

砂利道床軌道が走行車両より受ける衝撃の測定および解析

MEASUREMENT AND ANALYSIS OF THE IMPACTS APPLIED TO THE RAILWAY TRACK UNDER THE RUNNING VEHICLES

小野 一良*・伊藤 義男**
By Kazuyoshi ONO and Yoshio ITO

1. 緒言

著者らはすでに走行列車によって砂利道床軌道に生ずる振動を測定し、解析した結果を述べたり。この振動はレール面または車輪踏面に存在する無数の微小な傷によって生ずると推定される。今回は特にレール面または車輪踏面に顕著な傷が存在する場合について軌道が受ける衝撃を測定し、その発生頻度ならびに車両動揺による荷重変動との関連について研究を行った。

軌道にもっとも大きな衝撃を加えるのは車輪踏面にフラット部がある場合と推定されるので人工的に車輪に大きなフラット部を作り走行試験を実施した結果が鉄道技術研究所より発表されている^{2)~4)}。軌道に欠陥がある場合としてはレールの継目落ちが挙げられ、レール継目部付近におけるレール圧力の変動を測定した結果がすでに発表されている⁵⁾。また東海道新幹線の軌道落ち込み箇所を高速で試験電車が走行したときに40tに近い著大輪重が発生したことが報告されている^{6)~7)}。今回の報告は一般の通過車両ならびに在来線軌道に通常存在する欠陥部によって軌道が受ける衝撃を測定することに重点をおいた。

2. レール面の欠陥によって軌道が受ける 衝撃の測定

レール面がすべり易い場合には多数の車両を牽引した機関車が発発するとき動輪がレール面上で空転することがある。そのときレール面に空転傷を作り、その一例を図-1に示した。この箇所をD51型機関車が種々の速度で通過した場合に軌道が受ける衝撃を測定した。軌道構造としては37kg 25mレール、木まくらぎ37丁

配置、タイプレートなし、ふるい砂利道床、直線平坦線であった。

空転傷の直下においてレール底部にワイヤストレーンゲージを貼り、レールに生ずる曲げ応力を測定した。その記録を図-2に示すが、低速度においてはまず負の衝撃が加わり、これに続いて大きな正の衝撃が加えられる。しかし速度が増すと負の衝撃は増すが、正の衝撃は次第に目立たなくなってくる。これは高速になると車輪が空転傷を飛び越えて進むためと考えられる。先輪の通

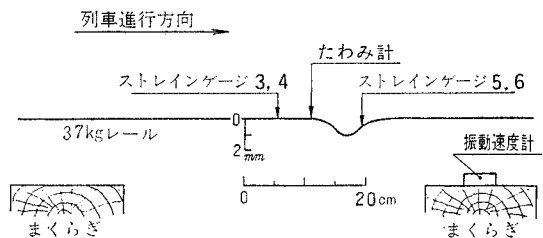


図-1 レール面に生じた空転傷

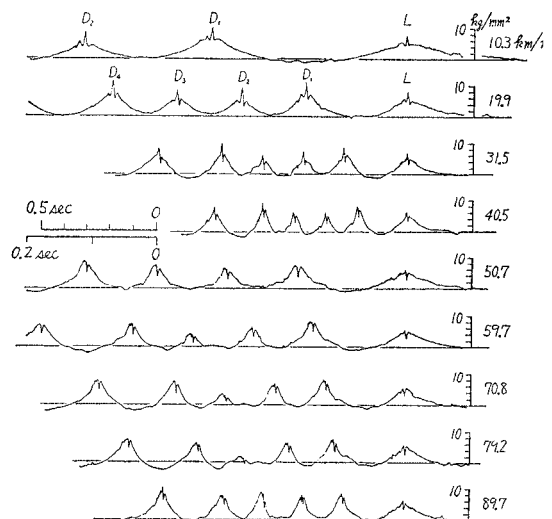


図-2 空転傷のあるレールに生じた曲げ応力の測定記録

* 正会員 工博 金沢大学教授 工学部土木工学科

** 正会員 石川工業高等専門学校助手 土木工学科

過時にレールに生ずる正負の衝撃による曲げ応力の大きさと列車速度との関係を図-3に示した。低速においては正の衝撃による曲げ応力が静的曲げ応力の70%になる場合がある。

次に空転傷の直下においてレールのたわみを測定した記録例を図-4の上部に示し、先輪の通過時におけるたわみの変化と走行速度との関係をその下に示した。

図-3, 4によればいずれも走行速度 20 km/h のときに衝撃が最大値に達し、それより速度が増加するときに衝撃が減少することを示している。しかし図-3によれば速度 40~50 km/h において衝撃は最低となり、それ

