

道路橋RC床版のS-N曲線に関する一考察

A consideration on S-N Curves of Highway Bridge Deck Slabs

川井 豊*, 阿部 忠**, 木田哲量**, 高野真希子***
Yutaka Kawai, Tadashi Abe, Tetsukazu Kida and Makiko Takano

*工博, 日本大学非常勤講師, 生産工学部土木工学科 (〒275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1)

** 工博, 日本大学教授, 生産工学部土木工学科 (〒275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1)

***工博, 中日本ハイウェイ・エンジニアリング東京(株)土木技術部 (〒160-0023 東京都新宿区西新宿 1-23-7)

Several empirical S-N curves of highway RC deck slabs have been proposed based on the wheel running fatigue tests. However, these S-N curves have different slopes and intercepts from each other due to unavoidable inherent scatter of fatigue strength. In this paper, previous fatigue data are re-analyzed to take the data scatter and the RC deck slab design specifications used into consideration. The data were divided into two groups based on the publication year of the design specification and the linear regression analysis by the least squares was applied, and the new probabilistic S-N curves (P-S-N curves) are proposed by fixing the slope at 12.76 for convenience of applying the linear cumulative fatigue damage rule.

Key Words: RC deck slab, probabilistic S-N curve, liner cumulative fatigue damage

キーワード: RC 床版, 確率 S-N 曲線, 線形疲労累積被害則

1. はじめに

道路橋RC床版(以下RC床版と称する)は, 車両の走行ごとに作用する繰返し輪荷重を直接支持することから, その経年劣化は輪荷重の繰返し走行による疲労に起因することが多い。そのため, これまで多くの移動輪荷重疲労試験が行われ, 床版の支持条件や設計基準の相違を考慮できる統一的なS-N曲線作成の努力が続けられている¹⁾。しかし, これまでのところ図-1に示すように,

実験結果に最小二乗法を用いて両対数軸上で直線回帰して得られた多数の平均S-N曲線が, 研究者ごとに提案されているのが現状である。また, 図-1に示す実験データには, 本質的な疲労寿命; N のばらつき, 押抜きせん断強度; P_{sx} の推算精度のばらつき, 移動輪荷重試験装置(輪荷重)の相違によるばらつきなど, 多くの要因によるばらつきが含まれている。一方, 平均S-N曲線は非破壊確率50%に相当することから, 平均S-N曲線による疲労寿命の推算値は疲労耐久性に対する要求性能によっては, 十分な信頼性が確保できない場合もあると考えられる。そのため, 疲労耐久性に対する信頼性設計に必要なS-N曲線の作成には, 実験データのばらつきを考慮した確率統計的取扱が必要と考えられるが, ばらつきを考慮したRC床版のS-N曲線の検討例¹⁰⁾は少ない。

本論文では, 上記観点から過去に実施された移動輪荷重試験結果を整理し, データのばらつきを考慮して再解析することにより非破壊確率 P をパラメータにしたS-N曲線(P-S-N曲線)を求めるとともに, 線形疲労累積被害則適用時のS-N曲線の勾配について考察し, 実験データのばらつきを考慮した安全側の疲労寿命を与える推算法の提案を行った。

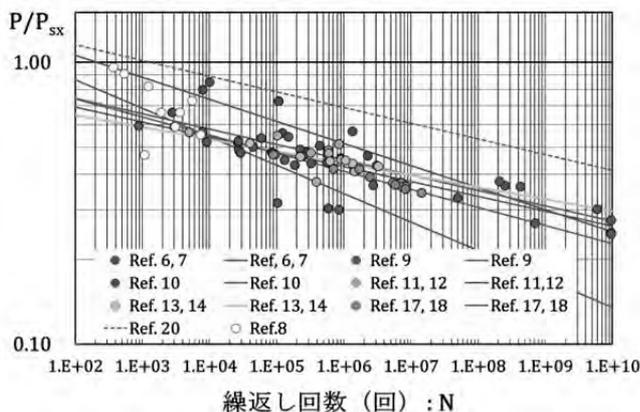


図-1 既往研究成果におけるS-N曲線

2. 既往研究成果の整理と再解析法

2.1 再解析の方法

RC床版のS-N曲線は、作用荷重を押抜きせん断耐力で除した無次元荷重値； $S=P/P_{sv}$ と破壊までの繰返し回数； N を両対数軸上の直線式(1)として表される¹⁾。

