

V-3 高速自動車道路用ガードレールの 模型実験について (第1報)

日本鋼管株式会社 斎藤 外吉
合 藤 田 正明

I. はしがき

本実験研究は高速自動車道路の保護柵として、どのようなガードレールが有効な働きをするか、又その場合の車の運動はどうなるかを明らかにすることを目的として行つたものである。このためには自動車とガードレールとの間に広範囲、且故多くの条件を与えるため模型実験を行うことにした。模型実験が必ずしも実際のすべいを表現するものとは考えられないが、「より合理的」であると考えられる理論式による基礎と解析の結果、興味深い故の成果と今迄未解決であつた自動車の衝突時の運動性や、保護柵と衝突前後のエネルギー平衡の諸問題や、ガードレールの変形と強さ等について一層の理解を深めることが出来、既に行つた実物衝撃試験の結果と合せ考えて、高速自動車道路用ガードレールの作り方に一指針を得ることが出来たので、ここに第1報として報告する。

II. 模型と実物との関係について

模型を設定し、理論式をすつめるために次の假定を設けた。

1. 車は剛体とし、平面運動をするものとする。
2. 前輪は操縦出来ず、車体の方向に固定とする。
3. ガードレールの重さは車に比して無視出来るものとする。
4. 支柱は一応剛体とする。
5. エネルギーは車とガードレール、タイヤと地面で消費されるものとする。
6. 支柱間隔、支柱降伏および土の崩壊によるエネルギー消費は後で考える。

A. 理論式

1. 運動微分方程式

自動車の運動方程式を次のようにする。

$$\left. \begin{aligned} \frac{w}{g} \cdot \frac{d^2x}{dt^2} &= P \cdot \cos \theta - (F_1 + F_2) \sin \theta + R \cdot \cos \phi \\ \frac{w}{g} \cdot \frac{d^2y}{dt^2} &= P \cdot \cos \theta - (F_1 + F_2) \cos \theta + R \cdot \sin \phi \\ \frac{w}{g} \cdot \int^2 \cdot \frac{d^2\theta}{dt^2} &= -(F_1 \cdot f_1 + F_2 \cdot f_2) + R \cdot r \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

こゝで

$$\left\{ \begin{array}{l} t = \text{時間} \\ w = \text{自動車の重さ} \\ g = \text{重力の加速度} \\ \int = \text{垂直重力軸に対する車の旋回半径} \\ x, y, \theta = \text{平面運動の座標} \\ P = \text{車の推進力} \\ -P = \text{車の制動力} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \pm F_1, \pm F_2 = \text{車の進行方向に垂直な前後タイヤに} \\ \text{おける夫々の摩擦力} \\ f_1, f_2 = \text{重心から前後車輪迄の距離} \\ R = \text{ガードレールに生ずる張力の合成力} \\ r = \text{重心についてのRのモーメント腕の長さ} \\ \phi = \text{X軸に対するRの方向角度} \end{array} \right.$$

2) エネルギー平衡式

エネルギーの損失は次の3つから起るものとしその間には次の関係があるとする。

$$\left. \begin{aligned} E &= \frac{1}{2} \cdot \frac{W}{g} (V_0^2 - V_f^2) \\ E' &= Q \cdot D \\ E'' &= d \cdot R_m \\ E''' &= S \cdot \mu \cdot L \\ E &= E' + E'' + E''' \end{aligned} \right\} \text{----- (2)}$$

3) ガードレール変形式

最も単純なものととして次式を立てる。

$$\delta = \frac{M l^3}{48 E I} \text{----- (3)}$$

$$\left\{ \begin{aligned} \delta &= \text{ガードレールの撓み} \\ M &= \text{ガードレールに加はる力} \\ l &= \text{ガードレールのスパン長} \\ E &= \text{ガードレールの弾性係数} \\ I &= \text{ガードレールの断面二次モーメント} \end{aligned} \right.$$

ここで

E = 全損失エネルギー
 E' = 地面での車の横上りによるエネルギー損失
 E'' = ガードレールの張力と土圧を含めた支柱の変位によるエネルギー損失
 E''' = ガードレールと車の滑りによるエネルギー損失
 V_0 = 車の初速
 V_f = 車の終速
 Q = 前後輪タイヤに働く横方向摩擦力
 D = 前後輪の横距
 d = 支柱の変位
 R_m = ガードレールの張力と支柱足における土圧反力の和
 S = 車とガードレールの接触中に加はる平均垂直力
 μ = 車とガードレールとの滑り摩擦係数
 L = 接触滑り長さ