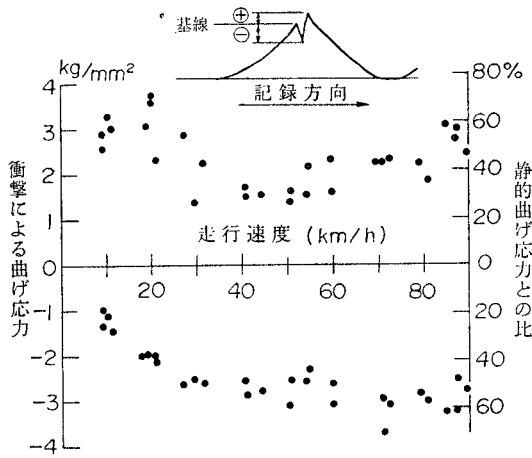


図-3 空転傷によりレール底部に生ずる曲げ応力

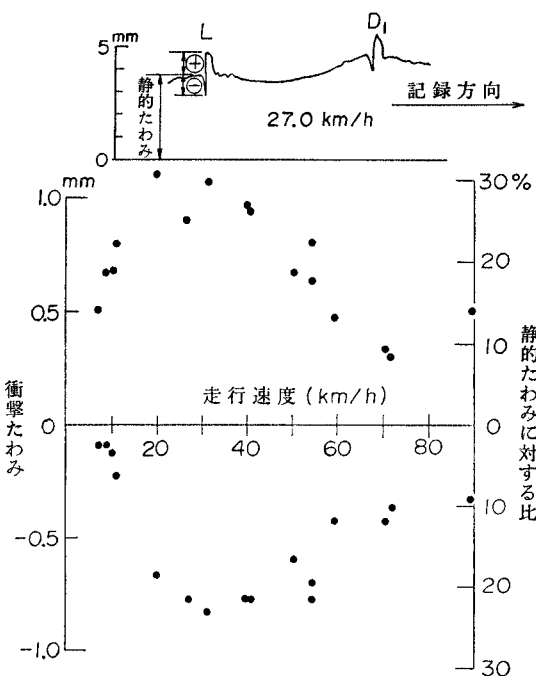


図-4 空転傷によるレールの衝撃たわみ

より速度の増加とともにいくぶん増加するが、図-4によれば衝撃は速度 70~80 km/h に至るまで次第に減少している。また一般に曲げ応力より得た衝撃値がたわみより得た衝撃値よりはるかに大きい。このような差を生じた原因として考えられることはレール底部に生ずる曲げ応力の値は荷重が測定位置を離れると急速に低下するため静荷重の大きさも衝撃値もその載荷点において測定した曲げ応力より求めなければならない。このような位置を予想してワイヤストレーンゲージを貼り付けたのであるが、列車速度の変化によって最大の衝撃の作用する位置にいくらかのずれがあり、また図-3の上部に示したように負の衝撃を生ずる直前の曲げ応力を静荷重による曲げ応力として基線を引き、この基線を基準として正負の曲げ応力を求めたことにも問題があったと考えられる。

これに反しレールのたわみは荷重が測定箇所をいくらかはずれても大きな変化はないので比較的正確に求められる。しかしたわみの測定機構の中に機械的部分があるので急激な変化に対しいくらか慣性の影響が入るおそれがあった。また静的たわみの中にはレールとまくらぎおよびまくらぎと道床との間の隙が入るためたわみの大きさは荷重の大きさに比例しない。したがって衝撃荷重

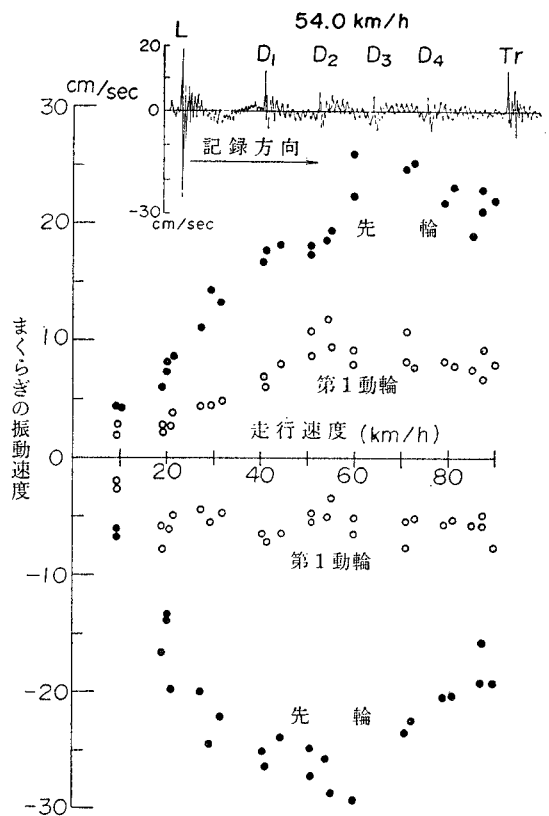


図-5 空転傷によるまくらぎの振動速度

と静荷重との比は 図-4 の右に示した数値よりはるかに大きくなると推定される。

空転傷の下にあるまくらぎに振動速度計を取付けて機関車通過時の振動速度を測定した結果を 図-5 の上に示

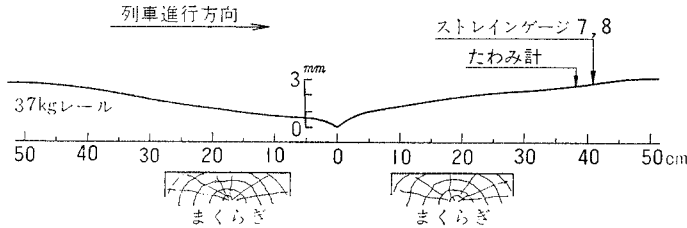


図-6 レール継目落の形状

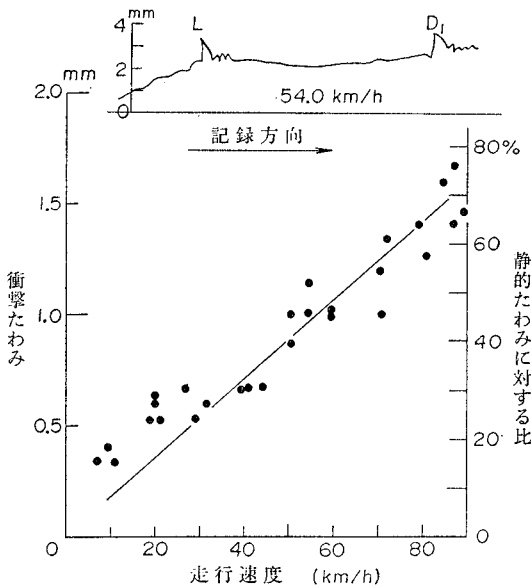


図-7 継目落によるレールの衝撃たわみ

した。先輪の車輪荷重は 3.5 t であり、第 1 動輪は 7.1 t であるが、重量の軽い車輪の下では振動速度が非常に大きくなっている。走行速度とまくらぎの振動速度との関係を 図-5 の下に示したが、走行速度が 60 km/h のときにまくらぎの振動速度が最大となっている。

次に 図-6 に示すときレール継目落を機関車が通過するときレールに生ずるたわみを測定し、その結果の一例を 図-7 の上に示した。先輪が通過するときの衝撃たわみの大きさと走行速度との関係を 図-7 の下に示した。走行速度に比例して衝撃たわみの増加することが認め

られる。90 km/h において衝撃たわみは静的たわみの 73 % に達している。さきの測定結果に比較すればレール継目落のごとく車輪の直径に近い延長をもつ軌道不整部においては列車速度に比例する衝撃を受けるが、空転傷のごとく延長の短かい不整部においては走行速度の増加とともに衝撃が減少するようである。しかし振動の測定においては延長の短かい不整部といえども走行速度とともに振動速度の増すことが観測された。