$$\log S = -n \cdot \log N + \log C \quad (1)$$

再解析に用いるデータ群を (N_i, S_i) とすると、最小二乗法を用いて平均S-N曲線の勾配； n 、切片； $\log C$ は次式で与えられる。

$$n = \frac{j \cdot \sum (\log N_i \cdot \log S_i) - \sum \log N_i \cdot \sum \log S_i}{j \cdot \sum (\log N_i)^2 - \left(\sum \log N_i \right)^2} \quad (2)$$

$$\log C = \frac{\sum (\log N_i)^2 \cdot \sum \log S_i - \sum \log N_i \cdot \sum (\log N_i \cdot \log S_i)}{j \cdot \sum (\log N_i)^2 - \left(\sum \log N_i \right)^2} \quad (3)$$

表-1には、既往研究において示されている無次元荷重と最小二乗法により求められたS-N曲線の勾配と切片の回帰値(平均)を示す。同表から、前述したように疲労寿命の本質的ばらつきや、押抜きせん断強度の推算精度、移動輪荷重試験装置)の相違、試験体の支持条件などによるばらつきに加え、試験体の設計に用いられた設計基準の相違に起因して、研究者により異なる勾配と切片が与えられていることが分る。

無次元荷重値； S_i に対するデータのばらつきを考慮した疲労寿命の信頼限界(区間)； N_{cli} は、データ数が十分に多いこと、疲労寿命を推算する荷重値が対数荷重値の平均値からかけ離れていない範囲であると仮定すると、近似的に次式で与えられる²⁾。

$$\log N_{cli} = (-\log S_i + \log C \pm t \cdot \sigma) / n \quad (4)$$

ここに、 t は信頼係数(Studentの t 検定における t 値)を、 σ は自由度 $j-1$ の $\log N$ の標準偏差を表す。

式(4)は、平均S-N線と平行となる信頼限界を与える。 t 値は要求する信頼度とデータ数に依存するが、 $t=2$ で95%信頼限界を、 $t=1$ で90%の信頼限界を与える²⁾。

上述した統計的処理を既往研究データに対し行うことにより、信頼限界(非破壊確率)50%および95%に対応するRC床版のP-S-N曲線(Probabilistic S-N Curve)を求める。

RC床版の設計基準は、昭和47年度改訂道示において大型車交通量により設計曲げモーメントの割増しが行われるとともに、配力鉄筋方向の設計曲げモーメントが与えられ、その後平成8年度には設計輪荷重の改訂および大型車交通量による床版の最小全厚の割増しが行われていることから、昭和47年道示準拠床版を境として配力鉄筋量の相違により繰返し荷重による破壊性状が異なることが指摘されている³⁾。そのため、本検討では、

表-1 既往研究におけるS-N曲線の勾配と切片

研究者	基本耐荷力 P_u	S-N関係式 ($P/P_{sv} \cdot N^n = C$) $\log(P/P_{sv}) = -n \log N + \log C$		Ref. No.
		$m=1/n$ (n)	C	
園田, 堀川	せん断補強筋を持たないRCばりのせん断強度式	11 (0.0909)	1.000	8
		$P/P_{sv} = -(1/m) \log N + \log C$ (片対数表示)		
前田, 松井, 他	床版の押抜きせん断強度(松井式)	13.95 (A) (0.07166) 30.18 (B) (0.03313)		4
		$P/P_{sv} = -(1/m) \log N + \log C$ (片対数表示)		
松井		11.21 (0.0892)	1.02	5
松井		12.76 (0.07835)	1.520	6,7
(独)土研	梁状化した床版の押抜きせん断強度(松井式)	18.35 (0.0545)	0.957	9
横山, 他		9.90 (0.101)	1.38	10
関口, 他		18.94 (0.0528)	0.884	11,12
共同研究		23.46 (0.04263)	0.790	13,14
阿部, 他		15.58 (0.06417)	0.996	17,18
Perdikaris, PC,他	押抜きせん断強度	17.95 (0.0557)	1.4918	20

