

軌道の力学的性質に関する二、三の実験的研究

正員 工学博士 小林 勇*

SOME EXPERIMENTAL STUDIES ON THE DYNAMIC PROPERTY
OF RAILWAY TRACK

(Trans. of JSCE, No.22, Feb. 1955)

By Dr. Eng., Isamu Kobayashi, C.E. Member

Synopsis This paper describes some experimental studies on the dynamic property of railway track, especially in electric car operation. The measurements were made on the stresses and depressions of rail and tie, the pressures on tie and ballast, and the vibration of ballast, under the large variations of car velocity. From these measuring results, the author investigated the several fundamental facts in the track calculation, such as the behaviours of track parts due to car load and the effects of car velocity to them.

要 旨 本研究は鉄道軌道、特に電車運転軌道において、これを構成する各部の力学的性質について実験的研究を行つたものである。すなわちレール、枕木の応力及び沈下、枕木面及び道床面における圧力、道床の振動などを広範囲の車両速度の変化のもとに測定し、これによつて軌道各部の力学的性状並びにそれらに対する車両速度の影響など、軌道計算における基礎的事項について実験的究明を行つた。

目 次

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> I. 緒 言 II. 軌道実験装置 <ul style="list-style-type: none"> 1. 概 要 2. 応力測定装置 3. レール圧力測定装置 4. 枕木沈下測定装置 5. 道床圧力測定装置 6. 道床振動測定装置 III. 軌道実験の概要 <ul style="list-style-type: none"> 1. 測定事項 2. 実験軌道 3. 実験用電車 4. 実験概要 5. 測定記録 IV. レール応力に関する実験 <ul style="list-style-type: none"> 1. 概 説 2. 速度衝撃 3. レール底曲げ応力 4. レール断面方向応力、特に首下部応力 | <ul style="list-style-type: none"> V. 枕木強度に関する実験 <ul style="list-style-type: none"> 1. 概 要 2. レール圧力と枕木沈下 3. 枕木の曲げ応力 4. 室内実験 VI. 軌道支承体係数に関する実験 <ul style="list-style-type: none"> 1. 概 説 2. 支承体係数 D, D_1 及び軌道遊隙 ϵ の測定 3. 道床係数 K の測定 VII. 道床振動に関する実験 <ul style="list-style-type: none"> 1. 振動計の検定と加速度の算定法 2. 道床加速度 3. 道床振動周期 VIII. 運転速度の影響——速度係数 <ul style="list-style-type: none"> 1. 概 説 2. 速度係数の測定値 3. 車両重量の偏倚 4. 速度係数の総括 IX. 結 言 |
|---|--|

I. 緒 言

軌道強度計算法の代表的なものとしては、わが国の国鉄法、V.D.E.V. (ドイツ鉄道協会) または V.M.E.V. (中欧鉄道協会) の方法^{1), 2)}, A.R.E.A. 法及び満鉄法³⁾ などがあげられる。これらはそれぞれ特徴をもつた優れた計算法であるが、一般に道床係数あるいは軌道支承体係数などに不明確な仮定数値が用いられる。これらの係数は

* 京都大学教授, 工学部土木工学教室

現地軌道における実測が相当に困難であり、事実その静的測定もあまり行われていない。また軌道の応力、沈下などに対する速度衝撃による増加率も従来各国によつてかなり相異した値が仮定されており、特にわが国においては諸外国に比べて2, 3倍に及ぶ大きな増加率が用いられてきた。これに対しては以前より再検討の必要が唱えられ、近年各方面において研究が行われ、少なくともレールの曲げ応力に関する限り速度影響はきわめて小さいといわれている^{(1)~(7)}。しかし左右両レールに対する車両重量伝達の不均等性などを含み、実際の軌道計算にはどの程度の動的増加率が適当であるかは、まだ十分解明されていない。また速度影響の最も顕著なのは道床であり、この振動とこれによる道床破壊が重要な問題である。このような諸問題には軌道、車両間の複雑な動的現象が存在し、これを理論的研究のみによつて解明することは至難であつて、ここに実験的研究の重要性が認められる。本研究においては、最近非常な発達をとげた電気抵抗線歪計を利用して各種の軌道実験を行い、また一部室内実験によつて現地実験を補つた。なお研究は国鉄東海道本線及び京阪神急行電鉄京都線(標準軌間)において、主として電車荷重を対象とした。

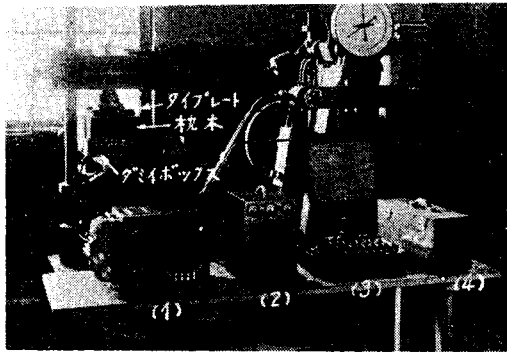
II. 軌道実験装置

1. 概要 軌道の動的性状に関する実験には、従来から各種の機械的、電気的計器が用いられてきた。しかしこの動的測定用計器としては、特に追隨性の確実なこと及びピックアップ部の慣性の極小なことが必要で、これらの点では電気抵抗線歪計が最も優れている。それゆゑ本実験では、道床振動以外はすべてこの抵抗線歪計を応用した測定装置を用い、かつ電磁オッシログラフによつて各種測定に対し同時記録を行つた。特にレール圧力、枕木沈下及び道床圧力の測定には、それぞれ筆者考案の装置を使用し、おおむね所期の目的を達することができた。

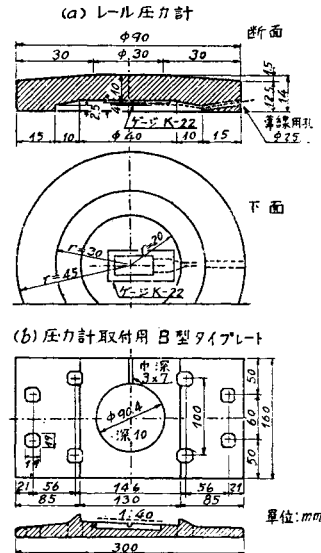
2. 応力測定装置 動的応力の測定は上述のごとく電気抵抗線歪計によることとし、三栄測器会社製のOS-2型携帯用電磁オッシログラフ、CA-20型増巾器、平衡箱などを用いた。写真一にその装置一式(レール圧力計検定中)を示す。なお歪計には表一に示すものを用い、接着剤はペーパーゲージにはDu Pont Co.のDuco Cement、ペークライトゲージには東芝マツダアミライトを使用した。

写真一 測定装置 (レール圧力計検定中)

- (1) 電磁オッシログラフ (2) 増巾器
- (3) 平衡箱 (4) 電源用乾電池



図一 レール圧力測定装置



表一 本実験に用いた抵抗線歪計

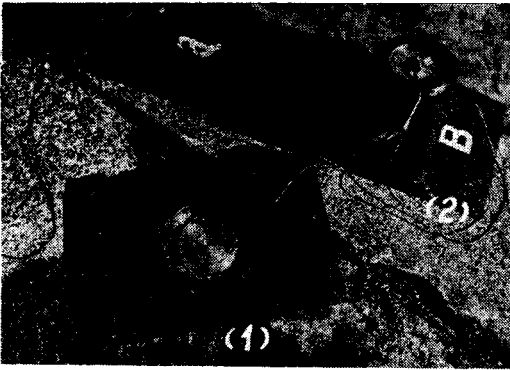
歪計	ゲージ長 (mm)	抵抗値 (Ω)	ゲージファクター	校正値 (kg/cm ²)	実験軌道
K-22	9.5	120±0.3	1.98±0.5%	509	阪急, 国鉄
ペークライトゲージ	10.0	120	2.07	487	国鉄

K-22 (ペーパーゲージ) : 共和無線研究所製
 ペークライトゲージ : 研友社製

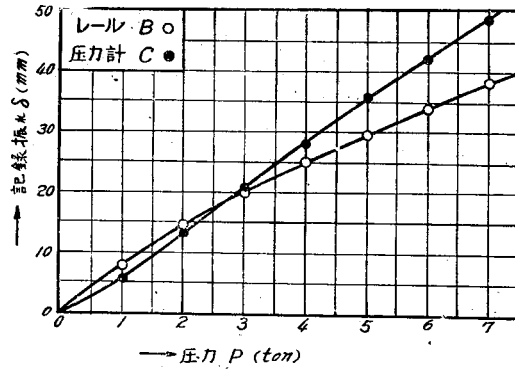
3. レール圧力測定装置 これはレール底から枕木面へ伝えられる圧力を直接測定するもので、最大輪重7t程度まで測定可能なこと、この設置によつて軌道状態を乱さないことなどを考慮して、図一及び写真二に示すような圧力計を試作し、これをタイプレートの円穴にはめてレール、枕木間に挿入した。タイプレートは水平型及び傾斜つきA型(1:20)、B型(1:40)を用意した。なお圧力計の検定はなるべく現地軌道と同一条件にする

写真一 2 レール圧力測定装置

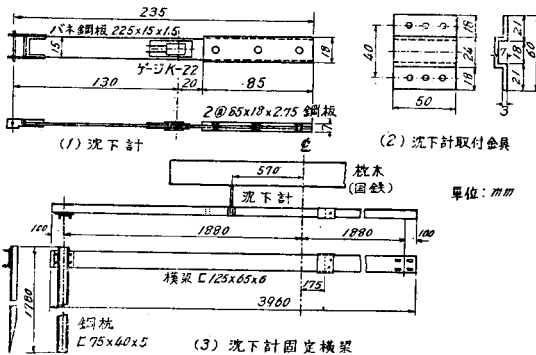
- (1) A型タイププレート
- (2) B型タイププレート



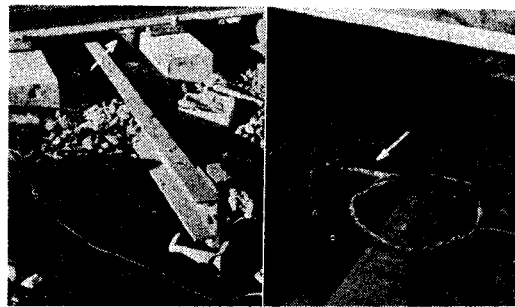
図一 2 レール圧力計検定曲線



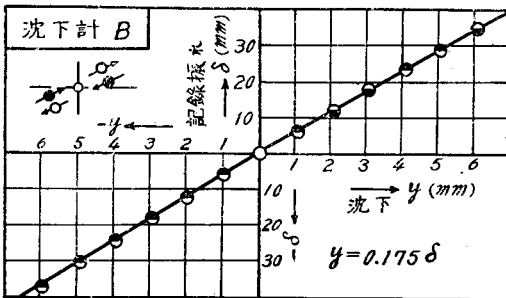
図一 3 枕木沈下測定装置



写真一 3 枕木沈下測定装置



図一 4 枕木沈下計検定曲線



ため、写真一 1 に示すように、タイププレートと枕木をおき加圧試験を行った。この検定曲線の一例を図一 2 に示す。検定曲線は直線のことが望ましいが、実際には図のように多少曲線となり、かつ圧力の増、減に対する両曲線が完全には一致しなかつた。これは圧力計の構造に基因し、測定記録はすべて圧力増加側についてのみ読みをとることとした。

4. 枕木沈下測定装置 走行車両による枕木沈下を測定するために、図一 3 及び写真一 3 に示す装置を用いた。すなわちレールの下、枕木方向に横梁を渡し、これに沈下計をレール直下に取り付け、その

自由端に枕木の上下動を作用せしめて、その動きを沈下計の歪計によつて記録せしめる方法をとつた。沈下計は鋼板製でその両面に歪計を接着した。なお沈下計は図示のような金具によつて横梁に取り付け、かつその突出部の長さを簡単に調節しうるようにした。次に沈下計の検定は、自由端の動きをダイヤルゲージで読み、これに対するオシログラフ紙上記録の振れとによつて、検定曲線の決定を行つた。その一例は図一 4 に示すようにいずれも直線となつた。

5. 道床圧力測定装置 枕木底面における道床圧力及び道床係数を測定するために、図一 5 に示すような装置を用いた。すなわち枕木方向における道床係数の分布を知るために、枕木底面の圧力を直接測定することを試みた。これには図の (1) に示す特殊枕木を用い、その底部 4ヶ所に圧力計を取りつけた受圧板をはめ込んだ。この道床圧力計の検定曲線は (3) に示すように直線となつた。次にレール下、左右各 40 cm 間における全道床圧力、従つてその間の道床係数の平均値を知るために、(4) のような加工枕木を用い、圧力測定は 2. のレール圧力測定装置をそのまま利用した。

