

自動車 の 許 容 衝 突 速 度

— 道 路 用 ガー ド レー ル の 衝 突 実 験 (2) —

高 橋 憲 雄*

要 旨 道路用ガード レールに自動車衝突した時の許容速度 V_S を求めた。

$$V_S = \sqrt{\frac{1}{M} \cdot \frac{\delta_0 + c \delta_T}{a + b(\delta_0 + c \delta_T)}}$$

衝突実験の結果、次のことがわかった。

オーステン A 50 S の場合 $V_S = 73 \text{ km/h}$
 ニッサントラック 480 の場合 $V_S = 60 \text{ km/h}$

1. ま え が き

先に報告した、「道路用ガード レールの衝突実験」¹⁾ について、その後の実験および、研究した許容制限速度について記述する。

2. 静 的 試 験

(1) 試験装置と試験方法

使用した試験装置と試験方法は写真-1, 2 に示すように、ガード レールの実験場に実物ガード レールを構築して、ガード レールのスパン中央をヒッパラーにて

写真-1 張力計と張力を加えている状況

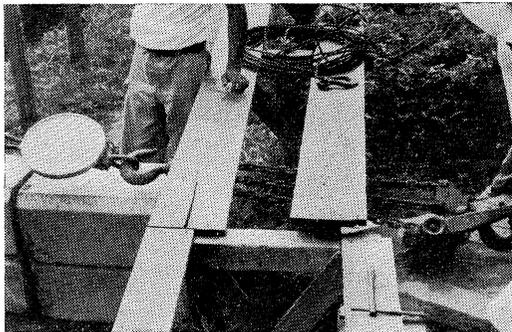
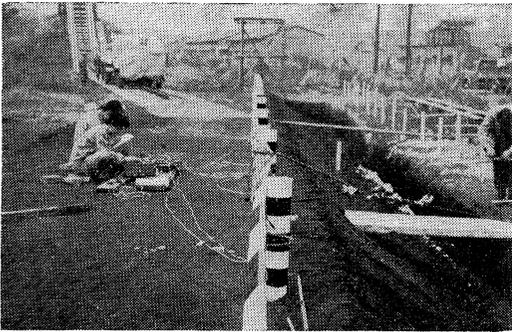


写真-2 ひずみと変位の測定状況



* 正員 工博 運輸技術研究所鉄道施設部長

外力を加えた。張力はヒッパラーとガード レールの途中に入れた張力計にて読みとった。

試験-1 では、レール スパン 4 m ものを用い、ガード レールの変位のみを測定した。測定計器は最大変位計 13 台である。また、試験-2 では、レール スパン 3 m ものを用いて、変位とひずみとを測定した。測定計器として変位では最大変位計 17 台、ひずみでは読み取り式のひずみ測定装置を用いた。

(2) 試験結果と考察

静的試験の結果は、図-1~6 に示す通りである。変位は張力 Q の増加に従って図示されたように増加した。ガード レールの全体からみると、図-1, 2 のように張力 Q が加えられたレール スパン中央部の変位が特にいちじるしく、隣接のレールの変位は僅少である。また、スパンの異なる 2 つの試験結果を比較すると、張力 Q

図-1 静的試験における変位 (試験-1)

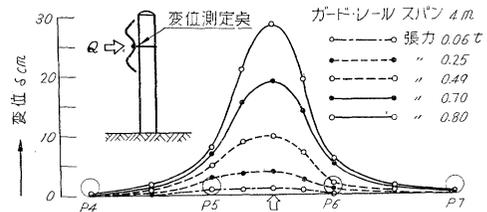


図-2 静的試験における変位 (試験-2)

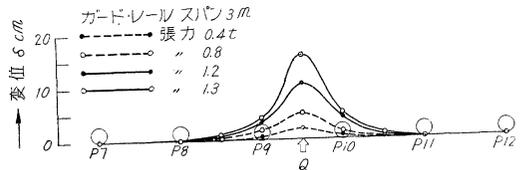
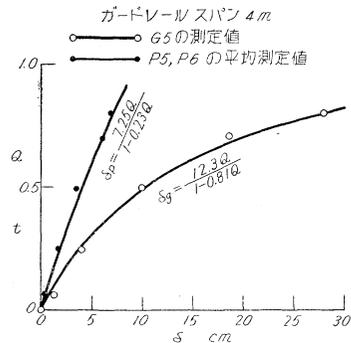


