

道路橋の安全性と関する確率論的考察

大阪大学工学部 正員 前田幸雄

大阪大学工学部 学生員 〇宮村隆夫

まえがき 本文は、自動車重量分布、車頭間隔分布等を用いて道路橋主桁の作用力分布を求め、一歩進んでこれを適用した既設道路橋の静的疲労安全性評価の一側を示すものである。

ピーク応力発生条件 主桁の実際の応力波形は、平均的な波形に高周波成分の重畳したものと看做する。この高周波成分の影響が衝撃係数により考慮出来るものとし、又応力波形の極小値を全て零と考えるものとするれば、応力波形のピークの分布を求めれば、静的疲労安全性の評価は可能となる。今単梁梁上を集中荷重列が等速度で通過する状況を考へる。支向中央に着目すると曲げモーメント波形 $Y(x)$ は二等辺三角形の重なりとなるものとなる。 $Y(x)$ が時刻 t でピークを生じるためには、i) 支向中央に荷重 P_i があり、ii) P_i と P_k と (1) 式が成立しければ足りる。又その時の $Y(x)$ は (2) 式で与えられる。

$$P_i > \left| \sum_{j=1}^n P_j - \sum_{j=k}^n P_j \right| \quad (1) \quad Y(x) = \sum_{i=1}^n (a_i P_i) \quad (2)$$

ピーク応力分布計算法

i) P_i (自動車重量) の p.d.f (確率密度函数), $a_i P_i$ の p.d.f の計算。 $f_i(x)$, $f_{a_i P_i}(y)$ とする。

$$f_{a_i P_i}(y) = f_i(y/a_i) / a_i \quad (3)$$

ii) $\sum_{i=1}^n P_i$ と $\sum_{i=1}^n (a_i P_i)$ の同時 p.d.f の計算。 $f_2(x, y)$ とする。単梁梁上の 1 台の自動車重量とそれと作る曲げモーメントの同時 p.d.f, $f_2(x, y)$ は次式で与えられる。

$$f_2(x, y) = f_1(x) / a_1 x \quad (4)$$

又 2 台, 3 台, ... の場合をそれぞれ $f_3(x, y)$, $f_4(x, y)$, ... とすると

$$\left. \begin{aligned} f_2(x, y) &= \int_0^x \int_0^y f_1(x-x_0, y-y_0) \cdot f_1(x_0, y_0) dx_0 dy_0 \\ f_3(x, y) &= \int_0^x \int_0^y \int_0^y f_2(x-x_0, y-y_0) \cdot f_1(x_0, y_0) dx_0 dy_0 \\ &\dots \dots \dots \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

区間 l 内の自動車存在確率が 0 台, 1 台, ... と対応して $P(0), P(1), \dots$ で与えられると $f_2(x, y)$ は

$$f_2(x, y) = \delta(x) \cdot P(0) + \sum_{i=1}^n [f_1(x, y) \cdot P(i)] \quad (6) \quad \delta(x): \text{dirac's delta function}$$

iii) $\left| \sum_{i=1}^n P_i - \sum_{j=k}^n P_j \right|$ と $\sum_{i=1}^n (a_i P_i)$ の同時 p.d.f の計算。 $f_{12}(x, y)$ とする。

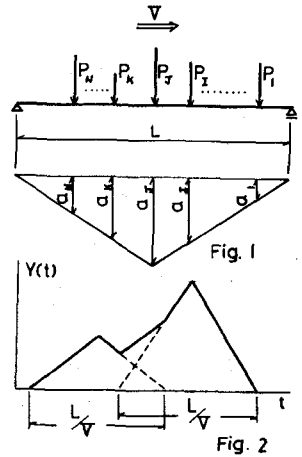
$$f_{12}(x, y) = \int_0^x \int_{x-x}^y \int_0^y f_2(x_1, y_1) \cdot f_2(x_0, y-y_1) dy_1 dx_0 dx_1 \quad (7)$$

iv) $\sum_{i=1}^n (a_i P_i)$ の p.d.f の計算。 $f(y)$ とする。ここで $\int_0^\infty f(y) dy < 1$ とする。

$$f(y) = \int_0^y \int_0^{y-y_0} f_{12}(y_0, y-y_0) \cdot f_{12}(x_0, y-y_0) dx_0 dy_0 \quad (8)$$

既設道路橋の安全性評価

- i) 対象道路橋: 経荷重合成橋標準設計 (建設省, 昭 38) から選んだ表 1 の橋である。
- ii) 自動車重量: 大, 中, 小型車から成るものとし、各々が正規分布に従うとした。混合比, 平均重量, 変動係数はそれぞれ 0.02, 0.23, 0.75, 20%, 10%, 2%, 0.9, 0.4, 0.6 とした。各車種の混合比を



