期と比較検討すべきであるが、未だ静的加振試験を実施する機会がないで、これについては機を得て報告したい。

6. 結 論

走行中の振動測定結果より車両の上下固有振動周期を求める一方法として、波形の正弦波に近いところにのみ注目し、その周期に対する頻度分布よりその平均値を求め、その平均値を固有振動周期と考えると走行加速度特性で生ずる共振現象をよく説明することができる。これについては更に検討の余地はあり、更に固有振動周期の性質についても吟味する必要がある。

なおここに例として引用した資料は京阪神急行電鉄会社と当所との電車の走行中の振動に関する共同研究の一部で、ここに発表をお許しいただいた同電鉄会社

に謝意を表する次第である。

注：—

- (1) 昭和 24 年 10 月 17 日 吳地方臨時大會講演會において講演、原稿受付 昭和 25 年 5 月 27 日。
- (2) 正員、新扶桑金屬工業會社製鋼所。
- (3) 永島菊三郎、四輪ボギー車の自己振動周期について、機械學會誌 37(1934), 290. 永島菊三郎、小田尚輝：同第 2 報、機械學會誌、51(1946) 273.
- (4) 實驗結果の一部は關西支部第 15 講演會 (昭 23, 3) において發表、扶桑金屬, 3 (1951), 27.
- (5) (3)においても半經驗的な定數を導入して固有振動周期を求めている。
- (6) 鐵道技術研究所松平精技官の實驗 (昭 22)。
- (7) 鐵道車両の振動測定結果の取りあつかい方、第 2 報参照。
- (8) たとえば Geiger : Mechanische Schwingslehre, (1927)。

625.2.034

鐵 道 車 両 の 振 動 測 定 結 果 の 取 り 扱 い 方⁽¹⁾

(第 2 報 走 行 加 速 度 特 性 の 求 め 方)

小 田 尚 輝⁽²⁾

On the Treatment of the Vibration Charts of Railroad Vehickles

Part 2. Research for the Characteristics of Acceleration to Running Speed of Cars

by Naoteru ODA

One of the most important results of running test of railway cars is that amplitude or acceleration of vibration ξ has complete reproducibility and is a function of the running speed V , the character of the car K and the bed parameter x ; that is, $\xi=f(V, K, x)$. Treating the vibration charts, we cannot infer the vibration characteristics of cars, such as the relation between ξ and V , by means of the incomplete scatter diagrams, which have been used as a conventional method. So the writer plots the complete scatter diagrams of ξ to V by all the waves of vibration charts, and obtaining the curves of regression we can consider the curves as the running characteristics of cars. Requiring the curves of cars by the above method, the writer find out that the resonance speeds are explained well by the natural periods obtained by means of Part 1.

1. 緒 言

鐵道車両においてその振動の様子が走行速度と共にいかに変化するかは實際の問題として重要なこととなる。車両のこの特性をここでは走行振動特性ということにする。もちろん走行振動特性については車両の振動の振幅または加速度、および振動数が問題となるので、これらについてはそれぞれ走行振幅特性、走行加速度特性、走行周波数特性ということにしよう。本報ではその中の走行加速度特性を問題とすることにする⁽³⁾。

走行加速度特性については既に幾多の資料がある⁽⁴⁾が、これらはいずれも統計学的には不完全なる散布図

より判定するもので、完全な走行加速度特性を示すものとは思われない。我々も最初はこのような従来の方法で測定結果の整理を行っていたのであるが⁽⁵⁾、種々の走行振動試験の結果を整理するに当たってこれでは不完全なことがわかった。そこで完全なる散布図を作り、これを簡単な統計的方法によって整理したところ妥当と思われる結果が得られた。ここに従来の方法による整理方法からこの方法に進んだ経過、この方法によって整理した例、およびこの方法の特長を述べ御批判をこいいたいと思う。