図-3 静的試験における変位 (試験-1)



が 0.8 t のとき、レール中央部の最大変位は、スパン 4 m で 28.2 cm を示し、スパン 3 m で 4.8 cm を示した。このような現象はスパンの減少とポストの増加によるものと思われる。

静的試験における張力 Q とひずみとの関係は 図-5 のように張力 Q の増加とともにひずみ量も増大した。また、張力 Q が加えられたレール G9 のひずみはきわめて大きく、隣接のレール G10, G11 のひずみは小さい値を示した。このことは、変位の場合と同様の傾向である。

ひずみと変位との関係は、図-6 のようになる。ひずみの増加とともに変位は比例的に増大し、ひずみ 50×10^{-4} 位からは変位の変化量に比較して、ひずみは急激に増大する傾向がある。

土に植えられたポストに働く力と、変位との関係は、小さい力の間は、変位は力に比例し、力が破壊点に達すると、変位は無限度になる性質を有するものと考えるので、次の双曲線状の一般式を、本実験の解析に使用することにする。

図-4 静的試験における変位 (試験-2)

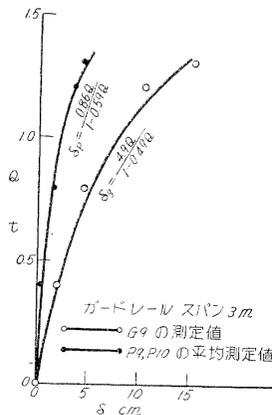


図-5 静的試験におけるひずみ (試験-2)

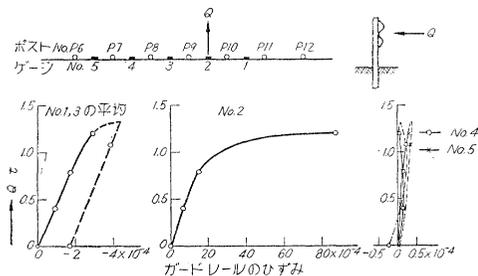
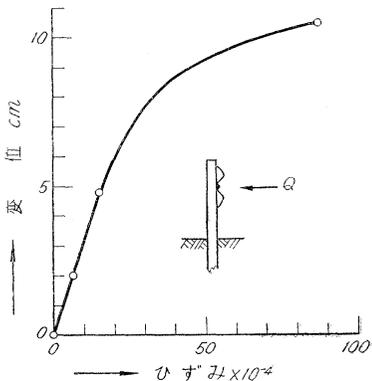


図-6 静的試験におけるひずみ・変位 (試験-2)



$$\text{一般式 } \delta = \frac{aQ}{1-bQ} \dots\dots\dots(1)$$

ここに

δ : 変位 (cm) a : 常数
 Q : 外力 b : 常数

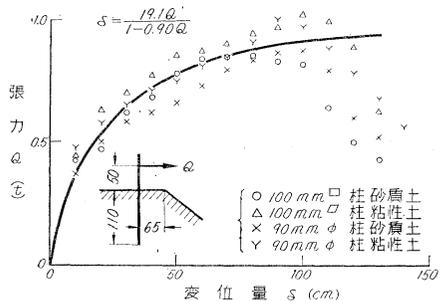
である。植え込み深さ 110 cm, 路肩巾 65 cm の場合における静的実験結果²⁾ を上述の一般式によって常数値を求めると、

$$\delta = \frac{19.1 Q}{1-0.90 Q}$$

となり、図-7 に示すようになる。

また静的試験における、張力 Q に対するガードレールのレールとポストの最大変位 δ_g, δ_p との関係について、やはり同様の一般式を用いて常数値 a, b を決定すると、図-3, 図-4 の図中の実験式ようになる。