図-5 道床圧力測定装置(国鉄用)

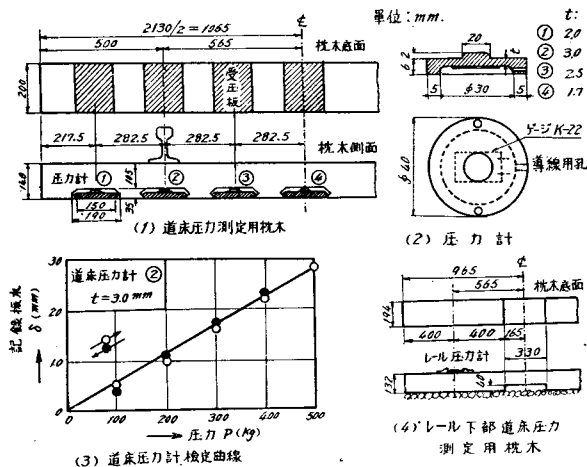
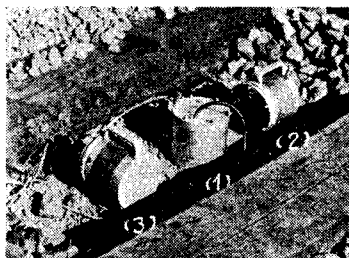


写真-4 C型振子

- (1) 上下動振子
- (2),(3) 水平動振子



6. 道床振動測定装置 道床振動測定用の振動計としては、振動現象に対し追随性確実で信頼性十分なこと、多現象の同時記録と遠隔記録の可能なこと、道床面における設置の容易なことが必要である。

る。これに対して本実験では 京都大学理学部佐々憲三教授の設計になる C 型振子を使用することとし、写真-4 に示すような上下動振子 3 個と水平動振子 2 個を用いた。なお振動記録用の電磁オシログラフは 1. に述べたものとは別個のものを使用した。C 型振子は道床振動に対しては感度過大のため、振子とオシログラフ検流計との間にシャント抵抗を挿入した。実際には現地において記録が紙外に出ないように、シャント抵抗を決定し、振子の検定は現地実験終了後同一シャント抵抗を用いて、室内の振動台によつて倍率曲線の検定を行つた。その詳細は VII. に述べる。

III. 軌道実験の概要

1. 測定事項 本実験においては、車両速度の影響を究明するため特に試験電車を運転し、さらに現地軌道に生ずる応力の程度を知るため、随時営業電車及び列車に対する測定を行つた。測定事項は 1) レール応力：底部曲げ応力，首下部断面方向応力 2) レール圧力 3) 枕木沈下：レール直下，道床圧力測定点 4) 枕木応力：レール位置，中央点 5) 道床振動：レール継目部，レール中間部 とした。

2. 実験軌道 実験は京阪神急行電鉄京都線及び国鉄東海道本線において実施し、実験地点の選定には、軌道状態良好でそれぞれの代表的軌道であること、高速度運転の可能なこと、試験電車の運転及び実験に都合なことなどの諸点を考慮した。次に実験地点、実験期日及び軌道状態の概要を示す。

1) 阪急，京都線正雀-茨木市間，上り線

第1 天神橋起点 10.6 km，昭.27.9.26~30.

第2 天神橋起点 11.7 km，昭.27.11.6~7.

いずれも水平直線区間，レール：PS 50 kg，25 m 長，タイプレート：なし，道床：碎石混り砂利。

2) 国鉄，東海道線西宮-芦屋間，下り線

第1 東京起点 574.4 km，下り内側線（急行線）及び外側線（緩行線），3%上り勾配，直線区間，昭.27.10.23~29.

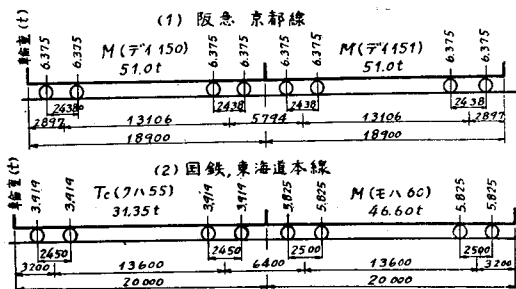
第2 東京起点 573.7 km，下り内側線，水平，半径 800 m 曲線区間，昭.27.10.29~30.

いずれもレール：PS 50 kg，12 m 長，タイプレート：内側線 A 型，外側線 B 型，道床：碎石

3. 実験用電車 本研究は実験専用電車による測定に重点をおいた。これは図-6 に示すように、阪急線では電動車 2 両編成，国鉄線では制御車，電動車の 2 両編成とし，運転速度はおおむね 5~100 km/h に変化せしめた。

4. 実験概要 応力測定用歪計は最終電車通過後測

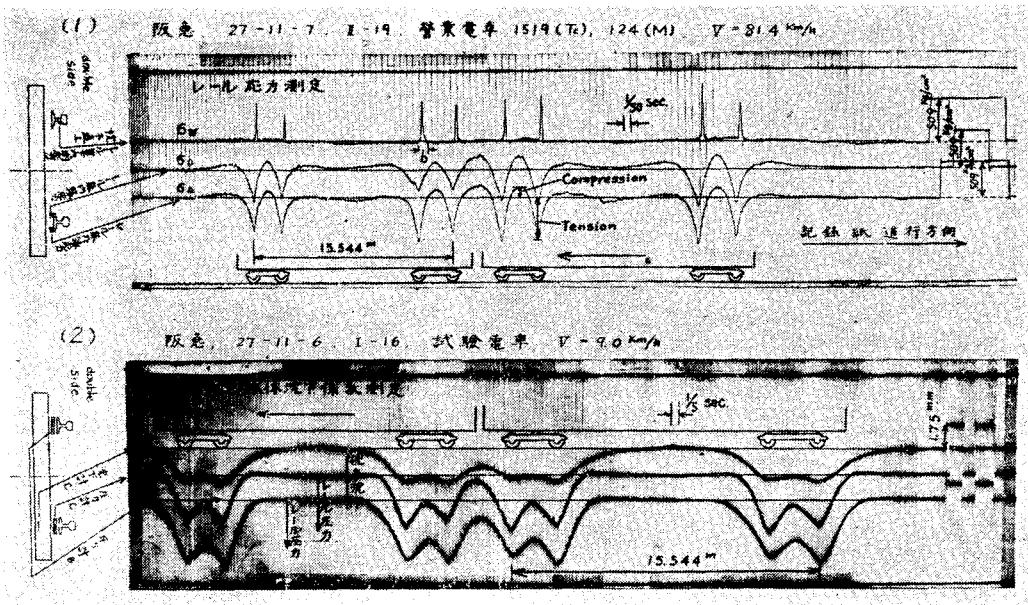
図-6 実験用電車



定部に十分入念に接着した。レール圧力計はめ込みのタイププレートは、その据え付けによつて軌道状態に狂いを生じないように、枕木上面を適宜削正した。また枕木沈下測定装置の設置には、軌道振動の影響を受けないようにつとめた。次に道床振動測定用のC型振子は軌間内所定の位置で一部道床砂利を除去し、その表面を豆砂利で均らし、その上に振子を据えた。阪急線においては、昼間営業運転の間合に試験電車を運転して測定を行い、なお随時営業電車に対する記録をとつた。次に国鉄線第1実験(直線部)は下り外側線において営業電車及び列車による測定を行い、また下り内側線においては夜間終電車後試験電車の折り返し運転と昼間営業電車による測定を行つた。第2実験(曲線部)では下り内側線において昼間営業電車及び夜間試験電車による測定を行つた。

5. 測定記録 写真-5は阪急線における測定記録の一例を示す。刻時は1/50 sec, また右端の階段状の現象変化は較正值で、これを基準として各応力、沈下の値を読みとる。車両速度 V (km/h)は車両の全軸距 L (m)とその間の刻時目盛数 n より、 $V=180L/n$ で求められる。写真の(1)は営業電車、 $V=81.4$ km/hにおけるレール底応力及び首下応力、(2)は試験電車、 $V=9.0$ km/hにおけるレール支承体沈下係数決定のためのレール圧力と枕木沈下の測定記録である。

写真-5 オッシログラフ記録例(阪急)

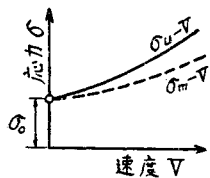


IV. レール応力に関する実験

1. 概説 レールの曲げ応力に関しては、静力学的には実験値とかなりよく合致する理論式で示されているが、動力学的に実験値を十分説明する理論解はまだ見つけられない。走行車両の運動及び軌道の動的性状の一部を取り入れても、軌道振動理論の正解はほとんど不可能となる。それゆゑ本研究においては、静的計算法に基礎をおいた動的計算の基準を確立するための一環として、現地の実在応力の測定と同時に、静動両応力の相互関係を究明することに主目標をおいた。

2. 速度衝撃 測定応力 σ と車両速度 V との関係、すなわち速度衝撃の実験式としては、一般に(1) $\sigma = \sigma_0 + aV$, (2) $\sigma = \sigma_0 + aV + bV^2$, (3) $\sigma = \sigma_0 + bV^2$ の3式が考えられる。レール面または車輪踏面に不整のある場合には、レールの動的応力はほぼ速度の2乗に比例して増加すると考えられるが、実際にはこれら不整のほかには車両

図-7 σ_m-V , σ_u-V 曲線



には各種の揺動を生じ、これらの複雑な動的現象による速度衝撃を説明することはむづかしい。しかし本実験結果を整理してみると、 σ は概略 V^2 に従つて分布する傾向が認められるので、レール応力に関しては上式中(3)によるものを実際的と考え、同式を採用することとした。次に応力の分布様相を知る目安として、図-7に示するような二通りの $\sigma-V$ 曲線を考えた。 σ_m-V 曲線は測定応力の平均値を連ねたもの、 σ_u-V 曲線は平均値以上の測定応力の平均を示すものである。一般に速度影響は σ_m-V 線について考えられているが、実際の測定応力は複雑な動的現象のた

めに、 σ_m-V 線の両側に、かつ高速度ではかなり広範囲にバラツクことが認められる。それゆえここでは σ_m-V 線のほかに、これより大きな速度影響を与える σ_u-V 線をも考慮した。そしてこれらの $\sigma-V$ 関係を実際の応力計算に適用するには、その採用曲線とこれに対応する許容応力とから統計学的に決定すればよいことになる。

3. レール底曲げ応力 試験電車の各車輪ごとに、レール底外縁及び内縁応力 σ_A, σ_B を読みとり、さらにこれより垂直曲げ応力 $\sigma_V = \frac{1}{2}(\sigma_A + \sigma_B)$ 及び横曲げ応力 $\sigma_H = \frac{1}{2}(\sigma_A - \sigma_B)$ を求め、これらの $\sigma-V$ 関係を図示した。この一例として、図-8 は阪急第2実験において、第2車輪(M₁-2)が測定点の直上に来たときの最大応力 $\sigma_A, \sigma_B, \sigma_V, \sigma_H$ と V との関係を図示し、また図-9 は国鉄直線軌道において同じく第6車輪(M-2)による $\sigma-V$ 関係を示す。なお図には σ_m-V 線及び σ_u-V 線を記入した。次にレール底における圧縮応力は一般に上記引張応力に

図-8 レール底引張応力 σ
(阪急 II M₁-2)

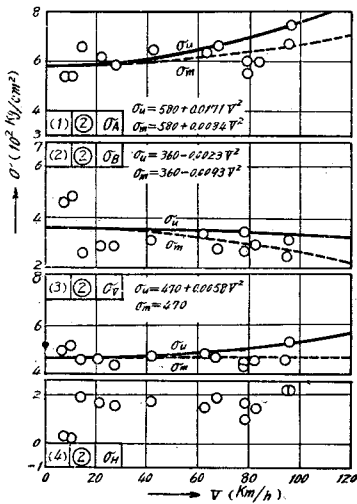
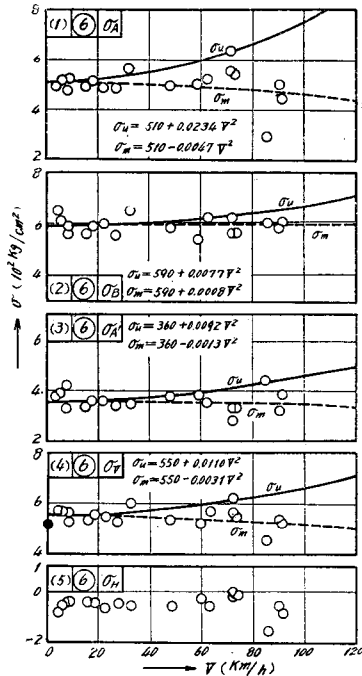