2. 不完全なる散布図

筆者は走行中に電車の振動を測定する場合、チャー

トに場所を同時記録することになっている。それには多くの場合電車線の電柱(間隔は電鉄会社によって異なるが40~50 m)を通過する際にマークを入れることにしている。これは場所と振動の関係を明確にする目的である。このような記録から走行加速度特性を求めに当たってまず試みたのは、電柱一本の間隔を一つの区域と考え、そこで生じている最大の加速度とそのときの走行速度との関係を調べるということであった。そのような関係をプロットして見ると第1図のごとく

第1図 (a) 不完全なる散布図(上下動; 50kg/m, 20m レール)

第1図 (b) 不完全なる散布図(上下動; 50kg/m, 20m レール)

非常に点の散乱したものが得られた。従来は大体このようにチャートを一一定の間隔に区切りそれからある考えのもとに測定点対一つとる方法によったものが多く⁽⁴⁾、これは統計学的には散布図としても不完全なものといはねばならない。この方法によって約12~13種類の車両の振動測定結果を整理して見ると、いずれも第1図のように散乱した図が得られた。このような

図によって同一の区間から得られた結果から各車両の大体の傾向が見られぬこともなかった⁽⁵⁾。

しかしもちろんこのような資料からはなんら定量的なものも得られず、かつこのように点が散乱する理由も不明であった。そこで第1図のような結果において、同一の速度で加速度の最も大きく出ている地点を調べると、これらの点は上下動については踏切、橋りょうの出入口、こう配の出入口などで軌道の不整なる点であること、また左右動については曲線の出入口などであることがわかった。かつこれらの地点は数種の車両について共通であることもわかった。また逆に加速度の小さく出る地点も各車両に共通である。したがって車両の振動はそれが通過する地点の条件に支配されることが明瞭となり、散布図の点が散乱する理由は軌道条件の不規則性によるものとわかった。

ところが更に車両振動の特性として顕著なことがわかった。それは車両振動は完全に再現性のあることである。すなわち同一の車両で同一の区間を走行した場合の振動の記録は、走行速度がほぼ同一のときは完全に重なる⁽⁶⁾。このことは振動計による測定結果⁽⁷⁾についても、また加速度計による測定結果についてもいえる。このことは車両振動は車両の振動特性 K 、走行速度 V 、および軌道条件を表わすパラメータ x (road bed parameter と名付けよう)のかん数であること、すなわち $\xi=f(K, V, x)$ なることを示している。

したがってある車両のある区間における記録を整理して走行加速度特性を求める場合には x の影響がその区間の平均として入るような方法をとらねばならぬ。もちろんこれは一定の区間についていえることであ

り、ある営業線のある区間は37 kg/m レール、あるいは50 kg/m レールと区間によって軌道の条件が変わっている場合はもちろんのこと、同一のレールの条件でも区間が異なればその区間によって別々に取り扱わねばならない。したがって経営者が全然違うような数種の営業線では当然別々に考えねばならぬ。

もちろん車両振動が再現性をいうことより、特

第1図 (c) 上下動; 37kg/m, 10m レール

第1図 (e) 左右動; 50kg/m, 20m レール

第1図 (f) 左右動; 37kg/m, 10m レール

第1図 (d) 左右動; 50kg/m, 20m レール

にある特定の地点で生ずる振動を走行速度を変化して数多く (たとえば 5 km/h ごとに) 測定すれば, その車両のその地点における走行特性を知ることができる。しかしそのようなことは実際に困難なこともあり, またこの求め方ではその特性はその一定地点に限られた資料である。

3. 統計的整理方法

以上のごとく車両振動は3変数のかん数 $\xi = f(K, V, x)$ で与えられる。したがって特定の車両では2変数のかん数 $\xi = f_K(V, x)$ となる。 x の影響は上に述べたように不規則に入るから, これから V と ξ の関係を求めることは結局 V に対する ξ の回帰曲線を求

