



土 木 研 究 所 資 料

第 4 7 3 号

自動車の衝突時の減速度と損害の関係

建 設 省 土 木 研 究 所
道 路 部 道 路 研 究 室

は し が き

自動車は固定壁、ガードフェンス等の構造物へ衝突した時、あるいは自動車相互の衝突発生時に生ずる減速度については、これまでかなり多数の実験データ、理論、数値解析結果が報告されている。しかしこれらはあくまで物理的な量としての減速度であつて、それらの発生減速度によつていかなる損害額が乗員、車体にもたらされるかについてはほとんど明らかになつていないようである。

我々が現在問題としているガードフェンスの合理的な計画、設計を進めるに当つては、実験や理論的解析によつて得られる減速度——力学的指標——が是非とも損害額に変換されて評価されねばならない。従来加速度の大きさとその継続時間に対し、人間の許容限度を与える等の研究はあつたが、これは主として航空機の高速発進時を問題として居り、乗員の2次的衝撃まで含む我々の問題とは性質の異つたものといえよう。

結局我々の求めるような、減速度と損害額の関係は、過去の事故資料を注意深く解析して始めて得られる性質のものである。このため、運輸省自動車局所管営管営業車事故統計を資料として、事故発生時生じたと思われる減速度を推定し、これと記録された事故損害との相関を調べて見ることとした。

1. 衝突速度と最大減速度

自動車を重心に全質量を有し、その前後にバネを有するモデルで置き換え（図-1 a）、そのバネの力と変形の関係を図-1 b のように仮定する。衝突する車の質量を m_1 、バネ常数を k_1 、衝突後に動いた距離を x_1 、衝突される車のそれらを m_2 、 k_2 、 x_2 とすれば、

$$-m_1 \frac{d^2 x_1}{dt^2} = m_2 \frac{d^2 x_2}{dt^2} = \frac{k_1 k_2 (x_1 - x_2)}{k_1 + k_2}.$$

これより、

$$x_1 = A \sin \omega t + \frac{m_1 V_1}{m_1 + m_2} t,$$

ただし

$$\omega^2 = \frac{k_1 k_2 (m_1 + m_2)}{m_1 m_2 (k_1 + k_2)},$$

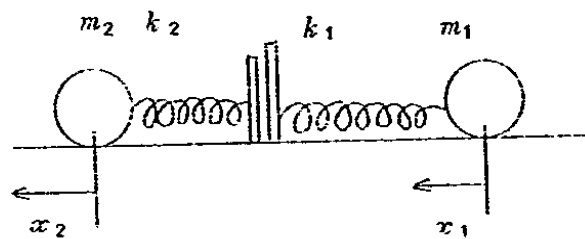
$$A = \frac{m_2}{\omega (m_1 + m_2)} V_1,$$

$$V_1 = \left(\frac{dx_1}{dt} \right)_{t=0}, \left(\left(\frac{dx_2}{dt} \right)_{t=0} \text{ は } 0 \text{ とする} \right).$$

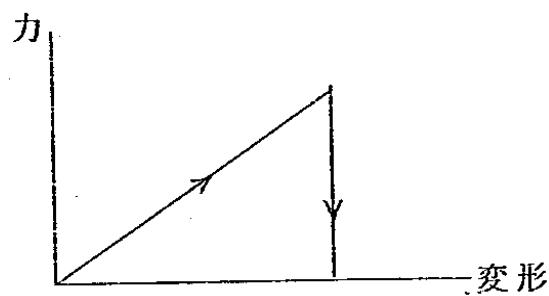
よつて最大減速度 $\alpha_{max} = \left| \frac{d^2 x_1}{dt^2} \right|_{max}$ は

$$\alpha_{max} = A \omega^2 = \sqrt{\frac{m_2 k_1 k_2}{m_1 (k_1 + k_2) (m_1 + m_2)}} V_1$$

図-1 仮定した自動車のモデル



(a)



(b)