図-9 レール底引張応力 σ
(国鉄直線 M-2)

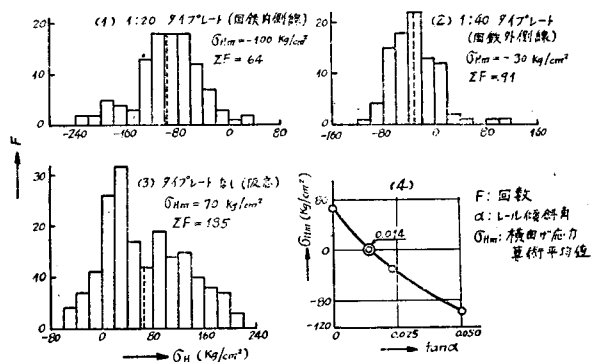


比してはるかに小さく、かつ速度影響もほとんど認められなかつた。ただし国鉄曲線部においては試験、営業電車ともに、圧縮応力の方がむしろ大きな値を示した。しかしその引張、圧縮両応力の絶対値の和、すなわち試験紙上における応力の変動範囲は直線部と大差なく、かつ速度影響も明瞭にあらわれているので、すべて両者の加算応力について検討を行つた。ただ上記の圧縮応力の異常に大となる原因を明らかにすることはできなかった。以下主として直線軌道における実験結果の概要を摘記する。

1) $V=0$ における各車輪ごとの最大引張及び圧縮応力の平均値は、阪急では $\sigma_A=580, -170$ kg/cm² (輪重1t 当り 90, -25 kg/cm²)、国鉄では $\sigma_B=580, -260$ kg/cm² (110, -55 kg/cm²) を示した。

2) 阪急線では外縁 $\sigma_A >$ 内縁 $\sigma_B, \sigma_H > 0$ 、国鉄線では $\sigma_A < \sigma_B, \sigma_H < 0$ を示した。これはレールの傾斜に関係し、営業運転による多数の測定記録を調査し、各種タイプレートのもとに生ずる応力 σ_H とその発生回数 F とを図示すれば図-10のとおりである。これより平均応力 σ_{Hm} を求めれば、概略 (1) 1/20タイプレート

図-10 レールの傾斜と横曲げ応力



の国鉄内側線：-1 000 kg/cm²、(2) 1/40タイプレートの国鉄外側線：-30 kg/cm²、(3) タイプレートなしの阪急線：70 kg/cm² となった。この σ_{Hm} とレール傾斜 α との関係は大略図の(4)のごとき曲線となり、 $\sigma_{Hm}=0$ に対し $\tan \alpha \approx 0.014 = 1/70$ となる。従つて現在車両に対しては、1/70 程度の傾斜つきタイプレートを採用すれば、 $\sigma_H=0$ の確率が大きく有利と考えられる。

3) 最大垂直曲げ応力 σ_V につき圧縮と引張の比は概略 1/3、また横曲げ応力と垂直曲げ応力との比 σ_H/σ_V は最大 30%、平均 5~10% 程度である。

4) 引張応力は一般に速度大なるほどバラツキも大となるが、平均応力 σ_m-V 線には速度影響少なく、ときには V とともに σ_m の減少するものもある。しかし σ_u-V 線は一般に V とともに上昇の傾向が認められた。なお標準軌道の阪急では狭軌の国鉄に比して、速度影響はかなり小さくなった。

5) 左右両レールにつき応力の同時測定を行えば、両者には 10~20% の差異が認められる。従つて $\sigma-V$ 関係は片側だけの測定では不十分で、両側の測定が必要である。

6) 1 輪重の影響範囲は、多数の応力測定記録よりして、前後約 6.4 m ずつ、すなわち約 10 本ずつの枕木に及ぶことを示した。

7) 営業運転による最大応力は実験用空車によるものより概略 10~20% 大きい値を示した。

4. レール断面方向応力、特に首下部応力 レール腹部には車輪が直上に来たとき、きわめて局部的に相当大きな断面方向の圧縮応力を生じ、特に枕木直上、軌間内側の首下部において大きい。これに関しては、米国^{(8),(9)}ではすでに 1940 年頃より、また最近わが国^{(10),(11)}でも 30 及び 37 kg レール区間において、2 000~3 000 kg/cm² の圧縮応力が測定されている。この首下応力に関し、阪急軌道において試験及び営業電車につき測定を行い、その大きさとそれに対する速度影響を求めた。なおこの応力の近似計算式を導き、また現地実験結果及び室内実験によつて応力作用長の決定を試みた。首下応力の測定記録の一例はさきにかかげた写真-5(1)に示した。以下研究結果の概要を述べる。

1) 軌間内側首下部の最大応力は、図-11(試験電車)及び図-12(営業電車)に見るように最大 1 000 kg/cm² までで、50 kg レールを用いた電車軌道では、この首下応力もそれほど致命的なものではない。

図-11 レール首下圧縮応力 σ_w
(阪急 II 試験電車 M₁-3)

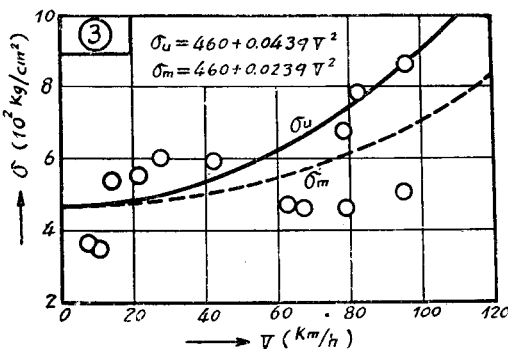
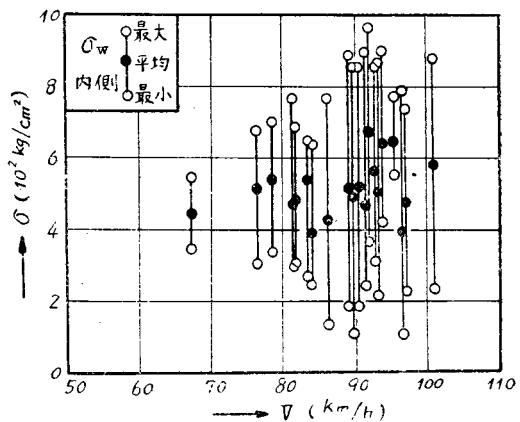


図-12 レール首下圧縮応力 σ_w
(阪急 II 営業電車)



2) 軌間外側応力 $\sigma_{w'}$ はもちろん内側の σ_w より小さく、引張応力となることもある。営業運転の測定では $\sigma_{w'}$ はほぼ σ_w の 30~40% の値を示した。

3) 首下応力は図-11, 12 に見るように、レール底曲げ応力に比し変動がはなはだしい。これは σ_w には車両運動が一層鋭敏に影響することを示すもので、速度上昇とともに輪重の偏心及び車輪の横圧力が広範囲に変化し、これが σ_w の値に大きな変動をきたすものと考えられる。しかし輪重の偏心には限度があるから、 σ_w の大きさにも限度があり、いま最大偏心 $e=2$ cm、応力の有効作用長 $\bar{b}=20$ cm と仮定すれば、後述の式(5)によつて阪急試験電車に対しては、概略 $\sigma_w=1 000$ kg/cm² が最大値と考えられる。

4) 営業運転における軌間内、外側応力 $\sigma_w, \sigma_{w'}$ の同時測定値より、輪重 1 t 当りの直圧縮応力 $\sigma_c = \frac{1}{2}(\sigma_w + \sigma_{w'})$ 及び断面方向曲げ応力 $\sigma_M = \frac{1}{2}(\sigma_w - \sigma_{w'})$ を求めれば表-2のごとく、 σ_c は 50~60 kg/cm² ではほぼ相等的だが、 σ_M は全く不同で各車輪ごとに偏心及び横圧力がいちじるしく変化することを示す。

表-2 レール首下直圧縮応力 σ_C 及び曲げ応力 σ_M
(輪重 1t 当り, 阪急 II 営業電車)

No.	V (km/h)	車 両 1					車 両 2				
		①	②	③	④	平均	①	②	③	④	平均
$\sigma_C = \frac{1}{2}(\sigma_W + \sigma_{W'})$ (kg/cm ²)											
1	76.2	60	45	50	45	50	55	55	50	55	55
2	81.3	55	60	50	60	55	50	50	45	50	50
3	83.2	55	50	50	70	55	55	60	50	55	55
4	83.6	60	60	50	55	55	50	50	30	60	50
5 ₁	89.4	60	60	65	60	60	55	55	50	55	55
5 ₂	89.4	60	55	45	55	55	60	65	60	60	60
6	95.4	—	—	—	—	—	55	55	60	60	55
$\sigma_M = \frac{1}{2}(\sigma_W - \sigma_{W'})$ (kg/cm ²)											
1	76.2	95	25	50	35	50	50	30	40	25	40
2	81.3	30	60	35	35	40	20	15	20	20	20
3	83.2	20	20	50	15	25	35	-20	20	45	20
4	83.6	35	-20	20	-5	10	40	5	40	15	25
5 ₁	89.4	65	35	55	-5	35	55	-35	-15	65	20
5 ₂	89.4	25	-15	0	45	15	20	45	55	25	35
6	95.4	—	—	—	—	—	35	35	65	50	45

5) 断面方向応力に関する近似計算法 図

1-13 において腹部の任意断面 AB には、輪重 W によつて σ_C , $M=W \cdot e - H \cdot f$ によつて σ_M を生じ、なお σ_C, σ_M の合成応力 σ_A, σ_B は一般に σ_M の大小によつて図-14 に示す (1), (2), (3) の形をとる。さらに図-14 において σ_A, σ_B の作用長 b, b' (写真-5 参照) に対し、斜線部の面積が相等しくなるような \bar{b}, \bar{b}' をそれぞれの有効作用長と名づける。すなわち \bar{b}, \bar{b}' は次式を満足する長さとする。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_A \cdot \bar{b} &= \int_0^b \sigma_A(b) \cdot db \\ \sigma_B \cdot \bar{b}' &= \int_0^{b'} \sigma_B(b') \cdot db' \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (1)$$

なお σ_C, σ_M の有効作用長を \bar{b}_C, \bar{b}_M とすれば、図-13 において、

$$\begin{aligned} \sigma_C &= \frac{1}{2}(\sigma_A + \sigma_B) = \frac{W}{AB \cdot CD} \\ &= \frac{W}{t \cdot \bar{b}_C} \\ \bar{b}_C &= \frac{W}{t \cdot \sigma_C} = \frac{2W}{t(\sigma_A + \sigma_B)} \dots \dots (2) \end{aligned}$$

また $\sigma_M = \frac{1}{2}(\sigma_A - \sigma_B) = \frac{M}{z} = \frac{W \cdot e - H \cdot f}{\bar{b}_M \cdot t^2 / 6}$

$$\bar{b}_M = \frac{6(W \cdot e - H \cdot f)}{t^2 \cdot \sigma_M} = \frac{12(W \cdot e - H \cdot f)}{t^2(\sigma_A - \sigma_B)} \dots \dots \dots (3)$$

なお σ_A, σ_B は σ_C, σ_M の合成応力であるから、

$$\sigma_A \cdot \bar{b} = \sigma_C \cdot \bar{b}_C + \sigma_M \cdot \bar{b}_M \quad \sigma_B \cdot \bar{b}' = \sigma_C \cdot \bar{b}_C - \sigma_M \cdot \bar{b}_M \dots \dots \dots (4)$$

上式に式 (2), (3) を代入し、 \bar{b}, \bar{b}' は次式で表わされる。

$$\bar{b} = \frac{1}{t^2 \cdot \sigma_A} \{W \cdot t + 6(W \cdot e - H \cdot f)\} \dots \dots \dots (5)$$

