

# 舗装路面の凹凸と自動車の衝撃に就て

松村 孫治

## 1. 緒 言

凹凸のある舗装路面上を自動車が通過する場合には、その凹凸の爲に車輪の路面に及ぼす壓力は著しく増大する。従つて道路橋の自動車荷重に依る衝撃係数は鐵道橋の場合と異なつて、橋面に存在する凹凸も新しい因子として考慮しなければならぬ、又逆に衝撃係数が與へられてゐる場合にはそれに対して橋面の維持をどの程度に保守すれば足りるかと云ふ問題も起つてくる。それ以外に舗装版の設計、路面附近に存在する工作物に自動車及ぼす振動の大きさ等にも關係してくる。

本文は舗装路面の凹凸が如何なる場合、それによりて生ずる自動車荷重の衝撃の大きさを推定する比較的合理的なる計

算法を求めたもので、その詳細は土木試験所報告第 26 及第 27 號に記載してある。元より合理的と云つても自動車の構造、鋪裝路面の状態をその儘の形にて計算式に再現することは出来ないから、適當なる假定の下に計算式の單純化を計つてある。

自動車荷重の衝撃に比較的大なる影響を及ぼすと考へらるる因子は次の如くである。

1. 彈上及彈下荷重の大きさ
  2. 輪帯及彈條の彈性率（外力と變形量との比）
  3. 障害物上を走行する速度
  4. 障害物の形状及高さ又は深さ
  5. 各種の抵抗（空氣の抵抗、内部摩擦力等）
- 是等の諸影響中最後のものを除きては、他のものは總て本文の計算式より求めることが出来る。

## 2. 計算式に用ふる假定

自動車の構造は力學的に見るときは非常に複雑であるから、第一に之の單純化を計らなければならぬ。自動車の車輪が障害物上を通過する場合には、その車帯 (tire) の變形に伴つて車輪が上下に振動する。然るに車臺は彈條によりて前輪及後輪に支持されてゐるから、車體の振動に伴つて各車輪の受持つ荷重が振動の前後に於て異なつてくる譯である。今此の影響を第 2 次的に考へる時は、車輪は夫々一定の彈上荷重 (spring weight) を支持して各獨立して垂直運動を行ふと考へ

て差し支へない、即ち第1圖に示す如くなる。

圖中

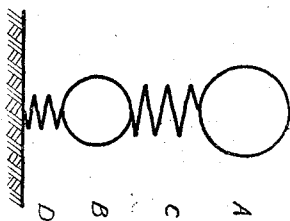
- A 彈上荷重
- B 彈下荷重 (車輪、車軸等の彈條下の荷重)
- C 車體を支持する彈條
- D 輪體の變形を代表する彈條

既に Thomé 氏<sup>1)</sup>が第1圖と同様な假想自動車を使用して路面を通過する場合の車體の振動を求めてゐる。上記の假定によつて計算は非常に簡單となつてくるのである。

更に次の如き假定を行つた。

1. 輪帶及彈條の變形は外力に比例する
2. 路面の變形は無視する
3. 自動車は一樣なる速度にて障礙物上を通過する
4. 各種の摩擦力の影響は無視する

1, 2 の假定は實際とは合致しないが、かかる假定の下に求めた計算値は實際のものに比べて大なる値を興へるから安全側の誤差として許容することが出来る。4 の假定は本文にては單獨の障礙物による問題を取り扱つて、共鳴等の問題を考慮しなかつたから各種摩擦力は餘り大なる影響はない、従つて之を無視したのである。



第 1 圖

### 3. 衝撃の大きさを示す基本式

本文中に使用する主なる記號は次の如くである。(第2圖参照)

$y_0$ ; 路面の凹凸

$y_1$ ; 彈下荷重の垂直變位

$y_2$ ; 彈上荷重の垂直變位

( $y_0, y_1, y_2$  は重力の方向を正とし、静止時の位置を  $y_1, y_2$  の原點とする)

$m_1$ ; 彈下荷重の質量

$m_2$ ; 彈上荷重の質量

$q_1$ ; 輪帯を單位長變形するに要する力

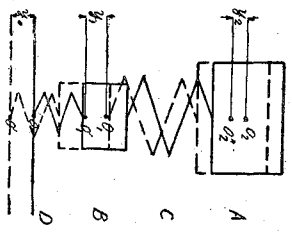
$e_2$ ; 車體を支持する彈條を單位長變形するに要する力

$p$ ; 障害物の爲に新に路面に作用する力即ち衝撃の大きさ (壓力を正とす)

$v$ ; 自動車の速度

$\epsilon$ ; 障害物の最大の高さ

第2圖に示す如く路面の凹凸を  $y_0$ 、彈下及彈上荷重  $m_1, m_2$  の變位を  $y_1, y_2$  とすれば  $m_1$  及  $m_2$  の運動方程式は (1) 式の如く示される。



第 2 圖

$$\left. \begin{aligned} m_1 \frac{d^2 y_1}{dt^2} &= a_1(y_0 - y_1) - c_2(y_1 - y_2) \\ m_2 \frac{d^2 y_2}{dt^2} &= c_2(y_1 - y_2) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

(1) 式は車輪が常に路面に接觸する場合の式なることに注意を要す。

衝撃による力  $P$  は  $D$  彈條、即ち輪帶の縮まりによる力に等しく (2) 式に示される。

$$P = a_1(y_1 - y_0) \dots\dots\dots (2)$$

計算の便宜上自動車の出発點を原點とし、水平の方向に  $x$  軸をとり、 $x$ -軸の正方向を進行方向と一致させる。今原點に於て路面の凹凸は無きものとし、 $y_0$  は  $f(x)$  なる  $x$  の函数にて與へられるを以て (1) 式の解を求める便宜上フーリエの重積分を使用して

$$y_0 = \frac{2}{\pi} \int_0^\infty \int_0^\infty f(\lambda) \sin \alpha x \sin \alpha \lambda \, d\lambda \, d\alpha \quad (0 < x < \infty)$$

