

# 自動車輪荷重計の試作と輪荷重頻度分布について

正 員 西 村 昭\*

## ON A NEW TYPE WHEEL-LOAD METER AND THE FREQUENCY DISTRIBUTION CHARACTERISTICS OF WHEEL-LOADS

By Akira Nishimura, C.E. Member

**Synopsis :** In this paper, the wheel-load meter, which is tentatively made by the author and its test measurements on a street in Kobe City are described. The meter shows satisfactory function for easy measurements of wheel-load under the operational conditions of vehicles in comparatively congested traffic. Basing on both of the results obtained and the data measured in the past by another observers, the distribution characteristics of wheel-loads are discussed. Moreover, the design load of highway structures subjecting to the wheel-loads is discussed in brief.

**要旨** 自動車輪荷重の簡易計測の目的で、電気抵抗線ヒズミ計を利用した輪荷重計を試作し、神戸市内で実測に供して満足しうる結果がえられたので、それらについて概要を述べ、その実測結果と、既往の実測資料に基づいて、道路の交通特性を考慮した輪荷重度数分布とその推定法を論じ、最後に輪荷重を受ける構造物の設計荷重について論じた。

### 1. 緒 言

構造物の設計にあつては、一般に、それが受ける荷重に対して合理的に、かつ経済的に設計すべきである。道路橋をはじめコンクリート舗装版の設計においては、まず交通に関する研究を行い、その構造物が受けると考えられる荷重および頻度を適確に推定する必要がある。また既設構造物の補修あるいは維持管理にあつては、それに作用する自動車重量に関する資料にもとづいた適切な対策を講ずべきである。自動車重量に関連して従来わが国において行われてきた研究を眺めると、第1、2回日本道路会議において、特定課題として自動車諸元の限界が研究、検討され<sup>1),2)</sup>、特に第2回会議では重量問題に関する座談会を開いて、関係各方面のメンバーにより、細部にわたる討論が行われている<sup>3)</sup>。これらはおもに重量限界について論じられたものであるが、そのみでなく応力頻度分布、従つて自動車重量分布をも設計時に導入すべきものと考えられる。これは特に疲労破損を考慮すべき構造物の場合に重要である。このためには自動車重量の実測資料が必要となるが、現状においてはまだ十分な資料は得られていないようである。

本文は、このような資料を簡易に得るために試作した輪荷重計について述べ、次にこれを実用して得られた結果とその他の過去の資料に基づいて、道路の交通特性を考慮した輪荷重度数分布とその推定法を提案したものである。本論に入るに先立つて、従来の自動車重量計測法を概観して見ると次の通りである。

従来の方法は、わが国ではほとんどが機械的方法<sup>4),5)</sup>であり、測定に手間が掛かり、交通量の比較的多い地点では、必要に応じて任意のサンプリングを行うことは困難である。また、あるものでは装置が半永久的の構造物となり、設置地点の選択が制限されることになる。一方アメリカに走行状態での自動車軸重の測定例があるが、それらはいずれも、道路上に進行方向にたいして直角に置かれた横長のコンクリート矩形版を4隅の load cell で支え、その上を通過する各軸重に対応する電気的変換量を増幅して、記録紙<sup>6)</sup>、またはブラウン管<sup>7)</sup>に指示せしめるもので、後者では自動撮影装置も具えている。従つてこれらでは測定は車両通過で完了し、測定による交通の攪乱や混雑を招くこともなく、また自記も可能で、ほぼ理想に近い方法といえよう。ただ路面下に相当大きな設備が必要であり、測定箇所を必要に応じて任意に設定するにはかなりの困難がある。

### 2. 試作輪荷重計の概要

試作計では特に簡易計測を目標として、次の諸点に留意した。

\* 神戸大学助教授、工学部土木工学教室

- i) 輪荷重計の設置に必要な路面の工作はわずかでよいこと。
- ii) 可搬式で任意の地点で計測が可能であること。
- iii) 測定が車両通過によつて完了すること。
- iv) 安価であること。

図-1 は試作計の詳細を示したものである。この輪荷重計は上面と路面とが同一平面内にあるように設置され、各梁要素が車線と平行に置かれる(写真-1)。使用材料は軟鋼で、構造の概略は側面図に見られる台形状の縦断面形を有する 16 本の梁要素を、両端で  $5 \times 5 \text{ cm}^2$  の角材の切欠き部に溶接したものである。各梁要素の中央上下面に深さ 5 mm の長方形の溝を切り、その底面に抵抗線ヒズミ計を貼付し、上下面各 16 個のヒズミ計をそれぞれ各面ごとに直列連結する。使用ヒズミ計は新興通信製 F 608 で、貼付後溝はアラルダイトで填充し、ヒズミ計の保護と防湿に備えた。輪荷重計容量は、梁要素の曲げ応力度  $1200 \text{ kg/cm}^2$  を基準にして、大体 8 t の輪荷重に十分耐えうる。

