労破壊を生じており、計算の結果、コンクリート版の疲労度は1.0を超過している。従って、同舗装区間のコンクリートはほぼ疲労寿命に達しており、残存寿命はほとんどないはずである。しかし切り出し供試体の残存寿命は、70～85%程度あることとなっている。

この相違には、切り出し供試体のコンクリート版内における位置が影響していると考えられる。前節で示したコンクリート版の疲労解析は、検討対象位置が縦目地縁部であり、コンクリート版の中でもっとも応力が大きくなる位置を対象としている。しかし切り出し供試体の採取位置は、図-1に示すように、

コンクリート版縦目地縁部から離れた最多車輪通過位置付近にある。すなわちこの付近のコンクリートは、縦目地縁部に比較して小さな応力の履歴しか受けていないこととなる。従って切り出し供試体の疲労寿命を検討するためには、切り出した位置における疲労解析を行う必要がある。

## (2) 解析条件

### a) 計算条件

今回の調査では、供試体を切り出した舗装区間において、マツスイッチによる車輪通過位置測定を24時間にわたって行っている。この結果によれば、小型車、大型車によって車輪通過最頻位置は異なっているが、コンクリート版の疲労に対して大きな影響を与える大型車の車輪通過最頻位置は、縦目地から75cmの位置にあることがわかった。従ってこの位置を対象として疲労解析を行うこととした。

また解析に用いた車輪通過位置分布は、調査結果より得られた表-5に示すものを用いた。

これ以外の計算条件は表-4に示される条件を用いたが、疲労曲線の破壊確率に関しては50%を用いた。破壊確率50%としたのは、ここではコンクリート材料に対するマイナー則適用の妥当性を検討することが目的であり、切り出し供試体の実験結果で得られ

表-5 車輪通過位置分布

| 版端からの距離 (cm) | 55 | 75 | 95 | 115 |
|--------------|----|----|----|-----|
| 走行頻度 (%)     | 27 | 46 | 27 | 0   |

表-6 輪荷重応力

| 輪荷重<br>(kN) | (N/mm <sup>2</sup> )<br>載荷位置 |        |        |
|-------------|------------------------------|--------|--------|
|             | 55cm                         | 75cm   | 95cm   |
| 10          | 0.123                        | 0.1886 | 0.1186 |
| 20          | 0.2458                       | 0.3119 | 0.2415 |
| 30          | 0.3601                       | 0.4566 | 0.36   |
| 40          | 0.4787                       | 0.6013 | 0.4775 |
| 50          | 0.5937                       | 0.7324 | 0.5911 |
| 60          | 0.7061                       | 0.8562 | 0.7015 |
| 70          | 0.8157                       | 0.9733 | 0.8086 |
| 80          | 0.9273                       | 1.098  | 0.9183 |
| 90          | 1.0316                       | 1.2042 | 1.0194 |
| 100         | 1.1322                       | 1.3046 | 1.1167 |
| 120         | 1.3243                       | 1.4918 | 1.3012 |
| 140         | 1.514                        | 1.6816 | 1.4843 |
| 160         | 1.6831                       | 1.8389 | 1.6448 |

た平均値(破壊確率50%)との比較検討を行うためである。

#### b) 輪荷重応力

疲労計算の着目点が縦目地縁部より75cm 内側であることから、従来の設計法にある輪荷重応力算定式を用いることはできない。そこで本研究では、平板 FEM による輪荷重応力算定を行った。輪荷重の作用位置は、縦目地縁部から55cm, 75cm, 95cm とし、それぞれの載荷位置における縦目地縁部から75 cm の位置に発生する輪荷重応力を算定した。得られた輪荷重応力は表-6のようになった。

#### (3) 切り出し供試体の推定疲労度と実験結果の比較

上記の条件の下、供試体が切り出された位置におけるコンクリート版の疲労度を計算した。その結果、供用25年後の疲労度 FD は、

$$FD = 0.129$$

となった。すなわちコンクリート版のこの付近のコンクリートは、疲労寿命の約13%程度を消費したこととなる。これは、切り出し供試体の疲労寿命が15~30%程度短くなったことと比較すると、推定疲労度の方が若干小さくなっているものの、計算に用いた交通量が推定値であることを考慮すれば、極めてよく合致していることがわかる。