図-13 有効作用長 \bar{b}, \bar{b}' の説明

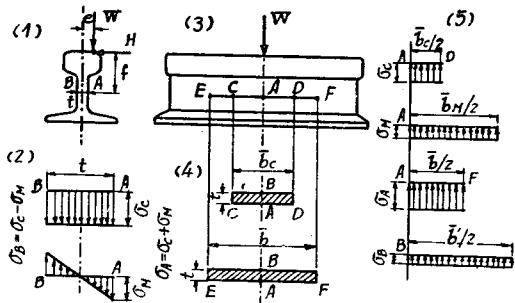
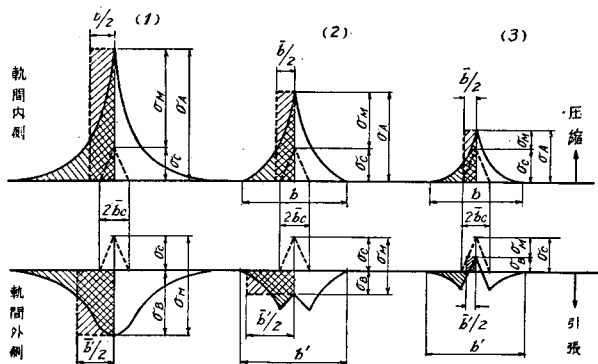


図-14 作用長 b と有効作用長 \bar{b} との関係



$$\bar{b}' = \frac{1}{t^2 \cdot \sigma_B} \{W \cdot t - 6(W \cdot e - H \cdot f)\} \dots \dots \dots (6)$$

上式より、 σ_A, σ_B 及び H, e を測定して有効長 \bar{b} 及び \bar{b}' を計算しうるし、また \bar{b}, \bar{b}' がわかれば H, e に適当な値をとり σ_A 及び σ_B を知ることができる。

6) 現地軌道における有効作用長の測定 営業電車による $\sigma_W, \sigma_{W'}$ の同時記録から $\bar{b}_C, \bar{b}, \bar{b}'$ を算定した。まず輪重 $W, t=2.15$ cm 及び $\sigma_W, \sigma_{W'}$ の測定値を用い、式 (2) によつて求めた \bar{b}_C の値は表—3 に示すように、1 車両平均 7.7~10.3 cm、総平均 9.1 cm となり、従つて σ_C の作用長は $2\bar{b}_C=18$ cm となつた。次に $e=1.4$ cm、 $H/W=0.2$ 及び 0.4 として、式 (5)、(6) により $\sigma_W, \sigma_{W'}$ に対する \bar{b}, \bar{b}' を計算すると、表—4 のごとく H/W によつて非常に異なり、 $H/W=0.2, 0.4$ に対して平均 $\bar{b}=15.2$ cm、0.9 cm、 $\bar{b}'=10.6$ cm、37.1 cm となつた。なお表には測定記録から直接求めた $\sigma_W, \sigma_{W'}$ の作用長 b, b' 及び $\bar{b}/b, \bar{b}'/b'$ を示した。 b, b' の平均値はそれぞれ 66.1 cm、69.3 cm となつている。要するに直圧縮応力 σ_C の有効作用長 \bar{b}_C は上述のように大体解明しうるが、 σ_M の加つた $\sigma_W, \sigma_{W'}$ の有効作用長の解明には各車輪ごとの H, e の値が必要となつてくる。

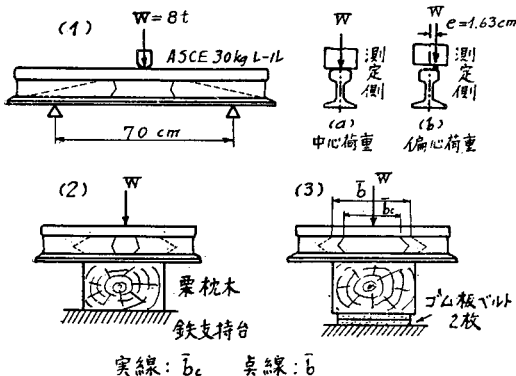
表—3 レール首下圧縮応力有効作用長 \bar{b}_C の実測値
(阪急 II 営業電車)

No.	車両番号 W: 輪重 (t) V: 速度 (km/h)	$\sigma: \text{kg/cm}^2$ $\bar{b}_C: \text{cm}$	車 両 1					車 両 2				
			①	②	③	④	平均	①	②	③	④	平均
1	1518+108 W: 4.33+6.77 V: 76.2	σ_W $\sigma_{W'}$ \bar{b}_C	670	310	400	350	430	680	560	600	570	600
			-160	80	-10	40	-10	20	180	60	190	110
			8.0	10.2	10.6	10.3	9.6	9.0	8.5	9.6	8.3	8.8
2	151+1518 W: 6.70+4.93 V: 81.3	σ_W $\sigma_{W'}$ \bar{b}_C	580	770	580	590	630	350	300	310	310	320
			160	10	90	160	110	140	160	130	150	150
			8.4	7.9	9.4	8.4	8.5	9.6	9.9	10.6	10.0	10.0
3	1515+111 W: 5.08+6.83 V: 83.2	σ_W $\sigma_{W'}$ \bar{b}_C	370	340	450	440	400	570	270	480	650	490
			70	150	-20	80	70	150	520	210	80	240
			10.9	9.8	10.9	9.1	10.3	9.1	8.1	9.2	8.8	8.7
4	150+1508 W: 6.64+5.00 V: 83.6	σ_W $\sigma_{W'}$ \bar{b}_C	640	250	510	330	430	430	270	330	350	350
			150	490	160	350	290	40	220	-40	230	110
			7.8	8.3	9.3	9.1	8.6	10.0	9.5	15.8	8.0	10.2
5	101+1512 W: 6.80+5.04 V: 89.4	σ_W $\sigma_{W'}$ \bar{b}_C	860	580	800	380	660	600	110	180	600	370
			-20	170	70	440	170	-50	430	290	-50	160
			7.5	8.4	7.2	7.7	7.7	9.6	9.8	11.4	9.7	10.1
5	1513+117 W: 5.04+6.79 V: 89.4	σ_W $\sigma_{W'}$ \bar{b}_C	400	210	230	480	330	530	730	750	530	640
			70	330	230	60	170	280	140	30	240	170
			9.9	8.6	10.2	8.7	9.3	7.8	7.2	8.1	8.1	7.8
平均 値		\bar{b}_C	8.8	8.8	9.6	8.9	9.0	9.2	8.8	10.8	8.8	9.3

註: 総平均値 $\bar{b}_C=9.1$ cm

7) 室内実験 断面方向応力の有効作用長 \bar{b}_C, \bar{b} を知るために、図—15 に示すような室内実験を試みた。レールは ASCE 30 kg L-L、加圧は Losenhausen 繰返荷重試験機、応力測定は II. 2 の測定装置 (動応力) 及び Baldwin SR-4 式測定装置 (静応力) を用い、歪計は頭部、上首部、腹部中央、下首部にレール材長方向 5 cm 間隔に計 18 個接着した。荷重はすべて 8 t で、(a) 中心荷重及び (b) 偏心荷重、 $e=1.63$ cm とし、なお図に示す

図—15 断面方向応力に関する室内実験



(1) 枕木中間部、(2) 枕木直上、非弾性支持、(3) 枕木直上、弾性支持の各状態につき実験を行つた。また測定は図に示す測定側を対象とし、その反対側は W 直下の上首部及び下首部のみを測定した。本実験による荷重直下の上首部、腹部及び下首部における応力及びこれより計算した \bar{b}_C, \bar{b} の値は表—5 のとおりである。 \bar{b}_C の値は(a) に示すように支持状態の弾性によつて異なり、また \bar{b} は

(b) に示すごとく当然 \bar{b}_c より大きく、枕木直上、上首部では概略 $\bar{b}=20\text{ cm}$ となつた。

表-4 作用長 b (実測) 及び有効作用長 \bar{b} (計算)
(阪急 II 営業電車)

No.	H/W	0.2 ($e=1.40\text{ cm}$)				0.4 ($e=1.40\text{ cm}$)			
		1		2		1		2	
	車 両	内	外	内	外	内	外	内	外
1	軌間内, 外								
	\bar{b}	11.8	76.0	13.2	14.9	0.7	266.0	0.8	52.0
	b	33.0	—	48.0	110.0	33.0	—	48.0	110.0
	\bar{b}/b	0.36	—	0.27	0.12	0.02	—	0.02	0.47
2	\bar{b}	12.5	15.8	18.4	8.4	0.75	55.2	1.10	29.4
	b	85.0	82.0	—	56.0	85.0	82.0	—	56.0
	\bar{b}/b	0.15	0.19	—	0.15	0.01	0.68	—	0.53
3	\bar{b}	14.9	18.4	16.3	7.1	0.89	64.2	0.98	24.6
	b	66.0	105.0	73.0	79.0	66.0	105.0	73.0	79.0
	\bar{b}/b	0.23	0.18	0.23	0.09	0.01	0.61	0.01	0.31
4	\bar{b}	18.0	5.7	17.1	10.9	1.08	19.8	1.20	37.9
	b	70.0	72.0	73.0	64.0	70.0	72.0	73.0	64.0
	\bar{b}/b	0.26	0.08	0.23	0.17	0.02	0.28	0.02	0.59
5	\bar{b}	12.2	10.1	16.1	7.9	0.73	35.4	0.96	27.6
	b	—	36.0	83.0	54.0	—	36.0	83.0	54.0
	\bar{b}/b	—	0.28	0.19	0.10	—	0.98	0.02	0.33
平均値	\bar{b}	15.0	11.4	15.4	9.8	0.9	39.9	0.94	34.3
	b	66.0	68.4	66.2	70.1	66.0	68.4	66.2	70.1
	\bar{b}/b	0.23	0.17	0.23	0.14	0.01	0.58	0.01	0.49

註: No. は表-3 と同一, \bar{b}, b : cm

表-5 断面方向応力に関する室内実験結果
(ASCE 30 kg レール)

(a) 中心荷重 (8 t) による有効長 \bar{b}_c

実験番号 図-15参照	応力 σ_c (kg/cm ²)			\bar{b}_c (cm)		
	上首	腹部	下首	上首	腹部	下首
(1)	315	460	270	14.9	14.2	17.3
(2)	760	1010	840	6.2	6.4	5.6
(3)	270	335	330	17.4	19.5	14.3

(b) 偏心荷重 (8 t) による有効長 \bar{b}

実験番号 図-15参照	応力 σ (kg/cm ²)			\bar{b} (cm)		
	上首	腹部	下首	上首	腹部	下首
(1)	1400	1055	295	22.7	55.0	101.3
(2)	1640	1970	1470	19.4	29.5	21.6
(3)	1555	1885	1430	20.4	30.9	22.1

V. 枕木強度に関する実験

1. 概要 現地軌道において、枕木に加えらるるレール圧力 P 及び枕木沈下 y を測定し、これらの動的及び静的数値の関係を求め、かつ P, y はなるべく同時測定を行つて、VI. の軌道支承係数の究明に資することとした。また枕木の曲げ応力を実測して計算値と比較した。別に実験室において枕木の弾性係数及び圧縮係数などの測定を行つた。

2. レール圧力と枕木沈下 主として試験電車に対し P, y の同時測定を行い、その速度との関係を決定した。この速度影響に関しては、さきにレール応力については V の2次式としたので、 P, y も同様に2次式とするのが妥当と考えられるが、実験結果を見るに P, y に対する V の影響は一般に小さく、従つてここでは直線軌道では簡単に1次式 $P=P_0+aV, y=y_0+a'V$ とし、曲線軌道では V^2 に比例するものとした。なお P, y も σ と同様に、 P_m, P_u 及び y_m, y_u の二通りの取扱いをした。図-16は阪急及び国鉄直線軌道における試験電車による P, y の最大値と V との関係を示した一例である。以下主として直線軌道における実験結果の概略を摘記する。

1) 試験電動車、 $V=0$ に対する P の最大値は、阪急では平均 4.02 t (輪重 1 t 当り 0.63 t)、国鉄では平均 1.96 t (0.34 t) となり、両者に大きな差があつた。これは営業電車にも同様認められ、主として支承体の剛性の

差異によるものと考えられる。

2) 同じく y の最大値は、阪急では平均 2.36 mm (輪重 1 t 当り 0.37 mm), 国鉄では平均 1.97 mm (0.34 mm) となつた。従つて P に対する y の割合は阪急軌道の方がはるかに小さい。

3) P, y に対する速度影響は、平均値 P_m, y_m については小さいが、 P_u, y_u に関してはかなりの影響が認められた。また多数の記録中には V の増大とともに、 P, y の減少するものがあるが、これは他側ではそれだけ増加の傾向大なることを示すものである。なお阪急と国鉄とに速度影響の大差は見られなかつた。