3. 車輪踏面の傷によって生ずる衝撃の測定

走行車両の車輪踏面の傷によって軌道が受ける衝撃の大きさを知る目的をもって北陸線野々市駅付近(米原起点 179.360 km) 上り線において走行車両のすべての車輪荷重を測定した。線路状態は写真-1 に示すごとく直線 2.5 % 上り勾配、約 1 m の築堤区間である。50 kg N レールによる延長 1500 m のロングレール区間であり、PC 3号5型まくらぎが 25 m 当り 39 丁配置されていた。砕石道床の厚さはまくらぎ下 250 mm となっていた。

同一のまくらぎ間合に 32 cm の間隔をもってレール腹部に 2 枚の直交 2 軸ワイヤストレインゲージを貼付け、図-8 に示すように接続した。この方法でこれら 2 点におけるせん断応力の差を検出することができた。このようにして求めたせん断応力の差はこの間においてレールが受ける垂直荷重に比例するのでこの間のどの位置に衝撃が

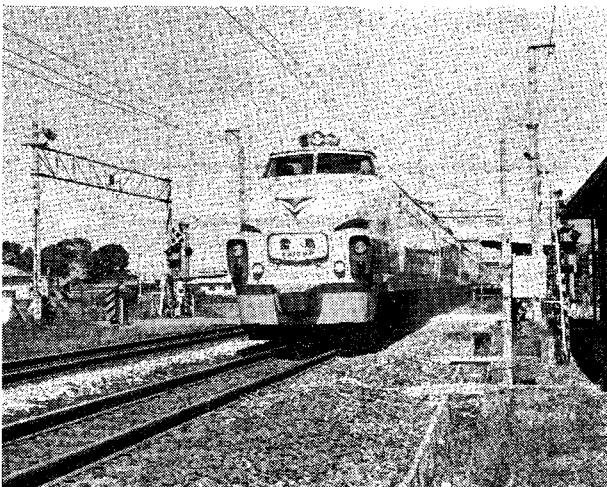


写真-1 車輪荷重の測定箇所

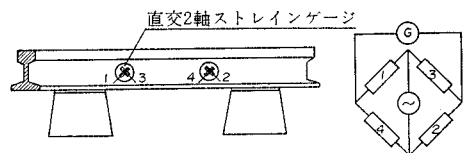


図-8 レールのせん断ひずみによる車輪荷重の測定法

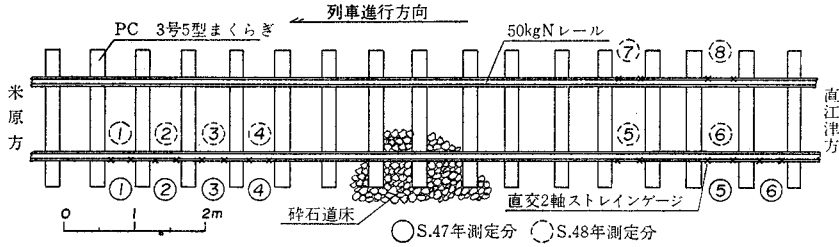


図-9 車輪荷重の測定箇所 (北陸本線 179 360 m 付近上り線)

加わっても一定の倍率で衝撃力の大きさを知ることができる⁸⁾。

図-9 に示すごとく連続4個のまくらぎ間合いおよびいくらか離れた2間合いで測定したので直径86cmの車輪に対しては図-10に示すごとく全周の65%を検出することができた。レールに垂直荷重と同時に横圧力が加わるときにはレール腹部の両側にゲージを貼り付けてその平均値を求めなければならないが、今回の測定箇所は直線であり、横圧力はほとんど認められなかった。

測定記録より車輪荷重の大きさを決める方法としては静的に荷重を加えて基準値を求める方法もあるが、今回は車輪荷重がほぼ正確にわかっている車両たとえばEF70形式機関車の記録を基準として他の車両の車輪荷重

を求めた。

測定記録の数例を図-11~16に示す。図-11は特急電車最後部の2両の通過時の記録であり、①の間合いではクハ481形式車両の運転台より最も離れた車輪によってレールに16tに達する荷重の作用したことが認められ、これは静的車輪荷重の3.8倍に相当する。また③の間合いでは1個の車輪荷重がほとんど0となっている。このようにクハ481形式車両の通過時にレールに加わる車輪荷重の変動の激しいことはこの車両の車輪踏面に大きな傷があったことを示している。この形式の車両において車輪踏面に傷を発生し易い理由についてはすでに前報告¹⁾において述べたところである。

図-12は特急電車の食堂車(サシ481形式)とグリーン車(サロ481形式)通過時の記録であり、一般に食堂車の車輪の通過時には車輪荷重の変動の激しいことが認められる。特に⑤の間合いでは23tの車輪荷重を生じた場合があり、静的車輪荷重の4.8倍に達する。これは車輪に大きな平坦部があったことを示している。このように食堂車の車輪に傷の多い理由は水槽が車体の中央より外れて取付けられており、水が空になったときに前後台車に輪重の差を生ずるためと考えられる。

図-13はディーゼルト急のキロ80形式およびキハ82形式車両の通過時の記録である。キハ82形式車両通過時にはほとんど衝撃が認められないが、キロ80形式

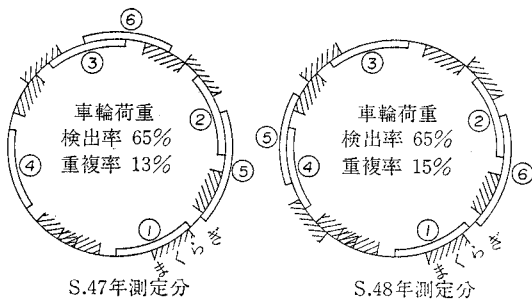


図-10 車輪荷重の測定率 (車輪の直径 86 cm の場合)