昭和47年道示を境界とし、その前後の道示に準拠した床版に対する移動輪荷重試験結果を異なる二つのデータ群と仮定し、上記再解析を分けて行った。

2.2 昭和39年道路橋示方書準拠RC床版

昭和39年道示に従って設計された試験体に対する最初のS-N曲線は、松井らにより与えられている⁴⁾。本S-N曲線では、荷重変動範囲； S として梁状化した床版と切片の押抜きせん断耐力； P_{sv} で基本耐荷力として適用して得られる次式が提案され⁹⁾、試験体の諸元に影響されない統一的なS-N曲線として以後の研究において慣用的に基準S-N曲線として使われている⁹⁾。

$$\log(P/P_{sv}) = -0.07835 \log N + \log 1.52 \quad (5)$$

上記研究においては、ほぼ同時期に行われた園田らの小型試験体の移動輪荷重試験データ⁸⁾も一部引用されているが、それらの試験体と道示との関係は明らかではないため、本再解析の対象からは除外した。

その後、土木研究所において昭和39年道示に準拠した試験体を用いて階段載荷(1体)と一定移動輪荷重疲労試験(8体)が実施されている⁹⁾。階段載荷試験の結果は、S-N曲線の勾配を $m=1/n=12.76$ として線形累積疲労被害則を適用し、一定移動輪荷重疲労試験のデータに換算している。土研のデータのみを用いてS-N曲線を求めると、試験荷重の範囲が狭いことから、データのばらつきがS-N

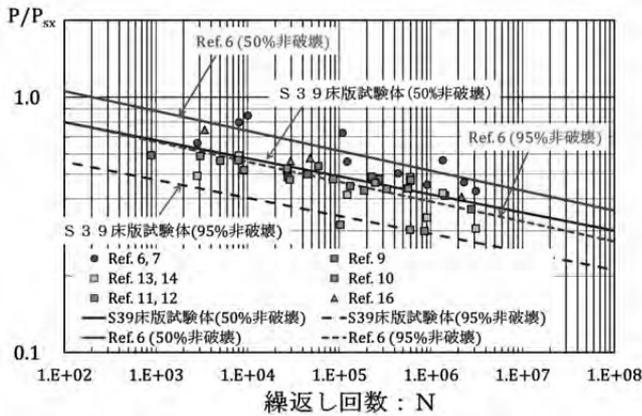


図-2 昭和39年道示準拠床版のP-S-N曲線

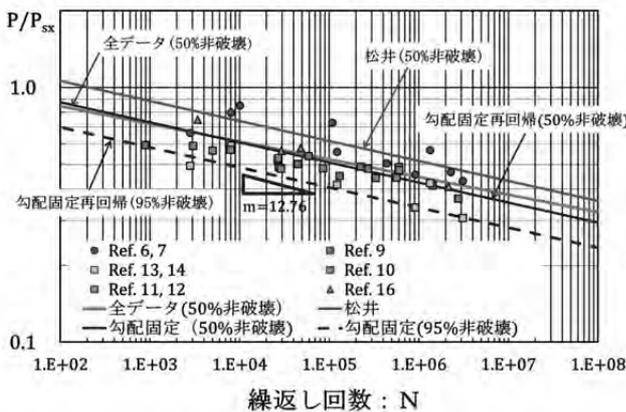


図-3 昭和39年道示準拠床版のP-S-N曲線(勾配固定法)

曲線の勾配決定に対して強く影響し、 $n = -0.03786$ と式(5)に比べ極めて緩やかな勾配のS-N曲線が得られた。本研究以降、床版の疲労耐久性を比較的短時間に効率的に評価できる試験方法として、荷重を所定の回数毎に段階的に増加する一種の促進試験方法が定着し、合成床版などを含め多くの疲労耐久性の検証に用いられている。しかし、階段荷重による疲労試験データを、線形累積疲労被害則を用いて一定移動輪荷重疲労試験のデータに変換するために必要なS-N曲線の勾配; $m(=1/n)$ についての系統的な研究は行われておらず、慣用的に松井⁹⁾により与えられた式(5)の勾配; $m=12.76$ が用いられているのが現状である。

その後、輪荷重走行試験装置を保有する試験研究機関の増加に伴い試験データ数が増加したことから、試験装置保有機関が連携し統一的、総合的な試験が実施されている¹³⁾⁻¹⁵⁾。ここでは、各試験機において再現されるRC床版の疲労損傷メカニズムが比較検討され、試験方法および評価方法の統一化が試行された。本試験では、松井式(5)と比較するため昭和39年道示に準拠する試験体を用いられている。