図-7 ガードレール用ポストの耐荷力変位曲線



3. 模型実験

(1) 実験装置と実験方法

使用した実験装置は、図-8 に示したようなもので、模型実験車は、図-9 に示したものをを用いて、発車塔から発車させた。

ガードレールは、図-10 に示したものをを用いて、これを所要の枚数だけ連ね、標準砂による地面に植え込んだ。

地面は、大きさ 170×170 cm, 深さ 15 cm の鋼製砂箱に、豊浦産標準砂を、砂箱の表面まで平らに一樣になるよう静かに入れて作った。

砂箱の底部には 9 個の通水口をつけて、連通管により連ねて外部へ引き出した。

実験にはこの鋼製砂箱中に水を静かに入れて、標準砂の表面まで十分に水をふくませるようにした。その後、水位を表面から 15 cm 降下せしめた状態で実験を行なったが、減水させ始めてから 30 分後に原則として実験開始した。

なお、標準砂と水とによるこの地面は、各実験ごとに掘り上げと詰め直しを行なった後、上述の水位調節をして、実験におけるポストの支持状態の一樣化をはかった。

図-8 模型実験装置

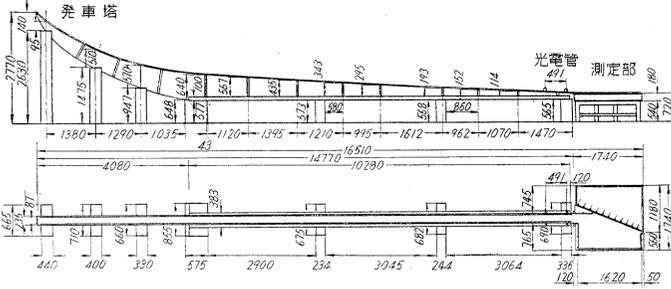


図-9 模型実験車

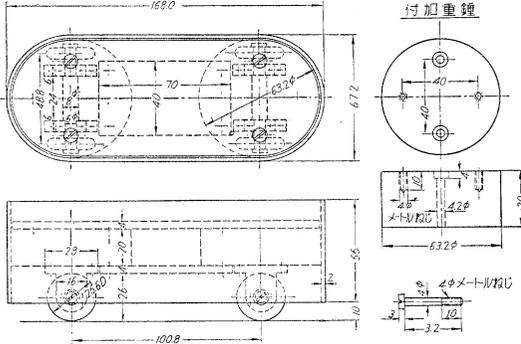
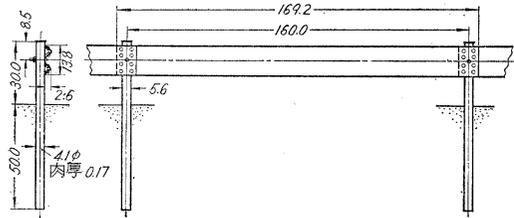


図-10 模型ガードレール



車速は、走行路の一部に光電管2個を取りつけ、模型実験車の最前部が、光源を横切るときの信号により、10 K.C. の計数を行なわせ、光束間隔と、計数値により算出した。

衝突付近の走行路は、鋼板製でガードレールと模型実験車が20°の角度で、しかも模型実験車の中心が、ガードレールの中央に交わるように配置した。

図-9に示されたように、模型実験車には、方向を変える性質は与えられていないが、各車輪は自由に回転しうようになっており、車体の前部と後部の形状は半円形をなし前後は対称形である。また、タイヤはゴムを使用している。模型実験車の自重は、1.98 kg であり、付加重錘を搭載すると最大 3.56 kg となる。

実験は、ガードレールをビスで11枚連ねたものに、自重のみの模型実験車を衝突させた場合のもの、ガードレールは同様に、付加重錘搭載の模型実験車を衝突させた場合とについて行なった。実験計測は、模型実験車の衝突速度と、ガードレールの長手方向と直角方向の

ポストの変位について行なった。

(2) 実験結果と考察

実験時のポスト植え込み深さまでの砂の含水量を調べるため、表面から深さ 48 mm にわたって試料 1.87 kg をとり、これを乾燥させて、重量減少と含水率を求めた。それぞれ、0.38 kg, 20.3% であった。