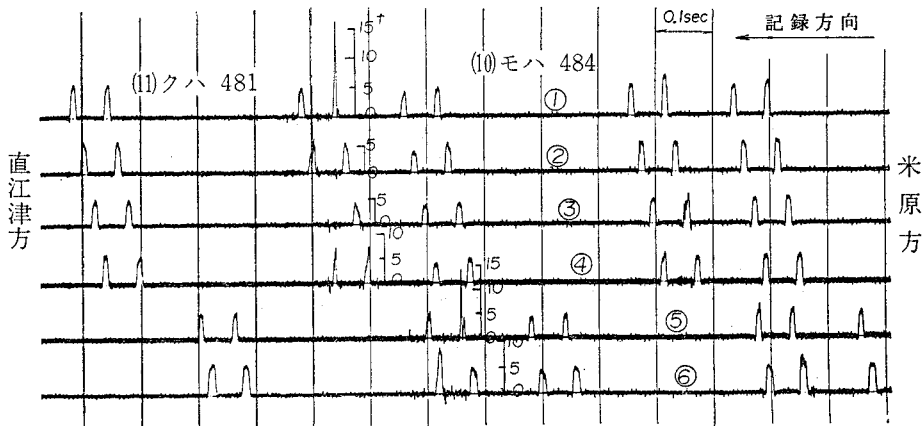


図-11 車輪荷重の測定記録 (4 020 M 126.0 km/h, 昭.47.8.30 測定)

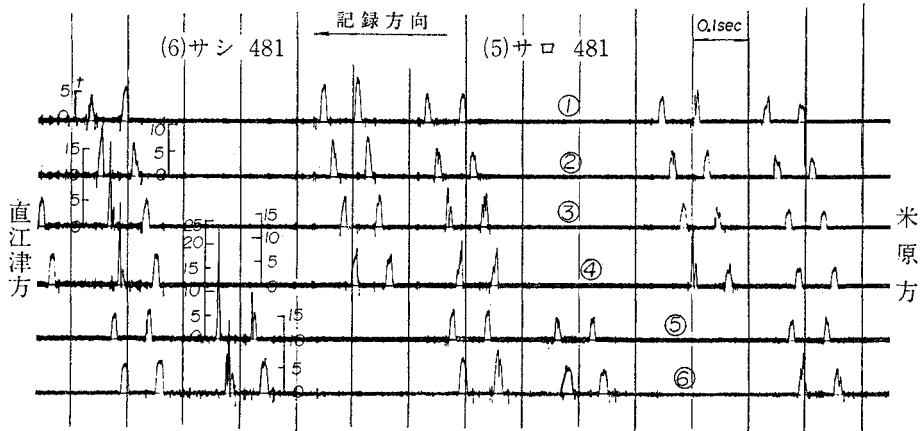


図-12 車輪荷重の測定記録 (4 022 M 121.4 km/h, 昭.47.8.30 測定)

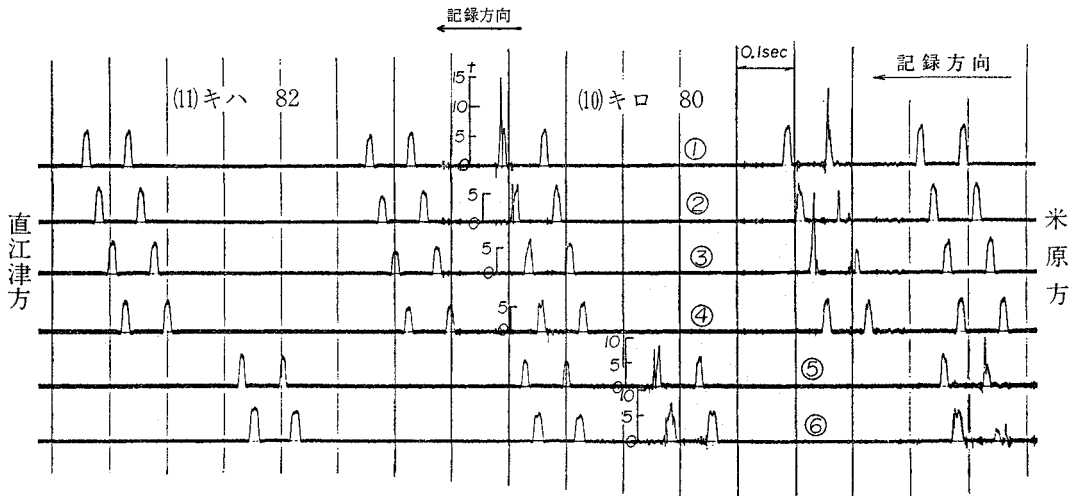


図-13 車輪荷重の測定記録 (4 002 D 102.2 km/h, 昭.47.8.30 測定)

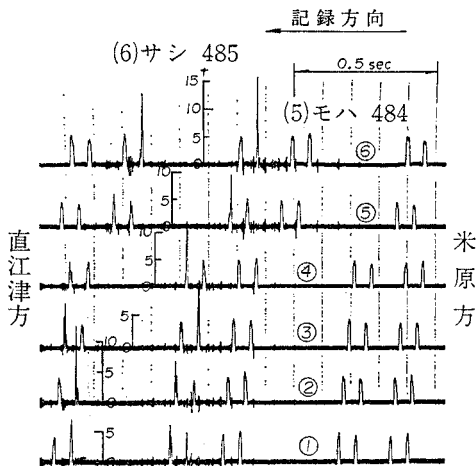


図-14 車輪荷重の測定記録 (4 002 M 127.3 km/h, 昭.48.8.1 測定)

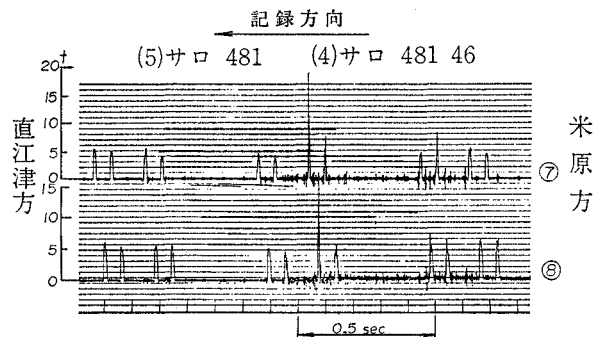


図-15 車輪荷重の測定記録 (4 016 M 129.7 km/h, 昭.48.8.2 測定)