めること、すなわち x の影響が平均とじて入る意味における $\xi = f_K(V, \bar{x})$ を求めることに帰着する。そこで振動のチャートに記録された波形全部についての完全な散布図を求め⁽⁸⁾、これより列分布を求める。このそれぞれの平均値より回帰曲線を求め、これが走行加速度特性を表わすものとする。

この方法を具体的な例によって説明しよう。その資料は京阪神急行電鉄と共同研究として行った実験の例である。ここには試験区間として約 5 km の区間を選び、この区間を異なる速度で 3~4 往復した記録を用いる。その測定によって得られた波形全部について加速度と走行速度との関係を求め、これを第 1 表のごとく走行速度と振動加速度によって分類する。このように分類された資料に対して回帰曲線を求めることは、統計学でよく行われていることである。第 1 表にはこの意味で、一定の走行速度範囲の列分布に対する平均値および標準偏差も同時に記入してある。

第 1 表は第 1 図 (a) の不完全な散布図と同一の資料を上記に求めた統計的方法で整理する方法を示したものである。同様の取り扱いを第 1 図 (c), (d), (f) と同一の資料について行い、その結果得られた走行加速度特性は一括して第 1 報第 5 図に示したが、同一の車両で重量 20 kg/m, 1 本 20 m のレールの区間と、37 kg/m, 10 m レールの区間を走行した場合の上下動および左右動に対する走行加速度特性を同時に示している。これによって車両の走行加速度特性はレールの条件によって著しい差のあることに気付く。ここで 10 m レールの場合に約 72 km/h で生じている上下動の極大点は、車両の固有振動とレールの継ぎ目による衝撃的催振力の共振と考えるとよく説明できることは第 1 報で述べた通りである。すなわちこの車両の上下固有振動周期は第 1 報の方法で 0.48 sec となり、レール 1 本をこの車が通過する速度は 10 m レールで約 75 km/h, 20 m レールでは約 150 km/h となる。第 1 報には更にこれと同様に説明のできる例を示しておいた。

更に第 1 報第 5 図において注目す

べきことは、上下動は 20 m レールの場合に走行速度に対し直線的に増加し、また左右動は 50 kg/m, 20 m レール, 37 kg/m, 10 m レールの両方の場合共直線的に増加していることである。この上下動が走行速度とともに直線的に増加することは従来考えられたことと異なっている。すなわち従来は上下動は走行速度の二乗に比例して増大するもの⁽⁹⁾とされていた。この直線性に関する統計学的検討は別に行うことにする。

ここに述べたのはこの方法によって求めた走行加速度特性で見られる極大値が、第 1 報の方法による固有振動周期とレールの継ぎ目による衝撃的催振力との共振として説明できる一例に過ぎないが、これと同様のことを 10 数種の車両について行ってみると、全く同様な結果が得られる。このことは x の影響がその試験区間の平均として入る意味においての走行加速度特性 $\xi = f_K(V, \bar{x})$ が車両の振動特性を表わすものとし

第 2 図 (a) 同一の区間における数種の車両の走行特性の比較

第 2 図 (b)

て妥当であるこの一つの証明と考えてよいと思う。

更にこの方法によると、一定の区間において数種の車両の特性を比較すること、すなわち $\xi_1=f_{K_1}(V,\bar{x})$, $\xi_2=f_{K_2}(V,\bar{x})$, …… を比較することが定量的に明瞭にできることがわかる。第2図は第1報第2図の 50 kg/m, 20 m レールの区間において数種の電車を試験した結果であって、明らかに振動加速度特性の差が見られる。

更にこの統計的整理方法の大なる特長は、このようにして得られた走行加速度特性の厳密な統計学的吟味のできることである。たとえば上に述べたような走行速度と振動加速度の直線性の検定が可能であり、また車両のある因子を変化した場合の走行加速度特性の差の有意性の検定が容易にできる⁽¹⁰⁾。