の如く示す。 $y_0$  をフーリエの重積分にて示したのは計算の結果に一般性を與へる爲であつて、後節に示す如く路面の形状が全長に亘つて一つの數式にて示し得ない場合にも何等特別なる手数を要せず計算し得る爲である。

$x = \omega t$  なるを以て上式に代入して

$$\left. \begin{aligned} y_0 &= \frac{2}{\pi} \int_0^\infty F(\alpha) \sin \omega t \alpha \, d\alpha \\ \text{但し } F(\alpha) &= \int_0^\infty f(\lambda) \sin \alpha \lambda \, d\lambda \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

(3) 式を (1) 式に代入して  $y_1$  及  $y_2$  の解は容易に求むることが出来る。

特別な場合として  $t=0$  に於て自動車が静止状態にある場合の解は次の如くである。

$$\begin{aligned}
 y_1 &= \frac{2}{\pi} \int_0^\infty \frac{k_1^2 \{k_2^2 - (\alpha v)^2\} F(\alpha)}{\{(\alpha v)^2 - \beta_1^2\} \{(\alpha v)^2 - \beta_2^2\}} \sin \alpha t \, d\alpha \\
 &+ \frac{2}{\pi} \frac{k_1^2 (\beta_1^2 - k_2^2)}{\beta_1 (\beta_1^2 - \beta_2^2)} \sin \beta_1 t \int_0^\infty \frac{\alpha v F(\alpha)}{\{(\alpha v)^2 - \beta_1^2\}} d\alpha \\
 &+ \frac{2}{\pi} \frac{k_1^2 (k_2^2 - \beta_2^2)}{\beta_2 (\beta_1^2 - \beta_2^2)} \sin \beta_2 t \int_0^\infty \frac{\alpha v F(\alpha)}{\{(\alpha v)^2 - \beta_2^2\}} d\alpha \\
 y_2 &= \frac{2}{\pi} \int_0^\infty \frac{k_1^2 k_2^2 F(\alpha)}{\{(\alpha v)^2 - \beta_1^2\} \{(\alpha v)^2 - \beta_2^2\}} \sin \alpha t \, d\alpha \\
 &- \frac{2}{\pi} \frac{k_1^2 k_2^2}{\beta_1 (\beta_1^2 - \beta_2^2)} \sin \beta_1 t \int_0^\infty \frac{\alpha v F(\alpha)}{\{(\alpha v)^2 - \beta_1^2\}} d\alpha \\
 &+ \frac{2}{\pi} \frac{k_1^2 k_2^2}{\beta_2 (\beta_1^2 - \beta_2^2)} \sin \beta_2 t \int_0^\infty \frac{\alpha v F(\alpha)}{\{(\alpha v)^2 - \beta_2^2\}} d\alpha \\
 P &= a_1 y_1 - a_2 \frac{2}{\pi} \int_0^\infty F(\alpha) \sin \alpha t \, d\alpha
 \end{aligned} \tag{4}$$

但し

$$\begin{aligned}
 \beta_1^2 &= \frac{1}{2} \left\{ k_1^2 + k_2^2 + \gamma k_2^2 + \sqrt{(k_1^2 + k_2^2 + \gamma k_2^2)^2 - 4k_1^2 k_2^2} \right\} \\
 \beta_2^2 &= \frac{1}{2} \left\{ k_1^2 + k_2^2 + \gamma k_2^2 - \sqrt{(k_1^2 + k_2^2 + \gamma k_2^2)^2 - 4k_1^2 k_2^2} \right\}
 \end{aligned}$$

$$k_1^2 = \frac{c_1}{m_1}, \quad k_2^2 = \frac{c_2}{m_2}, \quad \gamma = \frac{m_2}{m_1}$$

一般の場合の解は土木試験所報告第26號に記載しあるを以てそれを参照して欲しい。

前述の如く(1)式は車輪が路面と接觸する場合の運動方程式であつて、車輪が高所より落下する場合又は何等かの原因によりて路面より跳ね上り車輪と路面との接觸が離れたる後に於ては(1)式より求めたる解を用ふることは出来ない。此の場合には第3圖に示す如き一つの自由度を有する振動系が重力の爲に自由落下する場合にて、運動方程式は(5)式に示さる。

$$\left. \begin{aligned} m_1 \frac{d^2 y_1}{dt^2} &= -c_2 (y_1 - y_2) + m_1 g \\ m_2 \frac{d^2 y_2}{dt^2} &= c_2 (y_1 - y_2) + m_2 g \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

(5)式の解は之を省略する。此の場合の解も土木試験所報告第26號に記載してある。

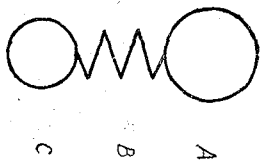
#### 4. 各種障碍物による衝撃の大きさ

第4圖に示す形状の障碍物による衝撃の大きさ  $P$  を(4)式より求める。

(1) 矩形障碍物

路面の凹凸の形状  $f(x)$  は次の如く示され

$$f(x) = 0 \quad 0 < x < a_0$$



第 3 圖

$$f(x) = -\varepsilon \quad x_0 < x < x_1$$

$$f(x) = 0 \quad x < x_0$$

是等の値を (3) 式に代入して  $F(\alpha)$  を求めれば

$$F(\alpha) = -\varepsilon \int_{x_0}^{x_1} \sin \alpha \lambda d\lambda = -\varepsilon \frac{\cos \alpha x_0 \alpha - \cos \alpha x_1 \alpha}{\alpha}$$

又は

$$F(\alpha) = -\varepsilon \frac{\cos \alpha x t_0 - \cos \alpha x t_1}{\alpha} \dots \dots \dots (6)$$

(6) 式を (4) 式に代入して  $P$  を求めれば

$$P = 0$$

$$P = \frac{g_1 e k_1^2}{\beta_1^2 - \beta_2^2} \left\{ \frac{\beta_1^2 - k_2^2}{\beta_1^2} \cos \beta_1(t-t_0) + \frac{k_2^2 - \beta_2^2}{\beta_2^2} \cos \beta_2(t-t_0) \right\}$$

