

神戸大 正員 枝村俊郎 神戸大 正員 山本俊夫

K.K.川崎重工業 正員 重富純二

1. まえがき ガードフェンスには周知の通り自動車の路外逸脱防止と衝突時の乗員の被害減小という相反する2つの機能が要求され、このため設置にあたってはガードフェンスの剛度の決定、規格数設置箇所とに選定するかが問題となる。本解析ではこれらが独立には決定されず最適規格概念によって一義的に決定されることを示し、かつこれによる計算例を示す。

2. 便益の表現 構造物の最適性の尺度として、ここでは貨幣タームを用いることとすればガードフェンスの設置便益は一般に次式で表わされよう。

$$B = N_0 \cdot D_0 - N_a \cdot D_a - I - M \quad (1)$$

ここに B : 設置便益 N_0 : 設置前の転落事故発生率 D_0 : 設置前の一件あたりの事故損害額 N_a : 設置後の衝突事故発生率 D_a : 設置後一件あたりの事故損害額 I : 初期投資の年あたりの償還額 M : 維持費 N_0 は交通量、道路幾何構造の関数であり、 D_0 は路側環境、車種等の関数である。 N_a は視線誘導効果により N_0 より幾分小さいと考えられる。 D_a はガードフェンスの剛度、衝突車の重量、速度および衝突角度の関数であり、 I および M はガードフェンスの剛度、耐用年数の関数である。最適規格は当然(1)式の便益を最大にするようなものでなければならぬ。

3. 転落事故発生率を一定と考えた場合の規格決定 今、道路延長 L の道路に N 種類の剛度をもつガードフェンス(単位重量 $W_1, W_2, \dots, W_N$ 、一般に $W_i > W_{i-1}$) と設置する場合を考える。簡単のため $N_0 = N_a = \text{const.}$ とすると設置前、設置後の単位期間あたりの損害額 E_0, E_a および便益 B_N は次のように表わされる。

$$E_0 = N_0 \int_0^{L_T} D_0(L) dL, \quad E_a = N_0 \int_0^{L_T} D_a(L) dL + \sum_{i=1}^N N_i \int_{L_{i-1}}^{L_i} D_a(L) dL \cdot f(E) dE + \sum_{i=1}^N N_i \int_{L_i}^{L_{i+1}} dL \cdot D_a(W_i) \int_{E_{ci}}^{E_{ci+1}} f(E) dE$$

$$B_N = E_0 - E_a - \sum_{i=1}^N \{I(W_i) + M(W_i)\} \cdot L - C(N) \quad (2)$$

ここに $D_0(L)$: 転落事故損害額の小さいものから順に道路延長によって並べた損害額(道路延長の関数)。

W_i : i 番目規格のガードフェンスの単位重量 L_i : i 番目規格のガードフェンスを設置しはじめる道路延長。

$f(E)$: 衝突車のガードフェンス直角方向の運動エネルギー分布の確率密度関数(図-1)。

E_{ci} : i 番目規格のガードフェンスの転落境界エネルギー、 E_{ci} 以上の運動エネルギーを持つ衝突車は転落するから $\int_{E_{ci}}^{\infty} f(E) dE$ は i 番目規格のガードフェンスに衝突した車のうち転落する割合を示す。

$D_a(W_i)$: i 番目規格のガードフェンスに衝突し、転落を免がれた場合の損害額(W_i および衝突車重量の関数)。

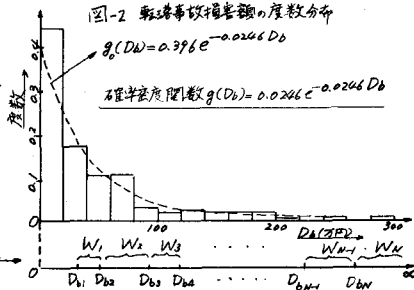
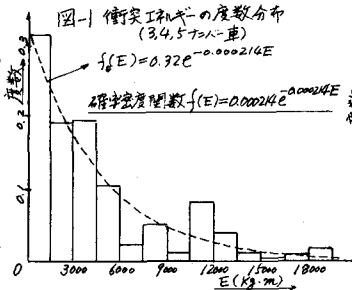
$I(W_i), M(W_i)$: i 番目規格の単位期間あたりの建設費および維持費。 $C(N)$: 規格数の増加に伴う経費。

最適規格は次の連立方程式

$$\frac{\partial B_N}{\partial W_1} = 0, \frac{\partial B_N}{\partial W_2} = 0, \dots, \frac{\partial B_N}{\partial W_N} = 0$$

$$\frac{\partial B_N}{\partial L_1} = 0, \frac{\partial B_N}{\partial L_2} = 0, \dots, \frac{\partial B_N}{\partial L_N} = 0$$

