

論 文

[2054] 舗装用コンクリートの曲げ疲労特性に関する研究

正会員○小梁川雅（秋田高専土木工学科）

正会員 福田 正（東北大学工学部）

1. はじめに

コンクリート舗装は通常、無筋コンクリート版によって構成されており、その破壊はコンクリートの曲げ疲労によって生じると考えられている。わが国ではセメントコンクリート舗装要綱¹⁾（以下要綱）が設計・施工の技術基準となっているが、この要綱付録の設計法においてもこの考え方が適用されている。しかしコンクリートの曲げ疲労に関しては、わが国では要綱設計法に採用された岩間の研究²⁾以降、研究例が少ない。

すでに著者らは、コンクリートの曲げ疲労特性に対する影響因子のうち、応力比（最小応力／最大応力）および粗骨材最大寸法に着目した疲労試験を報告した³⁾。一般に疲労現象は確率的性質を固有し、疲労試験の結果から設計に用いる疲労曲線を定める場合に、その信頼性が問題となる。そこで疲労現象のばらつきがコンクリート舗装の供用寿命に与える影響をシミュレーションによって求め、これより設計に用いる疲労曲線の破壊確率を検討することを試みた。

2. コンクリートの曲げ疲労特性

(1) 実験方法

実験に用いたコンクリートは、スランプ8.0cm、空気量4.0%、材令28日曲げ強度52kg/cm²を目標としたもので、その配合は表-1に示すとおりである。練り混ぜは100ℓ 強制練りミキサーを用いて行い、各バッチごとに若干の変更はあるが、静的強度試験用3本、疲労強度試験用6～7本の供試体を作製した。供試体の寸法は15×15×53cmであり、載荷試験まで水温20℃の恒温水槽で養生した。疲労試験は供試体作製から2カ月以降に開始した。

著者らの研究⁴⁾によれば、コンクリートの曲げ強度は試験時における供試体内の水分変化の影響を敏感に受ける。そこで供試体の周囲をスポンジで包み、試験中に水分を補給する方法、また供試体表面にグリースを塗布し、さらにビニール樹脂膜で被覆する方法により、供試体中の水分を初期状態のままに保持することとした。

疲労試験の応力波形は周波数5Hzの正弦曲線変化とした。この繰返し応力の最小応力と最大応力の比を応力比R、また繰返し応力の最大応力と静的強度の比を応力レベルSと定義する。

(2) 実験結果

図-1および図-2に示すのは粗骨材最大寸法20mmおよび40mmの場合の実験結果である。図中の→表示はその繰返し回数で破壊せずに途中打ち切りとなった供試体を示している。

表-1 コンクリートの配合表

粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランプ の範囲 (cm)	空気量 の範囲 (%)	水セメ ント比 (%)	細骨 材率 (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤
20	8±1.5	4±0.5	47	35	150	319	650	1217	0.798
40	8±1.5	4±0.5	44	34	153	348	621	1210	0.870

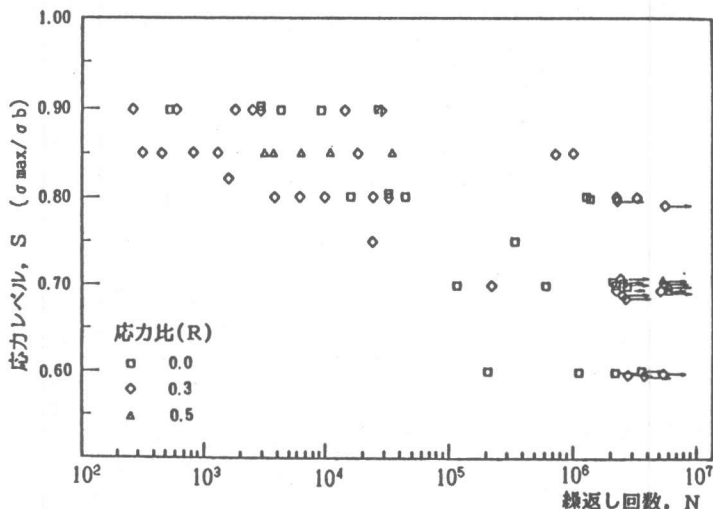
既往の研究⁵⁾によればコンクリートの疲労現象は応力比の影響を受け、応力レベルと破壊に至る繰返し回数、応力比の間には線形関係があると報告されていた。しかし図からわかるように本研究の場合、応力比の影響ははっきりとは現われていない。そこで応力レベル0.90、0.85、0.80において、各応力比ごとのデータ集団の平均値と分散を比較した。その結果、各データ集団間に有意の差は認められず、したがって各応力レベルにおける疲労試験データは、全体としてみれば同一の母集団より抽出されたものと考えらる。すなわち応力比が0.5以下の範囲ではその影響は認められなかった。一方、応力レベル $S \leq 0.75$ の領域では応力比によって途中打ち切りデータの個数に差がみられた。

