

報 文

UDC 625.151.036.13:625.2.012.517.3

各種形状踏面車輪が轍叉通過の際にもたらす衝撃の大きさ

正員 沼田 政 矩*
正員 八十島 義之助**

ON THE RAILWAY FROG IMPACT DUE TO RUNNING WHEELS WHICH HAVE VARIOUS TYPES OF TREAD CONTOURS

(JSCE Jan. 1953)

Masanori Numata, C.E. Member, Yoshinosuke Yasoshima C.E. Member

Synopsis The Authors studied the railway frog impact due to running wheels which have various types of tread contours. The result of study shows the following relations :

Tread Contours	Ratio of Impact
J.N.R. (Japanese National Railway) Standard Conical Tread	4
Cylindrical Tread	6
3 mm Worn Contour of Cylindrical Tread	7
5 mm Worn Contour of Cylindrical Tread	9

要旨 車輪の踏面形状のみをいろいろに替えた供試車輪が、同一分岐上を各種速度で走行した際の、轍叉に与える衝撃の大きさを実測調査した。その数量的結果は表-1のとおりである。

表-1

踏 面 形 状	衝 撃 の 大 き さ の 比 率
正規の円錐形	4
円筒形	6
円筒形に 3mm へこみ付き	7
円筒形に 5mm へこみ付き	9

1. 前 言

各種形状踏面車輪の轍叉通過の際に生ずる衝撃の比較調査を、現場実測について行つた。選ばれた踏面形状は、国有鉄道での正規の円錐形、今後一部試用の構想をもたれている円筒形、さらにそれが使用中摩耗の進行によつて出現を予想されるへこみ付きである。最後のものは円筒形踏面の軌条接触の頻繁な部位に最大

の深さ 3mm および 5mm の曲線的摩耗を現わした形状である。

本実測を行うに当つては、国有鉄道安全委員会沖島技師、施設局保線課鳴原技師をはじめとし、鉄道技術研究所、大船保線区、平塚線路分区の関係諸氏、東京大学の榎本、鶴沢、金子、横塚、中島の諸氏のお世話になつた。なお使用歪計の設計は運輸技術研究所安積健次郎博士を頼つた。諸賢に対し厚く謝意を表する次第である。

2. 実測の目的

各種形状踏面車輪が轍叉を通過する際、衝撃により発生する軌条内伝播応力を一定の位置で測定し、その値を用いて衝撃の大きさを比較する。すなわち軌条上一定の位置で応力測定を行うのが、今回の実測の目的である。

3. 実測の方法

1 輛の供試車輪を含む一定編成¹⁾の試験列車が試験日ごとに一定の速度段階で、所定の分岐を背向通過する。供試車輪の車輪は試験日ごとに各種踏面形状のものに装着しかえる。分岐の轍叉は 8 番とし、その欠線よ

* 東京大学教授，工学部

** 東京大学助教授，工学部

り前方約 3.4m 離れた位置の本線軌条底中央に歪計を取付け、試験列車の通過ごとに活荷重応力を測定する。

応力測定用の歪計として磁歪式 6cm 歪計を用いる。その原理はかつて本会誌上で述べたが²⁾、今回は標点距離を 6cm とし、あらかじめ軌条底を両側から締付ける 2 個の取付具に、歪計本体を跨がせて、取付具相互の移動を測定する。入力には 40V, 500 cps の交流を電動発電機で発電して用い、出力は増巾することなくオシログラフに通じて自記させる。その構造概要と配線は図-1, 2 のとおりである。応力 10 kg/cm² は約 1.9 mm の変位として記録される。

図-1 磁歪式 6cm 歪計
Magnetostriction Type 6cm Strain Gauge

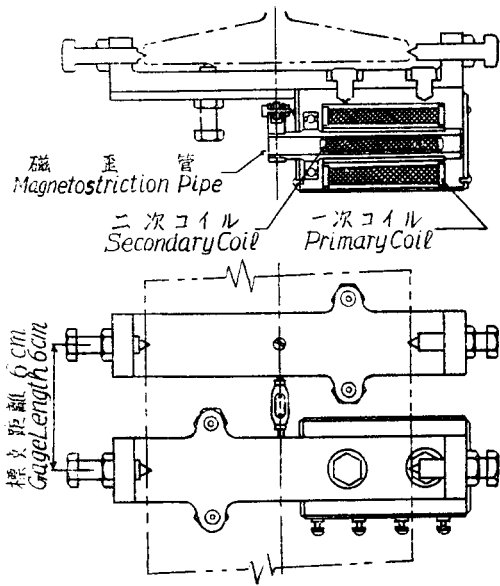
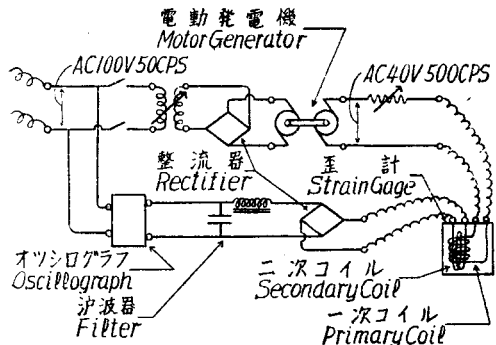