上述した既往疲労データと最近行われた試験データ¹⁶⁾を含めた全データを用い、階段荷重移動輪荷重疲労試験データには $m=12.76$ として線形累積疲労被害則を適用し

て一定移動輪荷重疲労試験データに変換し、再解析することにより、非破壊確率50%および95%に対するP-S-N回帰曲線として式(6)が得られる。

50%非破壊

$$\log(P/P_{sx}) = -0.06504 \log N + \log 1.0730 \quad (6.a)$$

95%非破壊

$$\log(P/P_{sx}) = -0.06504 \log N + \log 0.7911 \quad (6.b)$$

図-2には、昭和39年道示準拠試験体のデータと松井らのデータを再解析して求めた95%非破壊S-N曲線と松井らの実験データの50%および95%非破壊S-N曲線を比較して示した。本再解析の結果では、S-N曲線の勾配は、 $n = -0.06504$ ($m = 1/n = 15.38$)となり、式(5)の勾配とは異なるもののほぼ近い値が得られた。しかし、最近の実験データはばらつきの下限值、すなわち95%非破壊S-N曲線付近にプロットされる。その理由として床版支間の影響や荷重ブロックの影響などの試験条件、試験機の相違の影響等が考えられる。

以上では、S-N曲線の勾配; m および切片 $\log C$ をいずれも回帰分析の対象として式(2)、式(3)により求めたが、本方法ではデータのばらつきが比較的大きい短寿命側のデータが勾配に影響を与え易く、表-1にみられるように研究者ごとにS-N曲線の勾配が異なる。一方、設計輪荷重; P_d は、RC床版の押抜きせん断耐力; P_{sx} の30%から50%であることから、実際の走行輪荷重の頻度分布を考慮するとS-N曲線の $P/P_{sx} = 0.5 \sim 0.3$ 以下(ほぼ 10^5 回以上)の長寿命領域が重要となる。そのため、短寿命側の影響を強く受けたS-N曲線の勾配を用いて疲労耐久性を検討すると長寿命側で大きな誤差が生じる恐れがある。また、ばらつきのある実験データを新たに追加するごとにS-N曲線回帰式の勾配が変化する可能性があり、累積疲労被害則に用いる勾配; m が定まらないという課題が残ることになる。これを解決する一方法として、勾配; m を固定し、切片; $\log C$ のみを回帰分析の対象とする方法を用いた場合の再解析の結果を以下に示す。具体的には、 n を式(2)で求めず固定値とし、式(3)のみを用いて切片を求めるものである。以降、勾配を一定値とすることから便宜的に勾配固定法と呼ぶ。式(3)からも分かるように、本方法はデータ群の重心点を通る勾配 n の直線を求めることに相当する。このようにS-N曲線の勾配を一定の値に固定する方法は、全ての継手等級に対して設計S-N曲線の勾配を $m=3$ (直応力の場合)とする鋼部材の疲労設計法として既に定着した方法でもある。

固定勾配; $m(=1/n)$ 値の決定方法には、同一諸元の複数の試験体を用いた一定荷重疲労試験と階段荷重疲労試験により求める方法、既往研究で得られたS-N曲線の勾配の平均値を用いる方法等が考えられるが、ここでは既往研究において慣用的に用いられてきた実績のある式(5)の勾配; $m=12.76$ を用いることとした。これは、 m 値が小さいほど低荷重域で安全側の疲労寿命(短寿命)を与え、表-1からも分かるように $m=12.76$ は従来の回帰S-N

曲線の勾配の中では下限値に近い値を示すためである。 $m=12.76$ を用いて勾配固定法で 50%, 95%信頼限界を求めると式(7)が得られる。

50%非破壊

$$\log(P/P_{sx}) = -0.07835 \log N_{CL} + \log 1.2577 \quad (7.a)$$

95%非破壊

$$\log(P/P_{sx}) = -0.07835 \log N_{CL} + \log 1.0023 \quad (7.b)$$

図-3 には、勾配固定法で求めた昭和 39 年道示準抛床版に対する P-S-N 曲線を示すが、95%非破壊 P-S-N 曲線がほぼ全てのデータの下限をカバーするとともに、低荷重域で安全側の疲労寿命(短寿命)を与えることが分る。

