

福井工業大学 正会員 梶川 康男
金沢大学 正会員 小堀 為雄

1 ま え が き 限界状態設計法では、終局限界に対する安全性の検討から断面を定め、使用限界に対しては照査されるのが一般的な方法である。使用限界状態に含まれる振動限界に対する照査方法は、まだ確立されていないが、その照査が義務づけられる傾向にある。そこで、著者は橋梁の振動が歩行者に及ぼす心理的影響という点から考察を加え^{1)~3)}、その評価尺度として最も適していると思われる非使用性確率を提案してきた⁴⁾。ところが、その確率の算出法は複雑なために設計に用いることは容易ではない。そこで、本文では非使用性確率を用いて歩道橋の使用性が検討できるような実用的方法を検討した。

2 図式解法による非使用性確率 歩行者の振動感覚を論ずるとき、振動速度の実効値を用いることを提案してきた²⁾、ここではその二乗値を考えることにする。振動刺激の確率密度を $f_s(x)$ 、反応の確率分布関数を $F_R(x)$ とすると、非使用性確率は次式で求められる⁴⁾。

$$P_d = \int_0^{\infty} f_s(x) F_R(x) dx \quad (1)$$

ここで、 $F_R(x)$ については図-3に示したようにほぼ正規分布とみなしうる。そこで、歩行者がポアソン到着するとき、文献4)の刺激分布の計算方法によれば、歩行者の平均到着数 λT によって図-1のように、その分布形が変化する。 λT が大きくなると平坦な部分が増え、台形に近くなる。そこで、刺激区間1に入る確率を台形の高さとし、元の分布の平均と標準偏差にできるだけ近くなるように台形の形を定めて刺激分布とみなすことにした。式(1)において $f_s(x)$ が台形であれば図解法が可能となる。その手順を図-3に従って説明する。① $B+n_1A$ を横座標にとり、垂線と反応曲線との交点をXとする。② $B+n_2A$ を横座標上にとり点Zとする。③ $B+\frac{n_1+n_2}{2}A$ を横座標上にとり、その点の反応率の1/2点を点Yとする。④OXYZの面積を求め、Rとする。⑤非使用性確率は次式で計算される。

$$P_d = R \cdot P(1) / H \cdot L \cdot A \quad (2)$$

ここで、 $n_1, n_2, P(1)$ については図-2より求められる。また、Aはある歩行者一人の歩行者から受ける刺激の最大値であり、文献4)では図-3の単位区間幅として用いる。Bは歩行者自身が起す刺激である。このような図解による確率は厳密に求めた値とほとんど差がなく、実用的な方法として有効である。

3 アーラン到着に対する非使用性確率 歩行者が増えるときアーラン到着をするようになる。この場合にはポアソン到着する歩行者列が数列あるものと考えればよく、各列による刺激の和を求めればよい。各列への平均到着数を λT_k ($\lambda T_k \gg 2$)とすると、近似的にその平均は $B+0.5\lambda T_k A$ 、分散は $0.083 \frac{(\lambda T_k)^2}{k} A^2$

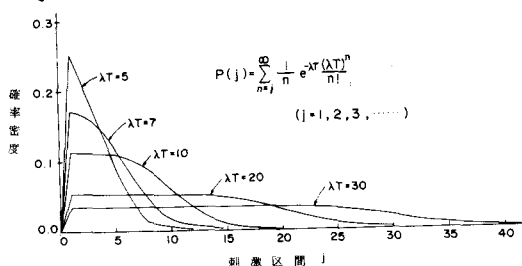


図-1 区間1に刺激の二乗が入る確率

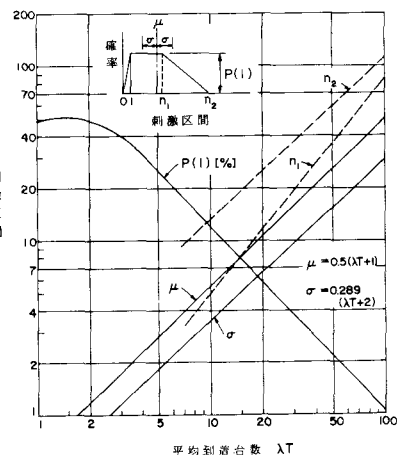


図-2 刺激の二乗分布の諸数値

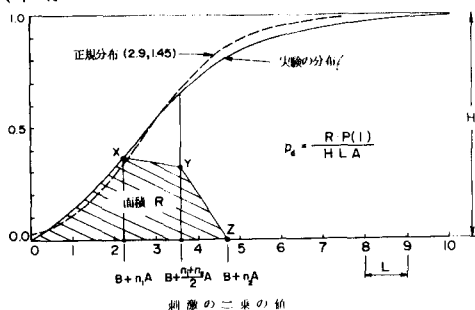


図-3 非使用性確率の図式解法

となる。しかも、 k が大きくなれば中心極限定理によって刺激の分布は正規分布に近づく。そして、一定間隔に歩行者が到着する場合 ($k \rightarrow \infty$) にはどの歩行者も同じ刺激を受けることとなる。図-4には $\lambda T = 20$ のときの刺激分布を示し、図-5には40mの鋼床版単軌桁橋に歩行者がポアソン ($k=1$)、アーラン ($k=2$)、一定 ($k \rightarrow \infty$) 型の到着をしたときの非使用性確率を示したが、到着の仕方によって、その確率はあまり変化しないことがわかる。