3. 測定原理と測定方法

輪荷重計の上を輪荷重  $P$  が通過する場合、それが  $n$  本の梁要素にそれぞれ同一の接地長さで分布载荷すると考える。各分布重量を  $P_i (i=1, 2, \dots, n)$  とすると、各梁要素の最大縁ヒズミは  $P_i$  に比例する。ただし輪荷重による動的効果はないものとする。一方各梁は両端で支持角材に溶接されているため、この支持材を通じて各载荷梁の端モーメントが非载荷梁材端に伝達され、梁に曲げヒズミを生ずる。载荷梁のスパン中央断面における縁ヒズミを各  $P_i$  に対応して  $\epsilon_i$  とすると、各梁は全く同等と考えてよいから、

$$\epsilon_i = C_1 P_i \quad (C_1 : \text{定数})$$

従つて

$$\sum \epsilon_i = C_1 \sum P_i = C_1 P \dots \dots \dots (1)$$

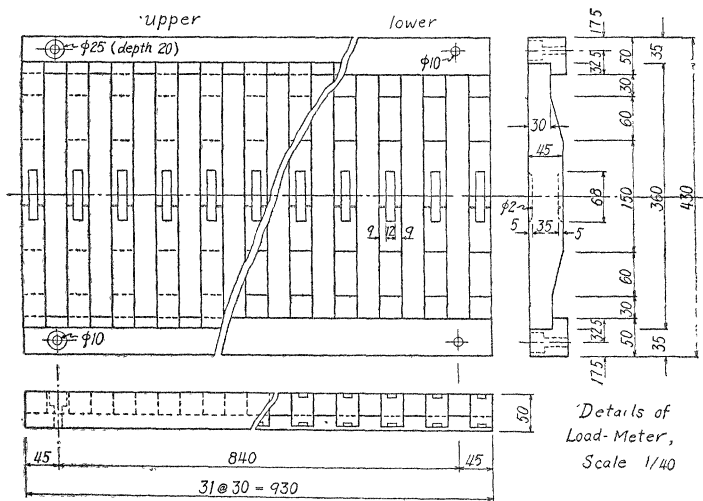
一方非载荷梁材端に伝達されるモーメントの和を  $M$  とすると、 $M$  によるスパン中央断面の縁ヒズミ  $\epsilon_M$  は  $M \propto P$  と考えてよいから、

$$\epsilon_M = C_2 P \dots \dots \dots (2)$$

式 (1), (2) より総縁ヒズミ  $\epsilon$  は  $\epsilon = \sum \epsilon_i + \epsilon_M = (C_1 + C_2) P$  となり、輪荷重  $P$  に比例するヒズミ  $\epsilon$  を測定して  $P$  を知り得る。また  $\epsilon$  は  $n$  に無関係となり、輪帯幅による影響はないことになる。また接地長さの変化は同一輪荷重の場合でも  $\epsilon$  に変化を与えることになるが、このための誤差は概算によると接地長さ 20 cm の 10% の変動に対して 6% (2ゲージ法で 12%) 程度になることが知られる。

ヒズミ和  $\epsilon$  は直列に連結された抵抗線ヒズミ計群の電気抵抗変化に変換されることになる。ここでは梁の上下面に貼付した各直列抵抗群により、いわゆる 2ゲージ法によつて測定が行われる。測定系統は図-2 に示した通りである。図の各ブロックに対して今回の実測に使用した計器類をあげると、動ヒズミ計および電源部=新興通信 DS-6R, 電磁オシログラフ=三栄測器 100 A 型 (振動子の固有振動数: 100 c/s, 制動並

図-1 輪荷重計詳細図



(単位: mm)

Details of Load-Meter, Scale 1/40

写真-1 輪荷重計の設置

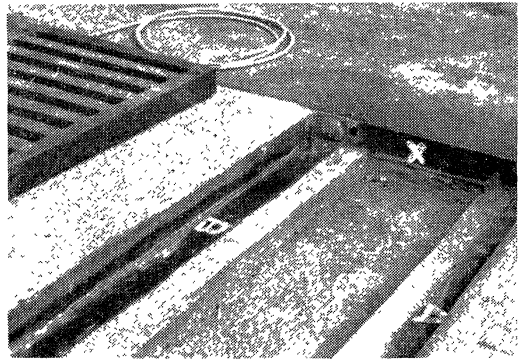
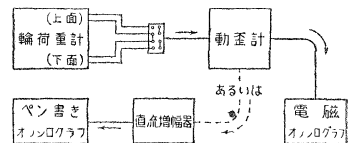


図-2



列抵抗：約  $4 \Omega$ ）である。電磁オシログラフでは記録紙上の光点移動量は  $200 \times 10^{-6}$  のヒズミ（較正スイッチによる）に対して  $100 \text{ mm}$  になるように調整した。

#### 4. 試作計の検定

現場測定に先立ち、次の通り室内検定を行つた。検定は神戸大学工学部において、 $200 \text{ t}$  圧縮試験機を用い、荷重読みを環状ばね型圧力計で取りつつ行つた。検定の目的は次の諸点を明らかにすることである。

- i) 重量対ヒズミ量関係
- ii) 梁要素に対する載荷位置の相違による誤差
- iii) 輪帯幅の相違による誤差
- iv) 車輪接地長さの相違による誤差

検定の方法は、輪荷重計上面に厚さ  $5 \text{ mm}$  のゴムパッキングを介して所定梁要素を含んでスパン中央に載荷板を置き、その上に環状圧力計を入れて油圧を加え、荷重はば  $500 \text{ kg}$ （1種類のみ  $1 \text{ t}$ ）ごとにオシログラフに記録する。動ヒズミ計の較正スイッチにより、ヒズミ対光点移動量関係が既知であるから、結局、荷重—ヒズミ関係が得られる。載荷板は、種々の車輪接地面積に対応せしめて、定幅  $17 \text{ cm}$  に対して長さ  $15, 20, 25 \text{ cm}$  の3種類、および幅  $41 \text{ cm}$  長さ  $18 \text{ cm}$  の合計4種類を用いた。