と解いても求まらぬが、 N の増加に伴って解法が著しく困難となり、一般には D.P. による解法によらねばならぬ。



次にD.P.による解法について述べる。ここでは(2)式の $D_0(L)$

のかわりに軽交通事故被害額の確率密度関数 $g(D_0)$ を導入して最適規格を考える例を示す。図-2に示したように被害額 D_0

から D_{0in} の道路区間にi番目規格のガードフェンスを設置すると考えるとN種の規格を設置した場合の最大便益 B_N は

$$B_N = \max_{W_1, W_2, \dots, W_N, D_{01}, D_{02}, \dots, D_{0N}} B(W_1, W_2, \dots, W_N, D_{01}, D_{02}, \dots, D_{0N}) \quad (3)$$

(3)式はD.P.の最適性の原理により次の再帰関係式で表わされる。

$$B_N = \max_{D_{0N}, W_N} [B(W_N, D_{0N}, \infty) + B_{N-1}(W_1, W_2, \dots, W_{N-1}, D_{01}, D_{02}, \dots, D_{0N-1})]$$

$$B_i = \max_{D_{0i}, W_i} [B(W_i, D_{0i}, D_{0i+1})] \text{ 一般に } W_i > W_{i-1} > D_{0i} > D_{0i+1} > D_{0i+2} \quad (4)$$

ここで $W_1, \dots, W_N, D_{01}, \dots, D_{0N}$ は状態変数であり、 B_N を最大にする

これらの値が最適政策値すなわち最適規格となり、それらを $W_1^*, \dots, W_N^*, D_{01}^*, \dots, D_{0N}^*$ と表わす。i番目規格のガードフェンスの設置便益 $B(W_i, D_{0i}, D_{0i+1})$ は(2)式と同様に考えると次のようになる。

$$B(W_i, D_{0i}, D_{0i+1}) = \int_{D_{0i}}^{D_{0i+1}} N_i \cdot D_0 \cdot g(D_0) dD_0 - \int_{D_{0i}}^{D_{0i+1}} N_i \cdot D_0 \cdot g(D_0) dD_0 \int_{E_{0i}}^{\infty} f(E) dE$$

$$- \int_{D_{0i}}^{D_{0i+1}} N_i \cdot g(D_0) dD_0 \cdot Q_i(W_i) \int_{E_{0i}}^{\infty} f(E) dE - \{I(W_i + M(W_i))\} \int_{D_{0i}}^{\infty} g(D_0) dD_0 \quad (5)$$

(4)式の再帰関係式の数値解法の手順はまず状態変数 D_{0N}, D_{0N-1}

を適当に選ぶ。その場合の最適剛度 W_i は $\frac{dB}{dW_i} B(W_i, D_{0i}, D_{0i+1}) = 0$ より得られ、 B が求められる。それらの値のうち(4)式を満足する W_i, D_{0i}, D_{0i+1} が最適規格 $W_i^*, D_{0i}^*, D_{0i+1}^*$ となる。N規格を設置する場合はい-1の順にi=Nまでこの手順を繰返せばよい。この方法によれば規格数Nが増加しても容易に解を求めうる。表-2にN=3の場合の計算例を示す。

4. 軽交通事故発生率の分布を考慮に入れた場合の最適規格

実際には $N_b = \text{const.}$ ではなく道路延長に沿って変化し、道路延長は図-3に示すように N_b と D_0 の同時分布関数で表わされる。まず $N_b = \text{const.}$ として(5)式より1番目規格(i=1)の設置を考える。この場合 W_1, D_{02} は仮定するとBを最大にする D_{01} は $\frac{dB}{dD_{01}} B(W_1, D_{01}, D_{02}) = 0$ で与えられ一般に $D_{01} = h_1(N_b, W_1)$ と表わされる。2番目規格も同様に考えると $D_{02} = h_2(N_b, W_1, W_2)$ となり以下同様に $D_{0i} = h_i(N_b, W_1, W_2, \dots, W_i)$ となる。ここで $N_b \neq \text{const.}$ とすると設置規格は図-4に示す曲線群によって与えられる。この場合i番目規格のガードフェンスの設置便益は次式で与えられる。

$$B = \int_{D_{0i}}^{D_{0i+1}} N_b \cdot D_0 \cdot g(N_b, D_0) dD_0 \cdot N_b - \int_{D_{0i}}^{D_{0i+1}} N_b \cdot D_0 \cdot g(N_b, D_0) dD_0 \cdot N_b \int_{E_{0i}}^{\infty} f(E) dE$$

$$- \int_{D_{0i}}^{D_{0i+1}} N_b \cdot g(N_b, D_0) dD_0 \cdot N_b \cdot Q_i(W_i) \int_{E_{0i}}^{\infty} f(E) dE - \{I(W_i + M(W_i))\} \int_{D_{0i}}^{\infty} g(N_b, D_0) dD_0 \cdot N_b \quad (6)$$

