

I-123 変動活荷重に対するケーブルの信頼性予測手法

大阪府道路公社	正会員	牧野文雄
大阪大学工学部	正会員	小松定夫
大阪府 土木部	正会員	岡田好彦
総合技術コンサルタント	正会員	久保雅邦

1. まえがき

橋梁のケーブルは比較的高振幅の活荷重変動応力を受ける場合がしばしばあり、静的強度だけでなく疲労に対する信頼性を明確にすることが重要な課題である。従来より鉄道併用橋では言うまでもなく、道路橋においても近年の自動車交通量の増大と橋梁形式の多様化とによって、相対的に活荷重応力が増加の傾向にある。現在のところ、ケーブルの疲労設計は「DIN1073」の考え方を踏襲し、これに我が国で定めたケーブルの許容応力度を用いた照査式により行なわれているが、より確かなケーブル系橋梁の設計にむけて、疲労強度の適正な設定と変動活荷重による応力振幅の正確な予測が不可欠である。本研究は、橋梁ケーブルの疲労設計における疲労損傷予測のための基礎的な手法を提示することを目的として、実変動活荷重に対するケーブルの信頼性解析を行なった。

2. 活荷重列によるケーブルの応答解析

対象とした橋梁モデルを図-1に示し、本研究の信頼性解析の流れを図-2に示す。用いた活荷重列

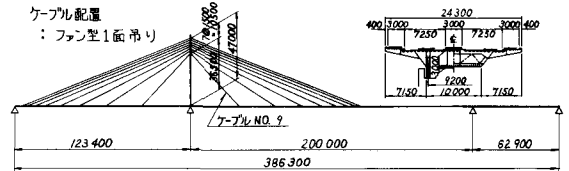


図-1 斜張橋モデル

は、本架橋地点の下流に隣接する旧鳥飼大橋（大阪中央環状線、北行2車線）における実測データ（総台数 約43,000台、24時間）による実働活荷重列と、その結果得られた荷重の確率特性を用いたシミュレーションモデルである。

(1) 活荷重列の特性と応力振幅との関係； 活荷重列の載荷方法は、各車線（4車線）とも車両の進行方向に合わせてそれぞれ異なる荷重列とし、距離3.0mずつ移動させた。マイナー則による疲労損傷の計算では、応力振幅のレベルと頻度とを知る必要があり、荷重列を表す変数（車両台数、大型車混入率、車頭間隔）とこの関係を調べた結果、大型車混入率が大きくなると応力振幅のレベルが全体的に大きくなり、また車頭間隔と応力振幅数との間には強い相関関係が得られた。一例を図-3に示す。ここに「振幅数・台数比」とは、得られた応力振幅数（ただし、 $\sigma \geq 0.2 \text{ kg/mm}^2$ ）と活荷重に含まれる車両台数との比であり、この結果を用いれば予測交通量に応じて応力振幅の頻度を求めることができる。 $\sigma < 0.2 (\text{kg/mm}^2)$ の振幅は非常に小さいさざ波を表わし、疲労損傷の上では意味を持たない。

(2) 応力振幅の確率分布； 実働活荷重列による応力振幅の頻度分布を図-4に示す。図-5は、この結果の順序統計を用いて指数確率紙に示したもので、非常に良く適合している。また、シミュレーション法により活荷重列の確率特性を変えて同様に検討した結果、応力振幅の分布形はいずれも指数分布によく適合した。ただし、回帰直線の勾配は大型車混入率によって変わる。

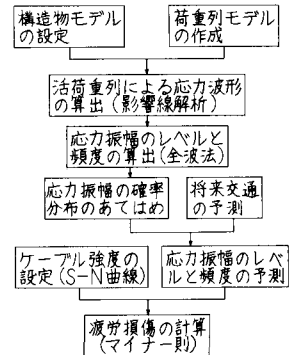


図-2 ケーブルの信頼性解析の流れ

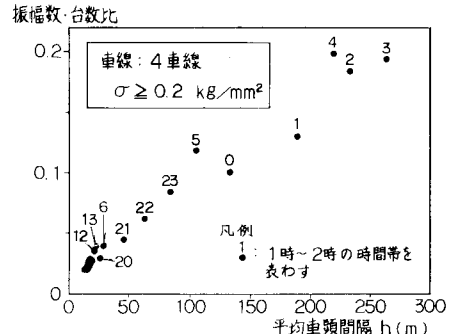


図-3 車頭間隔と振幅数台数比の関係

(3) 実働活荷重列における大型車混入率と平均車頭間隔； 以上の結果から、応力振幅の予測には活荷重列における大型車混入率と車頭間隔とを正確に把握する必要がある。実働活荷重列を100台ずつグルーピングして求めた両者の関係を図-6に示す。相関係数は比較的小さく、近似的に両者は独立と考えられる。平均車頭間隔の周辺分布では、図中の点線より小さい範囲の分布に対してのみあてはめた。大きい範囲の疲労に対する影響は小さい。また、図中の曲線は平均車頭間隔の下側確率と大型車混入率の上側確率との結合周辺確率(5%)の範囲を示す。実働活荷重列における、このような結合確率を用いての疲労損傷予測が、本研究の主旨である。