検定結果を図-3に示す。図中載荷範囲を示す数字は16本の梁要素の番号を表わし、例えば987は7～9番の梁要素3本を含む載荷を意味する。また①～⑬の各曲線は横軸上で10目盛ずつ間隔をおいて描いてある。検定結果に基づき、前記i)～iv)の各項目別に検討を行えば次の通りである。

i) 重量対ヒズミ量関係 図-3において①～⑬は載荷板  $20 \times 17 \text{ cm}^2$  による検定曲線で、⑭、⑮、⑯はそれぞれ  $25 \times 17, 15 \times 17, 18 \times 41 \text{ cm}^2$  板によるもので、この中  $20 \times 17 \text{ cm}^2$  板によるものは接地長さ  $20 \text{ cm}$  の場合に対応

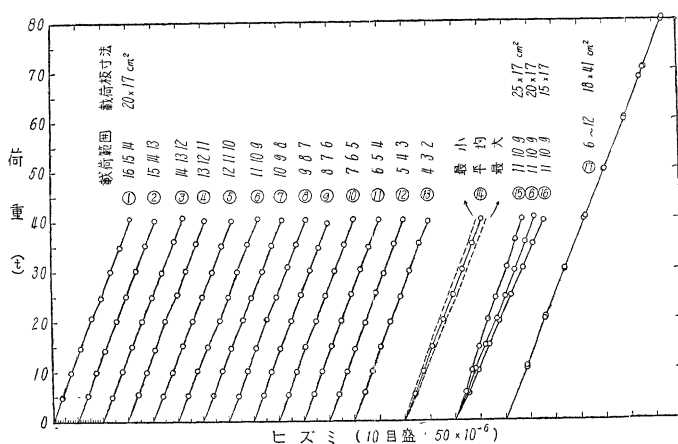
し、大型車に対する基準を与えるものと考えてよく、ii)の誤差の検定もこの板を用いて行つた。さて①～⑯の検定線を見ると、おのおのはほぼ直線と考えられる。これらには荷重読み取り、および記録の読み取りの両者の誤差も含まれており、それらをあわせて直線性は一応満足しうるものと考えられる。また⑯のように同一状態で載荷を2回繰り返しても読みはきわめて安定している。更に輪荷重計の機械工作、溶接作業、ヒズミ計貼付等に十分注意を払えば一層満足すべき結果になると考えられる。

ii) 梁要素に対する載荷位置の相違による誤差、これは①～⑬の相互の比較により明らかにされる。①～⑬の  $500 \text{ kg}$  ごとの読みの最大、最小値を同時にプロットしたものが⑭の点線である。実線は平均値である。平均値からの偏差を荷重  $4 \text{ t}$  の読みに対して計算すると約  $6 \%$  となるが、実際には車輪がほぼ中央付近を通過するよう誘導することを考えると、この誤差は更に減少することになる。

iii) 輪帯幅の相違による誤差 ⑭と⑯の比較によりこの誤差を知り得る。⑭に対して⑯は梁要素を前者の3本に対して2倍以上の7本含む場合であるが、両者を比較すると、載荷板長が⑯の方が  $2 \text{ cm}$  短かいためやや傾斜が急になっていることを考慮すれば、輪帯幅の相違による誤差は無視しうるものと考えられる。

iv) 接地長さの相違による誤差 ⑥、⑮、⑯の三者を比較して、この種の誤差がいちじるしく大きいことがわかる。すなわち荷重  $4 \text{ t}$  のときの読みを比較すると、接地長さ  $20 \text{ cm}$  を基準として、 $\pm 5 \text{ cm}$  の変化に対して約  $\pm 12.7 \%$  となる。この種の誤差を消す方法の一つとして、常に輪荷重計に載荷板を設けておき、その上を通過せしめることが考えられるが、この場合は車両を最徐行で通過せしめる必要がある。しかしこのような方法を講じなくても、実際の接地長さは乗用車等の小型車でほぼ  $15 \text{ cm}$ 、普通トラック以上の大型車では  $20 \text{ cm}$  程度が大部分であり、輪荷重への変換を、大型車、小型車（この車種分類は便宜上重量の点からしたものである。7.参照）に対しそれぞれ  $20 \text{ cm}, 15 \text{ cm}$  の載荷板による検定曲線を用いれば、この誤差をかなり小さいものにすることが

図-3 検定結果



できる。

5. 試作輪荷重計による実測

試作計を用い、神戸市建設局土木部道路課の協力を得て、昭和33年2月18、19日、神戸市長田区尻池北町の市道(市電山手上沢線)南行車線において、約1時間ずつ数回にわたり、通行全車両に対し輪荷重測定を行った。測定結果に基づき、輪荷重ヒストグラムを描けば図-4の通りである。また輪荷重より、4輪車では測定した片側前後輪荷重の和の2倍、3輪車は前輪荷重に後輪荷重の2倍を加算して総荷重を求め、ヒストグラムを描くと図-5が得られる。