2.3 昭和 47 年以降の道路橋示方書準抛床版

昭和 47 年度以降の道示に準抛した床版に対する移動輪荷重試験による研究は比較的少なく、土木研究所における研究⁹⁾、関口らの研究^{11),12)}、筆者ら^{17),18)}の研究の三データ群のみである。

土木研究所の研究⁹⁾では、前述した昭和 39 年度道示準抛試験体に加え、昭和 47 年度道示準抛試験体一定荷重試験(1 体)と平成 8 年度道示準抛試験体(8 体)の階段荷重移動輪荷重疲労試験が行われ、階段荷重試験結果を式(5)の勾配; $m=12.76$ を用いて線形累積疲労被害則により等価繰返し回数に変換し整理している。また、関口らの研究^{11),12)}では、平成 47 年試験体(4 体)と平成 8 年試験体(2 体)を用いた一定荷重移動輪荷重疲労試験が行われている。さらに、筆者らの研究^{17),18)}では、平成 55 年度道示に準抛した試験体(10 体)を用いた階段荷重移動輪荷重疲労試験を行い、昭和 39 年度道示により設計された試験体と疲労破壊機構が異なることを指摘した。また、この破壊機構の相違に着目し、基本耐力として新たに提案した押抜きせん断強度を用いて S-N 曲線を整理するとともに、階段荷重試験結果を土研と同様に $m=12.76$ を用いて線形疲労被害則により等価繰返し回数に変換し、式(9)で表される S-N 曲線を提案した。

$$\log(P/P_{sx}) = -0.06417 \log N + \log 0.996 \quad (8)$$

また、式(8)を昭和 55 年以降の道示に準抛した床版の疲労寿命評価に適用し耐用年数を試算することによりその妥当性の検討を行った。しかし、累積疲労被害側の適用時に式(5)の勾配; $m=12.76$ を用いて一定移動輪荷重疲労試験結果に換算し最小二乗法により直線回帰すると $m=15.58$ となり、回帰 S-N 曲線の勾配と異なるという矛盾が生じていた。

昭和 47 年度以降の道示に準抛した試験体を用いた移動輪荷重疲労試験には、一定荷重試験条件下でのデータ数が少ないうえ疲労寿命が $10^5 \sim 10^6$ 回の狭い範囲に集中していることから、これらのデータは勾配の妥当性の検証には余り寄与しない。そこで、この矛盾を解決する方法として前述した勾配固定法を適用し、P-S-N 曲線を求めた。

$m=12.76$ として勾配固定法を用いて求められた P-S-N

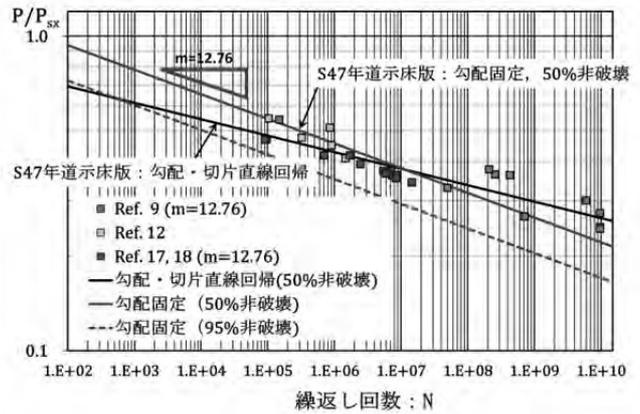


図-4 昭和 47 年以降道示準抛床版の P-S-N 曲線

曲線は式(9)で与えられる。

50%非破壊

$$\log(P/P_{sx}) = -0.07835 \log N_{CF} + \log 1.35454 \quad (9.a)$$

95%非破壊

$$\log(P/P_{sx}) = -0.07835 \log N_{CF} + \log 1.0371 \quad (9.b)$$

図-4 には、階段荷重試験結果に $m=12.76$ を用いて線形累積疲労被害則により一定荷重移動輪荷重疲労試験結果に換算し、最小二乗法により直線回帰して得られる平均 S-N 曲線と、 $m=12.76$ として勾配固定法により求めた P-S-N 曲線を比較して示す。図から、勾配固定法により求めた 95%非破壊 P-S-N 曲線は、既往の研究データの下限を示すとともに長寿命側では十分安全側の推定寿命を与えることが分る。