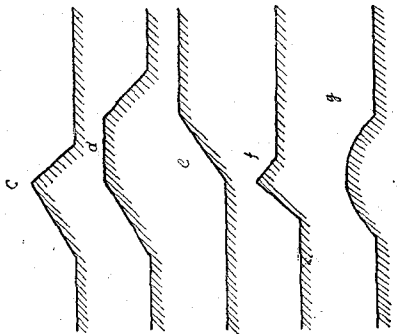
$$0 < t < t_0$$

$$t_0 < t < t_1$$

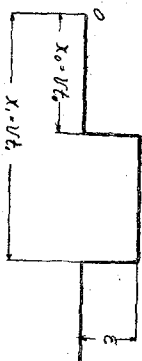
$$P = \frac{g_1 e k_1^2}{\beta_1^2 - \beta_2^2} \left\{ \frac{\beta_1^2 - \beta_2^2}{\beta_1^2} \cos \beta_1(t-t_0) + \frac{k_2^2 - \beta_2^2}{\beta_2^2} \cos \beta_2(t-t_0) \right\}$$

$$-\frac{g_1 e k_1^2}{\beta_1^2 - \beta_2^2} \left\{ \frac{\beta_1^2 - k_2^2}{\beta_1^2} \cos \beta_1(t-t_1) + \frac{k_2^2 - \beta_2^2}{\beta_2^2} \cos \beta_2(t-t_1) \right\}$$

$$t_1 < t < \infty \dots \dots \dots (7)$$



第 4 圖



第 5 圖

第 4 圖の  $\varepsilon$  の如く波面に高さ  $\varepsilon$  なる段差が存在する場合には  $t_1 = \infty$  なる特別の場合なるを以て (7) 式の第 2 式に

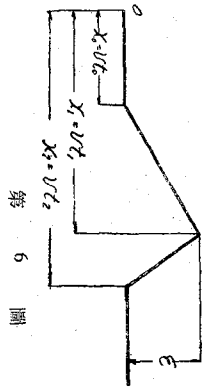


よいて示される。

(2) 三角形の障壁物 (障壁物の両側の高さ等しき場合)

$$P=0$$

$$P = \frac{\alpha \varepsilon}{\beta_1^2 - \beta_2^2} \left\{ \frac{k_1^2 - \beta_2^2}{\beta_1} \frac{\sin \beta_1(t-t_0)}{t_1-t_0} + \frac{\beta_1^2 - k_1^2}{\beta_2} \frac{\sin \beta_2(t-t_0)}{t_1-t_0} \right\} \quad 0 < t < t_1$$



第 6 圖

$$P = \frac{\alpha \varepsilon}{\beta_1^2 - \beta_2^2} \frac{k_1^2 - \beta_2^2}{\beta_1} \left\{ \frac{\sin \beta_1(t-t_0) - \sin \beta_1(t-t_1)}{t_1-t_0} - \frac{\sin \beta_1(t-t_0)}{t_2-t_1} \right\} \quad t_0 < t < t_1$$

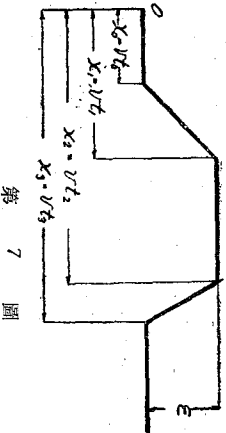
$$+ \frac{\alpha \varepsilon}{\beta_1^2 - \beta_2^2} \frac{\beta_1^2 - k_1^2}{\beta_2} \left\{ \frac{\sin \beta_2(t-t_0) - \sin \beta_2(t-t_1)}{t_1-t_0} - \frac{\sin \beta_2(t-t_1)}{t_2-t_1} \right\} \quad t_1 < t < t_2$$

$$P = \alpha \varepsilon \frac{k_1^2 - \beta_2^2}{\beta_1(\beta_1^2 - \beta_2^2)} \left\{ \frac{\sin \beta_1(t-t_0) - \sin \beta_1(t-t_1)}{t_1-t_0} - \frac{\sin \beta_1(t-t_1) - \sin \beta_1(t-t_0)}{t_2-t_1} \right\} \quad t_0 < t < \infty \dots (8)$$

$$+ \alpha \varepsilon \frac{\beta_1^2 - k_1^2}{\beta_2(\beta_1^2 - \beta_2^2)} \left\{ \frac{\sin \beta_2(t-t_0) - \sin \beta_2(t-t_1)}{t_1-t_0} - \frac{\sin \beta_2(t-t_1) - \sin \beta_2(t-t_0)}{t_2-t_1} \right\} \quad t_2 < t < \infty \dots (8)$$

$$P=0$$

$$0 < t < t_0$$



第 7 圖

(3) 梯形の障壁物

$$P = \frac{\alpha \varepsilon}{t_1-t_0} \left\{ (k_1^2 - \beta_3^2) \frac{\sin \beta_1(t-t_0)}{\beta_1(\beta_1^2 - \beta_3^2)} + (\beta_1^2 - k_1^2) \frac{\sin \beta_2(t-t_0)}{\beta_2(\beta_1^2 - \beta_3^2)} \right\} \quad t_0 < t < t_1$$

$$P = \frac{c_1 \varepsilon_1}{t_1 - t_0} \left[ (k_1^2 - \beta_2^2) \frac{\sin \beta_1(t-t_0) - \sin \beta_1(t-t_1)}{\beta_1(\beta_1^2 - \beta_2^2)} + (\beta_1^2 - k_1^2) \frac{\sin \beta_2(t-t_0) - \sin \beta_2(t-t_1)}{\beta_2(\beta_1^2 - \beta_2^2)} \right] \quad t_1 < t < t_2$$

