## I−97 長大橋梁に対する設計活荷重に関する2,3の考察

京都大学工学部 正員 工博 ○白石成人
京都大学大学院 学生員 樫尾次郎

1. まえがき

橋梁構造物を設計するにあたって，その設計活荷重はスパンの増大とともに逓減する傾向にありこれは諸外国の示方書においても取り入れられている。[1] この理論的根拠は構造物の安全率を合理的に決定しようとすることに求められるが，この研究では交通荷重の確率的特性[2]とともに，構造物の安全性に関する Freudenthal の理論[3]，すなわち材料強度の確率的特性についての Rath の考え方を合せ考慮して，スパンと活荷重の関係を明らかにしようとするものである。

2. 交通荷重に関する確率計算

設計荷重の一つである交通荷重を対象としてここでは解析を進める。交通荷重としていま自動車流を想定するが，簡単のため，自動車重量の分布はここでは考慮しない。混合自動車交通流の交通状態は，もし各々の自動車が独立の意志のもとにあれば，ある区間内の自動車数は Poisson 分布によって与えられる。しかし実際には低速車，高速車が混合し，団子運転の状態になることは容易に考えられる。この状態を示す分布関数は寺尾の理論[4]によれば次のように与えられる。

いま $n$ 個の自動車のうち，いくつかは団子運転状態であたかも一つの意志のもとで行動するとし，これら団子状態にある Groups は互に独立であるとする。その Groups の数を $n'$ とすれば，明らかに

$n = r n'$ ，$r \geqq 1$ となる。この場合

$$P(n') = \frac{e^{-\mu}\mu^{n'}}{n'!} \quad , \quad \mu = \overline{n'} \tag{1}$$

である。いま独立に行動している1つの組が $j$ 個の自動車よりなる割合を $p_j$ とし，かつ

$$\frac{p_{j+1}}{p_j} = x \qquad (0 \leqq x < 1) \tag{2}$$

が常に一定と考えれば，$\sum_{j=1}^{\infty} p_j = 1$ が成立しなければならないから，式(2)を用いて，前式より

$$p_1 = 1-x, \quad p_2 = x(1-x), \quad \cdots\cdots, \quad p_j = x^{j-1}(1-x), \quad \cdots\cdots \tag{3}$$

のようになる。したがって，自動車 $n$ 個が全て完全に独立に行動するための確率は

$$P(n')_{n'=n}\,(p_1)^n = \frac{e^{-\mu}\mu^n}{n!}(1-x)^n$$

また，$n$ 個のうちの2個が1集団となる場合の確率は，

$$P(n')_{n'=n-1}\,p_1^{\,n-2}p_2 = \frac{e^{-\mu}\mu^{n-1}}{(n-1)!}x(1-x)^{n-1}\,{}_{n-1}C_1$$

となる。以下同様に求められ，結局，$n$ 個が観測対象となる場合の確率は

$$W(n) = \sum_{m=0}^{n-1}\frac{e^{-\mu}\mu^{n-m}}{(n-m)!}\binom{n-1}{m}x^m(1-x)^{n-m} \tag{4}$$

で与えられる。ここに $x$ は式(2)で仮定されたもので実際の観測結果から類推することができる。[4]

上の理論に基いて橋梁の設計活荷重は，任意区間 $l\,(m)$ の中に $n$ 台の自動車の存在する確率として求められ，それはスパン $l$，車線数 $s$ に応じて次のように表わされる。

$$W_s(n) = \sum_{m=0}^{n-1}\frac{e^{-shl}(shl)^{n-m}}{(n-m)!}\binom{n-1}{m}x^m(1-x)^{n-m} \tag{5}$$

ここで，$k$は単位距離内に存在する平均自動車台数であるが，いま $k=1/100$　とし，1グループ平均台数を$\rho$とするとき

$$\rho = \bar{r} = \sum_j p_j j = \sum_j j x^{j-1}(1-x) = \frac{1}{1-x} \qquad (6)$$

であるので，$\rho=1.30$　として確率計算を行えば，図-1のようになる。すなわち，等価分布荷重（スパン$l$の中にある自動車を全スパンに平均化した重量）はスパンの増大，巾員の増大とともに同一確率レベルでは逓減することがわかる。

## 3. 構造物の安全度

いま，構造物の抵抗力をRとすれば，この値は一つの確率変数であると考えられる。すなわち，構造物は，材料の力学的原因以外に，何らかの物理・化学的原因により，ある確率的意味で破壊することが想定される。標準平均強度を$R_0$とし，実際の抵抗力がこの近傍で正規分布で与えられるような超過確率の分布は

$$g(R) = \int_R^\infty \frac{1}{\sqrt{2\pi}\,\sigma} e^{-\frac{(R-R_0)^2}{2\sigma^2}} dR \qquad (7)$$

となる。簡単のため，対象とする構造物を *Simple load path system* [3] とし，構造物が$r$個の構造要素より成り立つものとする。各構造要素は式(7)で与えられる分布をするため，$r$個の要素の全てについての超過確率は，　$Q(R) = 1-(1-g)^r$　(8)

で与えられる。これを変動係数$k$，および構造要素の数$r$についてプロットすれば図-2のようになる。これより，$r$の増加とともに超過確率は増加し，すなわち構造物の長さが長くなれば，構造物の破壊の確率は増加することが求められる。

## 4. 考察

ここでは橋梁構造物の安全性について，設計荷重と材料強度の立場から考察を進めた。設計活荷重については式(5)よりスパンの増加とともに荷重を逓減させることになるが，式(8)の結果はスパンの増大とともに破壊の確率が増大するため，両者は相異なる特性を与えることになる。したがって，構造物の安全性の立場からの設計活荷重の合理的決定については式(8)による補正が必要と考えられる。


文献　1. 伊吹山・大橋，長大橋の設計活荷重について，土木技術資料 6-9，pp. 371-378

2. S. O. Asplund, *Probability of Traffic Loads on Bridges*, Proc. ASCE Vol. 81, No. 585, 1955

3. A. M. Freudenthal, *Safety, Reliability and Structural Design*, Proc. ASCE ST3 pp. 1~16, 1961

4. 枝村・稲見，連合性を考慮した分布の交通流への適用について，第3回日本道路会議，1956


図-1

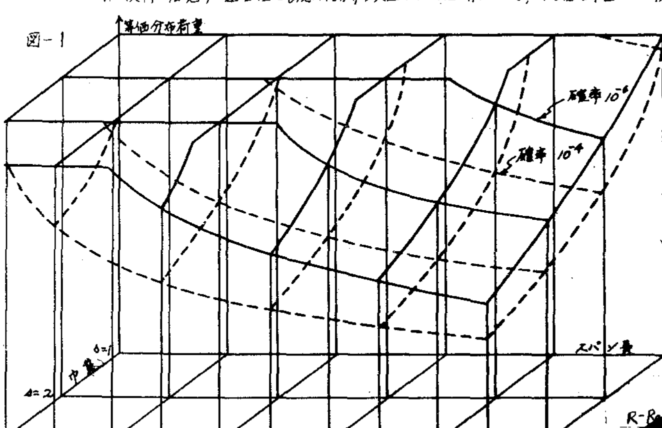


図-2