3. 疲労寿命推算用 S-N 曲線

既往疲労データの再解析に基づき得られる P-S-N 曲線を用いた疲労寿命推算法の一例を以下に示す。

図-5 は、本研究に用いた全データと勾配固定法による昭和 39 年度道示準抛床版と昭和 47 年以降道示準抛床版の P-S-N 曲線をまとめて示したものである。これらの P-S-N 曲線は、50%非破壊(平均) S-N 曲線においても従来からベンチマーク的に用いられてきた式(5)で与えられる S-N 曲線より短寿命側の疲労寿命を与えることになるが、この傾向は既往研究の結果とも一致する。

疲労試験データから得られる P-S-N 曲線は、良好な品質管理のもとに製作された試験体を用いて室内環境で行われた疲労実験に基づくことから、水や塩分などの環境条件、路面の凹凸による衝撃の影響など種々の疲労寿命低下要因を受ける実橋床版の疲労強度の上限値を与えるものと考えられる。これらの疲労寿命低下要因の影響は、S-N 曲線の勾配を固定した場合には、非破壊確率を考慮した切片; C_{CF} に低減係数; R を乗じることで次式の形で考慮することが可能となる。

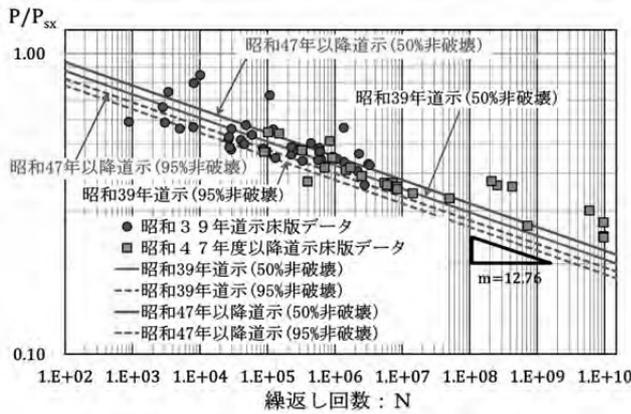


図-5 勾配一定法によるP-S-N曲線のまとめ

$$N_{CF} = 10^\beta \quad (10)$$

$$\text{ここに, } \beta = m \left[\log(R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot C_{CF}) - \log\left(\frac{P}{P_{sx}}\right) \right] \quad (11)$$

ここに、 R_1, R_2, R_3 はそれぞれ、水の存在による低減係数、塩分の存在による低減係数、試験体と実橋床版の長さの差異に起因する破壊確率の増加の影響（寸法効果）などによる低減係数を表す。このような方法は、既に松井により示されており、水の影響を床版の上面に水を張った疲労試験により得られるS-N曲線を乾燥状態で得られたS-N曲線の切片のみを低減させた式(12)が与えられている¹⁹⁾。これは、式(11)における低減係数； $R_1=0.81$ としたものとも解釈できる。

$$\log(P/P_{sx}) = -0.07835 \log N + \log 1.23 \quad (12)$$

また、米国でも Perdikaris らの疲労試験結果²⁰⁾をもとにS-N曲線の勾配を $m=17.95$ に固定し、種々の疲労強度劣化要因を切片； C に影響係数を乗じることにより考慮した疲労寿命評価式が提案されており²¹⁾、勾配固定法は一つの有望な疲労寿命推算法であると考えられる。

さらに、実橋床版の疲労寿命推算には、走行輪荷重の荷重頻度分布を考慮した疲労寿命照査用の輪荷重の代表値（等価荷重値）の設定が必要である。以下には、輪荷重繰返し回数を文献 3) に基づき推算するとともに、 R_1, R_2, R_3 の値を 1.0 とした場合について再解析で得られたP-S-N曲線を用いた疲労寿命推算例を示す。