同様に粗骨材最大寸法についても、各応力レベルごとに平均値と分散の比較を行なったところ、これらの間にも有意の差はみられなかった。したがって疲労試験結果から応力レベルと繰返し回数の関係、いわゆる疲労曲線を求める際にはすべてのデータを用いて行なうこととした。

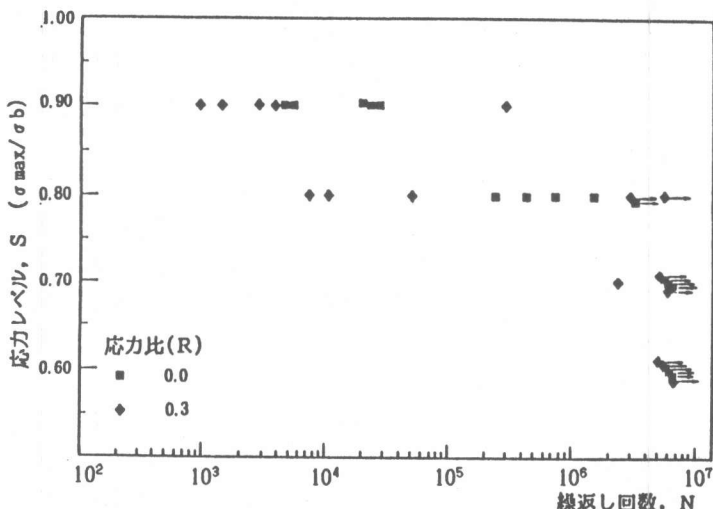
図からわかるように、疲労試験においては同一の応力レベルで試験を行なっても、その疲労寿命はばらつきを示す。このばらつきは疲労現象に固有の性質であり、疲労曲線を求める際には統計的な検討が必要となる。本研究では、疲労試験結果に順序統計量の方法を適用することにより、疲労寿命の発生確率を推定した。その結果、各応力レベルごとのデータ集団は、それぞれ対数正規分布で表現できることが明らかになった。これにより各応力レベルごとに、ある破壊確率 P に相当する繰返し回数を決定することができる。これらの繰返し数と応力レベルの関係より、破壊確率を考慮した疲労曲線を決定した。例として次式を示す。

$$P = 25\% : S = 1.055 - 0.059(\log N) \quad N \geq 100 \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$P = 50\% : S = 1.082 - 0.054(\log N) \quad N \geq 100 \quad \dots \dots \dots (2)$$



図一 疲労試験結果（粗骨材最大寸法20mmの場合）



図二 疲労試験結果（粗骨材最大寸法40mmの場合）

3. 疲労破壊確率がコンクリート舗装版の設計に及ぼす影響

(1) コンクリート版の疲労値計算

現行の要綱付録設計法では、ある応力レベルに対して一つの許容繰返し数が決定される。しかし前述のように、コンクリートの疲労現象はばらつきを固有しており、実際にはある応力レベルに対して、許容繰返し数はある分布関数として存在する。そこで本研究では、この疲労現象のばらつきがコンクリート舗装の供用寿命に対して与える影響について、モンテカルロシミュレーションを用いて検討することとした。

図-3に計算のフローチャートを示す。本計算は要綱付録の設計法に著者らの研究による修正を加えて行なった。要綱付録の計算法では、コンクリート版の破壊が縦目地縁部からの横びわれによって生じるとしている。しかし著者らの研究⁶⁾によれば、びわれの形態は交通量およびコンクリート版の幅によって異なる。そこで本計算では横目地縁部からの縦びわれを計算の対象とした。またコンクリート版内の車輪通過位置分布は著者らの調査結果⁷⁾を用いた。計算対象とした交通量は0交通であるが、その輪荷重および頻度は建設省による調査結果⁸⁾を用いた。

計算条件は次のとおりである。

コンクリートのヤング率・・・ $E = 350000 \text{ kg/cm}^2$

コンクリートのポアソン比・・・ $\mu = 0.22$

コンクリートの曲げ強度・・・ $\sigma = 45.0 \text{ kg/cm}^2$

コンクリートの熱膨張係数・・・ $\alpha = 10 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

コンクリート版厚・・・・・・・・ $H = 25.00 \text{ cm}$

路盤支持力係数・・・・・・・・ $K_{75} = 9.0 \text{ kg/cm}^3$

シミュレーションでは最初に、設計条件にしたがって発生する応力レベルとその頻度が計算される。この頻度を設計寿命20年で割ったものを1年間の頻度とする。ここで、応力レベルが0.6よりも小さいものは、疲労値の計算にほとんど影響を与えないことから、応力レベル0.6以上を計算の対象とした。次に各応力レベルの頻度に相当する個数の乱数を発生させ、これによってコンクリートの疲労破壊確率を決定する。この疲労破壊確率と、上述の各応力レベルごとの確率分布より許容繰返し数を求め、疲労値を計算する。この疲労値を累積したもののが1年間の累積疲労値となる。これを20倍して設計寿命20年間の疲労値とした。本研究ではこのシミュレーションを200試行行なった。用いた乱数は一様乱数に中心極限定理を応用して得られた正規乱数である。