4) 営業運転、高速度に対しては阪急では $P=2\sim 6$ t, $y=2\sim 4$ mm, 国鉄(電車及び機関車)では $P=1.5\sim 3.5$ t, $y=2\sim 4$ mm を示した。

5) 阪急軌道において、左右兩レールにつき P の同時測定を行つたが、20%に及ぶ偏差を認めた。

6) 1車輪の P, y に対する影響範囲を多数の測定記録から読みとると、阪急では前後約 5.8 m, 国鉄では約 6.5 m ずつ、すなわち概略前後 10 本ずつの枕木に及ぶことを示した。

3. 枕木の曲げ応力 阪急軌道において、営業電車による枕木底の曲げ応力を実測した。枕木は図-5 に示す特殊枕木を用い、レール直下と枕木中央の2点の受圧板内側に歪計を接着した。表-6 は測定結果の一部で、最大応力は $\sigma_1 \doteq +80$ kg/cm², $\sigma_2 \doteq -50$ kg/cm² を示した。なお同時測定 of P の値を用い、枕木底面における道床係数 K を均一及び三角分布と仮定し、理論計算によつて σ を求めた。これによると表に見るごとく、 σ_1 の実測値は三角分布としての計算値に近く、 σ_2 は均一分布の値に近い。

図-16 レール圧力 P 及び枕木沈下 y

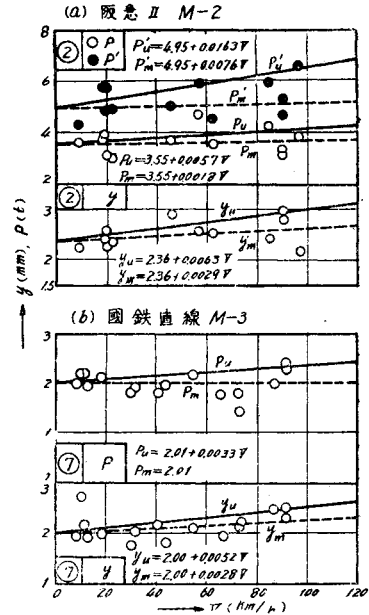


表-6 枕木底面曲げ応力の実測値と計算値 (阪急 I 営業電車)

列車種別	速度 (km/h)	車両番号	輪重 (t)	レール圧力 枕木応力	実測値 平均	計 算 値	
						K : 均一分布	K : 三角分布
普通	78	1517	4.65	$P = 3.98$ $\sigma_1 = 51$ $\sigma_2 = -38$	3.98	3.98	3.98
		147	6.39	$P = 5.61$ $\sigma_1 = 67$ $\sigma_2 = -47$	5.61	5.61	5.61
特 急	88	1513	4.74	$P = 4.00$ $\sigma_1 = 54$ $\sigma_2 = -38$	4.00	4.00	4.00
		113	6.47	$P = 5.81$ $\sigma_1 = 77$ $\sigma_2 = -45$	5.81	5.81	5.81
急 行	94	133	6.44	$P = 5.77$ $\sigma_1 = 77$ $\sigma_2 = -47$	5.77	5.77	5.77
		1516	4.74	$P = 4.07$ $\sigma_1 = 59$ $\sigma_2 = -40$	4.07	4.07	4.07
		122	6.54	$P = 5.60$ $\sigma_1 = 78$ $\sigma_2 = -48$	5.60	5.60	5.60

註: 輪重: 乗車人員を含む。 P : t, σ_1 (レール位置), σ_2 (枕木中央): kg/cm²
 枕木: 道床圧力測定用特殊枕木, ブナ素材, $11.5 \times 23 \times 244$ cm³, $E = 100\,000$ kg/cm²

A. 室内実験 現地実験結果の解明のため、クリ、マツ、ヒノキ、ブナなどの各樹種につき曲げ及び圧縮試験

を行つた。次に試験結果の概略を示す。

1) 曲げ試験 枕木1本から $5 \times 10 \times 120 \text{ cm}^3$ の試験片を2個ずつとり、計22の試験片につき弾性係数 E の測定を行つた。その結果は表-7に示すごとく、クリ、ブナが大きく $E=110\,000 \sim 120\,000 \text{ kg/cm}^2$ 、マツは小さく前者の約 $1/2$ にすぎない。

2) 圧縮試験 レール支承体の沈下は道床のほかには枕木の圧縮を含む。よつてレール圧力による枕木の圧縮係数の測定を行つた。 $14 \times (20 \sim 23) \times (70 \sim 120) \text{ cm}^3$ の供試枕木8本につき計28の試験を行つた。なお試験はPS 50 kg レール直接据え付けど、水平型、A型、B型の3種のタイププレートを用い、4つの場合について行つた。試験結果は表-8のように、ブナ、クリ、ナラが大きく、ヒノキがこれに次ぎ、以上の平均は概略 $150\,000 \text{ kg/cm}$ (レール直接) $\sim 300\,000 \text{ kg/cm}$ (B型タイププレート)、これに対してマツは非常に小さく $60\,000 \sim 110\,000 \text{ kg/cm}$ で、前者の $1/2.5$ にすぎない。

表-7 枕木の弾性係数 E , 破壊応力 σ_b の試験結果

樹種	試験片番号(個数)	E (kg/cm^2)	σ_b (kg/cm^2)	備考
ク (素) リ	No.1 (2)	114 000	610	中古, 2~3年 新
	No.2 (2)	113 000	708	
	平均	113 000	659	
マ (注) ツ	No.7 (2)	70 000	270	新
	No.9 (3)	59 000	277	
	平均	64 000	274	
ヒ (素) ノ キ	No.5(2)	122 000	544	新 中古, 2.5年 新, 節あり
	No.6(1)	93 000	330	
	No.10(3)	70 000	459	
	平均	95 000	445	
ブ (注) ナ	No.11(2)	132 000	706	新
	No.12(2)	92 000	565	
	平均	112 000	635	
ブ (素) ナ	No.13(2)	131 000	515	新
	No.14(1)	107 000	481	
	平均	119 000	498	

表-8 枕木圧縮係数 D_2 の試験結果

枕木樹種	D_2 の 値 (kg/cm)			
	レール直接 $A=274 \text{ cm}^2$ (阪急)	水平タイププレート $A=312 \text{ cm}^2$ (阪急)	A型タイププレート $A=408 \text{ cm}^2$ (国鉄)	B型タイププレート $A=480 \text{ cm}^2$ (国鉄)
1. ブ ナ(注)	206 000	202 000	227 000	323 000
2. ナ ラ(素)	183 000	—	200 000	300 000
3. ク リ(素)	162 000	166 000	177 000	400 000
4. ヒ ノ キ(素)	110 000	140 000	138 000	276 000
平均	165 000	169 000	186 000	325 000
5. マ ツ(注)	60 000	—	64 000	110 000

VI. 軌道支承体係数に関する実験

1. 概説 この軌道支承体係数は軌道計算における基礎的数値で、道床係数 K , レール支承体沈下係数 D , 道床沈下係数 D_1 , 枕木圧縮係数 D_2 及び A.R.E.A. 計算法におけるレール支承体弾性係数 u を含む。

道床係数 K は道床及び路盤の沈下よりして次式で表わされる。

$$K = K_1 \left(1 + \frac{K_1}{mK_2} \right) \dots\dots\dots (7)$$

ここに K_1, K_2 はそれぞれ道床または路盤のみに関する係数, m は道床圧力の分布係数である。なおこれは枕木底面における K を一定とした場合で、わが国では一般に $K=3 \sim 15 \text{ kg/cm}^3$ に仮定されている。次に枕木のレール支承面の沈下に関し次式が成立する。

$$1/D = 1/D_1 + 1/D_2 \quad D = D_1 \left(1 + \frac{D_1}{D_2} \right) \dots\dots\dots (8)$$

しかし、一般には枕木の圧縮を無視して次の近似式によることが多い。

$$D \doteq D_1 = Kbl / [\eta_p] \dots\dots\dots (9)$$

ここに、

$$[\eta_p] = \frac{2(\cosh^2 \alpha + \cos^2 \alpha)(\cosh 2\beta + \cos 2\beta) + (\sinh 2\alpha - \sin 2\alpha)(\sinh 2\beta + \sin 2\beta)}{2(\sinh \lambda + \sin \lambda)}$$

$$L = \sqrt[4]{4EI/bK}, \quad \alpha = c/L, \quad \beta = s/L, \quad \lambda = 2(\alpha + \beta) = l/L$$

b, l : 枕木の巾, 長さ, EI : 枕木の曲げ剛性

さらに枕木の撓みを無視すれば, 次式となる。

$$D \doteq D_1 = Kbl/2 \dots\dots\dots (10)$$

実際には枕木の曲げは僅少であるから, 式 (9), (10) による D_1 の値には大差なく, 特に K の小なるときは両者は近い値をとる。わが国の枕木寸法については, $K = 3 \sim 15 \text{ kg/cm}^3$ に対し概略 $D_1 = 7500 \sim 35000 \text{ kg/cm}$ となる。 D_2 は表-8 に示したように, 枕木の樹種及びレール設置法などによつて異なる。なお式(8)によれば, D_2 は D に相当大きく影響し, D を 50% 以上減少せしめることもありうる。次に u の値は枕木間隔を a とすれば, 次式で与えられ, なおその値はほぼ $100 \sim 600 \text{ kg/cm}^2$ である。

$$u \doteq D/a = Kbl/a[\eta_p] \quad \text{または} \quad Kbl/2a \dots\dots\dots (11)$$

上述の K, D, D_1, u の関係は枕木底面における K を一定とした場合であるが, 実際には K の値は一定ではなく, レール位置において大きい。従つて軌道計算において, この K を仮定するよりは直接 D の値を仮定する方がより合理的である。かかる意味よりして, 支承体係数の簡単な測定法が期待される。従来の K, D の値はいずれも静的測定値で, かつその測定法も本線軌道に対しては, 深夜終電車後相当大規模な実験を必要とした^{2), 12)}。すなわち現地に載荷車両を導き, この台枠と軌道枕木間にジャッキを入れて枕木を押し, この圧力と枕木沈下を測定して D, K の静的値を求めた。これに対して本実験では動的数値を目標とし, 測定には運転車両自体の重量を利用し, かつ簡単な装置によつて V. に述べたように P, y の同時測定を行い, その記録より軌道沈下の諸係数を求める方法をとつた。従つて本測定法は列車線においても容易に実施できる。

2. 支承体係数 D, D_1 及び軌道遊隙 ϵ の測定 道床表面の圧力 P とその沈下 y との関係は, 近似的に $P = D_1 \cdot y$ で表わされる。なお軌道内部には常に多少の遊隙が存在し, 荷重をうけるとまずわずかの圧力でこの遊隙がとり去られ, しかる後軌道全体としてほぼ弾性的沈下をなす。この関係は図-17 に示すとおりで, $oo' = \epsilon$ は軌道遊隙で大部分は枕木の浮きに原因する。この遊隙を考慮すれば, 枕木沈下 y と支承体沈下係数 D との関係は次式で表わされる。

$$y = \epsilon + P/D \quad D = P/(y - \epsilon) = \tan \alpha \dots\dots\dots (12)$$

いま沈下計を図-18 (1) のように枕木上面近くに取りつけば, $P-y$ 関係は (1) 線で示され, D は式 (12) によつて直接求められる。また (2) のように沈下計を枕木の底面近くに取りつけば, このときの $P-y_1$ 線 (2) は D_1 を示し, D_1 は同様に次式によつて求められる。

$$D_1 = P/(y_1 - \epsilon) = \tan \alpha_1 \dots\dots\dots (13)$$

ただし本実験においては, 現地では主として D_1 を測定し, D_2 は実験室で決定して, 式 (8) により D を求めた。

次に実際に $P-y$ 関係を決定するには, P, y の同時記録上, 車輪が圧力計に達するまでの間を多数に分割し, それぞれ相対応する P, y を図上にプロットして $P-y$ 線を求め, かつその横軸との交点によつて遊隙 ϵ を知る。図-19 は阪急軌道の測定例で, D_1 に対する速度影響を知るために, 代表的に低速 9.0, 中速 45.6, 高速 90.0 km/h の 3 記録を選び, それぞれの $P-y$ 線を求めた。この 3 直線には特に速度の影響は認められず, 従つてその平均値をとり, $P = 1.53y - 0.61$ (t), $\epsilon = 0.40 \text{ mm}$, $D_1 = \tan \alpha = 15300 \text{ kg/cm}$ とした。さらに表-8 より $D_2 = 165000 \text{ kg/cm}$ をとり, 式 (8) によつて $D = 140000 \text{ kg/cm}$ とした。かくして求めた阪急, 国鉄両軌道の ϵ, D_1, D の値を表-9 に示す。 D_1 の値は阪急に比し国鉄の方がはるかに小さく, 道床の軟弱なことを示した。特に曲線部の D_1 が小さく, かつ ϵ のいちじるしく大きいのは, 測定装置設置のため道床を撓乱した結果である。上述のように, 沈下係数 D_1, D が車両速度によつて変化しないことは, 軌道計算に當つて静的計算値に, 速度衝撃による増加量を加算する方法で差支えなきことを立証するものである。