3. 疲労損傷の予測

(1) 予測式； マイナー則による次式によって疲労破壊確率を求める。

$$P_f = \text{Prob} \left\{ D = \int_{\min}^{\max} \frac{n(\sigma)}{N(\sigma)} d\sigma \geq 1 \right\} \quad (1) \quad \begin{array}{l} n(\sigma) : \text{作用回数} \\ N(\sigma) : \text{繰返し数} \end{array}$$

$n(\sigma)$ は応力振幅の確率密度 $f(\sigma)$ と総台数 V 、及び振幅数台数比 α により

$$n(\sigma) = \alpha \cdot V \cdot \lambda \exp[-\lambda(\sigma - \sigma_0)] \quad (2)$$

また、ここでは Birkenmaier の研究による $S-N$ 曲線を用いた。図-8に示す $N(S)$ は、素線に対するテンダンの強度低下、及び製作・架設誤差による強度低下を含む。すなわち、 $n(\sigma)$ と $N(\sigma)$ を(1)式へ代入すれば、次式を満たす $S-N$ 曲線のフラクタル値 P が、図-6のような活荷重列の確率特性の条件付確率として算定できる。

$$\frac{\alpha \cdot V}{1.0 \times 10^6} \cdot \left\{ \sigma^*(P) \right\}^{4.5} \cdot \int_{\min}^{\max} \lambda \exp[-\lambda(\sigma - \sigma_0 - \frac{4.5}{\lambda} \ln \sigma)] d\sigma = 1 - (3)$$

上記の関係を図-7に示す。大型車混入率 ϕ と平均車頭間隔 h を設定すれば、応力振幅の分布 (λ, σ_0) と振幅数台数比 α が得られ、これに総台数 V を乗じて (3) 式を満たすフラクタル値 P が求められる。(2) 疲労損傷の予測； 図-6の5%結合周辺確率の大型車混入率と平均車頭間隔(15%と22m)による荷重列から応力振幅を求め、本橋梁に予測される耐用年間の総交通量、及び車両重量の経年変化を考慮して疲労損傷を予測した。結果を図-8に示す。

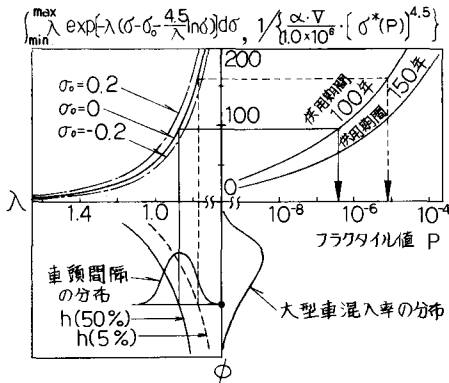


図-7 フラクタル値算出の概念図

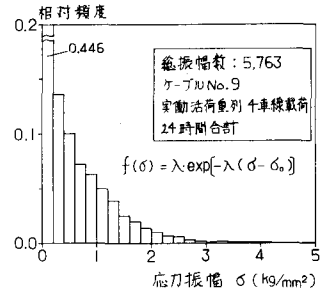


図-4 応力振幅の頻度分布

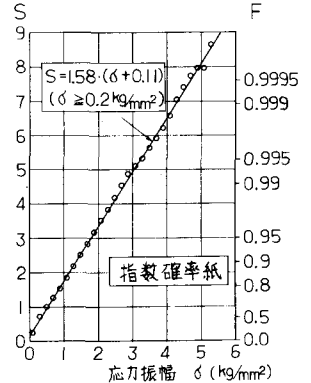


図-5 応力振幅の指数分布のあてはめ

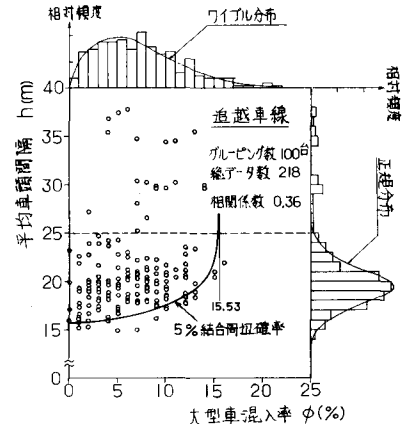


図-6 大型車混入率と車頭間隔の関係及び周辺分布

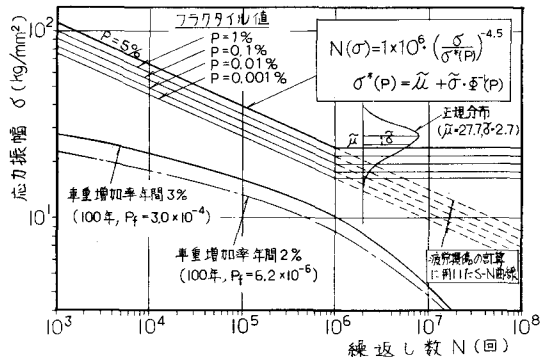


図-8 疲労損傷の予測結果