交通センサスにより設定される対象橋梁位置での大型車交通量 $ADTT$ (台/日) から、センサス年度における基本輪荷重の繰返し回数 N_Y (台/年) が算定される。基本輪荷重 ($P=10t=98kN$) の 1 日当たり繰返し回数； N_d は、平成 6 年~12 年に全国 81 箇所の手車重量調査結果を基に設定された式(13)を用いて、大型車交通量を基本輪荷重の繰返し回数に換算し求められる。

$$N_d = 4 \times 10^{-7} \times (ADTT/2)^{2.29} \quad (13)$$

ここに、 N_d ：1日当たりの基本輪荷重の繰返し回数(回/

日)、 $ADTT$ ：大型車交通量(台/日)

基本輪荷重の年当り繰返し回数は、 $N_Y=N_d \times 365$ により求められ、疲労耐久年数； Y_F は、式(10),(11)を用いて計算される疲労寿命； N_{CF} を用いて次式で与えられる。

$$Y_F = N_{CF}/N_Y \quad (14)$$

ここに、

$$N_{CL} = 10^{\beta_{CL}} \quad (15)$$

$$\beta_{CL} = 12.76 \times \{ \log C_{CL} - \log(P/P_{sx}) \}$$

表-2には、昭和39年道示準拠RC床版を対象に、基本荷重 $P=10t=98kN$ 、衝撃係数 $i=0.385$ として $ADTT=15,000$ (台/日)、 $ADTT=20,000$ (台/日) に対する疲労寿命の推算結果を示す。鋼部材の疲労信頼性設計では信頼限界（非破壊確率）の値として95%が用いられることが多いが²⁾、既に信頼性設計の考え方が導入されている舗装設計では一般的には50%、損傷が交通機能に重大な影響及ぼす場合には75%または90%が用いられている²²⁾。そのため、表には90%の推算例も参考のため示すが、設定する信頼限界の値により疲労寿命推算値が大きく変わることが分かる。

道路橋RC床版に対する信頼限界の設定値としては、照査用輪荷重頻度分布の不確実性も大きいことを考慮すれば、重点点検を開始する時期のめやすとして舗装設計に倣い、一般的には50%（平均）、床版の損傷が交通機能に重大な影響を及ぼすと考えられる重要路線等では95%を用いる方法等が考えられる。

表-2 疲労寿命推算例

	95%非破壊	90%非破壊	50%非破壊
$P_{sx} =$		434.10	
$P =$		135.73	
$P/P_{sx} =$		0.313	
$C_{FC} =$	1.002	1.123	1.123
$N_{CF} =$	2.865E+06	1.596E+07	6.793E+07
$Y_F(ADTT=15000)$	26.2 年	111.7 年	475.4 年
$Y_F(ADTT=20000)$	13.6 年	57.8 年	246.0 年

4. まとめ

過去に実施された移動輪荷重試験結果を整理し、データのばらつきを考慮して再解析することにより、疲労耐久性の信頼設計に必要な非破壊確率をパラメータにしたS-N曲線（P-S-N曲線）を求めた。また、線形疲労累積被害則適用時のS-N曲線の勾配； m について考察し、 m を固定値とした実験データのばらつきを考慮した安全側の疲労寿命を与える推算法の提案を行った。

(1) 既往の疲労データを配力鉄筋量の異なる昭和39年道示準拠床版と昭和47年度以降道示準拠床版を異なるデータ群として取り扱い、別々のP-S-N曲線を求めた。

(2) 従来、研究者ごとに最小二乗法を用いた直線回帰により S-N 曲線の勾配； m と切片 $\log C$ が求められていたため、階段載荷試験結果を一定荷重移動輪荷重疲労試験結果に換算する際に用いる線形累積疲労被害則の勾配； m と一致しないという矛盾があった。これを便宜的に解決する一つの方法として、勾配； m を予め固定し、既往データから切片； C のみを統計的に求める勾配固定法を提案し、この矛盾が生じない P-S-N 曲線の設定例を示した。

(3) 上記の線形累積疲労被害則で用いる S-N 曲線の勾配； m は、今後同一諸元を有する試験体を用いた一定荷重試験と変動荷重試験での検証が必要であるが、安全側の設定として現状では式 (5) で与えられる S-N 曲線の勾配 ($m=12.76$) を用いることを提案した。

RC 床版の疲労耐久性の信頼性設計においては、水や塩分の存在など、その他の疲労寿命を低下させる要因を、切片 ($\log C_{cl}$) に低減係数； R_i を掛けることにより考慮することが必要である。今後、RC 床版の疲労を考慮した信頼性設計法をより具体化するためには既往研究成果の再解析や今後の研究により適切な低減係数の決定が望まれる。