図-4 測定輪荷重ヒストグラム

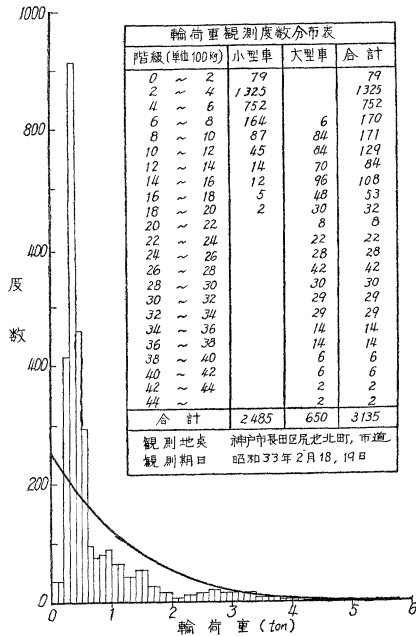


図-5 測定総重量ヒストグラム

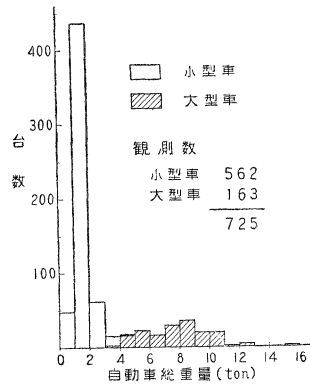


図-6 測定記録の一例

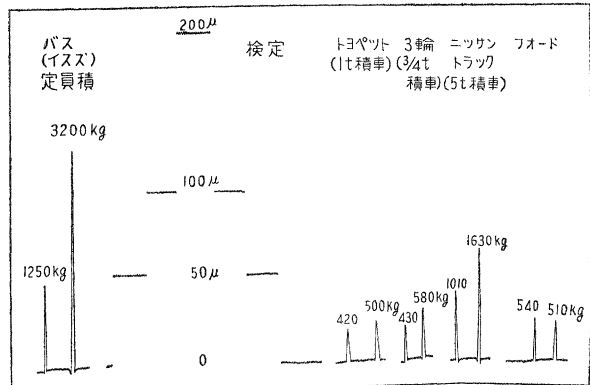


図-6 は測定記録の一例である。なお輪荷重計設置箇所は、破損舗装版を補修した部分で、厚さ4mmの鋼板で形造つた設置用ワクを埋め込み、厚さ5mmのゴムパッキングを置いて設置した(写真-1)。また輪荷重計からのリード線は、ワクの側面の孔を通り、舗装内部に埋めたパイプを抜けて測定器に導かれる。

6. 試作輪荷重計の実用性の考察

5.に述べた現場実測の経験に基づき、試作計の実用性に検討を加えてみる。今回選定された実測地点は山陽電鉄との平面交差点から南方約200mの地点にあり、そのため停止信号時に滞留していた市電その他の交通が間歇的に集中して流れてくるが多かつた。また道路幅員は市電軌道の両側に2車線と、さらにその両側に緑地帯を挿入して緩速車線があるが、測定器等を緩速車線に設置したため、測定時は緩速車も中央車線を通行せしめた。交通量は測定対象である南行交通に対して推定6000台/日以上であつた。このような状況であつたので、輪荷重計測のために車輪通過位置を指定することは、交通状態を混乱せしめる原因になるおそれがあつたが、実際には不都合を生ぜしめることなく、円滑に実測を行うことができた。これは本試作計の設計件条iii)を十分満足せしめるもので、必要に応じて任意のサンプリングを行いうることを示している。なお車輪の通過速度は、自動車を標柱を用いて荷重計上に誘導したため、10~20km/h程度に減速されていた。車輪通過速度の相違による誤差をつかむために、ある特定車の速度を種々に変えて通過せしめたところ、速度差による誤差は余り顕著でなかつた。またこのたびの輪荷重計設置の施工は十分には満足できるものでなく、舗装面と輪荷重計面との間にとこところ1~2mm程度の段違ひがあつたが、より一層設置に注意し、更に設置箇所前後の舗装面を平滑になるようにすれば、速度差による誤差は、普通街路で見られる程度の速度範囲では、一応無視しうるものと考えられ

る。

一方、設計条件 i), ii), iv) は十分満足せしめることは明らかであるから、以上を総合して、個々の輪荷重が相当高度な精度で測定されることを要求するような場合を除き、重量頻度分布の推定等設計上の資料を得る目的で使用する場合には、実用的な簡易重量計であると判定しうる。

## 7. 自動車重量頻度分布に関する考察

図-4 に見られるように、輪荷重頻度分布は3つのモードを示し、3群よりなると考えられる。最小重量の群は小型車輪荷重よりなり、0.4 t 付近にモードを有する。第2の群は1 t 付近にモードを有し、大型車の前輪荷重よりなり、第3の群は3 t 付近にモードを有し、大型車後輪荷重よりなるものと考えられる。ここで小型車とは、乗用車、小型四輪トラック、オート三輪トラック等を、大型車とは、普通ならびに大型トラック、バスおよびトレーラー等を指し、いずれも重量上分類したものである。いうまでもなく、道路橋床構造、短スパン道路橋主ケタ、コンクリート舗装版等のように輪荷重がその安全性を直接支配する場合は、上記の3群中第3の群が最も重大なものであるが、その取扱いについては後述する。