本研究ではコンクリートの疲労現象のばらつきがコンクリート舗装の信頼性に与える影響を検討することを目的としたため、最終的には得られた疲労値に、疲労値と供用寿命の関係を適用して、供用寿命の推定値を得た。

(2) 供用寿命分布

図-4に示すのは、シミュレーションの結果得られた供用寿命の分布である。供用寿命は上限および下限を持つ値であるので、この分布の近似にはベータ分布を用いた。 χ^2 検定の結果より有意水準5%で妥当なモデルとして図中の曲線が得られ、その密度関数は次式で表わされる。

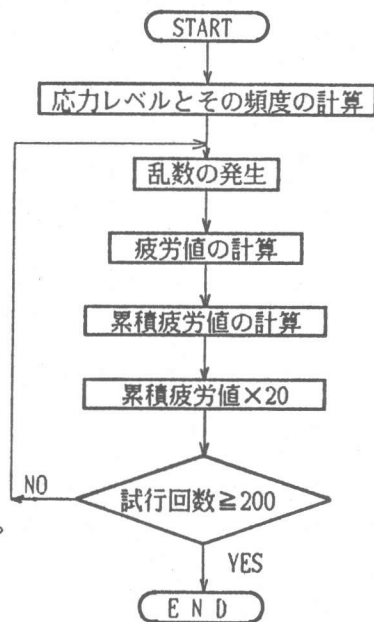


図-3 フローチャート

$$f(t) = 6.655 \times 10^{-27} (t - 15)^{2.26} (62 - t)^{14.53} \dots \dots \dots (3)$$

この分布より設計寿命20年を下回る確率、すなわち破壊確率を求めると21.15%となる。したがってこのコンクリート舗装が持つ信頼性は78.85%となる。

この版厚25cmのコンクリート版について、上記の条件で設計を行なう場合、要綱付録の疲労曲線を用いると、疲労値が4.669となり設計条件を満たさないこととなる。一方、上述の破壊確率を考慮した疲労曲線のうち、破壊確率25%の疲労曲線を用いると0.658となる。したがってこの計算例の場合、破壊確率25%の疲労曲線を用いて設計されたコンクリート舗

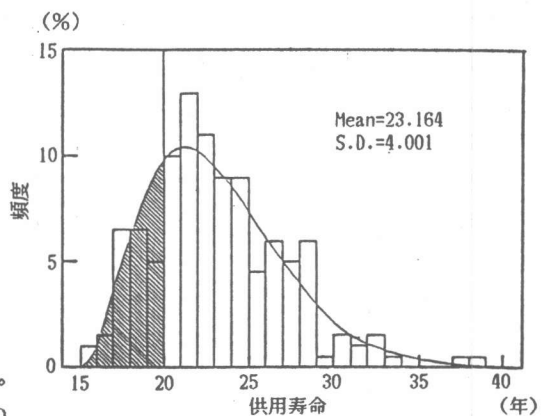


図-4 供用寿命分布

装は設計条件を満足し、その破壊確率はほぼコンクリートの疲労破壊確率と等しいことがわかる。

4. まとめ

本研究は、コンクリート舗装設計の基礎となるコンクリートの曲げ疲労現象に固有されるばらつきを評価し、このばらつきがコンクリート舗装の信頼性に与える影響を検討することを目的として行なわれた。得られた結果をまとめると次のようになる。

- (1) コンクリートの曲げ疲労特性に対する応力比、粗骨材最大寸法の影響を検討するための疲労試験を実施した。その結果、いずれの影響も無視できる程度に小さいことがわかった。
- (2) 疲労試験結果を統計的に検討することにより、破壊確率を考慮した疲労曲線を得た。
- (3) コンクリートの疲労現象のばらつきを考慮したシミュレーションを行なった。この計算例の場合、破壊確率25%の疲労曲線を用いた場合、そのコンクリート舗装の設計寿命の破壊確率もほぼ25%になることがわかった。

参考文献

- 1) セメントコンクリート舗装要綱、日本道路協会、1984.
- 2) 岩間 滋：コンクリート舗装の構造設計に関する研究、土木研究所報告、第117号、1964.
- 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/V-5、1986、pp.131~137
- 4) 小梁川雅、福田 正：含水変化を受けたコンクリート供試体の曲げ強度、土木学会論文集、第354号/V-2(ノート)、1985、pp.157~160.
- 5) John W.Murdock, Clyde E.Kesler:Effect of Range of Stress on Fatigue Strength of Plain Concrete Beams,ACI Journal, Aug.1958,pp.221~231.
- 6) Fukuda,T.,Koyanagawa,M. and Murai,S.:Condition Survey of Concrete Pavements and Its Evaluation,Proceedings of Third International Conference on Concrete Pavement Design and Rehabilitation,1985,pp.519~523.
- 7) 嶋田洋一、J.R.Montano Michel、小梁川雅：車輪通過位置に関する研究、土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集、1986、pp.292~293.
- 8) 飯島 尚、今井 博：車両重量調査結果の解析、道路、Jun.1982,pp42~48.