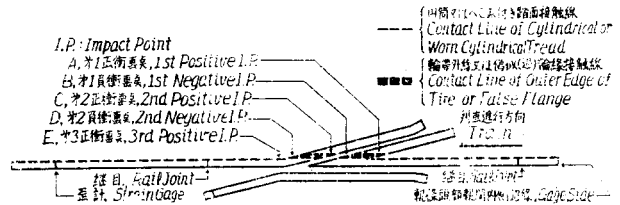
図-2 歪計配線図
Diagrammatic Circuit of Strain Gauge



4. 実測の経過

実測場所は国有鉄道平塚駅構内、東海道上り貨物本線上の構内最端(東京寄り)の背向直り線である。近辺は下り 5% の直線、枕木下厚約 10 cm の砂利道床、

図-3 円筒またはへこみつき踏面車輪軸又通過のさいの接触線
Contact Line between Frog Rail and Wheel with Cylinder or Worn Cylindrical Tread

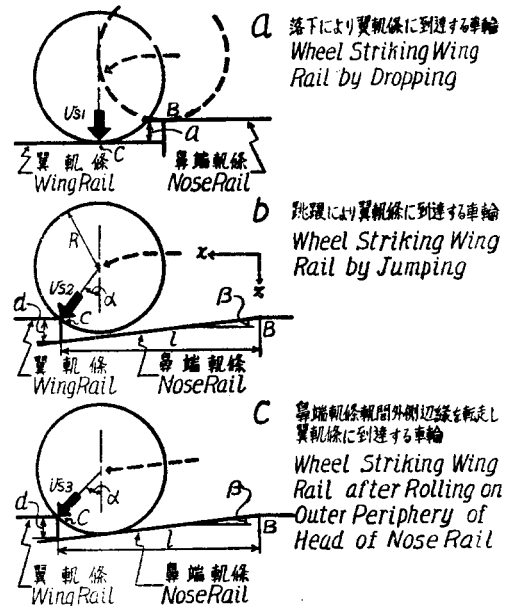


10 m 当り 15 挺の並枕木使用、タイプレートなし、継目部にアンチクリーパー、衝進止枕使用、1925 年八幡製鉄所製 37 号軌条使用である。敷設軌条の頭部上面は一面にテリを現わし軌間内方に向つて約 1/30 の傾斜をもつて摩耗している。作業は 1952 年 3~4 月に行つた。

5. 理論

今回の実測において衝撃発生の可能性ある点を軌道上に求めると、図-3 の各衝撃点となる³⁾。そのうち、第 1 負衝撃点(以下 B 点とする)を経た車輪が第 2 正衝撃点(以下 C 点とする)に到達した際の衝撃の比較が最も顕著な結果をもたらすのではないかと予想される

図-4 C 点あるいは翼軌条到達時の車輪位置
Instant Wheel Position Arriving at C point or Wing Rail



ので、C点到達時の車輪の衝突する速度すなわち衝撃速度 v_s を求める理論式を誘導することにする。軌条類は常に不動であり頭部上面は軌間内方に 1/30 の傾斜をなし、また車輪の位置と進行方向は常に軌道に並行な鉛直面内にあるとする。

1. 円錐形踏面車輪の場合 車輪は軌条頭部軌間内側辺縁沿いに転走して鼻端に至り、そこで落下して翼軌条に到達する。衝撃速度 v_{s1} は次式により求まる(図4-a 参照)。

$$v_{s1} = \sqrt{2af} \dots\dots\dots(1)$$

但し、 a : 落差(軌条頭部の傾斜と車輪踏面傾斜の差より求まる)、 f : 車輪落下時の下向き加速度(重力の加速度、車輛ばね上、下荷重等より定まる)。

2. 円筒形及びへこみ付き踏面車輪の場合 車輪踏面は図-3 のように軌条頭部軌間外側辺縁沿いに転走し、轍又部では輪帯外縁乃至は偽似(逆)輪縁が接触して転走する。そして高速度の場合はB点で離別してから跳躍によりC点に到達し、低速度の場合は鼻端軌条頭部本線軌間外側辺縁沿いに転走しながらC点に到達する。

a. 跳躍の場合の車軸中心(以下軸心とする) (x, z) の位置は次式で表わされる(図4-b 参照)。

$$z = [ft^2/2] \dots\dots\dots(2)$$

$$x = vt \dots\dots\dots(3)$$

但し、 z : 下向きを正とする上下方向座標で、B点直上にある軸心位置を原点とする、 x : 進行方向を正とする軌道方向の座標でB点を原点とする、 t : 同点に軸心のある時刻を原点とする時刻、 v : 同点通過時の車輪の軌道方向速度成分(車輛の走行速度)でC点到着までは一定とする。