4. 不完全なる散布図による方法の検討

ここでふり返って不完全なる散布図による方法を検討して見よう。

不完全なる散布図による方法とは既に述べたごとく、振動の記録を一定の間隔で区切り、そこからある考えのもとに一つの測定点をとる方法である。この方法によるときは、この記録の区切り方が異なれば得られた結果も当然異なる。たとえば走行距離で 100 m ごとに区切った場合と、50 m ごとに区切った場合とで全く異なる結果が得られる。すなわちその結果はその標本のとり方、すなわちこれは主観によって左右されるといはねばならない。

これに対しこの統計的方法によるときは、この不完全なる散布図の場合のごとく標本抽出に主観性の入る余地が少くなる。したがってこの方法は従来の方法にくらべ、より普遍性のある方法と言わねばならない。

またこの不完全なる散布図より車両の共振速度を求めようとする場合、測定点の数の多い速度であたかも極大が生じているような錯覚がおこる。たとえば第1図(a),(b),(c)の場合は同一の車両で軌道条件の異なる例であるが、これから極大が生じていると思われる速度を読むと第2表のごとくなる。これは統計的に整理し

第2表 不完全なる散布図にて生ずる
加速度の極大 (上下動)

試験区間	軌道	共振速度 (km/h)				備考
西宮—塚口 (上り)	50 kg/m 20 m	35	60	75	95	第1図 (a)
塚口—西宮 (下り)	50, 20		60	75	90	" (b)
西宮—岡本 (下り)	37, 10	25	50	70~75	85 90~95	" (c)

た第2図と比較するときには明らかに大部分誤りであることがわかる。ただ 10 m レールの場合(c)の 70~75

km/h における極大は一致している。従来このような不完全なる散布図から割に妥当と思われる共振速度が得られたこともあるのは、このようにいわば偶然的に一致した場合であろう。

5. 軌道の影響について

車両の走行中の振動記録結果から軌道の良否を定量的に求めることができるであろうか。すなわち $\xi=f(K,V,x)$ によって x の影響をいかに考えたらいいであろうか。

一般に軌道の影響という問題にはたとえば 3. に述べた 50 kg/m, 20 m レールおよび 37 kg/m, 10 m レールというようないわば巨視的なこともあるが、同時に特にある地点たとえば踏切、橋りょうなどというようなところは、普通の標準の軌道条件のところに比しどの程度悪いかという、いわば微視的なことも含まれる。次にこの微視的な問題に対して定量的な結論が得られるであろうかを考えよう。

この問題は保線にとってはぜひ必要な資料と思われるので次のような方法を試みた。それはまずある営業線において標準軌道と思われる区間を試験区間として 2. の方法で走行加速度特性を求めておく。次に今たとえばある踏切を走行速度 V で通過し α の振動加速度が生じたとする。この場合標準区間の V における振動加速度 $\bar{\alpha}$ をとすると、比 $\alpha/\bar{\alpha}$ をもってその踏切のよさを表わそうというのである。

実際にある営業線においてこの方法によって軌道の各点の良否を定量的に求めてみたところ、その結果はよく現場の経験と一致した。したがって、一応この方法によって軌道の各点の良否を定量的に求めることにした。

6. 結 論

鉄道車両の走行中の振動 ξ は、車両の振動特性 K 、走行速度 V 、および軌道条件を表わすパラメータ (road bed paraneter) x のかん数、すなわち $\xi=f(K,V,x)$ で与えられる。特定の車両について ξ との関係、すなわち走行加速度特性は従来の不完全なる散布図よりする方法では十分な結果が得られない。そこで記録された波形全部についての散布図より V に対する ξ の回帰曲線 $\xi=f_K(V,\bar{x})$ を求め、これが走行加速度特性を表わすものと考え、より普遍的な結果が得られた。この方法を 10 数種の車両について実施してみると、上下動の共振速度については第1報の方法で求めた固有振動周期でよく説明される。さらにこの統計的資料を基礎にして軌道の良否を定量的に示すことを試みた。