ここに $g(N_b, D_0)$ は道路延長を表わす N_b と D_0 の同時密度関数で $\int_{D_{0i}}^{\infty} g(N_b, D_0) dD_0 = 1$ と仮定して目的関数は $B_N = \max_{W_1} [B + B_{N-1}]$ 、 $B_i = \max_{W_i} [B]$ (7)

3.と同様にD.P.の数値解法により最適政策 $W_1^*, \dots, W_N^*$ を求めると最適規格は $D_{01} = h_1(N_b, W_1^*)$ 、 $D_{02} = h_2(N_b, W_1^*, W_2^*)$ 、 $\dots$ 、 $D_{0N} = h_N(N_b, W_1^*, \dots, W_N^*)$ となる。詳細な計算結果については講演時に述べる。

D.P.による計算例 (N=3の場合)

便宜表				最適政策表					
D	B ₁	B ₂	B ₃	D ₁ *	W ₁ *	D ₂ *	W ₂ *	D ₃ *	W ₃ *
(千円)	(千円/km)	(千円/km)	(千円/km)	(千円)	(円/m)	(千円)	(円/m)	(千円)	(円/m)
60	0.046			55.6	12.6				
70	0.429	0.430		55.7	13.2	60	13.5		
80	1.063	1.066	1.067	55.8	13.7	70	14.5	70	14.5
90	1.823	1.832	1.833	55.9	14.1	70	15.0	90	15.0
100	2.627	2.643	2.646	56.1	14.5	70	15.3	80	15.9
110	3.421	3.447	3.450	56.2	14.8	80	16.2	80	16.2
120	4.173	4.207	4.212	56.3	15.1	80	16.5	90	16.9
130	4.863	4.906	4.913	56.4	15.3	80	16.7	90	17.2
140	5.483	5.534	5.543	56.5	15.5	80	16.9	100	17.8
150	6.031	6.070	6.101	56.6	15.7	90	17.6	100	18.0
160	6.509	6.576	6.587	56.7	15.8	90	17.8	100	18.2
170	6.922	6.995	7.013	56.8	15.9	90	17.9	110	18.8
180	7.274	7.354	7.373	56.8	16.0	90	18.0	110	18.9
190	7.574	7.657	7.676	56.8	16.1	100	18.6	110	19.0
200	7.827	7.915	7.935	56.9	16.2	100	18.7	120	19.6
220	8.216	8.312	8.334	56.9	16.3	100	18.9	120	19.7
240	8.586	8.688	8.691	57.0	16.4	100	19.0	120	19.9
260	8.940	9.048	9.050	57.0	16.4	100	19.0	130	20.4
280	9.274	9.384	9.388	57.0	16.5	100	19.1	130	20.4
300	9.597	9.706	9.714	57.1	16.5	110	19.6	130	20.5
350	9.982	10.094	10.123	57.1	16.5	110	19.7	130	20.6
400	10.319	10.431	10.461	57.1	16.5	110	19.7	130	20.6
450	10.601	10.714	10.743	57.1	16.5	110	19.7	130	20.6
500	10.835	10.948	10.978	57.1	16.5	110	19.7	130	20.6
600	11.297	11.410	11.440	57.1	16.5	110	19.7	130	20.6
700	11.697	11.810	11.840	57.1	16.5	110	19.7	130	20.6
800	12.037	12.150	12.180	57.1	16.5	110	19.7	130	20.6
900	12.337	12.450	12.480	57.1	16.5	110	19.7	130	20.6
1000	12.607	12.720	12.750	57.1	16.5	110	19.7	130	20.6

したがって最適規格は $D_1^* = 55.8$, $D_2^* = 60.0$, $D_3^* = 130.0$, $W_1^* = 13.7$, $W_2^* = 14.7$, $W_3^* = 20.6$ で設置便益は 9,190 (千円/km/year) とおおよそ $N_b = 10.1\%/\text{km} \cdot \text{year}$, $g(D_0) = 0.246e^{-0.000214D_0}$, $f(E) = 0.000214e^{-0.000214E}$, $E_{01} = 66.7$ W: $W_1(19/W)$, $D_1(W) = 5$ (千円), $L = 1$ (km), $N_b = 2.5$ Wと $L = 5$ (km) Wと $N_b = 20$ (千円/km) $N_b = 0$