前述の一般式である(1)式の Q を MV² に置き換えた形の式を衝突実験

の場合の一般式とすれば、

$$\delta = \frac{aMV^2}{1-bMV^2} \dots\dots\dots(2)$$

となる。

ここに、

M: 自動車重量 a: 常数

V: 自動車速度 (km) b: 常数

である。

模型実験を行なった重量の異なる2種類の条件での結果を、自動車重量と自動車速度の2乗との積 MV² に対して、ガードレールのポスト頂部の最大変位 δ との関係を図示すると図-11 のようになる。

これを、一般式(2)により常数値を求めれば、図中の式のように、

$$\delta = \frac{14.9 MV^2}{1-0.108 MV^2}$$

となる。

すなわち、11枚のガードレールを連ねたものに、自動車重量 1.98 kg と 3.56 kg のものを衝突させたとき

図-11 模型実験における δ-MV²

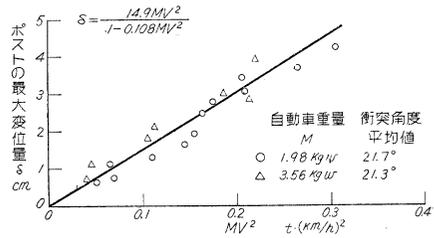


写真-3 光電管速度計と実験準備中の状況

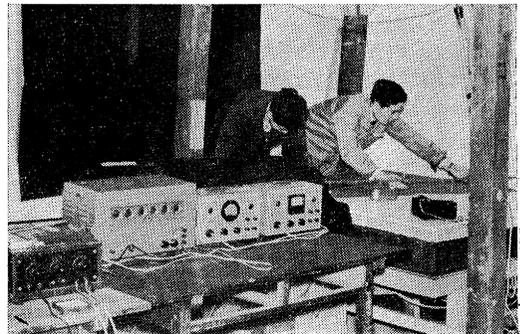
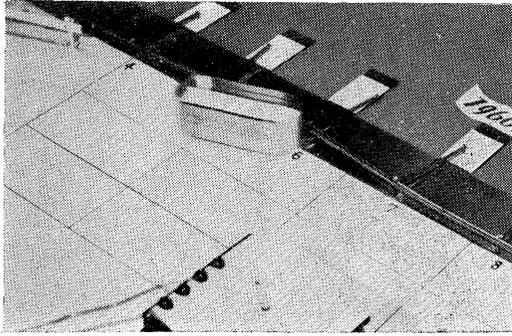


写真-4 衝突実験の状況



のガード レールのポスト 頂部の最大変位は、自動車の持つ MV^2 に対し、双曲線的に増加したものと考えられる。

4. 衝突実験

ガード レールの、自動車衝突実験における条件と結果は表-1に示すとおりである。

模型実験における一般式(2)を応用して、表-1に示す自動車衝突実験の場合について考察することにする。

自動車衝突実験の場合に、衝突速度 V だけが異なり、自動車、ガード レールなどのすべての条件が等しいと考えられる。実験-2, 3 について、 MV^2 と変位 δ との関係を図示すると 図-12 のようになる。また、自動車重量と速度が異なるが、同じニッサントラック 480で、同じ設計のガード レールに、衝突入射角平均 17° で衝突した場合の実験-6, 7 について同様に図示すると、