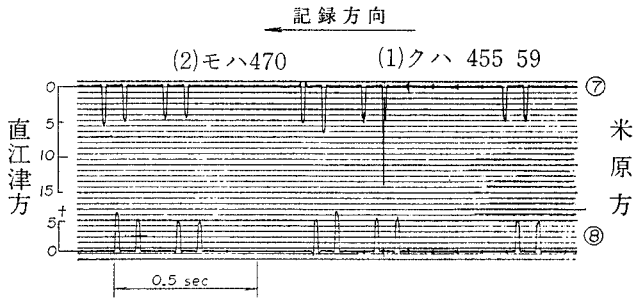


図-16 車輪荷重の測定記録 (1702 M 102.9 km/h, 昭.48.8.2 測定)

車両の通過時には多数の衝撃が認められる。キハ 82 形式では車輪荷重が 6.25 t であるのに対し、キロ 80 形式は 5.63 t となっているので車輪荷重が軽い車両において車輪踏面に多くの傷が発生することをあらわしている。

図-14 はモハ 484 形式およびサシ 485 形式車両通過時の記録であるが、サシ 485 形式車両(食堂車)においてはすべての車輪踏面に傷があるものごとく、いずれかのまくらぎ間合いにおいて衝撃があらわれている。



写真-2 車輪踏面に生じた傷(クハ 45559)

図-15, 16 にはサロ 48146 およびクハ 45559 通過時にレールが受けた衝撃を示し、写真-2, 3 にこれら車輪の踏面に発見された傷を示す。このような傷の存在によって軌道は大きな衝撃を受けたことが判明する。

4. 衝撃による車輪荷重変動の頻度

各種の車両が走行中において軌道に及ぼす輪重変動の発生頻度を知るため、多数の通過列車の車輪荷重を測定し、その結果を車両の形式または自重によって区分し、横軸に車輪荷重をとり、縦軸にそれ以下の車輪荷重が発生する累積頻度を対数目盛で示した。

図-17 は車両重量が 40~42 t の電動車両の車輪荷重

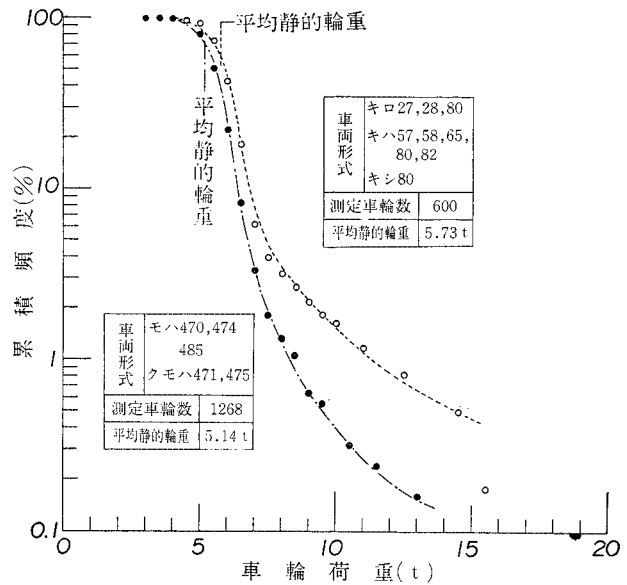


図-17 動力車両の車輪荷重-累積頻度曲線

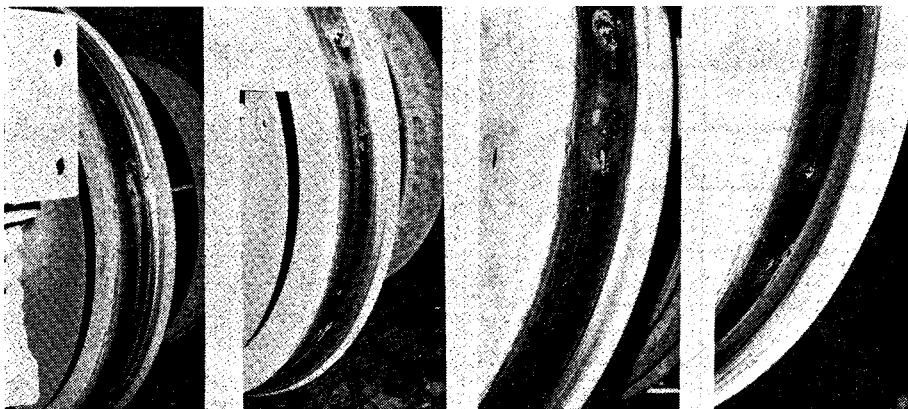


写真-3 車輪踏面に生じた傷(サロ 48146)

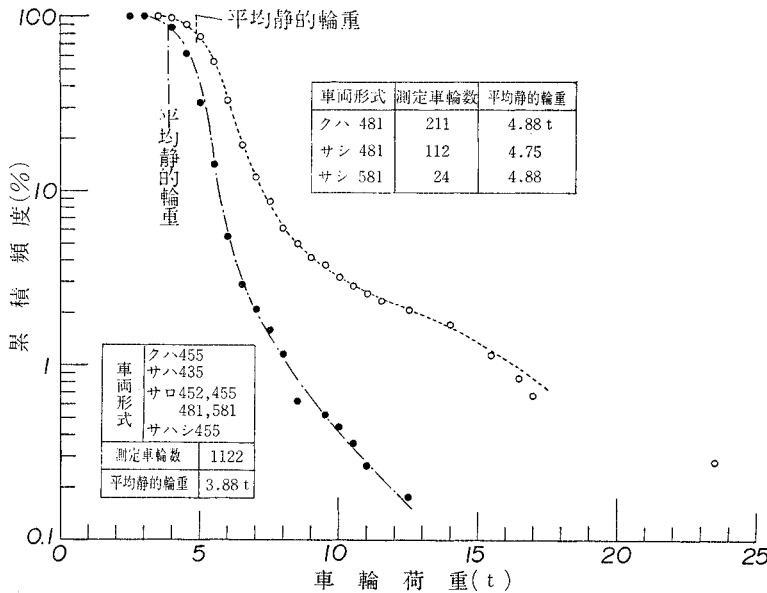


図-18 付随車両の車輪荷重-累積頻度曲線

表-1 累積頻度の1%となる車輪荷重および衝撃

	電動車	気動車	付随車	
			一般	クハ 481 サシ 481,581
1% 車輪荷重	8.2 t	11.6 t	8.3 t	16.0 t
静的車輪荷重	5.1	5.7	3.9	4.9
衝撃	3.1	5.9	4.4	11.1
比	0.61	1.03	1.13	2.26