被衝突物体が完全な剛壁であるとすると $m_2 = \infty$, $k_2 = \infty$ であり, 衝突自動車の質量, バネ常数, 動いた距離, 衝突速度, 減速度を m_0 , k_0 , x_0 , V_0 , a_0 とすれば,

$$x = A \sin \omega t ,$$

$$a_{0 \max} = \sqrt{\frac{k_0}{m_0}} V_0 ,$$

$$x_{0 \max} = \sqrt{\frac{\omega_0}{k_0}} V_0 .$$

石川健三郎, 「車禍衝突時における乗員の安全性について」(給帕技研第 6 回研究発表会講演概要) によれば, 小型乗用車ブルーバードを剛壁へ衝突させた時, 最大減速度 ($a_{0 \max}$) 及び最大変位 ($x_{0 \max}$) と衝突速度 (V_0) との

関係は表-1の通りである。

表-1

ブルーバードを剛壁に衝突させたときの

最大変形，最大減速度と衝突速度の関係（石川健三郎）

衝突速度 (m/sec)	2.6	3.4	3.6	4.6	8.1	13.4
最大変形 (m)	0.05	0.06	0.06	0.10	0.19	0.23
最大減速度 (m/sec^2)	70	190	190	240	410	700

この表より， X_{0max} と V_0 の関係， α_{0max} と V_0 の関係をそれぞれ求めて見ると，

$$x_{0max} = 0.0193 V_0 = \frac{1}{51.7} V_0 ,$$

$$\alpha_{0max} = 53.3 V_0$$

が得られる。

すなわち

$$\sqrt{\frac{k_0}{m_0}} = 51.7 \text{ あるいは } 53.3$$

変位から求めた場合と減速度から求めた場合の両者について，この値がほとんど等しいことは，上記の仮定に大きな誤りのないことを実証しているといえよう。

今基準となる自動車として上記日産ブルーバードをとり，バネ常数 k_0 ，質量 m_0 とし，他の車輛と基準車の重量の比を b ，バネ常数の比を a とすれば，

任意の車間間の衝突時に生ずる最大減速度は

$$a_{1\max} = \sqrt{\frac{a_1 a_2 b_2}{(a_1 + a_2)(b_1 + b_2)b_1}} \sqrt{\frac{k_0}{m_0}} V_1$$

と表わせる。

またトラックでは重心と乗員席の位置が乗用車と異り離れているから、減速度を重心位置でなくバネの中間で考える必要がある。

この場合には、

$$a_1 = \frac{d^2 \left(\ell_1 - \frac{F}{k_1} \right) \left(\frac{\ell_2}{\ell_1} \right)}{d t^2}$$

ただし ℓ_1 = バネ長

ℓ_0 = 重心と前席との距離

F = バネに加わる力

を加えて考える。

よつて、

$$a_{1\max} = \sqrt{\frac{a_1 a_2 b_2}{(a_1 + a_2)(b_1 + b_2)b_1}} \times \left(1 + \frac{a_2(b_1 + b_2)}{b_2(a_1 + a_2)} \cdot \frac{\ell_0}{\ell_1} \right) \times \sqrt{\frac{k_0}{m_0}} V_1$$

あるいは $a_{1\max} = C V_1$

ただし

$$C = \sqrt{\frac{a_1 a_2 b_2}{(a_1 + a_2)(b_1 + b_2)b_1}} \times \left(1 + \frac{a_2(b_1 + b_2)}{b_2(a_1 + a_2)} \cdot \frac{\ell_0}{\ell_1} \right) \times \sqrt{\frac{k_0}{m_0}}$$

以下において資料として使用する営業車事故統計中、各車種ごとに代表的と考えられる型式を選び係数 C を計算した。ただしバネ常数 a_1, a_2 の値は、車体の剛性を全体的に表現するもので、諸元表からは読みとれない。そこで、一般にバネ常数は断面積／バネ長に比例することになり、 a は車体重量／全長／（前端より重心までの長さ）に比例するものと仮定した。得られた数値は表-2の通りである。 C の単位としては、 a_{1max}, V_1 の実用単位に合わせるため $g/km/h$ を使用した。