$$P = c_1 \varepsilon_1 \left[ \frac{k_1^2 - \beta_2^2}{\beta_1(\beta_1^2 - \beta_2^2)} \left\{ \frac{\sin \beta_2(t-t_0) - \sin \beta_1(t-t_1)}{t_1 - t_0} - \frac{\sin \beta_1(t-t_2)}{t_3 - t_2} \right\} \right]$$

$$+ \frac{\beta_1^2 - k_1^2}{\beta_2(\beta_1^2 - \beta_2^2)} \left\{ \frac{\sin \beta_2(t-t_0) - \sin \beta_2(t-t_1)}{t_1 - t_0} - \frac{\sin \beta_2(t-t_2)}{t_3 - t_2} \right\} \quad t_2 < t < t_3$$

$$P = c_1 \varepsilon_1 \left[ \frac{k_1^2 - \beta_2^2}{\beta_1(\beta_1^2 - \beta_2^2)} \left\{ \frac{\sin \beta_1(t-t_0) - \sin \beta_1(t-t_1)}{t_1 - t_0} - \frac{\sin \beta_1(t-t_2) - \sin \beta_1(t-t_3)}{t_3 - t_2} \right\} \right]$$

$$+ \frac{\beta_1^2 - k_1^2}{\beta_2(\beta_1^2 - \beta_2^2)} \left\{ \frac{\sin \beta_2(t-t_0) - \sin \beta_2(t-t_1)}{t_1 - t_0} - \frac{\sin \beta_2(t-t_2) - \sin \beta_2(t-t_3)}{t_3 - t_2} \right\} \quad t_3 < t < \infty$$

.....(9)

第4圖の(6)は(9)式に於て  $t_2 \rightarrow \infty$  とせる場合に相當する。

(4) 三角形の障壁物(障壁物の兩側に於路面の高さ異なる場合)

第8圖に示す如く(1)の場合の衝擊の大きさは(2)及び(3)を組み合せて求められる。

即ち  $P$  は(8)及び(9)式より

$$P = 0$$

$$0 < t < t_0$$

$$P = \frac{c_1 \varepsilon_1}{\beta_1^2 - \beta_2^2} \left\{ \frac{k_1^2 - \beta_2^2}{\beta_1} \frac{\sin \beta_1(t-t_0)}{t_1 - t_0} + \frac{\beta_1^2 - k_1^2}{\beta_2} \frac{\sin \beta_2(t-t_0)}{t_1 - t_0} \right\} \quad t_0 < t < t_1$$

$$P = \frac{c_1 \varepsilon_1}{\beta_1^2 - \beta_2^2} \frac{k_1^2 - \beta_2^2}{\beta_1} \frac{\sin \beta_1(t-t_0) - \sin \beta_1(t-t_1)}{t_1 - t_0} - \frac{c_1 \varepsilon_2}{\beta_1^2 - \beta_2^2} \frac{k_1^2 - \beta_2^2}{\beta_1} \frac{\sin \beta_1(t-t_1)}{t_2 - t_1}$$

$$+ \frac{c_1 \varepsilon_1}{\beta_2^2 - \beta_2^2} \frac{k_2^2 - \beta_1^2}{\beta_2} \frac{\sin \beta_2(t-t_0) - \sin \beta_2(t-t_1)}{t_1 - t_0}$$

$$- \frac{c_1 \varepsilon_2}{\beta_1^2 - \beta_2^2} \frac{\beta_1^2 - k_1^2}{\beta_2} \frac{\sin \beta_2(t-t_1)}{t_2 - t_1} \quad t_1 < t < t_2$$

$$P = c_1 \varepsilon_1 \frac{k_1^2 - \beta_2^2}{\beta_1^2 - \beta_2^2} \frac{\sin \beta_1(t-t_0) - \sin \beta_1(t-t_1)}{\beta_1(t_1 - t_0)}$$

$$+ c_1 \varepsilon_1 \frac{k_1^2 - \beta_1^2}{\beta_1^2 - \beta_2^2} \frac{\sin \beta_2(t-t_0) - \sin \beta_2(t-t_1)}{\beta_2(t_1 - t_0)}$$

$$- c_1 \varepsilon_1 \frac{k_2^2 - \beta_2^2}{\beta_1^2 - \beta_2^2} \frac{\sin \beta_1(t-t_1) - \sin \beta_1(t-t_2)}{\beta_1(t_2 - t_1)}$$

$$- c_1 \varepsilon_2 \frac{\beta_1^2 - k_1^2}{\beta_2^2 - \beta_2^2} \frac{\sin \beta_2(t-t_1) - \sin \beta_2(t-t_2)}{\beta_2(t_2 - t_1)} \quad t_2 < t < \infty$$

.....(10)

(5) 正弦曲線の障得物

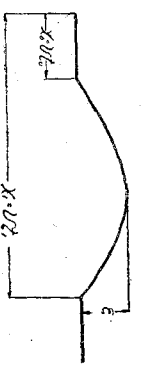
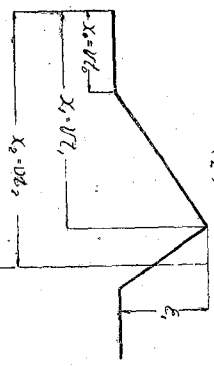
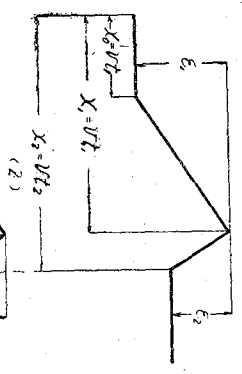
P=0