以上の理論式について実際の現象を解析していく過程で実験式を立てる、逐次修正して行つた。

B) 模型スケールの決定

上の諸式と現在の自動車の諸元および実験の実現性を合せ考慮して、模型のスケールとして次のように実物との比を定めた。これらの詳細については「模型によるガードレールと自動車の運動力学的解析と研究(第1報)」昭和32年11月 日本鋼管株式会社を参照頂きたい。

$$\left\{ \begin{aligned} \text{長さの比} &= \frac{1}{20} \\ \text{速度(時間)の比} &= \frac{1}{4.5} \\ \text{重量(力)の比} &= \frac{1}{1000} \end{aligned} \right.$$

III. 実験装置と実験要領

実験は假想地表面上にガードレールを設置し、滑降台によって自動車に加速を与え、ガードレールに任意の角度で衝突させると共にその軌跡とガードレールの変位状況を上方より高速度撮影機によって追跡した。又ガードレールには歪ゲージを貼り、張力と応力を測定した。その模様を図1.に示す。

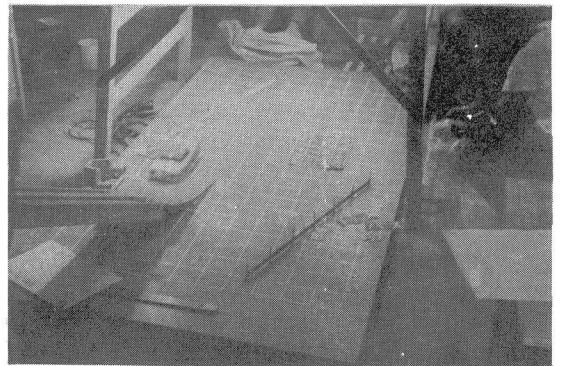


図1. 実験装置と試験状況

実験は下記の如く条件を包々に変えて行つた。

- | | | | |
|-----------------|-------------|----------|----------------|
| 1). 車種 | 2). 進入速度 | 3). 進入角度 | 4). ガードレール支持法 |
| ハイヤー (2.8t) | 60~100 km/h | 10°~50° | i 各支点固定支持 |
| バス (4.6t) | | | ii 両端固定支持 |
| トラック (5t, 5.6t) | | | iii 両端固定中間可撓支持 |

IV. 実験結果

1). 自動車の運動性

実験の一例を図2a, 2bに示す。数多くの条件を変えて実験した結果次の4つの事柄が明らかになった。

- i) 進入角が増せば離脱角も増す。
- ii) 一定の進入角では進入速度が早くなればなる程離脱角は大きくなる。
- iii) ハイヤーとバスとでは同一進入角同一速度でも離脱角はハイヤーが大。
- iv) 一定の速度では進入角が或る値になると、離脱角が減少することがある。この最大離脱角を生ずる進入角は速度の上昇と共に小になる。

以上の他に一般的事項として、衝突前後の車の運動は順調な至適を辿り、滑るよう進行方向に乗ってゆくことである。

但し、車の重心の高さおよび位置によつては三次的運動を考慮せねばならない状況も入ってくる。

2). エネルギー平衡

今エネルギー平衡をII章の(2)式に基づいて考え、次の実験値を基礎にして計算してみる。

車種	ハイヤー
重量	2.8t
進入速度	90 km/h
離脱速度	75 km/h
進入角	$25^\circ = 0.436 \text{ rad}$
離脱角	$20^\circ = 0.349 \text{ rad}$
ガードレールの変位	$\Delta = 0.02 \text{ m}$
ガードレールスパン	$l = 0.8 \text{ m}$
ガードレール張力	$T = 19.2 \text{ kg}$
車とガードレールの滑り係数	$L = 0.425 \text{ m}$
車の重心から後輪迄	$f_1 = 0.083 \text{ m}$
前輪迄	$f_2 = 0.104 \text{ m}$
タイヤと地面との摩擦	$\mu' = 0.2$
車とガードレールの摩擦	$\mu = 0.85$

表1. エネルギー平衡表

(単位 ton-m)

(1)	全損失エネルギー (E)	32.2	100%
(2)	地面における横とりのエネルギー損失 (E')	0.8	2.3%
(3)	ガードレール張力と圧を含めた支柱変位によるエネルギー損失 (E'')	3.1	9.7%
(4)	ガードレールと車との滑り接触によるエネルギー損失 (E''')	28.0	88%
(5)	(2)+(3)+(4) 小計	31.9	
(5)-(1)	差	-0.3	

以上の平衡表(表1.)から、自動車とガードレールの衝突時に吸収されるエネルギーの98%迄はガードレールに食うて居り、残りの2.3%が地面とタイヤとの間で消費され、又98%中88%は車との滑り接触による紐帯としてのガードレールの有効性を現している。