衝突車	被衝突車	a_1	b_1	a_2	b_2	c
大型貨物車 $\ell_0=0.6$ ℓ_1	剛壁	1.9	6	∞	∞	1.75
	大型貨物車	1.9	6	1.9	6	0.85
	バス	1.9	6	1.1	8	0.75
	小型乗用車	1.9	6	1	1	0.60
	軽乗用車	1.9	6	0.8	0.5	0.60
バス	剛壁	1.1	8	∞	∞	0.70
	大型貨物車	1.1	8	1.9	6	0.40
	バス	1.1	8	1.1	8	0.35
	小型乗用車	1.1	8	1.0	1	0.15
	軽乗用車	1.1	8	0.8	0.5	0.10
小型乗用車	剛壁	1.0	1	∞	∞	1.95
	大型貨物車	1.0	1	1.9	6	1.45
	バス	1.0	1	1.1	8	1.20
	小型乗用車	1.0	1	1.0	1	0.95
	軽乗用車	1.0	1	0.8	0.5	0.75
軽乗用車	大型貨物車	0.8	0.5	1.9	6	1.95

表-2 最大減速度 $a_{1max}=cV_1$ における係数 c の計算

なおここに使用した代表的な型式とは次のものである。

大型トラック	日 野	TH 17
バス	日 野	RB 10
小型乗用車	日 産	P 4 1 0 (ブルーバード)
軽乗用車	スバル	K 1 5 1

また営業車事故統計原票には、衝突時の速度は載せられていず、その代り危険認知時の速度とスリップ長が記載されている。そのためこの両者より衝突速度を推定することにした。

乾燥路面、湿潤路面、氷雪路面でのすべり抵抗を各々0.8、0.5、0.2とし、スリップ長さと速度変化の値を予めグラフにしておいて、これにより衝突時の速度を求めた。

2. 最大減速度と乗員の死傷損害

上記の方法に従つて、営業車事故統計(1965年度、運輸省自動車局)の各事故の衝突時の最大減速度を推定し、それらをグループ分けし、各グループ内の死傷者の数を算出した。その値は表-3の通りである。

表-3をもとに乗員中死亡したものの比率すなわち死亡者/乗員、乗員中死亡ないしは重傷となつたものの比率すなわち(死亡者+重傷者)/乗員、乗員中死亡、重傷ないしは軽傷となつたものの比率すなわち(死亡者+重傷者+軽傷者)/乗員の各比率を%で示したのが表-3および図-2の実線である。

ここにおいて各比率を Y (%) とし、最大減速度を X (g) として $Y = BX^a$ なる曲線のあてはめを行つた。

$$y = \log Y, \quad x = \log X, \quad b = \log B \text{ とすれば, } Y = BX^a \text{ は } y = ax + b$$

となる。

表-3 推定減速度と乗員数，死傷数

最大減速度 (g)	乗員数内	死亡 内	重傷 内	軽傷 内	無傷 内
0~9	367	0	10	64	293
10~19	261	0	10	57	194
20~29	105	2	21	23	59
30~39	76	5	18	14	39
40~59	61	6	20	7	28
60~79	49	3	26	17	3
80~99	32	4	17	10	1
100~139	6	4	2	0	0

総事故件数340件

図-2 最大減速度と乗客中の死傷の割合

(1965年度営業車事故統計より)