図-13 に示すようになる。

これらに対し、前述の(2)式を応用してみると、それぞれ、図中に示された実験式のようなになる。式中の b の符号が負になっているのは、衝突速度の低い場合の変位

は変状範囲も狭く、比較的衝突付近のポストやレールの

図-12

実験番号 2, 3
ガード レール スパン $4\text{m} \times 11$ 枚
自動車 オーステン A 50 S
衝突角度 21°

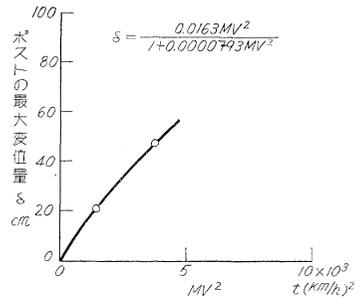


図-13

実験番号 6, 7
ガード レール スパン $3\text{m} \times 13$ 枚
自動車 ニッサントラック
衝突角度 17°

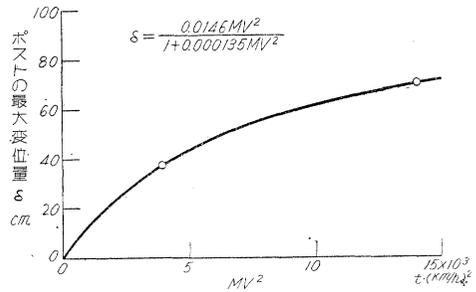


表-1 自動車衝突実験における条件と結果一覧表

実験番号	実験 2	実験 3	実験 6	実験 7
年 月 日	1959.6.9	1959.6.24	1959.11.27	1959.12.23
レールの大きさ mm	$2 \times 346 \times 4230$	$2 \times 346 \times 4230$	$2 \times 346 \times 3230$	$2 \times 346 \times 3230$
ポストの大きさ mm	$4.2 \times 101.6 \phi \times 2000$	$4.2 \times 101.6 \phi \times 2000$	$4.2 \times 140.0 \phi \times 2000$	$4.2 \times 140.0 \phi \times 2000$
路 肩 巾 mm	600	600	600	600
ポスト打ち込み深さ mm	1250	1250	1250	1250
ポスト間隔 mm	4000	4000	3000	3000
レール使用数 枚	11	11	13	13
ポスト使用数 本	12	12	14	14
実験車両 銘柄 年式	オーステン A50 S・50年	オーステン A50 S・50年	ニッサン 480・54年	ニッサン 480・54年
” 形状	4ドアセダン	4ドアセダン	普通トラック	普通トラック
” 重量 kg	1400	1400	2600	5000
衝突入射角度	22	20	18	16
” 脱出角度	10	18	2	4
衝突速度 km/h	32	52	39	53
最大進行方向加速度 g	1.1	—	1.3	—
最大横方向加速度 g	—	1.7	1.8	—
レールの最大前後変位 cm	55.0	52.5	34.5	75.3
” 永久 ” cm	—	40.2	26.5	64.6
ポストの最大 ” cm	21.0	47.5	37.5	71.0
” 永久 ” cm	—	37.5	28.9	60.2
” 最大左右動変位 cm	3.7	7.0	3.0	21.0
” 永久 ” cm	1.9	4.0	1.8	10.5
レール中央の最大ひずみ (引張)	14.1×10^{-4} 以上	12.4×10^{-4}	27.8×10^{-4}	44.0×10^{-4}
” (圧縮)	10.5×10^{-4}	6.4×10^{-4}	7.2×10^{-4}	16.1×10^{-4}
タイヤの最大踏み込み量 cm	35.0	40.0	26.0	50.0

注：実験 4, 5 はガード ロープの実験

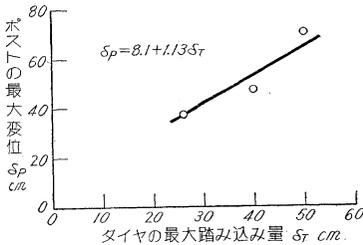
みの影響を受けているが、速度が大きくなった場合の変位は変状範囲も広くなり、次第に遠くのポストまできてくるようになる、と考えれば説明できるものと考えられる。

自動車がガード レールと衝突したときに、自動車のタイヤが路肩の方へ踏み込む量の最大値と、そのときのポストの最大変位量との間には、**図-14** に示すような関係がある。タイヤの最大踏み込み量は、自動車の中心がG6に向かっている

実験-3, 実験-6, 実験-7の自動車衝突実験の場合のタイヤの最大踏み込み量を、測定値より

としたものであり、ガード レール 設置面からタイヤ踏面軌跡の最大値を用いた。

図-14 タイヤの最大踏み込み量とポストの最大変位
実験番号 2~4



タイヤの最大踏み込み量 δ_T とポストのレール支持ボルト位置の最大変位 δ_P との間の実験式を最も簡単な一次式で表わすと、

$$\delta_P = \delta_0 + c\delta_T \dots\dots\dots (3)$$

となる。

ここに、

$\delta_0 = \delta_T$ が 0 のときの δ_P の値であって衝突角度、車の形式、ガード レールの設計などによって定まる常数。
 c : 常数