0 < t < t\_1

$$P = c_1 \varepsilon_1 \left[ 1 - \frac{k_1^2 \left\{ k_2^2 - \left( \frac{\pi}{t_1 - t_0} \right)^2 \right\}}{\left\{ \left( \frac{\pi}{t_1 - t_0} \right)^2 - \beta_1^2 \right\} \left\{ \left( \frac{\pi}{t_1 - t_0} \right)^2 - \beta_2^2 \right\}} \right] \sin \frac{\pi}{t_1 - t_0} (t - t_0)$$

$$+ \frac{c_1 \varepsilon_1 k_1^2}{\beta_1^2 - \beta_2^2} \frac{\pi}{t_1 - t_0} \left\{ \frac{k_2^2 - \beta_1^2}{\left( \frac{\pi}{t_1 - t_0} \right)^2 - \beta_1^2} \frac{\sin \beta_1(t-t_0)}{\beta_1} \right.$$

t\_1)



$$\begin{aligned}
 & - \frac{k_2^2 - \beta_2^2}{\left(\frac{\pi}{t_1 - t_0}\right)^2 - \beta_2^2} \left. \frac{\sin \beta_2(t - t_0)}{\beta_2^2} \right\} t_0 < t < t_1 \\
 P = & - \frac{a_1 k_1^2}{\beta_1^2 - \beta_2^2} \frac{\pi}{t_1 - t_0} \left\{ \frac{\beta_1^2 - k_2^2}{\left(\frac{\pi}{t_1 - t_0}\right)^2 - \beta_1^2} \frac{\sin \beta_1(t - t_0) + \sin \beta_1(t - t_1)}{\beta_1} \right. \\
 & \left. + \frac{k_2^2 - \beta_2^2}{\left(\frac{\pi}{t_1 - t_0}\right)^2 - \beta_2^2} \frac{\sin \beta_2(t - t_0) + \sin \beta_2(t - t_1)}{\beta_2} \right\} t_1 < t < \infty \dots \dots \dots (11)
 \end{aligned}$$

(7) 式より (11) 式に於て  $P$  は何れも  $a_1 \varepsilon_1$  即ち輪帯の弾性率と障害物の高さの積、換言すれば輪帯を障害物の高さだけ變形せしむるに要する力に比例する。従つて自動車荷重は障害物の高さ大なる程、輪帯が變形し難き程大なる衝撃を生ずる。

障害物を通過するに要する時間が非常に小さい場合には、一例として矩形障害物を考ふると (7) 式に於て障害物通過後の  $P$  の値に  $t_0 = 0$  と置けば ( $t_0 = 0$  と置いても一般性を失はない)

$$P = - \frac{a_1 \varepsilon_1 k_1^2}{\beta_1^2 - \beta_2^2} \left[ \frac{\beta_1^2 - k_2^2}{\beta_1^2} \left\{ \cos \beta_1 t - \cos \beta_1(t - t_1) \right\} + \frac{k_2^2 - \beta_2^2}{\beta_2^2} - \left\{ \cos \beta_2 t - \cos \beta_2(t - t_1) \right\} \right]$$

障害物を通過するに要する時間  $t_1$  が非常に小さい時は  $\beta_1 t_1$ ,  $\beta_2 t_2$  も亦 1 に比して省略出来るとすれば上式は次の如く簡單化されて

$$P = - \frac{a_1 \varepsilon_1 k_1^2}{\beta_1^2 - \beta_2^2} t_1 \left\{ \frac{\beta_1^2 - k_2^2}{\beta_1} \sin \beta_1 t + \frac{k_2^2 - \beta_2^2}{\beta_2} \sin \beta_2 t \right\}$$

となり、 $P$  は  $\mu$  に比例する。即ち自動車速度が非常に大なる場合は、大なる程障害物通過後の衝撃の大きくなる結果を示す。但し  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  は可成り大なる數値なることに注意を要する。

## 5. 米國道路局の衝擊試験

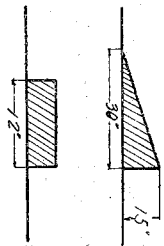
自動車の衝擊試験は Becker 氏<sup>(2)</sup>, Bobeth 氏<sup>(3)</sup>, 米國道路局<sup>(4)</sup>等により行はれたが、その中で米國道路局の衝擊試験は規模が最も大きくて、1921年3月より1932年11月に至る迄 Public Roads 誌上に發表されたる報告は10通の多きに及んでゐる。本文に於て比較せんとする試験は最も新しく發表されたものを選んだ。此の種の試験は可成り面倒なもので、數字的に充分信頼するに足る資料を得ることは仲々困難である。道路局の試験も初期には多少測定装置の不充分さ及び試験方法の適切でない<sup>(5)</sup>に、各因子の衝擊に及ぼす影響の大體の傾向を知り得る程度であつたが、その後試験の回数を繰り返へすと共に測定装置も漸次改良されたので最も新しい試験結果を比較の爲に使用したのである。

比較に使用したる衝擊試験の資料並に結果を簡単に記載する。

使用したる自動車は軸距 240" の大型乗合の車臺で、24,000 lbs の重量を支持する如く設計されてゐる。前軸の荷重は 8,000 lbs にて 9.75"—24" のバルンタイヤ (balloon tire) を、後軸の荷重は 16,000 lbs にて 9.75"—24" の複式 (du'al) 及 12.75"—24" の單式 (single) のバルンタイヤを交互に使用し得る如くなつてゐる。試験中の自動車の最高速度は 80哩/時に達してゐる。試験は第10圖に示す三角形及矩形の人工の障害物並に修理を必要とする程度に破損したる自然の路面にて行はれた。比較は人工障害物及び自然の路面中凹凸の形状簡單なるもの二種類に就て行つた。

後輪の彈下荷重の重量は輪帯の種類に依つて異なるが平均値を使用して 1,817 lbs とした、従つて後輪一個に作用する全重量は 8,000 lbs であるが彈上荷重は 6,183 lbs となる。

車輪の變形量 (tire の變形によるもの) と荷重との比は第 11 圖に示す如くである。同圖より變形量と荷重との間には近似的に比例關係が成立してゐるから、 $a_1$  の値として複式タイヤに對しては 7,282 lbs 單式タイヤに對しては 5,890 lbs を使用した。