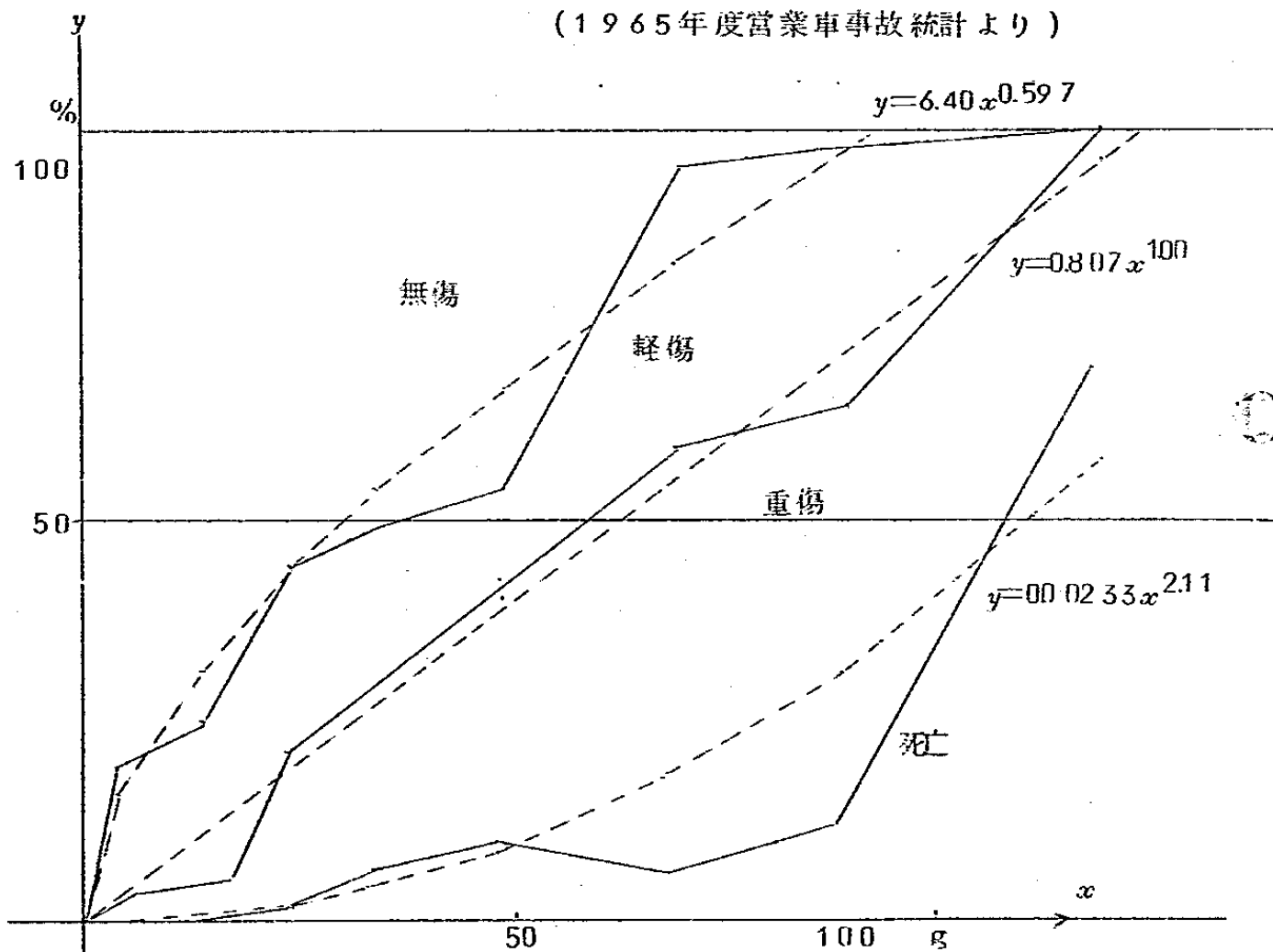


表-4 最大減速度と乗員の死傷率の関係

最大減速度 (g)	死 亡 率 (%)	死亡あるいは 重傷となる比率 (%)	死亡、重傷ある いは軽傷の比率 (%)
0 ~ 9	0	2.7	20.2
10 ~ 19	0	3.8	25.7
20 ~ 29	1.9	21.9	43.8
30 ~ 39	6.6	30.3	48.7
40 ~ 59	9.8	42.6	54.1
60 ~ 79	6.1	59.2	93.9
80 ~ 99	12.5	65.6	96.9
100 ~ 139	66.7	100.0	100.0