を1268個測定した結果より車輪荷重と累積発生頻度との関係を●印で示した。また自重が40~50tのディーゼル動車の車輪荷重を600個整理して○印で記入した。これら車両の走行速度は100~120 km/hであった。同様に付随車両を自重が30t前後の車両群と39t前後の車両群とに区分して●印および○印で図-18に示した。この場合の走行速度は120 km/h程度であった。これらの図において輪重-累積頻度曲線の傾きが緩いほど軌道に与える衝撃の発生頻度が大きいことを意味し、走行車両の形式によって大いに異なることが認められる。これらの図から累積頻度の1%となる車輪荷重を求め、この車輪荷重から静的車輪荷重を差引いた値を衝撃として表-1に示した。

この表によれば付随車による衝撃は電動車に比べて大きく、特にクハ481、サシ481、581形式電車による衝撃は静的車輪荷重の2.26倍に達している。従来の説

によればばね下重量が大きいほど衝撃が大きいとされていたが、今回の実験ではこれと反対の結果になった。レール面の傷または軌道の不整によって生ずる衝撃はばね下重量の大きさに比例することもあり得るが、車輪踏面の傷は車輪荷重が小さいほど発生し易く、特に前後の台車に作用する車体重量に差がある場合には軽い台車の下で発生して軌道に大きな衝撃を加えることとなる。

5. 車両の動揺による車輪荷重の変動

図-9に示すごとく同一まくりぎ間合いで左右レールに生ずる車輪荷重を同時に測定した区間では

各車輪による荷重の大きさとその車両の平均車輪荷重との差によって車両の動揺による荷重の変動を知ることができる。ただし明らかに車輪踏面の欠陥によると推定されるものは除いた。

特急電車1編成について車輪荷重の変動を測定した結果の一例を図-19に示した。車輪荷重の大きさを100 kgごとの階段で分類し、その分布を正規確率紙によって検定したところほぼ一直線となり、正規分布であることが判明した。

測定地点を通過した特急電車5個列車について車輪荷重の変動を調べた結果を図-20に示す。この図で●印は電動車であり、その標準偏差は600 kgとなった。また○印はクハ481形式およびサシ481形式車両であり、その標準偏差は740 kgとなった。数理統計論によれば

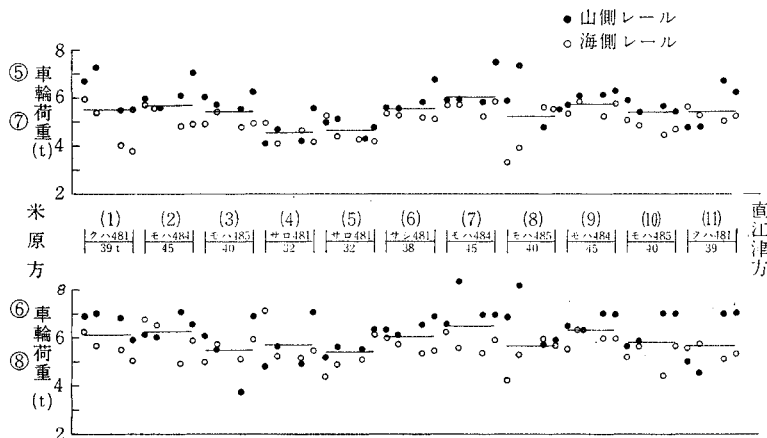


図-19 特急電車1編成の車輪荷重変動 (4 020 M 130.5 km/h, 昭.48.8.2 測定)

車両形式	静的輪重	測定車輪数	車両形式	静的輪重	測定車輪数
クハ481	$\langle 5.50 \rangle$	128	モハ484	5.62 t	240
サシ481	$\langle 5.07 \rangle$	64	モハ485	5.00	240

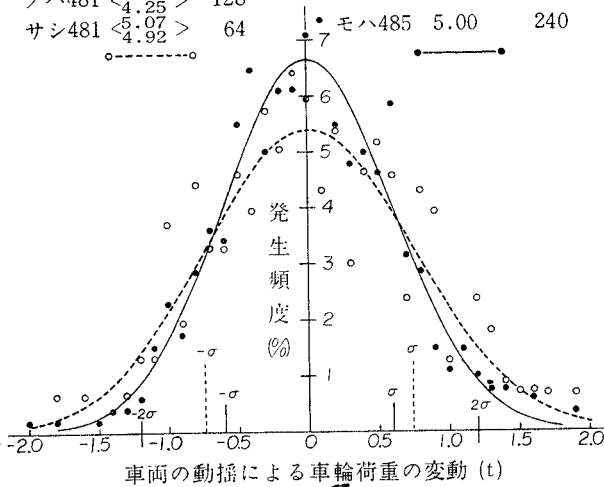


図-20 車両の動揺による車輪荷重の分布

ば、全測定値の1%は平均値に比べて標準偏差の2.33倍以上大きくなるが示されている。上記の標準偏差の2.33倍はそれぞれ1.4tおよび1.7tとなる。表-1によれば累積頻度が1%におけるこれらの車両の車輪荷重と平均荷重との差は3.1tおよび11.1tとなっていることに比較すれば車両動揺が軌道に及ぼす影響は車輪踏面の傷によって生ずる影響に比べてはるかに少ないといえる。

6. 理論的考察

車輪またはレールの走行面に不整部が存在する場合に軌道が受ける衝撃の大きさを計算する式がこれまでにもいくつか発表されているが^{9), 10)}、本文では衝撃の前後における車輪の運動量の変化より衝撃を求める式を誘導した。