3. 道床係数 K の測定

1) D_1 の測定値より K の決定 枕木底面における K を均一分布と仮定すれば, 式 (9) または (10) によつ

図-17 荷重-沈下関係

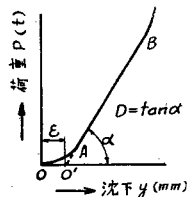
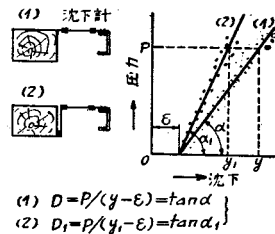
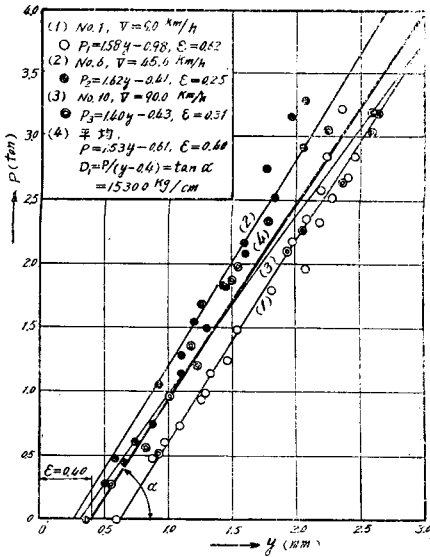


図-18 D, D1 の関係



図一19 レール圧力 P と枕木(底面)沈下 y との関係 (阪急 II)



表一9 ϵ, D_1, D, K, K_C の測定値

軌道	阪急 II 上り線	国鉄直線		国鉄出線 下り内側線
		下り内側線	下り外側線	
V (km/h)	9.0	8.5	53.1	6.6
	45.6	43.2	78.3	45.5
	90.0	91.4	94.7	87.8
ϵ (mm)	0.4	0.21	0.16	2.25
D_1 (kg/cm)	15 300	8 800	8 800	4 900
D_2 (")	165 000	175 000	280 000	175 000
D (")	14 000	8 400	8 500	4 800
K (kg/cm³) (均一分布)	6.3	4.5	4.5	2.5
K_C (") (三角分布)	11.9	8.4	8.4	4.7

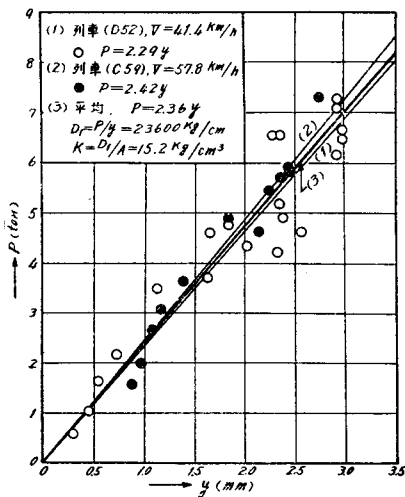
て D_1 の値より K を算定しうる。各軌道の K の値を表一9 に示した。なおこの K と等価、すなわちレール点に同一沈下を生ずるような、三角分布のレール下の K_C の値を計算し、これを表に示した。

2) レール下部における K の測定 突固めの十分行われているレール下部、左右各 40 cm 間の道床係数の平均値 K を知るため、II. 図一5 (4) に示した特殊枕木を用い、レール圧力 P と枕木沈下 y を測定すれば、 D_1 及び K は次式により簡単に求められる。

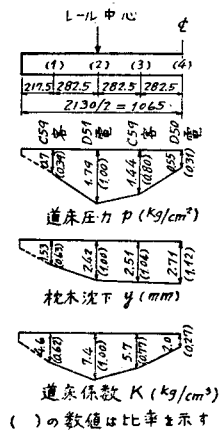
$$D_1 = P/y \quad K = D_1/A = P/A \cdot y \dots \dots \dots (14)$$

ここに A は P に対する枕木底の支圧面積である。この方法による国鉄外側線における測定結果は図一20 に示すように、 $D_1 = 23 600 \text{ kg/cm}$, $K = 15.2 \text{ kg/cm}^3$, $\epsilon = 0$ となつた。すなわち道床は十分締固められて遊隙なく、 D_1 及び K も大きな値を示した。

図一20 特殊枕木による道床係数 K の測定 (国鉄直線, 下り外側線)



図一21 枕木底面における P, y 及び K の分布 (国鉄直線, 下り外側線)



3) K の分布測定 枕木底面における K の分布状態を知るため、図一5 (1) に示した 4 個の圧力計を備えた特殊枕木を用いて、道床圧力 p 及びその点の沈下 y の同時測定を行った。図一21 は国鉄下り外側線における測定例で、レール直下の K_2 が最大で中央点の K_4 の約 4 倍を示した。なお阪急の実験でも $K_2 = 5 K_4$ となり、上記と

ほぼ同様の結果をえた。

VII. 道床振動に関する実験

1. 振動計の検定と加速度の算定法 道床振動の測定には II. 6 述べたように C 型振子を用いた。この C 型振子は感度の過大なこと、振巾の信頼性のやや低いことなどの欠点があるが、前者に対してはシャント抵抗を挿入し、後者に対しては振動台で精細な動的検定を行つて、倍率曲線を決定した。

1) 倍率曲線 $f-T$ の検定 実験には上下動振子 V を 3 個、水平動振子 H を 2 個使用し、現地で挿入したシャント抵抗をそのまま用いて、振動台で倍率曲線の決定を行つた。すなわち振子 V, H をそれぞれ上下動及び水平動振動台にのせ、振動台には定常的に加振 $\delta_0 \sin \omega t$ を与えると、振子は一般に $\delta \sin(\omega t + \varphi)$ なる定常振動をなし、倍率 f は次式で与えられる。

$$f = \frac{|\delta \sin(\omega t + \varphi)|_{\max}}{|\delta_0 \sin \omega t|_{\max}} = \frac{\delta}{\delta_0} \dots \dots \dots (15)$$

しかるに f は ω , 従つて周期 $T = 2\pi/\omega$ によつて異なり、これより倍率曲線 $f-T$ が求められる。実際には上下動振動台は $2\delta_{0V} = 0.267$ mm, 水平動振動台は $2\delta_{0H} = 0.110$ mm であるから、上式より次式がえられる。

$$f_V = \frac{2\delta_V}{0.267} \quad f_H = \frac{2\delta_H}{0.110} \dots \dots \dots (16)$$

これによつて求めた倍率曲線の一例を図-22 に示す。

2) 加速度 α の算定 記録紙上の最大振巾を η (cm), 道床最大振巾を y (cm), 道床最大加速度を \dot{y} (cm/sec²) 及び α (g) とすれば、 y は上式の f を用いて、

$$y = \eta/f \dots \dots \dots (17)$$

で与えられる。次に振動記録は概略 $T = 0.02 \sim 0.07$ sec では比較的規則正しい波形をなしているから、振動記録の最大振巾 η 及びこれに対する周期 $T = 2\pi/\omega$ を読み、加速度 \dot{y} は近似的に次式によつて求める。

$$\dot{y} = -\eta\omega^2/f \dots \dots \dots (18)$$

実際には上式の絶対値をとり、かつ単位には重力加速度 g を用いて、次のように表わす。

$$\alpha = \frac{\dot{y}}{g} = \frac{|\eta\omega^2|}{fg} \dots \dots \dots (19)$$

なおこれに $\omega = 2\pi/T$, $g = 980$ cm/sec² を代入して、

$$\alpha = \frac{\eta}{24.824 f T^2} \dots \dots \dots (20)$$

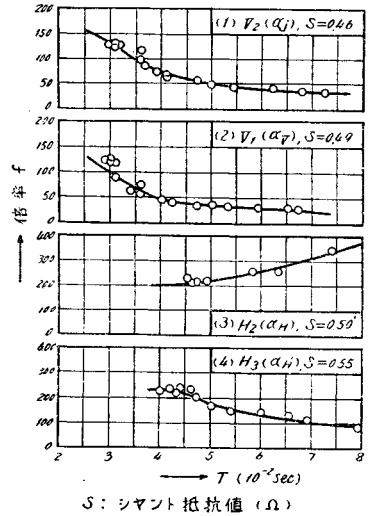
となる。従つて記録上から η と T を読み、倍率曲線から T に対応する f を求めて、これらを式(20)に代入して α を計算する。

2. 道床加速度 道床振動はレール継目部と継目の影響のないレール中間部とにわけける。なお道床加速度と車両速度との関係は、実験結果を見るに、継目部の衝撃波ではほぼ V に、また中間部ではほぼ V^2 に比例するようであるが、ここではともに $\alpha = aV^2$ として、実験式の決定を行つた。

1) 継目部における加速度 α_j 継目部に上下動振子を据えて試験電車各車輪ごとの道床振動を測定し、この加速度 α_j と車両速度 V との関係を図示し、かつ上式に従つて $\alpha-V$ 曲線を決定した。図-23 にその一例を示す。これらの測定結果では、上下動最大加速度は $V = 100$ km/h に対して阪急 $0.87 g$, 国鉄 $0.70 g$ というかなり大きな値を示し、これは後述の中間部の値に対し阪急 2.4 倍、国鉄 3.6 倍、平均 3 倍程度となつた。なお国鉄軌道において運転方向 N (西宮→芦屋), R (芦屋→西宮) による差異はあまり認められず、電動車 (46.6 t) による加速度は制御車 (31.35 t) による値の約 1.5 倍を示した。

2) 中間部における加速度 α 中間部の振動はレール応力と同時測定を行う関係上、レール長 1/4 点において上下動及び枕木方向、レール方向水平動に対する加速度 $\alpha_V, \alpha_H, \alpha_{H'}$ を測定した。図-24 は試験電車の全車輪通過による全記録から、最大加速度と車両速度の関係を示したものである。 $V = 100$ km/h に対し、阪急では概略 α_V は $0.37 g$, α_H と $\alpha_{H'}$ とはほぼ相等しく $0.11 g$ 程度で $\alpha_V/3$ 以下となり、国鉄では α_V は約 $0.15 g$, α_H と

図-22 振動計倍率曲線 (阪急)



H' は α_V と大差なく、むしろ α_V より大きな値を示すもののあることは注目を要し、最大値は $\alpha_H \doteq 0.18 g$ 、 $\alpha_{H'} \doteq 0.23 g$ を示した。

図-23 道床振動最大加速度 α_j
(レール継目部)

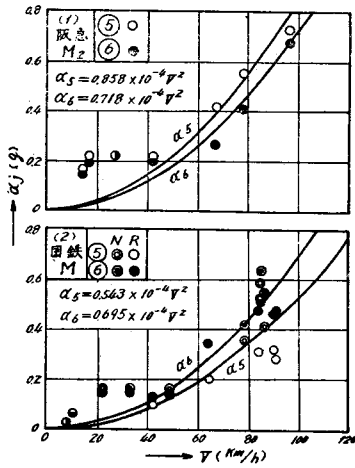
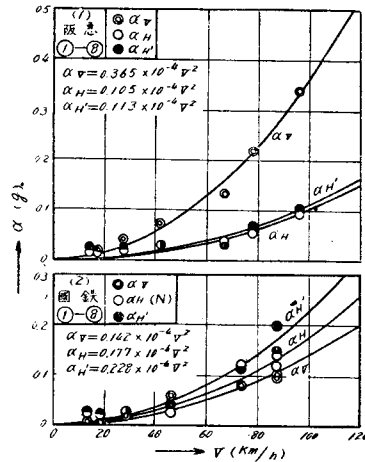