資料から得られた比率，最大減速度を Y_m ， X_m とすれば， $\sum N (Y_m - Y_c)^2$ (N = 各グループの乗員数， $Y_c = BX_m^a$) が最小となるような a ， B を定めるためには，

$$\sum N (Y_m - Y_c)^2 = \sum N \left((y_m - y_c) \frac{dY}{dy} \right)^2$$

であるから，各区分に対して $N \left(\frac{dY}{dy} \right)^2$ なる重み，すなわち NY^2 なる重みをつけ， $y = ax + b$ なる直線回帰を求めればよい。

得られた値は以下の通りである。

乗員中の死亡率は，

$$Y = 0.00235X^{2.11} \quad (r=0.91)$$

乗員中，死亡者あるいは重傷となるものの比率は，

$$Y = 0.807X^{1.00} \quad (r=0.98)$$

乗員中，死亡，重傷あるいは軽傷となるものの比率は，

$$Y = 6.40 X^{0.597} \quad (r=0.96).$$

ただし $Y(\%)$, $X(g)$ 。

これを実際の値と対照してプロットしたのが図-2である。これらの両者は良い一致を示している。ただし元の値が既に平均的なものであるので，相関係数が1に近いといつても，必ずしも最大減速度と乗員死傷の關係にバラツキが小さいということではない。ことに注意すべきである。

3. 最大減速度と物損

営業自動車事故統計には衝突時の物損も示されており，これによつて最大減速度と物損との相関を調べた。それらの關係を図示したのが図-3（小型乗用車），図-4（大型貨物車）である。後者の方がバラツキが大きくなっている。