以上のことより、コンクリート舗装の設計法で用いられているマイナー則は、本検討結果から見る限り、コンクリートの疲労過程をよく説明しており、疲労寿命推定に対して妥当な方法であると考えられる。

また本解析によれば、実供用下のコンクリート舗装の残存寿命評価を、切り出し供試体を用いた曲げ強度試験および疲労試験によって行える可能性が示された。しかし、疲労試験結果は大きなばらつきを示すため、残存寿命を推定するためには相当数の供試体による試験と統計処理が必要となる。

## 7. 結論

本研究では供用下にあるコンクリート舗装の調査結果より、コンクリート舗装設計法で用いられている疲労曲線の検証を行うこと、さらに切り出し供試体の疲労寿命によるマイナー則の検証を行うことの2つを目的として検討を行った。その結果以下のことが明らかとなった。

(1)実測されたひび割れ率を破壊確率として設定し

た疲労曲線を用いて推定された疲労度は、1.0に近い値となった。すなわち現行設計法で用いられている破壊確率を考慮した疲労曲線は、実際のコンクリート版の挙動をよく説明しており、妥当なものであると考えられる。また設計時に選択された疲労曲線の破壊確率が、コンクリート版の破壊確率とほぼ一致することがわかった。

(2)切り出し供試体の疲労寿命と、切り出し位置を考慮した推定疲労寿命はよく合致しており、コンクリートにおけるマイナー則が成り立つことが示された。

本解析に当たっては、調査結果による実測値を主に用いているが、疲労解析に大きな影響を与える輪荷重分布とその頻度が推定値であることに注意しなければならない。したがって、コンクリート版の疲労挙動を明確にするためには、多くのコンクリート舗装区間における経年的な調査が必要である。

最後に本研究で用いた供試体、データは、建設省関東地方建設局宇都宮国道工事事務所(2000年当時)よりご提供いただいた。疲労試験については著者らが行ったが、試験に際しては当時の大学院生榎本義昭君(現鹿島道路)の協力を得た。ここに感謝の意を表する。

## 参考文献

- 1) Hilsdorf, H.K. and Kesler, C.E.: Fatigue Strength of Concrete under Varying Flexural Stress, ACI Journal, Oct., pp.1059-1075, 1966.
- 2) 小梁川雅, 米谷裕: 変動曲げ疲労荷重下における舗装用コンクリートの累積疲労に関する研究, 土木学会第47回年次学術講演会講演概要集第5部, pp.150-151, 1994.
- 3) 小梁川雅, 国府勝郎, 福田正: コンクリート舗装版の曲げ疲労に関する基礎的研究, 土木学会論文集第372号 / -5, pp.131-137, 1986.
- 4) 小松原昭則, 七五三野茂: コンクリート舗装の供用性評価, 日本道路公団試験研究所報告 Vol.34, pp.56-64, 1997.
- 5) (社)土木学会: コンクリート標準示方書[舗装編], p.24, 2002.
- 6) (社)日本道路協会: セメントコンクリート舗装要綱, p.223, 1984.
- 7) 建設省土木研究所: 車両重量調査結果の解析(その4), 土木研究所資料第3321号, 1995.

8) 小梁川雅，米谷裕，福田正：確率特性を考慮したコンクリート舗装版の曲げ疲労設計曲線，土

木学会論文集 第426号 / -14，pp.151-157，1991.

## FATIGUE PROPERTIES OF CONCRETE PAVEMENT UNDER SERVICE LOAD

Masashi KOYANAGAWA, Etsuro NODA and Masahide ITO

The purposes of this study are to evaluate the applicability of design fatigue curve which takes the probability of failure into account, and to inspect the validity of application of Miner's rule for concrete pavement design. As the result of simulation for fatigue failure of concrete slab, it was found that the failure probability of concrete slab agree with the failure probability of design fatigue curve. From the results of fatigue test for specimens which cut off from in-service slabs, it was verified that the Miner's rule can explain the process of fatigue failure of concrete.