車輪踏面に延長 l のフラット部をもつ半径 r の車輪に対してその走行速度が十分低いと仮定して車軸中心の軌跡を描けば 図-21 の実線 OC で示すごとく A 点を中心とした半径 r の円弧となる。車輪が B 点においてレール面に打撃を加えた後には車軸中心の軌跡は実線 CE で示すごとく B 点を中心とした半径 r の円弧となる。車軸中心の軌跡は C 点において急にその方向が変化するので車輪の上下方向の運動量の変化より B 点における衝撃(力積) P の大きさを計算すれば

$$P = Mv \frac{l}{r} \dots\dots\dots (1)$$

となる。ここに M は車輪の質量であり、 v は走行速度である。車両の走行速度が次第に大きくなれば車輪は一時レール面から離れ、車軸の中心は破線のごとき軌跡を

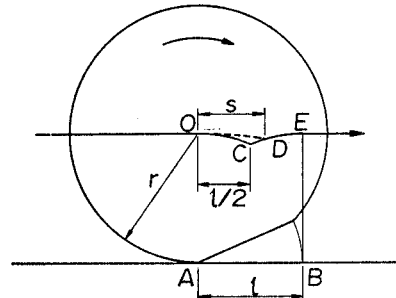


図-21 フラット部を生じた車輪の車軸中心の軌跡

描くことになる。車輪がレール面を離れている間の車輪の上下動に関しては次の微分方程式が成立する。

$$M \frac{d^2z}{dt^2} = g(M+W) \dots\dots\dots (2)$$

ここに W は軸箱を通して車輪を上から押さえている車体の荷重である。 $M+W$ が静的車輪荷重となる。 z は車軸中心の下方向の移動量である。曲線 OD の曲率半径 R は次式によって計算される。

$$\frac{1}{R} = \frac{g}{v^2} \left(1 + \frac{W}{M}\right) \dots\dots\dots (3)$$

$R > r$ となれば車輪はレール面を離れて走行することになる。 $R < r$ となることはあり得ないからこのときには車輪は常にレール面に接触してさきに述べたごとく車軸の中心は OCE 線上を移動する。この臨界速度を v_c とすればこれは次式によって計算される。

$$v_c = \left\{ gr \left(1 + \frac{W}{M}\right) \right\}^{1/2} \dots\dots\dots (4)$$

車両の進行速度が臨界速度以上となるときには車輪の中心が 図-21 の D 点に到達したときに車輪は B 点に打撃を加えることになる。OD の距離を s とすれば s は次式を解いて求められる。

$$\frac{s^2}{2R} = \frac{(l-s)^2}{2r} \dots\dots\dots (5)$$

これより

$$s = l \frac{v}{v+v_c} \dots\dots\dots (6)$$

車軸中心が s の距離を進むに要する時間は s/v となるのでこのときの車軸中心の下方向の速度 V は

$$V = g(M+W) \frac{s}{v} = gl \frac{M+W}{M(v+v_c)} \dots\dots\dots (7)$$

車軸中心は D 点に到達した後円弧 DE に沿って進行するのでこの時点における上向き速度 V' は

$$V' = v \frac{l-s}{r} = l \frac{vv_c}{r(v+v_c)} \dots\dots\dots (8)$$

となる。したがって B 点に加えられる衝撃の大きさ P は

$$P = M(V+V') = Mv_c \frac{l}{r} \dots\dots\dots (9)$$

となり、車両の走行速度 v とは無関係になる。

以上の計算結果によれば車両の速度が式(4)によって決定される臨界速度以下のときには衝撃の大きさは車両の走行速度に比例し、これ以上になれば一定値となる。またいずれの場合にも衝撃の大きさはフラット部の長さに比例することが示されている。

クハ 481 形式車両を例にとり、 $r=43\text{ cm}$ 、 $M=560\text{ kg}$ 、 $W=4\,320\text{ kg}$ とすれば、 $v_c=606\text{ cm/sec}$ が得られる。これは 22 km/h の速度に相当する。またフラット部の長さを 50 mm とすれば臨界速度以上における衝撃の大きさは式(9)により $P=39\,400\text{ kg}\cdot\text{cm/sec}$ となる。

これまで人工的に車輪踏面に延長 50 mm のフラット部を作り、衝撃を測定したところ $20\sim 30\text{ km/h}$ の速度になるまでは車輪圧力およびレールに生ずる曲げ応力が増加するが、それ以上の速度になれば増加がとまりほぼ一定値になるとの報告があり⁴⁾、以上の計算結果はこの実験結果をよく説明することができる。

以上の計算式はレールのたわみの変化を考慮せず、レール面は常に一定の高さに保たれていると仮定して導いたものである。しかし実際にはレール面に加わる荷重が減少すればレールのたわみが減少するので $R > r$ となったときにただちに車輪がレール面を離れるか否かに疑問がある。車輪がレール面を離れずにレールより上向きの力を受けていればその力だけ式(2)の右辺より差引かれるので R は式(3)で求められた値より大きくなる。したがって車輪がレール面に加える衝撃は式(9)で示された値より小さくなる。しかし特にフラット部の延長が大きくない限りこの影響は無視してよいと考えられる。

また以上の計算式は車輪踏面に延長 l のフラット部を生じた場合を解析したのであるが、レール面に延長 l の空転傷が存在する場合に対してもこの計算式はそのまま適用することができる。

レール継目落に対してはこの形状を負の指数関係であらわす方法もあるが^{9),10)}、一般にその曲率が小さいので単なる勾配変わりと見なしても差支えない。継目部を中央において延長 l の区間で h の落込みがある場合に

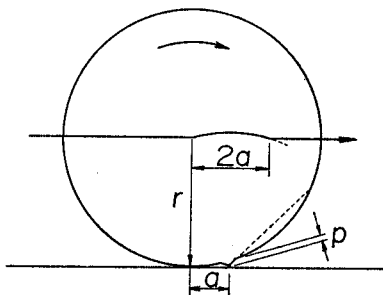


図-22 突起部を生じた車輪の車軸中心の軌跡

車両の走行速度を v とすれば衝撃の大きさ P は

$$P=4\,Mvh/l \dots\dots\dots(10)$$

となり、走行速度に比例する。

次に 図-22 に示すごとく車輪踏面に高さ p の突起部が存在する場合を考察する。車輪とレールとの接点が突起部の手前 a の距離にあるときには突起部はレール面に打撃を加える。車軸の中心はこのとき急にその進行方向を変えてその軌跡は 図-22 に示す円弧となる。打撃直後における車軸中心の上向きの速度 V' は

$$V'=v\frac{a}{r} \dots\dots\dots(11)$$

となる。しかるに

$$a=\sqrt{2rp} \dots\dots\dots(12)$$

であるから車輪の質量を M とするとき衝撃の大きさ P は

$$P=MV'=Mv\left(\frac{2p}{r}\right)^{1/2} \dots\dots\dots(13)$$

となる。

$p=0.01\text{ cm}$ 、 $r=43\text{ cm}$ 、 $M=560\text{ kg}$ とし、車両の走行速度を 120 km/h とすれば式(11)より $V'=72\text{ cm/sec}$ 、式(13)より $P=40\,300\text{ kg}\cdot\text{cm/sec}$ が得られる。以上の計算によれば車輪の踏面にわずかに 0.1 mm の突起部があるだけで車両の速度が 120 km/h になれば車輪が 72 cm/sec の速度でレールにつき当たったことと同様な打撃を加えることになる。これは車輪を 26 mm の高さからレール面に落したときの落下速度に等しく、試験軌道で行った実験¹¹⁾によれば 10 t 以上の衝撃力を発生することになる。またここに得た衝撃の大きさは延長 50 mm のフラット部によって生ずる衝撃の大きさにほぼ等しくなる。