これらにおいて直線回帰を求めると次のようになる。

小型乗用車

$$Y = 0.263 X + 2.1 \quad (r=0.71)$$

大型貨物車

$$Y = 1.058 X + 7.6 \quad (r=0.57)$$

Y : 物損額（万円）

X : 減速度（g）

また， $X=0$ で $Y=0$ なる条件を入れた場合は，

$$\text{小型乗用車} \quad Y = 0.314 X$$

$$\text{大型貨物車} \quad Y = 1.51 X \quad .$$

図-3 小型乗用車の衝突時の減速度と物損

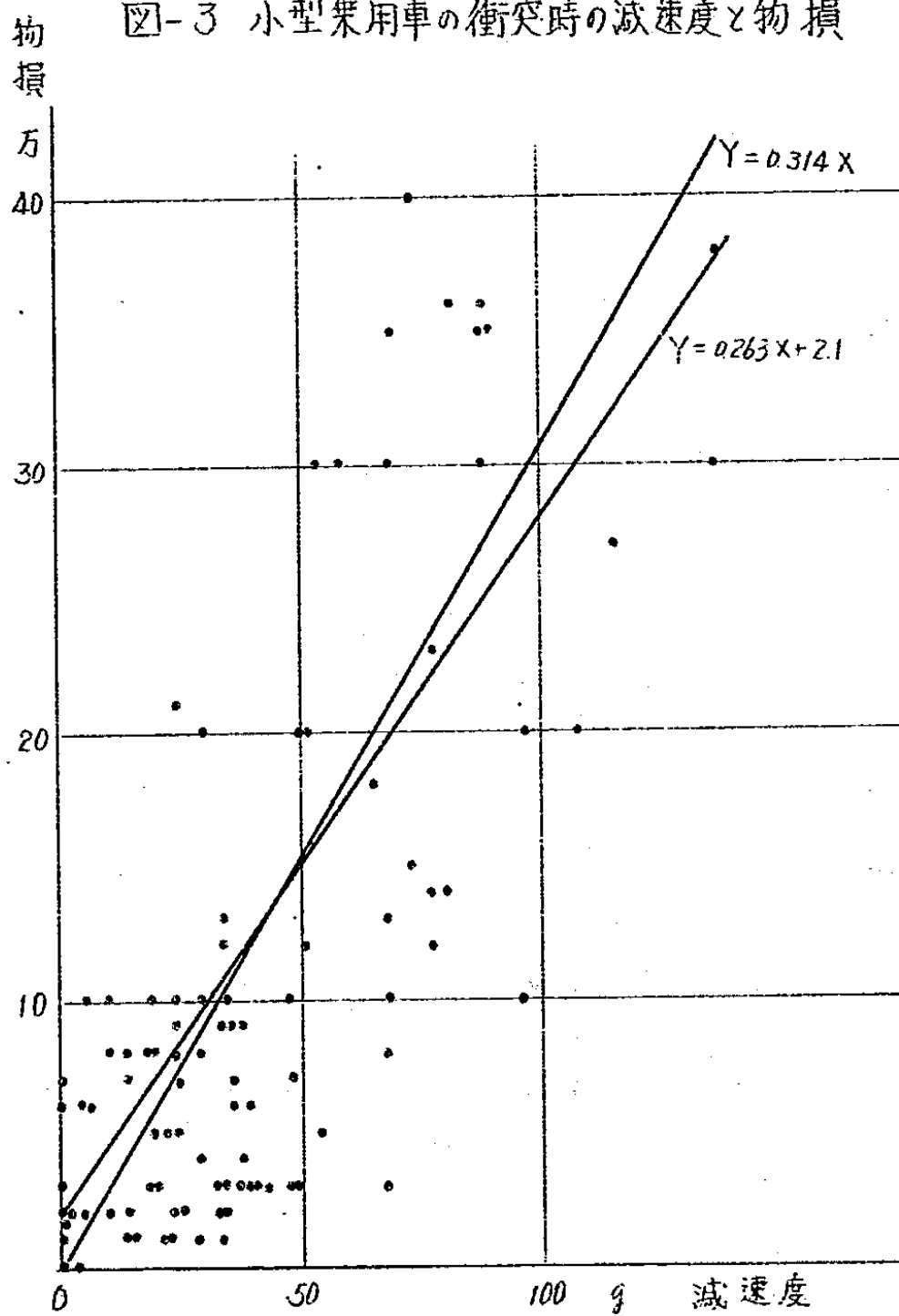
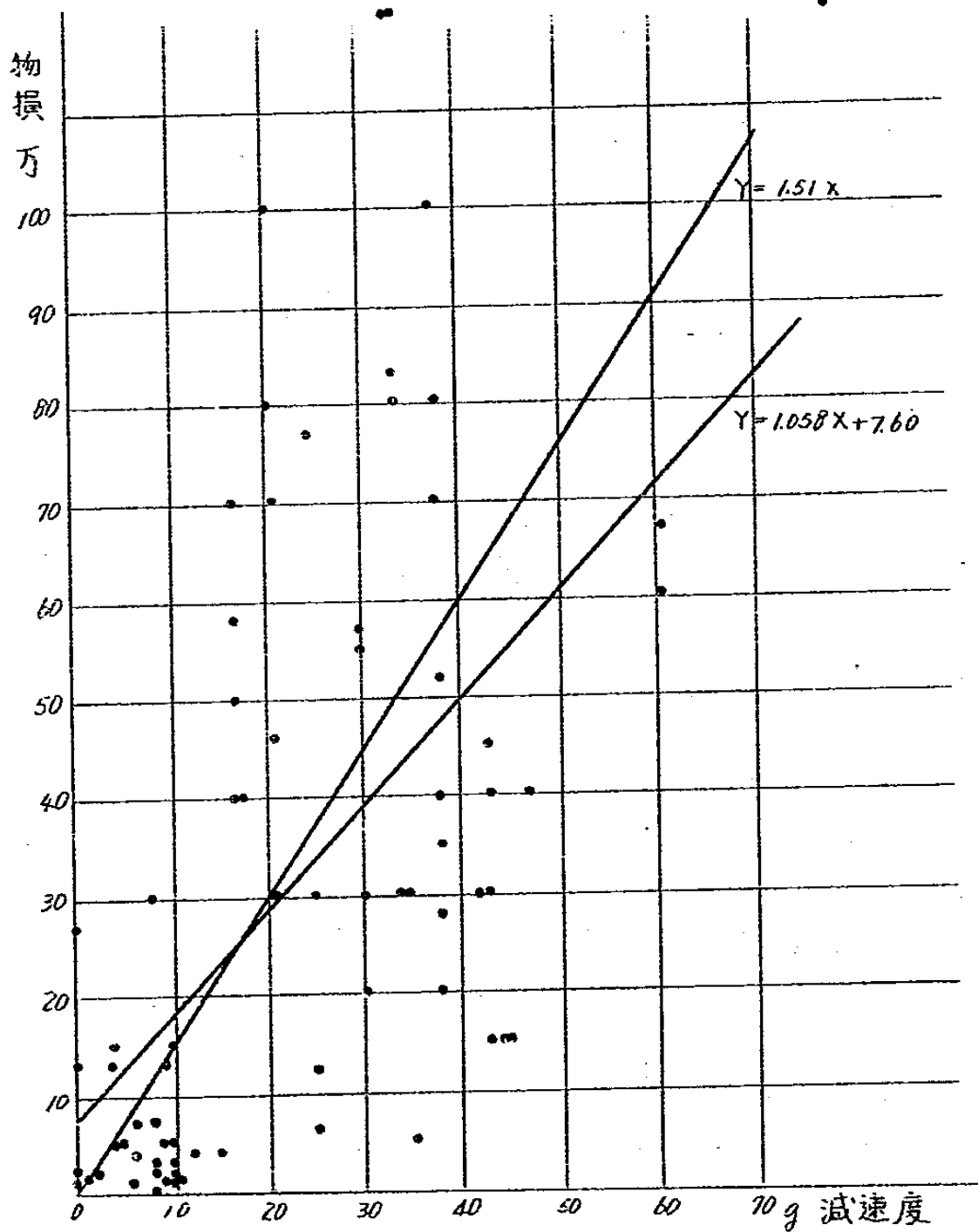