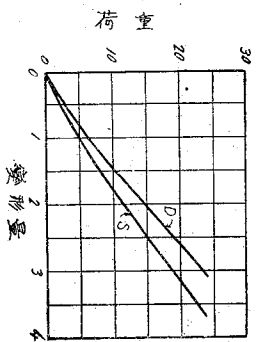


第 10 圖

車臺を支持する彈條の強さは本報告中に明記してなく、従つて試験に如何なるものが使用されたかは不明であるが、1921 年の報告に記載してあるものの平均値を以て  $a_2$  の値とし、 $a_2 = 2,500$  lbs にとつた。幸なことにには衝擊の大きさに對する  $a_2$  の影響は本文の計算の範圍内では極めて小であつた。

人工障礙物による衝擊の大きさと速度との關係を第 12 圖に示す。

圖中 shock とは障礙物上に車輪が乗り上げた場合に生ずる衝擊を意味し、drop とは障礙物より落下して再び路面に接觸した後に生ずる衝擊を意味する。自然路面の場合の測定の結果を後節 8 に示す。



車臺の變形量と荷重との關係

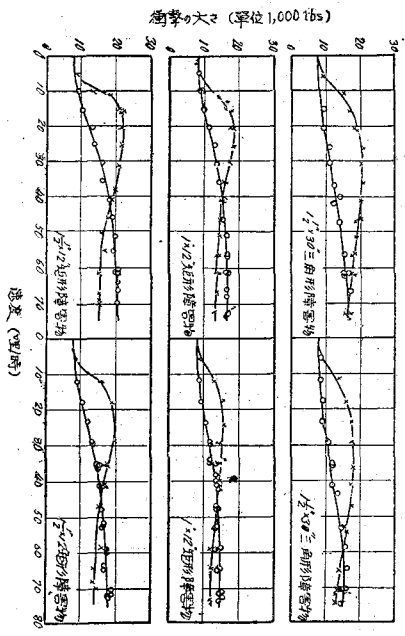
D 複式タイヤ  
S 單式タイヤ

### 6. shock の値の比較

三角形の障礙物に於ては車輪と路面とは絶えず接觸するを以て shock の値は (8) 式より求められる。計算値と實測値との比較を第 13 圖に示す。

第 11 圖

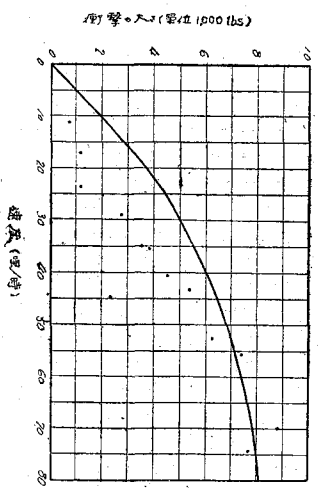
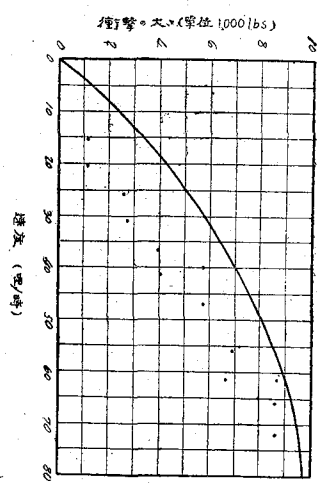
(1) 機式バルブの94キ (2) 機式バルブの94キ



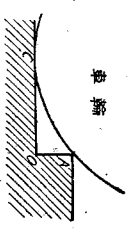
人工の障碍物による衝撃の大小  
 ○ shock, △ drop  
 第 12 圖

一般に障碍物の頂點に登りたる場合  $P$  は最大となるが自動車の速度小なる場合には斜面の中途にて最大となる。

矩形障碍物による shock の値は車輪の通路が矩形なりとして (7) 式より求めることは出来ない、従つて第 14 圖に示す如く車輪が障碍物の一端  $A$  に接觸する時車輪と路面との接觸點を  $O$  とし、車輪が



凹形・矩形の障碍物に於ける衝撃の大小を計算し、測定値の比較  
 衝撃計算式、測定値  
 障碍物の高さ 1.5' 全輪荷重 3,000 lbs.  
 第 13 圖

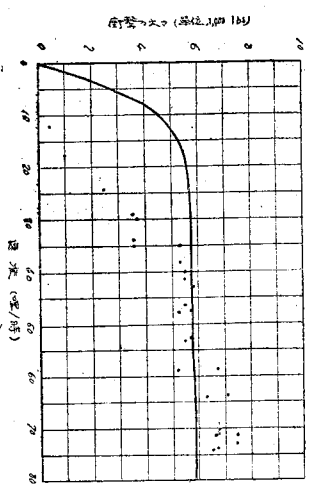


第 14 圖

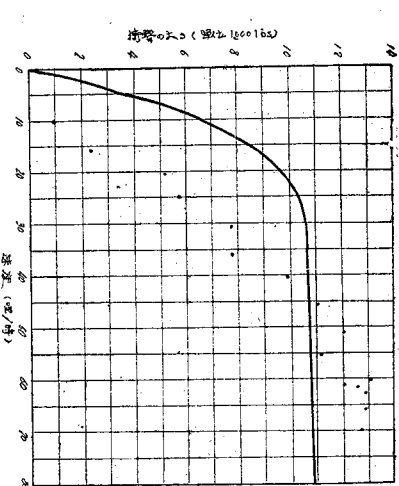
CA なる假想路面を通  
過するものとして P の  
値を (9) 式より求め  
た。

計算値と測定値との比  
較を第 15 圖に示す。

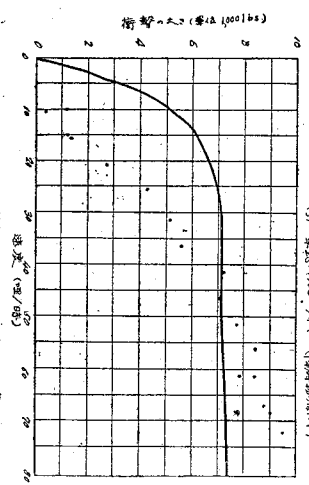
第 13 圖、第 15 圖に  
於て測定値と計算値と  
を比較するに、速度大  
なる部分 (衝撃の大き  
大) に於ては兩者の差  
異は小であるが、速度