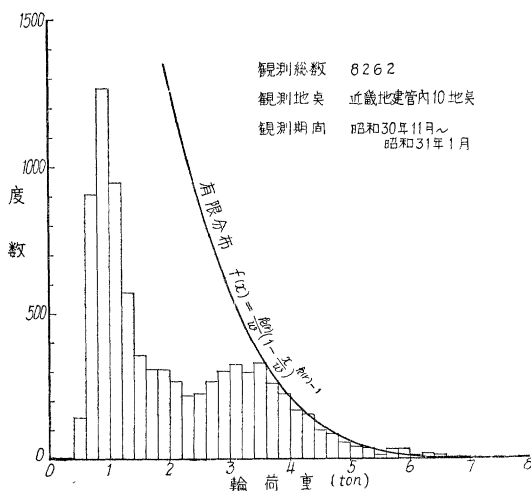
次に図-5 の総重量頻度分布は、大型車、小型車の2つの群よりなると考えられ、後者の分散は、前者のそれに比していちじるしく小さいことがわかる。参考までに大型車、小型車のそれぞれに対し、平均値：7.74 t、1.54 t、標準偏差：2.08 t、0.55 t である。また分布関数型を知るために確率紙にプロットして見ると、大型車には正規分布が、小型車には対数正規分布がよく適合するようである。大型車に対する正規分布の適合は、近畿地建による観測結果についても示される<sup>8)</sup>。構造物設計において総重量の分布が問題となるのは、多数自動車の同時載荷の場合と考えられる。従つて小型車が荷重として構造物に与える影響は、平均的にいつて大型車の1/4程度に過ぎず、大型車の影響に比してほとんど無視して差支えないが、小型車の介在によつて大型車のみの同時載荷の確率が減少せしめられることになる。すなわち単一の荷重、あるいは輪荷重のみが問題となる構造物では、小型車は重量上無視してよく、多数車の同時載荷を問題とする場合は、小型車の交通量、あるいは大型車のそれに対する比率が重要な意義を有することになる<sup>8), 9)</sup>。また同時載荷の場合で、小型車総重量を考慮するとしても、その集中的分布傾向より、すべて2 t 程度のものよりなるとして取扱つても<sup>8)</sup>、実用上十分許されるものとする。

## 8. 輪荷重頻度分布に関する考察

1) 概説 自動車荷重に対して設計される構造物においては、輪荷重の影響は総荷重のそれに比してより直接的である。例えば、道路橋主部材の設計には自動車の同時載荷が考慮され、床構造、短スパン橋主部材、および舗装版の設計には輪荷重が考慮されるべきであるが、前者においては複数個の総荷重の同時分布が重要である。従つて、総重量頻度分布は間接的意味を有するのみであるに反し、輪荷重頻度分布はそれ自身が重要である。このような観点から輪荷重頻度分布について詳論する。分布の概略はすでに7. に述べたが、実際には第3群、すなわち大型車後輪荷重の頻度分布が、構造物に対して支配的であると考えられるから、これを重点的に論ずればよいことになる。

2) 輪荷重分布関数 今回の実測結果では大型車についての資料数が十分でないので、近畿地建が貨物を積載した大型車を主対象に実測した輪荷重実測結果を利用することにする。この実測は昭和30年11月より、昭和31年1月にわたり、管内10地点において、各地点3日間ずつ行われたもので、図-7 はそのヒストグラムである。各観測地点は交通特性的には都市間連絡路線にあるが、図-7 に基づいて他の性格を有する路線あるいは地点に対する輪荷重頻度分布を推定する方法を考えてみる。7. で述べたように、大型車と小型車とでは輪荷重の面からも本質的な相違がある。従つて路線の性格を反映する要素の一つである大型車の相対交通量が与えられれば、大型車、小型車の頻度分布を、それぞれの相対交通量を加味して重合することによつて、路線の性格を反映した輪荷重頻度分

図-7 大型車輪荷重ヒストグラム (近畿地建)



布が推定されることになる。ここではこの考え方を分布関数のパラメーター推定に用いた。ただしここでは、大型車輪荷重分布は場所的に変化しないことを前提としている。図-4より、輪荷重頻度分布は指数分布型になるようであるが、自動車の機能上、製造技術上等からすれば、輪荷重にはある上限値を考えるのが適当であり、この意味から両側有限の分布型を選ぶべきである。この上限値として、現存自動車の最大輪荷重を用いることもできるが、ここでは軸重16t程度を限界とみて、その1/2の8tを上限値とした。

輪荷重  $x$  の上限値を  $w$ 、分布関数、確率密度関数をそれぞれ  $F(x)$ 、 $f(x)$  とし、将来輪荷重の確率論的取扱いをする場合の便も考慮して、 $F(x)$  を次のような有限分布で表わしてみた。

$$F(x) = 1 - \left(1 - \frac{x}{w}\right)^{k(r)}, \quad 0 \leq x \leq w \dots\dots\dots (3)$$

これは明らかに分布関数としての条件を満たしている。従つて、

$$f(x) = \frac{k(r)}{w} \left(1 - \frac{x}{w}\right)^{k(r)-1} \dots\dots\dots (4)$$

ここに  $k(r)$  はパラメーターで、大型車相対交通量  $r (0 \leq r \leq 1)$  に左右されるものとする。式(3)、(4)で、道路の交通特性を含んだ輪荷重頻度分布が表わされることになる。

**3) パラメーター  $k(r)$  の推定** パラメーターの推定には種々の方法があげられるが、それらの詳細は、確率分布式(3)あるいは(4)の統計的性状とともに、稿を改めて述べることにして<sup>10)</sup>、ここでは実用的方法、および近似的方法について述べる。