図-4 大型貨物車の衝突時の減速度と物損



む す び

ガードフェンスの合理的な設計，計画を考えるためには，

交通車両がガードフェンスに衝突した場合の損害を評価することが必要である。衝突時に発生する減速度については，これまでの研究から予測できるようになつて来たので，我々は，車体の受ける減速度と，乗員あるいは車体の受ける物損との関係を當業車事故統計から調べて見た。自動車を手と質量からなる簡易なモデルで置きかえ，個々の事故発生時の衝突初速，車体の大きさを考慮して，これから車体の受けた減速度を推定し，これと記録された事故損害の関係をグラフにした。両者の間には予期したようにきれいな相関のあることが判つた。ただ我々の期待したよりは減速度が乗員の損害に及ぼす影響がかなり小さくなる結果がえられた。乗員中の死亡率，死亡または重傷となる比率，軽傷以上の損害となる比率に対して $Y = B X^a$ ($Y(\%)$ ， $X(g)$) なる回帰式をつくつた。例えば減速度 Xg が与えられたとき，自動車乗員中死亡するものの割合は $Y = 0.00233 X^{2.11} (\%)$ として推定できる。また別に減速度と物損の関係を与える式もつくつた。これらのグラフあるいは回帰式によつて，車体の受ける減速度が与えられたとき，乗員あるいは車体の受ける損害額の推定が可能となつた。

この研究のため，當業車事故統計閲覧の便をはかつて頂いた運輸省金田技官，高山技官，自動車局整備部の各位に心から感謝の意を表する次第である。