(3) 式により実験測定点を通るように常数を定めれば、**図-14** 中に示した実験式、 $\delta_P = 8.1 + 1.13\delta_T$ を得ることができる。

次に本実験に使用したガード レールの許容衝突速度を求めため、上述の実験式の間関係を調べると次のようになる。

タイヤの最大踏み込み量の許容量を、本実験のときと同様に、路肩巾を 60 cm とすれば、そのときのポストの変位量は 76 cm となる。それで、**図-12, 13** のポストの最大変位にこの許容ポスト変位 76 cm を与えれば、それぞれの条件に対して許容する MV^2 の値が求められる。これを式の形で表わすため、(2) 式を変形すると、

$$V = \sqrt{\frac{1}{M} \cdot \frac{\delta}{a+b\delta}} \dots\dots\dots (4)$$

となる。

(3) 式の δ_P を上式 (4) の δ に代入すると、自動車がガード レールに衝突するさいの許容衝突速度 V_S が求められる。

すなわち、

$$V = \sqrt{\frac{1}{M} \cdot \frac{\delta_0 + c\delta_T}{a+b(\delta_0 + c\delta_T)}} \dots\dots\dots (5)$$

となる。

それで、本実験で得られた各常数値を (5) 式に代入すると、

$$\text{乗用車の場合 } V_S = \sqrt{\frac{1}{M} \cdot \frac{8.1 + 1.13\delta_T}{0.0157 - 0.000090\delta_T}} \dots\dots\dots (6)$$

$$\text{トラックの場合 } V_S = \sqrt{\frac{1}{M} \cdot \frac{8.1 + 1.13\delta_T}{0.015 - 0.000153\delta_T}} \dots\dots\dots (7)$$

となる。

いま乗用車の場合を考えると、ガード レールはスパン 4 m で自動車はガード レールに対し、平均 21° の角度で衝突し、ポストが路肩より 60 cm の箇所の道路内に構築されているときの許容衝突速度 V_S である。また、トラックの場合は、ガード レールのスパン 3 m で、衝突入射角平均 17°、路肩巾 60 cm における許容衝突速度 V_S である。そこで、 $M=1.4$ t の乗用車の許容衝突速度 V_S と、 $M=5.0$ t のトラックの許容衝突速度 V_S を求めると、(6)、(7) 式より、

$$\text{乗用車の場合 } V_S = 73 \text{ km/h}$$

$$\text{トラックの場合 } V_S = 60 \text{ km/h}$$

5. む す び

以上の実験を要約すると、路肩巾 60 cm を有する位置に 101.6 mmφ×2 m のポストをランマーにて 1.25 m 盛土中に打ち込み、スパン 4 m のガード レール 11 スパン設置し、1.4 t のオースチン A 50 S が、21° の入射角で衝突した場合に、変位量からみた許容衝突速度は、73 km/h と算出された。また路肩巾 60 cm で、140 mmφ×2 m のポストを 1.25 m ランマーにて盛土中に打ち込み、スパン 3 m のガード レール 13 枚を取りつけて、5 t のニッサン トラック 480 を入射角 17° で衝突させたときに変位量からみた許容衝突速度は、60 km/h と算出された。

終りに、この実験を行なうに当たり、種々と御指導御協力をいただいた、建設省土木研究所、運輸技術研究所、日本道路公団、富士製鉄 KK、その他の実験関係者に対して、深謝するものである。

参 考 文 献

- 1) 高橋憲雄：道路用ガード レールの衝突実験，土木学会誌 45 卷 3 号
- 2) 伊吹山四郎・佐藤和夫：道路用ガード レール支柱の側方向耐荷力に関する実験について，建設省土木研究所報告 第 102 号，昭和 34 年 3 月

(原稿受付：1961.1.5)