**(a) 確率紙による方法** 正規分布の適合度の判定に用いる確率紙による方法と同様に、式(3)に対する確率紙を作成しておけば、これを用いてただちにパラメーターを推定することができる。

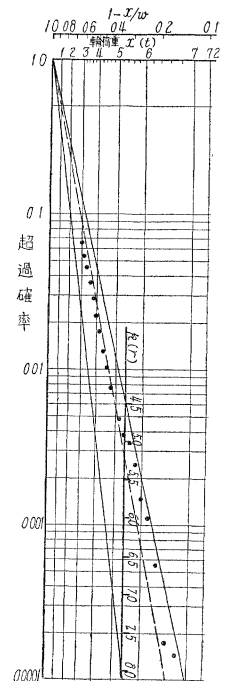
式(3)より超過確率  $1-F(x)$  は、対数をとると

$$\log\{1-F(x)\} = k(r) \log\left(1 - \frac{x}{w}\right) \dots\dots\dots (3')$$

となる。すなわち、 $1-F(x)$  と  $1-(x/w)$  とは両対数グラフ上で直線関係で表わされ、その傾斜より  $k(r)$  を推定しうる。また式(3')より明らかなように、ある一定間隔の  $k(r)$  値に対して描かれる各直線は、 $\log\{1-F(x)\}$  軸に平行な直線を等間隔に切ることになる。

図-8は式(3')に対する確率紙を示したものである。実測資料より各輪荷重に対する超過確率を求めて図-8上にプロットし、それに当てはめられるべき直線が  $k(r)$  尺を切る点から  $k(r)$  が定まる。図中の・印は、近畿地建の資料より修正して得られた輪荷重、超過確率関係をプロットしたものであり、これより  $k(r)$  は約5.3となる。また各点はかなりよく直線上につており、式(3)の適合度は良好であるといえよう。

図-8 確率紙による  $k(r)$  の推定



**(b) 交通調査結果を利用する方法** 既存道路において輪荷重実測が不可能な場合、あるいは輪荷重頻度分布を想定交通状態において推定したいような場合には、輪荷重実測資料によらないで分布を推定する必要にせまられる。この場合の1つの近似的な推定法は次の通りである。大型車輪荷重中、相当大なる輪荷重  $x_0$  以上の生起頻度を  $\xi$  とし、交通量を1車線当り  $n/2$  とすると、

$$\xi/nr \approx C \quad (C: \text{定数}) \dots\dots\dots (5)$$

と考えられ、一方

$$\xi = n\{1-F(x_0)\} \dots\dots\dots (6)$$

であるから、式(3)、(5)および(6)より

$$k(r) = \frac{\log r + \log C}{\log\left(1 - \frac{x_0}{w}\right)} \dots\dots\dots (7)$$

図-7の資料によると  $x_0 = 4t$  とした場合は  $\xi = 766$  となり、この数は測定対象からはずされた軽車種を含めたとしてもほとんど変化ないと考えられるから、輪荷重測定時間内の交通量から概算した輪荷重総数 34 236 に対する比も不変と考えられ、結局

$$P_r\{x \geq 4t\} = 1 - F(x_0 = 4t) = 766/34\,236 = 0.022$$

となる。一方交通調査より  $r \approx 0.5$  と見られ、式(5)、(6)より  $C = 0.044$ 、従つて

$$k(r) = \frac{|\log r| + 1.356\,55}{0.301\,03} \dots\dots\dots (7')$$

$r=0.5$  とした場合には  $k(0.5)=5.5$  となり、前項 (a) の方法で求めた値とよく一致するとみてよい。そこでこの値を用い、更に  $w=8t$  として式 (4) による計算結果を図示したものが 図-7 の曲線で、ヒストグラムとの一致は重量大なる部分においてきわめて満足すべきものがある。また小重量部分での不一致は、主として軽車種の除外によるものである。なお、参考までに、最尤法<sup>11)</sup>による  $k(r)$  の最尤推定値は 5.586 であり、近似法で得られる値とほとんどかわらぬ。

また 図-4 の曲線は、 $r=0.262$  なる同資料に対する値より計算したもので、 $w>3t$  の範囲で実測とかなりよく合う。 $w<3t$  の範囲での不一致がいかなる不都合を有するか検討して見ると、例えば普通のコンクリートよりなる厚さ 18 cm の舗装版が、3 t の輪荷重を受ける場合の曲げ応力は、普通路盤状態で約 16 kg/cm<sup>2</sup> となる。これはコンクリートの曲げ疲労試験結果<sup>12)</sup>によると、10<sup>8</sup> 回程度の耐久回数に対する応力となり、3 t 以下の輪荷重は疲労現象を考へてもほとんど影響がなく、従つて上記の不一致は不都合を生じないと考えられる。しかしこの近似法による  $k(r)$  の推定は、 $r$  が 0.5 付近の値をとる場合に用いるとかなり好結果が期待されるが、それよりも相当はなれた値の  $r$  の場合には、信頼度はかなり落ちるとみてよい。

結局、式 (3), (4) は、交通特性の異なる道路における輪荷重に関する諸問題を解く際に使用して、実用上十分であると結論しえよう。なお、特に重量大なる輪荷重範囲でのあてはまりを希望する場合には、式 (4) で示される分布の、ある相当大なる輪荷重以上の部分母集団を考へ、それへのあてはめを試みる方がよい。これについては次の機会にゆずる。

4) 日最大輪荷重の確率分布  $x$  が日輪荷重数  $n$  中の最大値である確率密度関数を  $\phi_n(x)$ 、分布関数を  $\Phi_n(x)$  とすると、

$$\phi_n(x) = {}_n C_1 f(x) F^{n-1}(x) \dots \dots \dots (8)$$

$$\Phi_n(x) = F^n(x) \dots \dots \dots (9)$$

式 (3), (9) より

$$\Phi_n(x) = \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{x}{w} \right)^{k(r)} \right\}^n \dots \dots \dots (10)$$