4 使用性指標 安全性評価において荷重や強度の分布形などの問題点から確率論の適用の是非が議論され、安全性指標が提案されている。使用性問題も同様な指標を用いることによって評価できれば、設計との結びつきをより緊密に考えることができる。そこで、感覚反応 R と振動刺激 S との差を使用性の余裕 M とするとき、その差の平均 μ_M が使用性を損う限界である $M=0$ から標準偏差 σ_M の何倍だけ隔たっているかを使用性指標 β_d で表わすことにする。 β_d は前述したことなどによって次式で表わされる。

$$\beta_d = \mu_M / \sigma_M = (\mu_R - \mu_S) / \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}$$

$$\approx \{2.9 - 0.5(\lambda T + 3)A\} / \sqrt{1.45^2 + 0.083(\lambda T A)^2 / k} \quad (3)$$

また、 R と S がともに正規分布であれば、非使用性確率 p_d は

$$p_d = 1 - \Phi(\beta_d) \quad (4)$$

となる。これらの関係を図-6の(c)(d)に示した。 $\beta_d > 0$ の範囲では、歩行者の到着の仕方により影響されない。また、刺激分布を正規分布であると考えても非使用性確率は $\beta_d < 1.6$ の範囲で大きく変わることはない。しかも、影響の最大値 A と影響範囲 T は図-6の(a)(b)のように、振動数・減衰定数・橋梁重量の補正を行うことによって求めることができ、この種の使用性を図-6によって図式的に検討することができる。また、逆に非使用性確率をある値以下にするには橋梁の特性値をどのような数値にすべきかという設計上有効な情報を容易に得ることができる。使用性問題においては、この指標が持つ意義は安全性指標ほど重要ではないかも知れないが、指標をダミーとして、図-6のような図式解法が可能となり、実用的な尺度であろう。現在までに単軌桁の歩道橋について検討してきたが、他の形式の歩道橋や道路橋に対しても提案できれば、橋梁の使用性評価を一層発展させることができるであろう。

参考文献

- 1) 道路橋の振動とその振動感覚, 土木学会論文集第222号
- 2) 橋梁振動の人間工学的評価法, 同上 230号
- 3) 単軌桁車に対する道路橋の振動感覚, 同上 248号
- 4) 動的応答の混雑歩道橋の使用性に関する確率論的研究, 同上 264号

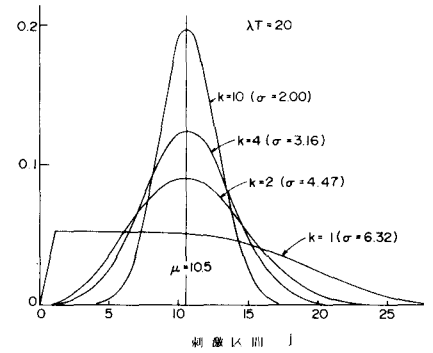


図-4 アーラン到着に対する刺激の分布

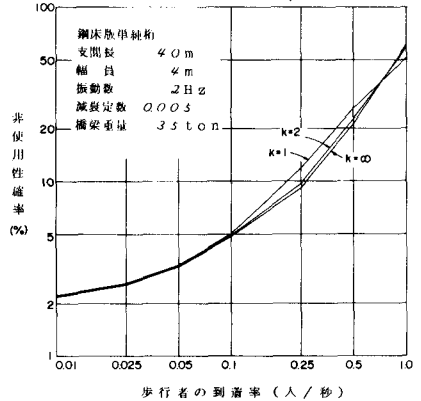


図-5 アーラン到着の位相による非使用性確率

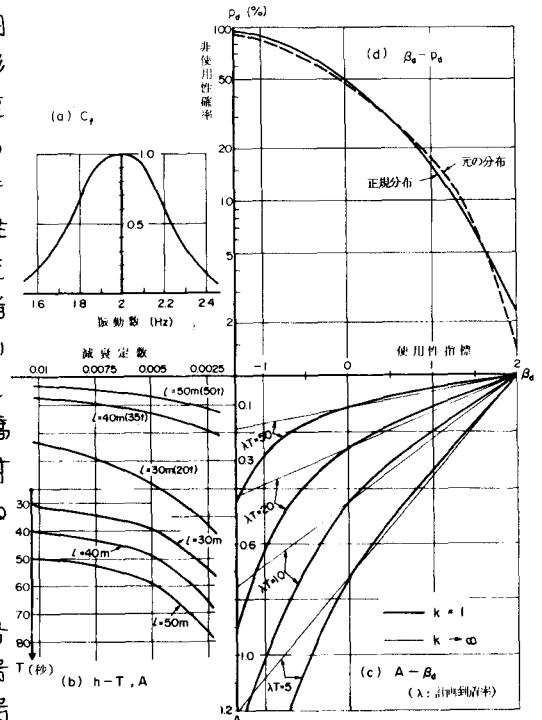


図-6 使用性指標と非使用性確率