3) ガードレールの強さと構造

ガードレール模型の裏側に至りゲージを貼付して、衝突時の歪を電磁オシロ・グラフに記録

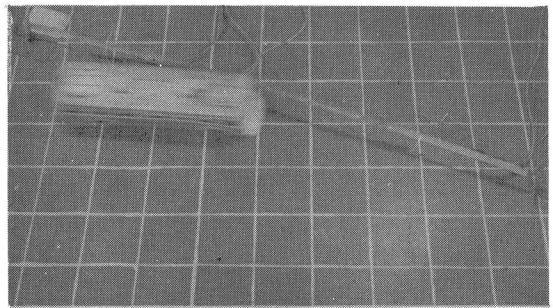


図2-a バスの進入状況
時速 90 km, 進入角 15°

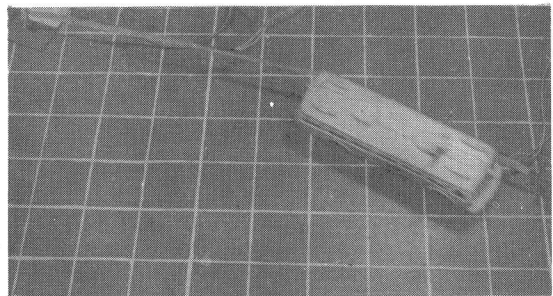


図2-b バスの離脱状況
時速 90 km, 離脱角 8°

させ、それからガードレールの応力を算出した結果次の事柄が明白になった。

- i) 進入速度が早ければ、発生する引張応力は大きい。
- ii) 同一速度でも進入角が大きいと発生応力は大きい。
- iii) 同一速度、同一進入角でも重量の大きい車の発生する応力は大きい。

又模型と実物との応力の比を計算すると $1/2.5$ になり、この値を模型ガードレールの応力値に入れて実物を推定した値と、先に当社の行った実物衝撃試験から得られた応力値とは略類似せる値を得たことは注目すべき事柄である。

V 模型実験と実物衝撃実験との関係

以上の模型実験から得た諸結果と、先に当社が行った実物衝撃実験の結果と合せ考えてみると真に興味あることは、エネルギー吸収の度合、ガードレールの変形と強度等の点について両者がよく合致する結果を得たことである。

例えば応力比を $1/2.5$ にした場合、実験値を図示すると図3.のようになる。この値と実物衝撃実験から得られた表2.の値と比較すると $1/2.5$ の比率が略々毎々に近い比率であることが肯否出来ると共に、模型と実物との間に或る明白な関連性のあることが判る。

表2. 実物衝撃試験測定値 (ガードレール応力)

速度 (km/h)	重量 (t)	進入角	最大引張応力 (kg/mm^2)
27	4	12°	8.0
27	6	30°	12.0

しかも紐帯としてのエネルギー吸収度合については NKK 式ガードレールの特長を明白に示し、100 km/h 5.6t の車に対しても充分な強さを発揮した。

尚実物衝撃試験の詳細については「NKK 式ガードレール試験報告」昭和31年11月 日本鋼管株式会社を参照頂きたい。

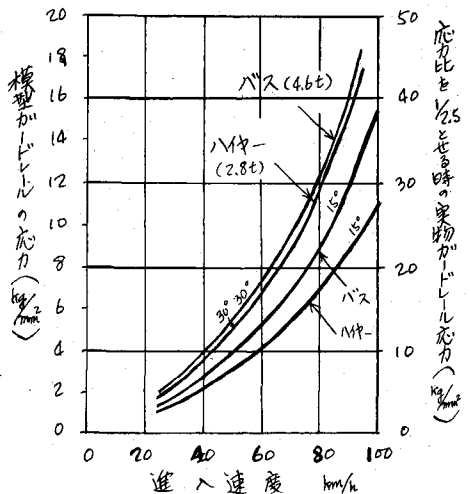


図3. ガードレールの応力と進入速度

VI おすひ

1) 模型と実物との関係 模型実験は実現可能な範囲で理論式から縮尺比を定め、数多くの条件下で行い、その結果は先に当社が行った実物衝撃試験結果とよく合致し、実際の状況をよく表している。

2) 自動車の運動性 衝突前後の車の運動は滑かど、保護柵として有効であった。

3) エネルギー吸収度 車との滑り接触による吸収が全体の88%程度を占め紐帯としての NKK 式ガードレールの特長を如実に示し軟弱路肩にも非常に有効であることが判明した。

4) 自動車構造とガードレール 車の重心の位置と高さやガードレール構造について今後の設計に資する基礎を得た。

5) ガードレール構造の設計 100 km/h、重量 5.6t 迄の実験の結果ガードレールに生ずる変形と応力と知り得、これから受座、支柱間隔、支持法等に就き高速自動車道路用ガードレール構造設計に一指針を得ることが出来た。

以上