ここで  $u_n$  を

$$F(u_n) = 1 - 1/n \dots \dots \dots (11)$$

で定義する<sup>13)</sup>と、これを用いて式 (10) は

$$\Phi_n(x) = \left\{ 1 - \frac{1}{n} \left( \frac{1 - \frac{x}{w}}{1 - \frac{u_n}{w}} \right)^{k(r)} \right\}^n$$

となり、この右辺は  $n$  が大きい場合は漸近的に次のようになる。

$$= \exp \left\{ - \left( \frac{1 - \frac{x}{w}}{1 - \frac{u_n}{w}} \right)^{k(r)} \right\} \dots \dots \dots (12)$$

これは Weibull 型の極値分布関数で、この分布の 2, 3 の性質をあげると、 $\phi_n(x)$  のモード  $\tilde{x}$  は  $\phi''=0$  より

$$\tilde{x} = w - (w - u_n) \left\{ 1 - \frac{1}{k(r)} \right\}^{1/k(r)} \dots \dots \dots (13)$$

また  $\Phi(u_n) = 1/e = 0.36788$  となり、 $u_n$  に対する非超過確率は  $n$  の値にかかわらず定数となる。 $u_n$  は式 (11) より

$$u_n = w \left\{ 1 - \left( \frac{1}{n} \right)^{1/k(r)} \right\} \dots \dots \dots (14)$$

で与えられる。 $r, n$  の種々の値に対する  $\tilde{x}, u_n$  を表-1 に示した。

次に  $T_n(x) = 1/\{1 - \Phi_n(x)\} \dots \dots \dots (15)$

で定義される  $T_n(x)$  は、 $x$  以上の日最大輪荷重が生起する再起期間 (日単位) を表わすことになる。式 (12) より  $\phi_n(x)$  を求めると、

$$\phi_n(x) = \frac{k(r)}{w - u_n} \left( \frac{w - x}{w - u_n} \right)^{k(r)-1} \exp \left\{ - \left( \frac{w - x}{w - u_n} \right)^{k(r)} \right\} \dots (16)$$

$\phi_n(x)$  の  $n$  に対する依存性を見るために、 $r=0.5$  の場合に

表-1  $\tilde{x}$  および  $u_n$

		$r$				
		0.1	0.3	0.5	0.7	0.9
$\tilde{x}(t)$	$n$					
	500	4.446	5.125	5.505	5.780	5.999
	1000	4.747	5.427	5.800	6.066	6.276
	2000	5.023	5.697	6.060	6.316	6.514
	4000	5.275	5.939	6.290	6.533	6.720
	6000	5.413	6.069	6.411	6.647	6.834
	8000	5.506	6.156	6.492	6.722	6.897
	10000	5.576	6.221	6.552	6.778	6.948
	12000	5.632	6.272	6.599	6.821	6.989
	$u_n(t)$	500	4.383	5.043	5.412	5.680
1000		4.690	5.354	5.718	5.979	6.184
2000		4.970	5.632	5.988	6.240	6.435
4000		5.227	5.881	6.226	6.467	6.652
6000		5.367	6.014	6.352	6.585	6.772
8000		5.462	6.104	6.436	6.664	6.838
10000		5.533	6.170	6.498	6.722	6.892
12000		5.590	6.223	6.547	6.768	6.935

ついて、 $n=500\sim 12000$  に対する計算結果を図示すれば 図-9 の通りである。

9. 設計輪荷重

輪荷重に対して設計される構造物を大別して、疲労現象を考慮する必要のある場合と、そうでない場合となる。一般土木構造物におけるように、耐用年限が数十年となる場合は、当然材料の疲労現象を考慮すべきであるが、構造物補修に伴なう一時的な仮構造物、あるいは一時的使用目的のコンクリート舗装版等、ごく短期間の使用に供されるものでは、その期間内に受けると思像される輪荷重数は一般に少数であり、設計荷重としては静的破壊（または破損）を対象に定められるものの方が支配的である。疲労を考慮する場合については次の機会に譲り、ここでは静的な場合について述べる。

設計荷重として考えられるような、頻繁には通過しない重輪荷重についての知識は、調査資料の不足のため一般には十分でなく、従つて設計荷重の決定には主観的要素が支配的となり、経済的な安全設計を期待することが困難となる。

設計輪荷重決定に際し、8.(4) に述べた極値分布は、一つの合理的な根拠を与えるものと考えられる。設計条件の一つとして、その構造物の利用期間が与えられると、式(15)よりその期間内に1回はそれを超過すると期待される日最大輪荷重が定められる。図-10 は  $x \sim T_n(x)$  関係を  $r=0.5$  の場合につき例示したもので、例えば  $n=4000$ 、 $T_n(x) = 1$  年 (=365日) のときは  $x=7.39$  t となる。このようにすれば、 $n, r$  を与えれば所要使用期間に対して1つの限界荷重が定まり、これを設計荷重として利用すればよく、設計荷重決定の根拠がきわめて明確である。また  $n, r$  を推定により定める場合もあるが、この推定に伴なう設計荷重の誤差は、設計荷重を直接経験的に定める場合に比して、はるかに安定したものであるということが出来る。