図-24 道床振動最大加速度 α レール長 1/4 点
(レール長: 阪急 25 m, 国鉄 12 m)



3) 阪急、国鉄両軌道の比較 両軌道の道床振動を比較するため、 $V=100 \text{ km/h}$ における車両重量 1 t 当りの最大加速度を示すと表-10のとおりである。継目部の α_V は阪急の方がわずかに大きいが大差はなく、中間部の α_V も阪急の方が大きい、 α_H 、 $\alpha_{H'}$ は国鉄の方が大となつた。これは軌間に関係するものと考えられる。

表-10 $V=100 \text{ km/h}$ における道床最大加速度
(車両重量 1 t 当り)

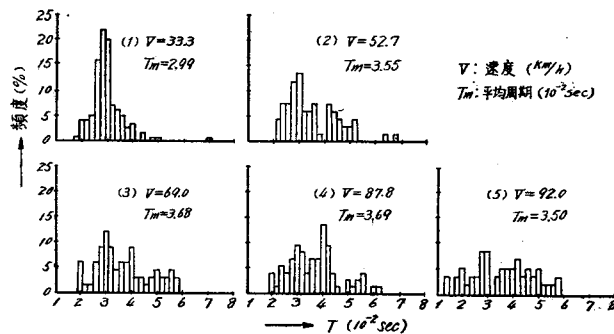
軌道	車両 (自重)	継目部		レール長 1/4 点		
		α_V	α_H	α_V	α_H	$\alpha_{H'}$
阪急	M ₁ (51.0 t)	1.71	0.37	0.11	0.16	0.16
	M ₂ (51.0 t)	1.68	0.47	0.12	0.16	0.16
国鉄	Tc (31.35 t)	1.39	0.20	0.37	0.54	0.54
	M (46.60 t)	1.49	0.25	0.35	0.44	0.44

註: $\alpha: 10^{-2} g$

3. 道床振動周期 振動周期は 2. で述べたように、加速度の算定に必要であり、また周期が車両速度に関係あるか否かは道床係数の動的考察とも関連する問題である。なお記録中、どの部分の周期を考えるべきかも問題であり、かつ周期はおおむね $0.02 \sim 0.07 \text{ sec}$ で、この間の微小な変動を調べることとなる。それゆえ、ここでは 1 記録中の全周期を読みとつて頻度分布を調べ、その平均周期 T_m と車両速度 V との関係を検討した。

1) 周期の頻度分布 阪急、国鉄両軌道のレール長 1/4 点に対する全振動記録より各 5 記録を選び、その記録

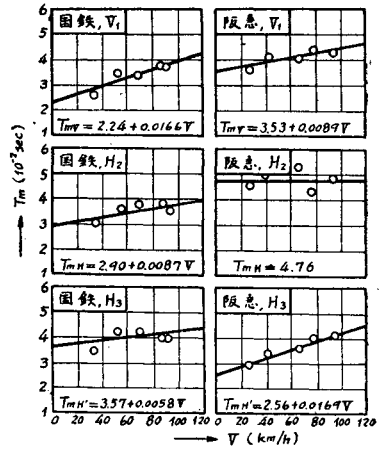
図-25 道床振動周期頻度分布 国鉄, H₂ (枕木方向水平動)



全長にわたり上下動及び枕木方向、レール方向水平動に関する周期の頻度分布を調べた。図-25は国鉄の枕木方向水平動に関するものである。一般に車両速度の大なるほど、車両通過によつて現われる振動波総数は当然減少して頻度分布は偏平となり、かつ頻度最大点もわずか右へ移動して、周期 T の頻度分布状態は速度 V によつて変化することが認められた。この頻度分布を統計学的に処理するには数が少ないので、ここでは簡単に算術平均によつて平均周期 T_m を求めた。

2) 平均周期と速度との関係 平均周期 T_m と速度 V との関係を示すと図-26のごとく、一般に周期は速度とともに増大する傾向が認められた。速度が大となると車輪の衝撃間隔小となり、周期の小さい振動を生じやすく考えられるが、本実験はこれと反対の事実を示した。これは次のように考えれば一応の説明がつく。 M を振動体の質量、 K を道床係数とすれば、周期は $T = 2\pi(M/K)^{1/2}$ で与えられ、 V が大となると道床、路盤の振動部分の質量が増大して M が大となり、従つて T が増大するものと考えられる。次に図-26に見るように T_m の値は阪急と国鉄とで多少異なり、阪急の上下動周期 T_{mv} は国鉄より0.01 sec程度大きく、水平動周期は枕木方向の T_{mH} は阪急の方が大きく、レール方向の $T_{mH'}$ は国鉄の方が大となつた。このように振動性状に多少差異のあるのは、軌間及び車両重量の相違が一原因をなすものと考えられる。

図-26 道床振動周期平均値 T_m

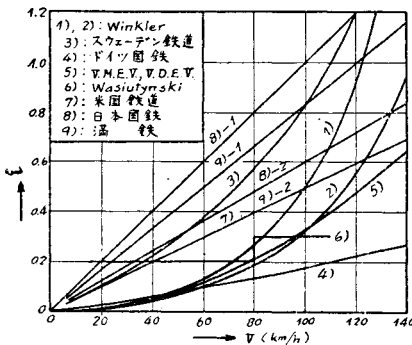


VIII. 運転速度の影響—速度係数

1. 概説 軌道応力の運転速度による増加率、すなわち速度係数 i には従来種々の値がとられ、いまこれらの $(1+i)$ の値を示せば次のとおりである^{3), 13), 14)}。

- | | |
|--|---|
| 1) Winkler, レール 33 kg, 枕木間隔 70 cm, 輪重 7 t 程度の軌道 | $(1 - V^2/30\,000)^{-1}$ |
| 2) Winkler, レール 45 kg, 枕木間隔 60 cm, 輪重 10 t 程度の軌道 | $(1 - V^2/40\,000)^{-1}$ |
| 3) スウェーデン国鉄 | $(1 - V/220)^{-1}$ |
| 4) ドイツ国鉄 | $(1 - V/650)^{-1}$ |
| 5) V.M.E.V. 及び V.D.E.V. | $1 + V^2/30\,000$ |
| 6) Wasiutynski (ポーランド) | $\begin{cases} V < 80 & 1 + 0.20 \\ V = 80 \sim 100 & 1 + 0.30 \end{cases}$ |
| 7) 米 国 | $1 + 0.5 V/100$ 程度 |
| 8) 日本国鉄 | $\begin{cases} 1. \text{ レール} & 1 + V/100 \\ 2. \text{ レール支承体} & 1 + 0.6 V/100 \end{cases}$ |
| 9) 満 鉄 | $\begin{cases} 1. \text{ レール} & 1 + V/120 \\ 2. \text{ レール支承体} & 1 + 0.6 V/120 \end{cases}$ |

図-27 各国鉄道における i の値



これを図示すれば図-27のごとく、わが国の値は他に比していちじるしく大きい。しかし最近の研究では、既述のごとく i の値はきわめて小さいといわれている。

次に $i-V$ 関係には一般に1次または2次式が考えられるが、ここでは既述のように実測値を十分検討、考察した結果、次の形をとるものとした。

$$\sigma: i = bV^2/\sigma_0 \dots\dots\dots(21)$$

$$P, y: \left. \begin{array}{l} \text{直線, } i = aV/P_0, \quad i = a'V/y_0 \\ \text{曲線, } i = bV^2/P_0, \quad i = b'V^2/y_0 \end{array} \right\} \dots\dots\dots(22)$$

$$\alpha: i_\alpha = \alpha/g \cdot V^2 \quad (g: \text{重力加速度}) \dots\dots\dots(23)$$

なお σ, P, y は σ_m, σ_u のごとく二通りの取扱いをした。従つて i も i_m と i_u の二通りとなり、計算に採用する i の値とこれに対応する許容応力とは統計学的に決定すればよい。ここでは i_u が速度係数の実用的傾向を示すものとして、これを i で表わした。道床加速度は $V=0$ で $\alpha=0$ となり、かつ変動が少ないので i_m を実質上の i_α とした。

表-11 速度係数 i の測定値 (試験電車)(1) レール応力に対する i_σ

軌道	σ	$i_\sigma (10^{-4} V^2)$	
1. 阪急 II	底部引張	σ_A	-0.01~0.30 平均 0.13
		σ_B	-0.06~0.07 0.02
		σ_V	0~0.12 0.05
	首下圧縮	σ_W	0.24~1.33 0.78
2. 国鉄直線 I	底部引張	σ_A	0.18~0.73 0.53
		σ_B	0.07~0.48 0.22
		σ_V	0.07~0.26 0.20
		$\sigma_{A'}$	0~0.35 0.16
3. 国鉄直線 II	底部引張	σ_A	0.17~0.58 0.39
		σ_B	0.06~0.44 0.22
		σ_V	0.09~0.33 0.21
		$\sigma_{A'}$	-0.13~0.61 0.41
4. 国鉄曲線	底部圧縮	σ_A	0.33~0.52 0.41
		σ_B	0.13~0.29 0.23
		σ_V	0.21~0.32 0.27
		$\sigma_{A'}$	0.29~0.20 0.15

(2) レール圧力に対する i_P

軌道	P	i_P (直線: $10^{-2} V$ 曲線: $10^{-4} V^2$)	
1. 阪急 I	P	0.01~0.46 平均 0.19	
2. 阪急 II	$\frac{P}{P'}$	0.04~0.43 0.21 0.21~0.49 0.34	
3. 国鉄直線 II	P	-0.15~0.16 -0.01	
4. 国鉄曲線	$\frac{P}{P'}$	-0.24~0.13 -0.07 0.34~0.77 0.59	

(3) 枕木沈下に対する i_y

軌道	y	i_y (直線: $10^{-2} V$ 曲線: $10^{-4} V^2$)	
1. 阪急 I	y	-0.01~0.26 平均 0.08	
2. 阪急 II	y	-0.07~0.27 0.07	
3. 国鉄直線 II	y	0.07~0.26 0.16	
4. 国鉄曲線	y	-0.01~0.03 0.01	

(4) 道床振動加速度に対する i_α

軌道	α	$i_\alpha (10^{-4} V^2)$		軌道	α	$i_\alpha (10^{-4} V^2)$	
1. 阪急 II	1/4点	α_V	最大 0.365	2. 国鉄曲線	1/4点	α_V	最大 0.187
		α_H	" 0.105			α_H	" 0.177
		$\alpha_{H'}$	" 0.113			$\alpha_{H'}$	" 0.228
	継目部	α_V	0.695 ~ 0.873 平均 0.796		継目部	α_V	0.378 ~ 0.695 平均 0.509

2. 速度係数の測定値 阪急, 国鉄両軌道に対する i の値を上式によつて求め, これを総括すれば表-11 のとおりである。もちろん測定数も少なく十分ではないが, これを検討し, 主として直線軌道に対しほぼ次の結果を導いた。

1) レール応力に対する i_σ , 表-11 (1) まず阪急軌道におけるレール底応力の i_σ は表に示すように, 従来値に比し非常に小さく, 最大値は σ_A の $0.3 \times 10^{-4} V^2$, 大部分は $0.1 \times 10^{-4} V^2$ 程度である。なお測定は片側のみであるから, 両側測定の結果を考慮して, $i_\sigma = 0.25 \times 10^{-4} V^2$ 程度を適当とする。次に国鉄軌道では $\sigma_A, \sigma_{A'}$ に $0.5 \times 10^{-4} V^2$ を超えるものもあるが, 多くはそれ以下の値を示し, なお $V=0$ の車両偏倚を考慮するゆえ, まず $i_\sigma = 0.4 \times 10^{-4} V^2$ で十分と考えられる。

次に阪急軌道の首下圧縮応力 σ_W に対する i_σ は表に示すように, 上記レール底応力に比して非常に大きく, かつ $(0.24 \sim 1.33) \times 10^{-4} V^2$ の広範囲に変化している。これは輪重の偏心及び横圧力の激しい変化によるものであるが, 既述のごとく σ_W は概略 1000 kg/cm^2 が限度であるから, これより逆算して i_σ の最大値は 1.38 とした。従つて一応 $i_\sigma = 1 \times 10^{-4} V^2 < 1.38$ と考える。