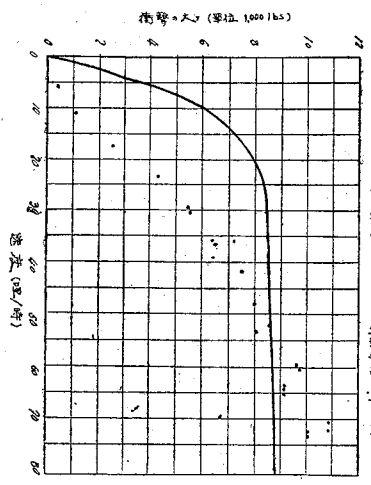
13) 重量 1000 lbs. (積荷物重量 10)



第 15 圖 / ①



13) 重量 1000 lbs. (積荷物重量 10)



第 15 圖 / ②

短距離走行による衝撃の大小が測定値と計算値との差に  
影響を及ぼす。重量 1000 lbs.



小なる範囲（衝撃の大小）にあつては何れも測定値は計算値より小である。今その主なる原因として考へられるは（1）自動車速度が障害物上を通過する際減少する、（2）車輪がある面積にて路面に接觸するの二つである。本試験に於ける自動車速度は或る距離の平均速度を示してゐる、今自動車の眞の速度が障害物の爲に減少するものとすれば圖に於て計算値は測定値に近づいてくる。特に速度の大なる場合はその多少の變化は衝撃の大きさには殆んど影響ないに拘らず、本速度小なる場合にはその影響が極めて著しいことは計算上より明であるから、是等の事項を考慮すれば計算値と測定値とは尙一致する傾向を辿る。車輪がある面積にて路面と接觸することは丁度障害物の長さが大になつて、それを通過するに要する時間が長くなり、自動車の速度が減少する場合と同一の結果になる。矩形障害物の場合は  $AC$  なる假想路面を使用したる爲に速度小なる範囲の兩者の差異が特に著しくなつてゐるのは第 15 圖に示す如くである。

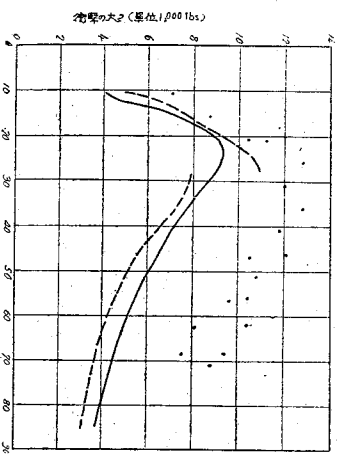
## 7. drop の値の比較

車輪が障害物の末端に達して將に離れようとする時二種の徑路が考へられる。（1）車輪が自由落下を開始する（此の場合輪帯の變形量が障害物の高さより大なる場合は直ちに路面に接觸する）、（2）slack の場合と同様に假定されたる斜面に沿ひて落下する。計算は上記（1）及（2）の徑路に就て行つたが、實際の徑路は上述のものより更に複雑であるは明である。

實測値と計算値との比を第 16 圖に示す。

圖中點線は（1）の徑路による場合、實線は（2）の徑路による場合の値を示す。點線にて示してある曲線の不連續の

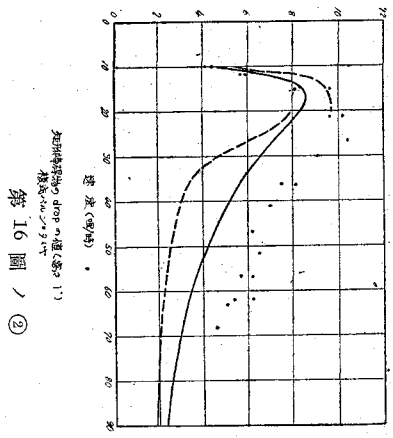
個所より速度の小さい部分は障  
 碍物より車輪が自由落下する場  
 合で、速度大なる部分は障物  
 を離れると共に直ちに路面に接  
 觸する場合に相當する。不連続  
 の點の附近にては車輪が路面に  
 接觸し再び直ちに路面より離れ  
 る等のことあるを以て、輪帯の



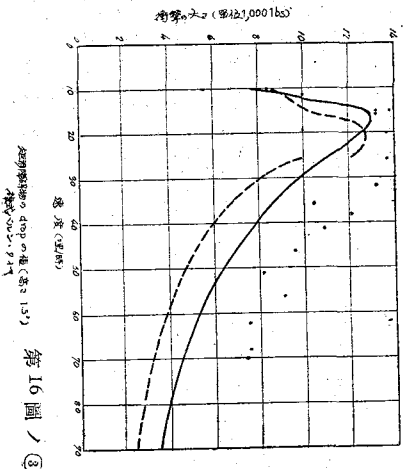
第 16 圖 ノ ①

變形の大きさ如何に係らず自由落  
 下の場合と、路面に直ちに接觸する場合の値とを求めて置いた。圖に示す  
 如く自由落下の場合の値が常に大である。

第 16 圖に於て速度小なる場合(衝擊の大きさ大)は計算値と測定値とは比  
 較的よく一致してゐるが、速度が大(衝擊の大きさ小)になつてくると兩者  
 の差異は著しくなつてくる。然し衝擊の大きさの速度の變化による大體の傾  
 向は兩者よく一致してゐる、且つ三角形の障物より矩形障物の方が計  
 算値と測定値とが一致してゐる。



第 16 圖 ノ ②



第 16 圖 ノ ③

その原因としては (1) shock の場合と同様に障害物を登り上る際の速度の減少、(2) 障害物を登り上りたる後に於ける速度の増加、の二つを考ふる時は大體説明出来る。即ち障害物を登り上る場合の速度が見掛の速度より小さいとすると測定値は總て速度小なる方に移動して計算値に近づく。而して三角形の障害物は頂點より直ちに落下し始めるが、矩形障害物に於ては障害物上に達してより 12" の水平距離を走るを以て、その間に失はれたる速度が回復し、爲に測定値と計算値が近づく。