$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ 、自動車重量の p.d.f を $\phi_1(x), \phi_2(x), \phi_3(x)$ とすると、

$$f_1(x) = \alpha_1 \cdot \phi_1(x) + \alpha_2 \cdot \phi_2(x) + \alpha_3 \cdot \phi_3(x) \quad (9)$$

iii) 車頭間隔：平均値 $\mu = 0.02^m$ の指数分布に従うとすると、 $P(x)$ は次式で与えられる。

$$P(x) = (\mu \cdot \frac{1}{x}) \cdot e^{-\mu \cdot \frac{1}{x}} \quad (10)$$

iv) 載荷方法：橋軸方向の自動車同時存在可能台数は支間 40^m で 5 台、 24^m で 2 台とし互いに独立かつ集中荷重として取扱った。橋軸垂直方向については現行示方書と同じ載荷方法を用いた。

v) ビーク応力分布計算結果：Fig.3に計算結果を示した。外橋については自動車の直上車線支間中央通過を1とし、中橋については11すわが一方の車線支間中央通過を1としている。

vi) 静的破壊確率の計算：静的強度として材料 (SM50) の降伏点応力をとりそのとし、それが平均値 3750 kg/cm^2 、変動係数 0.08 の対数正規分布に従うとした。破壊確率の計算には(11)式を用いた。

ここに $f_2(x)$ は強度の p.d.f, $f_1(x)$ は荷重 (活荷重能力 + 死荷重能力 + 衝撃に与える能力) の p.d.f, N は載荷回数。

$$P_f = \int_0^{\infty} f_2(x) \cdot \{1 - (\int_0^x f_1(y) dy)^N\} dx \quad (11)$$

vii) 疲労破壊確率の計算：P-S-N曲線は両対数グラフで平行直線群とするものとし、死荷重能力の影響は修正 Goodman 図表 (直線で表わされるものとする) にすり考慮した。疲労被害則として修正直線被害則を採用すると疲労破壊確率は次式で与えられる。

$$P_f = \int_0^{\infty} f_{N_0}(x) dx \quad (12)$$

ここに $f_{N_0}(x)$: $0 \sim S_0$ 片振疲労寿命の p.d.f

$f_1(x)$: ビーク応力 (活荷重能力 + 衝撃に与える能力) の p.d.f

θ : P-S-N曲線の傾き

N : 載荷回数

$$C = \frac{1}{S_0} \int_0^{\infty} S^\theta f_1(S) dS$$

疲労寿命は対数正規分布に従うものとし、 $\theta = 6$, $200^{\text{万}}$ 時間強度中央値を 1500 kg/cm^2 、寿命の対数標準偏差を 0.25 とし計算した。

viii) 破壊確率計算結果：静的破壊確率の計算結果を Fig.4 に一点鎖線で、疲労破壊確率の計算結果を Fig.4 に実線で示した。

記号	橋種	巾	支間長	死荷重	合計
ST1	1等橋	6	40	1108 kg/m	91.87
ST2	"	"	"	1045 kg/m	4.87
ST3	"	"	24	888 kg/m	91.87
ST4	"	"	"	840 kg/m	4.87
ST5	2等橋	"	"	1122 kg/m	91.87

表1

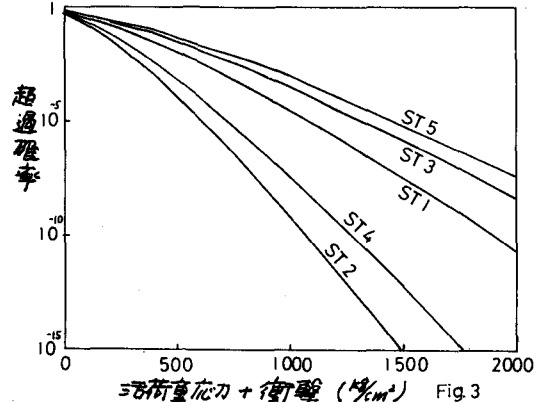


Fig.3

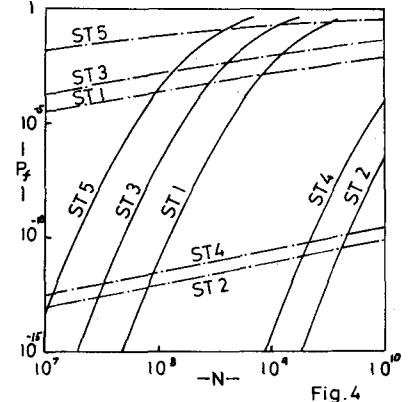


Fig.4