2) レール圧力に対する i_P , 表-11 (2) 阪急軌道では最大値は $i_{P'} = 0.49 \times 10^{-2} V$ を示したが, 多くは $0.3 \times 10^{-2} V$ より小さく従来値の 1/2 以下である。従つてここでは, ほぼ平均をとり $i_P = 0.25 \times 10^{-2} V$ とした。国鉄軌道では1側のみ測定で, その値は非常に小さく, 最大値は $0.16 \times 10^{-2} V$, 阪急の値の約 1/3 で, しかも負値をとるものもある。これは反対側の $i_{P'}$ はかなり大きな値を示すものと考えられ, よつてここでは $i_P = 0.3 \times 10^{-2} V$ 程度をとる必要があるものと考えられる。

表-13 レール圧力に関する車両重量偏倚 β_P
(阪急 II 営業電車)

No.	列車種別	V km/h	1 車両平均 P: t β_P : %			
			P	P'	P _S	β_P
1	試験	0	3.28 3.27	4.74 4.79	4.01 4.03	18 19
2	普通	40.8	2.22 3.36	1.65 1.80	1.94 2.58	14 30
3	普通	70.8	5.62 3.22	2.93 1.79	4.28 2.51	31 28
4	普通	75.7	2.89 4.42	1.66 3.32	2.28 3.87	27 14
5	急行	77.3	4.83 2.64 4.56 4.15	2.72 2.22 2.80 2.77	3.78 2.43 3.68 3.46	28 9 24 20
6	急行	88.3	5.18 2.75 5.04	3.23 1.85 3.01	4.21 2.30 4.03	23 19 25
7	急行	91.2	5.23 2.49 5.18	3.43 1.78 3.56	4.33 2.14 4.37	21 16 18
8	特急	93.1	4.42 5.40	1.80 2.24	3.11 3.82	42 41
9	急行	93.2	4.88 2.65	2.96 1.68	3.92 2.17	24 22
10	特急	107.5	2.34 3.88	2.15 3.66	2.35 3.77	4 3

総平均値 $\beta_P=22\%$

表-14 車両重量偏倚 β 昭28.11.18~20.
(国鉄東海道線草津-石山間 旅客列車)

速度 V (km/h)	列車数	軸数	測定値 β	最頻値 β_H	平均値 β_0	第3四分 点 β_q
			レール応力偏倚係数 β_σ (%)			
46	2	106	0.2~27.4	1.5	5.1	9.9
53	4	213	0.0~39.5	2.0	6.4	12.8
60	2	110	0.0~34.0	2.2	7.4	13.4
62	4	232	0.0~33.3	2.4	5.9	10.5
63	3	145	0.0~27.4	3.8	8.4	14.1
65	4	221	0.0~37.6	3.3	7.7	13.3
70	3	168	0.2~48.1	3.8	9.2	16.9
73	4	211	0.0~37.6	2.1	6.8	12.6
78	4	211	0.0~37.0	2.3	6.9	11.4
レール圧力偏倚係数 β_P (%)						
49	3	138	0.2~25.2	2.5	6.0	11.0
53	3	199	0.0~27.0	2.8	6.0	10.5
58	3	179	0.0~26.9	2.2	5.8	11.5
62	4	207	0.0~25.1	2.1	4.7	8.7
68	5	224	0.0~25.8	2.8	6.3	11.8
73	3	190	0.0~26.7	2.2	4.9	9.4

的に解析するため、昭.28.9.20~22. 京阪電鉄四条一五条間において、また 11.18~20. 国鉄東海道線草津-石山間において、両側の σ, P に関し多数の同時測定を行った。この両軌道における β_σ, β_P には大差なく、ほぼ同様の傾向を示した。表-14は東海道線における旅客列車に対する測定結果とその解析結果を示したもので、これによれば測定速度の範囲では β が特に大きくなる傾向は明らかでなかつたが、前記の 15% はおおむね妥当な数値であることを立証した。

4. 速度係数の総括 2. に示した速度係数はいずれも $V=0$ 時の測定値を基準としたもので、 $V=0$ かつ $\beta=0$ の静的計算値を基準としたものではない。この基準に従うレール応力及びレール圧力は、式(26)と同様に次式で表わされる。

$$\sigma = (1+i_\sigma)(1+\beta_\sigma)\sigma_0 \quad P = (1+i_P)(1+\beta_P)P_0 \dots \dots \dots (27)$$

ここに σ_0, P_0 は $V=0, \beta=0$ としたときの値、 i_σ, i_P は $V=0$ を基準とした速度係数、 β_σ, β_P は $V=0$ 時の偏倚係数であつて、従つて $(1+i)(1+\beta)$ は車両偏倚による速度係数の修正を示すものである。この修正値は 2.3. に示した i, β の値を用うれば、次のようになる。もちろんこれらは、実験資料十分でないので、それぞれの実験地点と実験電車を対象とした概略の傾向を示すものである。

1) 阪急軌道

$$\begin{aligned} \sigma &: (1+i_\sigma)(1+\beta_\sigma) = (1+0.25 \times 10^{-4} V^2) \times 1.15 \\ \sigma_W &: (1+i_\sigma)(1+\beta_\sigma) = (1+10^{-4} V^2) \times 1.15 < 2.38 \times 1.15 \\ P, y &: (1+i_P)(1+\beta_P) = (1+0.25 \times 10^{-2} V) \times 1.15 \\ \alpha_V &: i_\alpha = 0.8 \times 10^{-4} V^2 \quad \alpha_{H'}: i_\alpha = 0.1 \times 10^{-4} V^2 \end{aligned}$$

2) 国鉄軌道

$$\begin{aligned} \sigma &: (1+i_\sigma)(1+\beta_\sigma) = (1+0.4 \times 10^{-4} V^2) \times 1.15 \\ P, y &: (1+i_P)(1+\beta_P) = (1+0.3 \times 10^{-2} V) \times 1.15 \\ \alpha_V &: i_\alpha = 0.6 \times 10^{-4} V^2 \quad \alpha_{H'}: i_\alpha = 0.2 \times 10^{-4} V^2 \end{aligned}$$

上記結果は図-28, 29 に示すごとく、レール底応力及びレール支承体に関する増加率は従来の国鉄計算法の値に比しはるかに小さいが、なお相当の値を示し、特にレール首下応力に対する値が大きい。かかる事実は速度上昇にともなう測定値のバラツキ、両側の同時測定、車両重量の偏倚を考慮したことによるものである。なお実験は特定の車両と軌道につき、かつ 100 km/h までの速度について行ったもので、それ以上の速度に対しては全く

不明である。従つてさらに高速度における多数の実験が望ましい。また許容運転速度の推定などには、軌道応力及び道床振動加速度の許容値が重要な問題となつてくる。いまかりに本実験結果の適用をある程度拡張し、かつ相当の安全率をもつものとして一応従来の許容応力と道床振動 α_v の許容値を $g=980 \text{ cm/sec}^2$ と仮定すれば、許容速度は阪急、国鉄両軌道とも概略 110~120 km/h と推定される。これは主として道床の振動破壊にもとづくもので、軌道は道床、路盤の強化の肝要なことがうかがわれる。

図-28 $(1+i)(1+\beta)$ の値

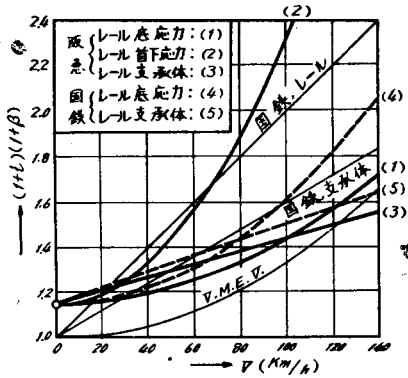
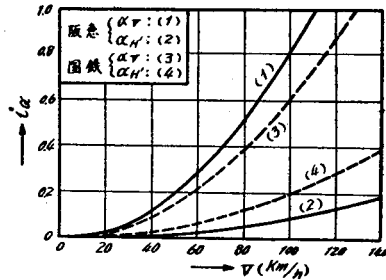


図-29 i_{α} の値



IX. 結 言

以上本研究は主として電車軌道に対し、軌道各部の応力、圧力、沈下及び道床振動などを測定し、それらの力学的性質特にその速度影響及び軌道支承係数などにつき実験的究明を行つたもので、これを要約すれば概略次のとおりである。

- 1) レール曲げ応力、レール圧力及び枕木沈下に対する速度影響は、それらの平均値についてはきわめて小さいが、測定値のバラツキ、左右両レールに対する同時測定及び車両重量の偏倚を考慮すれば、相当の増加率を見込むのが妥当である。
- 2) レール腹部の断面方向応力は、50 kg レールを用い、現在程度の車両を運転する軌道においては、あまり大きな値は示さないが、車両運動にともなう輪重の偏心及び横圧力の変化が鋭敏に影響し、その速度影響は曲げ応力などに比していちじるしく大となる。なおこの腹部応力に関する近似計算法を示した。
- 3) 道床係数その他の軌道支承係数に関し、直接運転車両を利用する簡単な動的測定法を提案した。なおこれらの値は車両速度にほとんど関係しないことを確かめた。
- 4) 枕木底面における道床係数の変化を直接測定し、その分布状態と枕木曲げ応力とを比較した。
- 5) 道床の振動加速度は車両速度のほぼ 2 乗に従つて増大する。なお加速度値は特に継目部の上下動が大きく、中間部は上下動、水平動とも大差なく、かつこれらの振動加速度は軌間によつて変化することを認めた。
- 6) 道床の振動周期は概略 0.03~0.05 sec で、この値は車両速度に従つて若干増大する傾向を示した。
- 7) 運転速度向上に対する軌道の弱点は道床の振動破壊である。
- 8) 本実験はすべて 100 km/h までの速度に関するもので、さらに高速度による多数の実験を行い、高速度下における軌道性状の究明が必要である。なお軌道応力の許容値特に道床振動に対する許容加速度の解明も今後の重要な課題である。

終りに本研究に関し種々の援助を賜つた京都大学土木教室、国有鉄道大阪鉄道管理局、京阪神急行電鉄会社及び京福電鉄会社の各位に深甚の謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) Mumme, D. : Die einheitliche Berechnungsweise des Oberbaues des Verein Deutscher Eisenbahnverwaltungen, Verkehrstechnik. Heft 2, 1931.
- 2) Driessen, Ch. H.J. : Die einheitliche Berechnung des Oberbaues im Verein Mitteleuropaeischer Eisenbahnverwaltungen, Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 92-7, 1937.
- 3) 山内丈夫ほか2氏 : 軌道の科学的研究, 昭.11.
- 4) 小野一良 : 軌道の動力学的強度について, 土木学会論文集 第5号, 昭.25.
- 5) 佐藤 裕 : 軌道強さに及ぼす列車速度の影響, 鉄道業務研究資料, 9-13, 昭.27.
- 6) 川又久夫, 星野陽一 : 新軌道力学の誕生, 昭.28.
- 7) Talbot, A.N. : 7th Progress Report—Special Committee on Stresses in Railroad Track, A.R.E.A. Proc. Vol. 42, 1941.
- 8) Talbot, A.N. : Report on Stresses in Railroad Track, A.R.E.A. Proc. Vol. 42, 1941.
- 9) Magee, G.M. and Cress, E.E. : Stress Measurements in the Web of Rail on the Denver, & Rio Grande Western, A.R.E.A. Proc. Vol. 44, 1943.
- 10) 鉄道技術研究所 : 伯備線レール折損事故原因調査報告書, 昭.27.
- 11) 鉄道技術研究所 : レールに生ずる応力の実験的研究 (軌道状態との関係), 昭.27.
- 12) 小野一良 : タイタンパーによる道床つき固め (第1報), 鉄道業務研究資料 7-11, 昭.25.
- 13) Baumann, H. and Jaehn, F. : The Relationship between the Vehicle and the Track to ensure Safety at High Speeds, Report No. 3, Bull. of Int. Ry. Congr. Ass. 14-12, 1932.
- 14) Vogel, R. : Die Berechnung des Querschwellen-Oberbaues, Gleistechnik 14-15/16, 1938.

昭和 30 年 2 月 5 日印刷
昭和 30 年 2 月 10 日発行

土木学会論文集
第 22 号

定価 100 円

著 者	京都市左京区下鴨塚本町37番地	小 林 勇
編集兼発行者	東京都千代田区大手町2丁目4番地	中 川 一 美
印 刷 者	東京都港区赤坂溜池5番地	大 沼 正 吉
印 刷 所	東京都港区赤坂溜池5番地	株式会社 技報堂

東京中央郵便局区内 千代田区大手町2丁目4番地

発行所

社 団
法 人

土 木 学 会

電話 (20) 3945-4078
振替東京 16828