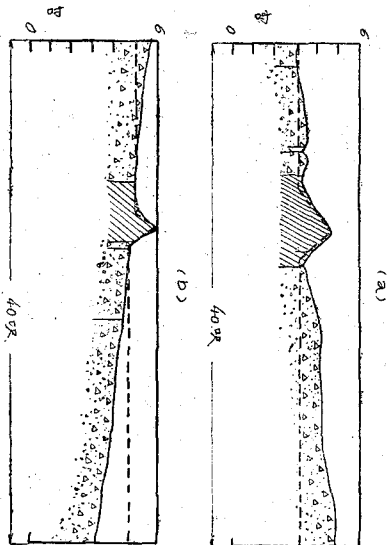
### 8. 自然路面に於ける比較

自然路面の場合は第 17 圖に示す比較的簡單なる形状のものに就て比較した。

圖中點線は實際の路面の形状を示し、點線は計算に用ひたる仮想路面を示す。

計算値と實測値とを第 18 圖に示す。

比較する場合計算を簡單にする爲に車輪と路面とは常に接觸するものとして計算値を求めた。圖中實線は shock の値、點線は drop の値を示す。而して此の場合測定値と實測値との差異は形状の規則正しい人工障害物に比して大であるが、之は計算を簡單にする爲に路面の形状に就て相當不正確の假



第 18 圖

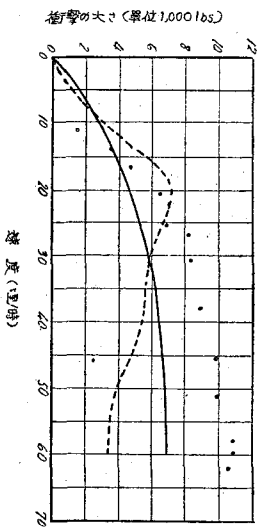
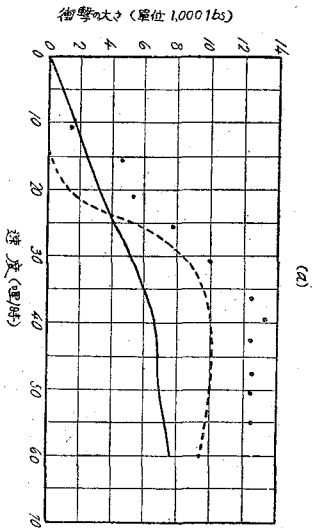
定を行った爲である。

### 9. 結 言

6, 7 及 8 に於て米國道路局の衝撃試験の結果と本文の計算方法より求めたる値との比較を行ひ、計算値が實測値にどの程度一致してゐるかを示した。元より本文の計算は種々の諸假定の下に成立つてゐるだけでなく、計算を行ふに足る充分なる資料も得られなかつた。又衝撃試験そのものにも亦多少の實驗上の誤差も作ふを以て兩者の一致は元より望むことは出来ない。然し定性的には尠くとも兩者の間には可成りの一致を認め得ると信する、又最も必要なる最大値に於ては數量的にも差異はそれ程著しくない。此の程度の比較を以て計算の基礎となる諸假定の妥當性を批判することの出来ないのは明であつて更に研究する必要がある。

是等の計算の結果自動車荷重の衝撃の大きさを求めるに當り参考となると考へられる事項は大體次の如くである。

- (1) 衝撃の大きさに最も影響あるは車輪及路面鋪裝の強さにて、



自然路面の衝撃の大ききの計算値と測定値の比較  
 ———— shock の値  
 - - - - - drop の値  
 ・ (測) 実値

車輪及鋪裝が變形しない程衝撃の大きさは小である。

(2) 高さ  $e$  の障害物を車輪の長さ  $e_1$  なる自動車荷重が通過する際に生ずる衝撃の大きさは  $ea_1$  に比例し、障害物の形状、自動車の速度等により影響されるが、それ等の最悪の條件の下にても大體  $ea_1$  に達すると考へて差し支へない。

(3) 車體を支持する弾條は單獨障害物の場合には衝撃の大きさには餘り影響はない。

(4) 單獨障害物が數個ある場合には全體の値は個々の衝撃の大きさを求め加へ合せて得られる、即ち共鳴等の場合と異なつて各種の抵抗を無視して差し支へない。

## 参考文献

1. W. Thomé; "Ueber dynamisch Wechselwirkungen zwischen Fahrzeug und Fahrbahn" Motor wagen 31/20 192817/28 S. 450
2. Becker; Daag-Schnellast wagen
3. Erich Bobeth; Die Leistungsverluste und die Abfederung von Kraft wagen Berlin 1913
4. Earl B. Smith; "Motor truck impact test of the Bureau of Public Road" Public Roads 4/1 1921/3
- Earl B. Smith; "The motor truck impact tests of the Bureau of Public Road" Public Roads 4/12 1922/2
- James A. Buchanan and T. W. Reid; "Motor truck impact as affected by tires, other track effects and road roughness" Public Roads 7/4 1926/6
- J. T. Thompson; "Effect of pavement type on impact reaction" Public Roads 9/6 1928/8
- J. A. Buchanan and E. G. Lapham; "Effect of wheel type on impact reaction" Public Roads 10/5 1929/7
- J. A. Buchanan; "Calibrations of accelerometers for use in motor truck impact tests" Public Roads 11/5 1930/7
- I. A. Buchanan; "Motor truck impact as affected by rubber tread thickness of tires" Public Roads 11/7 1930/9
- J. A. Buchanan; "Interrelated effects of load, speed, tires and road roughness on motor truck impact" Public Roads 11/7 1930/7
- J. A. Buchanan; "Impact reactions developed by a modern bus" Public Roads 12/2 1931/4
- J. A. Buchanan; "Road impact produced by a heavy motor bus" Public Roads 13/9 1932/11