それでは実際の車輪に突起部があり得るかということになるが、車輪がレール面上をすべり、車輪踏面にフラット部を作る過程において摩擦熱のために踏面が溶融して平坦となると同時に 図-22 に示すごとく溶融部が進行方向と反対に移動して突起部を作るのではないかという説がある。このような突起部によってレール面に周期的に打撃痕を作った例も報告されている⁴⁾。もし車輪踏面に突起部があるとしてもその高さが 0.1 mm 程度であってこれがフラット部に隣接しているとなればその存在を識別し、その高さを測定することは非常に困難であろう。しかし 100 km/h 以上で走行する車両の車輪によって軌道にしばしば非常に大きな衝撃が加えられた事実は車輪のフラットだけでは説明することが困難で突起部の存在を仮定することによって始めて了解される。

7. 結 論

鉄道線路においてレール面または車輪踏面に傷または

欠陥があるときに走行車両によって軌道に大きな衝撃が加えられることはこれまでも多数の実験によって確かめられたところである。今回は主として在来線の線路および一般の通過車両について衝撃の大きさの測定および発生頻度の集計を行った。

レール面に空転傷のごとく延長の短い欠陥部が存在するときには 20~30 km/h の速度で列車が走行するときに軌道に最大の衝撃を加えるが、高速になるとその影響が次第に小さくなる。しかしレール継目落のごとく車輪の直径と同程度の延長をもつ欠陥部があるときには列車の速度にほぼ比例する衝撃を加えることが判明した。

これまでは人工的に車輪踏面にフラット部を作り、軌道に加わる衝撃を測定した結果が発表されているが、レール応力およびレール圧力は列車速度 30 km/h 付近で最大となり、その後 100 km/h になるまでの間で次第に低下することが報告されている⁴⁾。以上を併せて考察すればレール面または車輪踏面に延長の短いくぼみまたは平坦部を作ったのでは高速列車の車輪はこの上を飛び越えるので大きな衝撃を加えることはあり得ないと考えられる。しかるに今回実際の線路で一般の走行列車による衝撃を測定した結果によれば速度 120 km/h において静的車輪荷重の 2~5 倍に達する車輪荷重を発生した場合もしばしば認められた。特にクハ 481, サシ 481, 581 形式車両のごとく前後の台車に加わる車体の重量に差を生ずる場合には車輪踏面に傷を発生する可能性が大きく、測定数の 3% は 10 t 以上すなわち静的車輪荷重の 2 倍以上の車輪荷重となり、また 1% は 16 t 以上すなわち静的車輪荷重の 3.3 倍以上となった。

このように一般の走行列車によっては従来の実験では得られなかった大きな衝撃があらわれた理由は何によるかについて現在の段階では十分解明することはできない。しかし車輪がレール面をすべり、踏面にフラット部を生じた場合には摩擦熱のために踏面が溶融して平坦部を作ると同時に溶融部が進行方向と反対側に移動して突起部を作るのではないかと想像され、これを実証した報告も出ている⁴⁾。車輪踏面に突起部があるときには走行

速度に比例した衝撃を加えるであろうことは容易に証明される。また従来の実験ではレール底部に生ずる曲げ応力またはレール圧力より衝撃の大きさを求めていたが、今回の測定においてはレールに生ずるせん断力より直接車輪荷重を求めたことも大きな衝撃の得られた原因と考えられる。

車輪荷重の変動は車両の動揺によっても生ずるが、クハ 481 およびサシ 481 形式車両について動揺による影響を測定した結果によれば測定数の 1% が静的車輪荷重の 1.35 倍以上の車輪荷重となり、軌道に加える負担から見れば車輪踏面の傷によるものに比べてはるかに少ないといえることができる。

終りに現場測定に当たって金沢鉄道管理局金沢保線区および金沢運転所の方々より多大のご協力を受けたことを述べ、ここに厚く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 小野一良・伊藤義男：鉄道線路の軌道に生ずる振動の解析，土木学会論文報告集，第 179 号，昭 45.7.
- 2) 佐藤 裕・大月隆士：タイヤフラット試験，鉄道技術研究所速報，No. 61-379，昭 36.12.
- 3) 佐藤 裕・豊田昌義：車輪フラットの軌道に与える影響，鉄道線路，第 12 巻第 7 号，昭 39.7.
- 4) 佐藤 裕・豊田昌義：高速列車による軌道の変形，鉄道技術研究所報告，No. 492，昭 40.8.
- 5) 八十島義之助：継目衝撃に関する研究，土木学会論文集，第 51 号，昭 32.12.
- 6) 佐藤吉彦ほか 6 名：951 形式電車に関する 1970 年における地上試験，鉄道技術研究所速報，No. 71-178，昭 46.9.
- 7) 佐藤吉彦：東海道新幹線において 951 形式試験電車に発生した著大輪重の原因とその対策，鉄道技術研究報告，No. 824，昭 47.9.
- 8) 棚橋 宏：輪重・横圧の新測定法，鉄道線路，第 18 巻第 9 号，昭 45.9.
- 9) 佐藤 裕：軌道に加わる垂直衝撃圧力，鉄道技術研究報告，第 16 号，昭 33.7.
- 10) 小野一良：軌道応力計算法の一考察（軌條接目部），業務研究資料，第 26 巻第 6 号，昭 13.3.
- 11) 小野一良・伊藤義男：砂利道床軌道が受ける衝撃の測定および解析，土木学会第 28 回年次学術講演会講演概要集第 4 部，昭 48.10.

(1974.11.21・受付)