参考文献

- 1) 松井繁之編著：道路橋床版-設計・施工と維持管理，森北出版，2007.10
- 2) Gurney T.R., Maddox S.J.: A Re-analysis of Fatigue Data for Welded Joints in Steel, Research Report, The Welding Institute, 1973
- 3) 道路橋の計画的管理に関する調査研究—橋梁マネジメントシステム(BMS)—，国土技術政策総合研究所，国総研資料第 523 号，平成 21 年 3 月
- 4) 前田幸雄，松井繁之：輪荷重移動装置による道路橋床版の疲労に関する研究，第 6 回コンクリート工学年次講演会論文集，pp.221-224，1984
- 5) Maeda Y., Matsui S. and Okumoto T.: Fatigue test of reinforced concrete slab of highway bridge by wheel running machine, Transaction of Japan Concrete Institute, Vol.6, 1984
- 6) 松井繁之：道路橋コンクリート系床版の疲労と設計法に関する研究，大阪大学学位論文，1984
- 7) 松井繁之：橋梁の寿命予測，安全工学，Vol.30, No.6, pp.432-440，1991
- 8) 園田恵一郎，堀川都志雄：輪荷重の反復作用下での道路橋 RC 床版の低サイクル疲労特性，土木学会論文集，第 390 号/V-8，1988.2
- 9) 道路橋床版の疲労耐久性に関する実験：国総研資料，第 28 号，2002
- 10) 横山広，長屋優子，関口幹夫，堀川都志雄：自走式試験機による道路橋床版の使用限界の評価，第 4 回道路床版シンポジウム講演論文集，pp.49-54，2004
- 11) 関口幹夫，宍戸薫：RC 床版の輪荷重走行疲労実験，平成 11 年東京都土木研究所年報，pp.107-116，1999
- 12) 関口幹夫，宍戸薫，森俊介：RC 床版の輪荷重走行疲労実験，平成 14 年東京都土木研究所年報，pp.89-100，2002
- 13) 関口幹夫：輪荷重走行疲労試験機を用いた道路橋床版の共通試験，平成 18 年東京都土木研究所年報，pp.67-73，2006
- 14) 大西弘志，上條崇，関口幹夫，長屋優子，水越秀和，肥後孝倫，堀川都志雄：輪荷重走行試験結果の統一的评价に関する検討，構造工学論文集，Vol.55A, pp.1497-1508，2009.3
- 15) 関口幹夫，長屋優子，横山広，大西弘志，上條崇，堀川都志雄：ゴムタイヤ式輪荷重走行疲労試験機による RC 床版のはり幅の検討，構造工学論文集，Vol.55A, pp.1521-1528，2009.3
- 16) 赤代恵司，三田村浩，渡辺忠朋，岸徳光：丸鋼鉄筋を用いた RC 床版の疲労特性に関する実験的研究，構造工学論文集，Vol.57A, pp.1297-1304，2011.3
- 17) 阿部忠，木田哲量，水口和彦，川井豊：輪荷重走行疲労実験における車輪寸法が RC 床版の耐疲労性に及ぼす影響および評価法，構造工学論文集，Vol.57A, pp.1305-1315，2011.3
- 18) 阿部忠，木田哲量，高野真希子，川井豊：道路橋 RC 床版の押抜きせん断耐荷力および耐疲労性の評価，土木学会論文集 A1, Vol.67, N0.1, pp.39-54，2011
- 19) 松井繁之：移動荷重を受ける道路橋 RC 床版の疲労強度と水の影響について，コンクリート工学協会，第 9 回コンクリート工学年次講演会論文集，pp.627-632，1987
- 20) Perdikaris P.C., Petrou M.F. and Wang A. : Fatigue Strength and Stiffness of Reinforced Concrete Bridge Decks, Final Report to ODOT, FHWA/OH-93/016, March 1993
- 21) Fu G., Feng J., Moses F., Cohen H. and Thompson P. : Effect of Truck Weight on Bridge Network Costs, NCHRP Report 495, 2003
- 22) 舗装設計便覧：(社)日本道路協会，平成 18 年 2 月