10. 結 語

本文ではまず試作した輪荷重計について、構造、原理、室内検定について述べ、次に神戸市内において実際に使用した結果より判定して、試作の目的に対して十分な機能を発揮し、従つて十分実用性のあることを述べた。またこれによる実測結果と、近畿地建による輪荷重実測結果の両者より、輪荷重頻度分布について論じ、輪荷重を受ける構造物に対して設計荷重の決定、安全性の検討等各種取扱いを行う上で便利な形を有する実用的な輪荷重分布関数を、特に重輪荷重範囲での適合に重点を置いて提案した。提案式は両側に有限で、大型車の相対交通量で定まるパラメーター  $k(r)$  を含み、道路の交通特性を加味したものとみてよく、交通調査のみにより輪荷重頻度分布を近似的に推定することも可能である。

この輪荷重分布関数を用いて、日最大輪荷重の生起確率を説明する極値分布を導き、これによつて、ごく短期間の利用目的に供される構造物の設計荷重決定の基礎が与えられることを示した。

パラメーター  $k(r)$  の近似的推定にあつては、大型車輪荷重頻度分布が各地点でほぼ同等であるとの仮定を設けている。この仮定は、必ずしも常にいえるものではないが、都市間を連絡する主要幹線等のように、本文で

図-9  $\phi_n(x)$

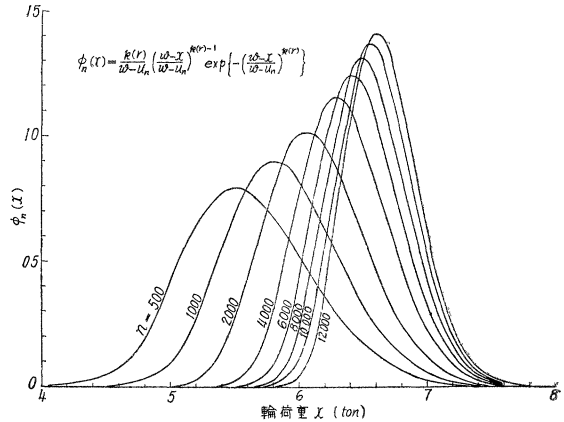
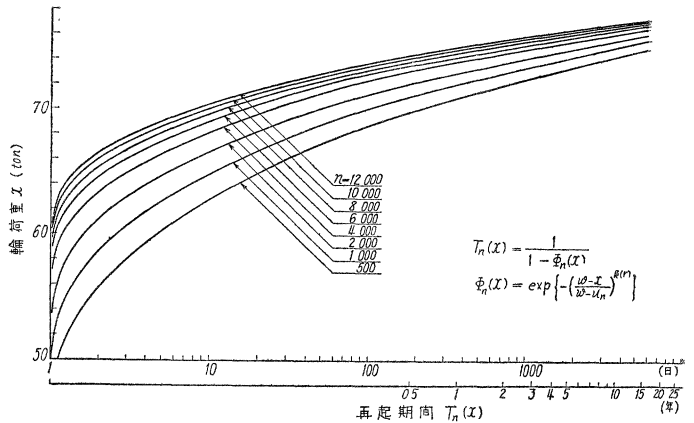


図-10 再起期間





用いた資料が得られた地点と類似の交通特性を有する場合、あるいは市街地でも大型車交通量の大きな場合等については、この仮定は妥当であると考えられ、それらに付帯する道路構造物の設計にあたり、あるいは既設構造物ではその安全性の検討を行うに際して、本研究は荷重の作用実態の推定に有力な手段を提供するものと思う。なお、輪荷重分布関数、並びにそのパラメーター推定に関する詳論は、次の機会にゆずることにした。

最後に本研究を行うにあたり、絶えず御指導御鞭撻を賜わつた京大教授 小西一郎、岩井重久両博士、神大教授 畑中元弘博士、実測に際し、種々御便宜を与えられた神戸市建設局土木部道路課の各位に、深謝の意を表する次第である。

#### 参考文献その他

- 1) 第1回日本道路会議論文集(昭28)
- 2) 第2回日本道路会議論文集(昭29)
- 3) 上記2) pp. 622~640
- 4) 上保庄市:自動車荷重の調査について,第3回日本道路会議論文集,pp.696~700(昭31)
- 5) 樽井常忠:コンクリート道路,コンクリート・パンフレット,15号,p.5(昭33,2月)
- 6) W.W. Siffer, B.C. Blensly: Weighing Trucks in Motion and the Use of Electronic Scales for Research, Traffic Engg. (Feb 1956) 土木学会誌,41巻,6号(昭31,6月)に抄録
- 7) O.K. Normann, R.C. Hopkins: Weighing Vehicles in Motion, Public Road, Vol. 27, No. 1 (April 1952)
- 8) A. Nishimura: On the Vehicle Loading in Congested Conditions, Memoirs of Fac. Engg., Kobe Univ., No.5(1958)
- 9) 西村昭:道路橋の安全性に及ぼす自動車荷重の影響,土木学会論文集,43号(昭32,2月)
- 10) 西村昭:道路橋の荷重および応力のほらつきについて(昭34,6月,第14回土木学会年次学術講演会にて発表)
- 11) 例えば,東京工大統計工学研究会:統計工学ハンドブック,技報堂 p.78(昭28,10月)
- 12) 近藤泰夫他:舗装用コンクリートの疲れ強度,第1回日本道路会議論文集 pp.120~122(昭28,3月)
- 13)  $u_n$  は期待最大値と呼ばれ,極値理論では重要なパラメーターの一つのである。  
E.J. Gumbel: Statistical Theory of Extreme Values and Some Practical Applications, NBS AMS 33, US Government Printing Office, Washington, D.C. (1954) 参照

(昭.33.11.22)