なおここに引用した資料は京阪神急行電鉄会社と当所との走行中の電車の振動に関する研究の一部で、ここに発表をお許しいただいたことについて同電鉄会社に謝意を表する。またこの研究について種々御指導をいただいた東京大学工学部森口繁一先生および当所技師長永島菊三郎博士に謝意を表する次第である。

注：一

- (1) 昭和 24 年 10 月 17 日 吳地方臨時大會講演會において講演、
原稿受付 昭和 25 年 5 月 27 日。
- (2) 正員、新扶桑金屬工業會社。
- (3) 本報の實驗結果は梅北式加速度計によつて測定したもの。
- (4) たとえば武藏倉治：鐵道業務資料、17 卷 4 號 (昭 4-4)。

- (5) 永島菊三郎、小田尚輝：機械學會誌、51 (1946) 276 頁もこの方法によつてゐる。
- (6) 曲線路で一つの例外が生じたが原因は不明である。
- (7) 振動計としては今村式振動計のダンパーを油式に改良したものを用了。
- (8) もちろん使用する計器の特性を考慮して波形の取舍をしなければならぬ。たとえば加速度計ではその固有振動周期の 2 倍程度以下の周期の波はとらないというような注意をする。
- (9) 官房研究所第二科大井分室：鐵道業務資料、18 卷 23 號、(昭 5-7)。
- (10) たとえば永島菊三郎、小田尚輝：車兩振動に及ぼす路面こう配の影響、昭和 24 年 10 月 16 日、關西工學連合講演會において發表したもの (本論文集、182 頁) など。

625.2.034

鐵道車兩の振動測定結果の取り扱い方⁽¹⁾

(第3報 走行加速度特性の検討)

小 田 尚 輝⁽²⁾

On the Treatment of the Vibration Charts of Railroad Vehicles

Part 3. Discussion of the Characteristics of Acceleration to Running Speed

by Naoteru ODA

A characteristics of acceleration of running speed, which was reported as an example in Part 2, is discussed statistically. The characteristics manifest that acceleration of both vertical and transversal vibrations increase linearly with running speed, on the contrary to the conventional theory and experimental data.

The writer requires the correlation ratios and correlation coefficients between acceleration and running speed. It is proved that these are significant, and that the linearity of the correlations is not abandoned.

1. 緒 言

鐵道車兩の走行中の振動 ξ は車兩の振動特性 K 、走行速度 V および軌道の条件 x (road bed parameter) のかん数、すなわち $\xi=f(K, V, x)$ で与えられる。ここで一定の車兩の走行特性を表わすものとして $\xi=f_K(V, x)$ を求め、これをもつて同一の軌道条件における数種の車兩の比較、あるいは同一の車兩の軌道条件の相違による振動の比較などの種々の議論ができる。このことについては既に第 2 報で述べたところである⁽³⁾。

本報においては第 2 報で報告した例についてさらに統計学的な吟味を行った。すなわち走行速度と振動加速度の相関関係に対して、相関比および相関係数を求め、その有意性の検討および回帰曲線の直線性を吟味した。この最後の問題、すなわち回帰曲線の直線性の吟味は従来よくいわれていた車兩振動は走行速度の二

乗に比例して増大するということ⁽⁴⁾に関連のあることである。

2. 相関比および相関係数

ここに用いた資料は京阪神急行電鉄会社と共同研究として行った走行振動試験の一部であつて、c#942 M (電動車、台車は当所昭和 10 年製の H 5(ロ))で行つたものである。これについては第 2 報で報告した通りであるが、この電車の西宮一塚口間 (50 kg/m, 20 m レール) と西宮一岡本間 (37 kg/m, 10 m レール) の走行加速度特性は第 1 図に示す通りである。

第 1 図を見ると 37 kg/m, 10 m レールの上下動を除いて、走行加速度特性は走行速度 50 km/h 以上ではほぼ直線的である⁽⁵⁾。いまこの直線の部分について走行速度に対する振動加速度の相関比および相関係数を求めよう。

走行加速度特性を求める場合に分類された資料とし