一方C点到着時の軸心位置は次式で示される円周上にあるはずである。

$$x = l - R \sin \alpha \dots\dots\dots(4)$$

$$z = R(1 - \cos \alpha) \dots\dots\dots(5)$$

但し、 l : BC 点間水平距離、 R : 車輪半径、 α : C点到達時の軸心と、C点を結ぶ直線の鉛直軸となす角。

C点到達時の軸心位置は、(2)~(5)式が同時に成立つわけだから、これらを整理し、微小な α の自乗の項を省略すると次の関係が求まる。

$$v^2 = \{ [fl(l - 2R \sin \alpha)] / 2R(1 - \cos \alpha) \} \dots\dots(6)$$

一方、この場合の衝撃速度 v_{s2} は α で定められた方向をもっているから、

$$v_{s2} = [(fx \cos \alpha) / v] + v \sin \alpha \dots\dots\dots(7)$$

(6)(7)式より v と v_{s2} の関係が求められる。

b. 鼻端軌条転走の場合は段違いの継目に衝突すると同様な関係が成り立ち、その場合の衝撃速度 v_{s3} は(8)式で求まる(図4-c 参照)。

$$v_{s3} = v \sin \left(2 \sin^{-1} \sqrt{\frac{d \cos \beta}{2R}} - \beta \right) \dots\dots\dots(8)$$

但し、 d : 段違い(へこみがつくほど大きくなる)、 β : 軌道方向の鉛直面に投影された鼻端軌条頭部本線軌間外側辺縁の傾斜(轍又番号と軌条頭部上面傾斜とにより定まる)。

c. 跳躍か、鼻端軌条転走か、すなわち実状は a, b いずれの場合をとるかを決めるために、今回の実験における諸条件を設定して v_{s2} の概算を(7)式について行つた。その結果、 v_{s2} は高速においてはその速度 v によつてほとんど変化しないこと⁵⁾、跳躍の限界速度 $v_{s2}^{(6)}$ が、今回の試験に用いる最高の $v = 60 \text{ km/hr}$ よりはるかに高いことがわかつた。すなわち、本実測条件では、常に鼻端軌条転走の場合の衝撃速度 v_{s3} に基づいて計算すればよいことになつた。

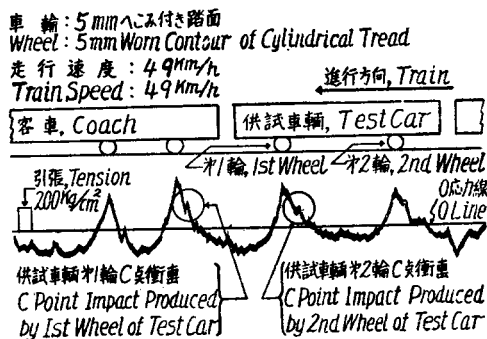
3. 各の場合の比較 円錐形踏面車輪では(1)式により衝撃速度 v_{s1} は走行速度 v に無関係となり、円筒形ないしはへこみ付き踏面車輪では(8)式により衝撃速度 v_{s3} は走行速度 v に正比例する、と云うことが今回の理論誘導の帰結である⁷⁾。

6. 実験の結果

1. 轍又通過に際する車輪踏面の転走位置 円錐形踏面は軌条頭部上面テリの上を接触転走するが毎回常に同一位置を通過するとは限らなかつた。円筒形ないしはへこみ付き踏面は図-3 のように軌間外側辺縁部に接触転走しながら分岐に近接するが、鼻端短軌条及び翼軌条護輪部の頭部上面を横切るさいには、転走位置が不定だけでなく蛇行動もともなうことのあることがわかつた⁸⁾。

2. オッシログラフの記録 オッシログラフの記録例を複製したのが図-5 である。歪計取付位置車輪通過時の応力が大きな山となり、継目(図-3参照)通過時

図-5 オッシログラフ代表例
Typical Record of Oscillograph



の衝撃応力が小さな鋭い山となつて現われている。他の細かい山谷が轍叉の各衝撃点通過時の衝撃応力とそれに強制されて生じた振動的応力などである。あらかじめ求めた軸距，走行速度等を用いて，衝撃点通過時刻を記録上にプロットして調べると，第2正衝撃点（C点）通過時の衝撃応力のみが，どの記録にも明確に現われ，他の点のは不明瞭だつた。

3. 測定応力値 オッシログラフ記録の変位と，補正実験での補正曲線より応力値を算出した。その結果，歪計取付位置車輪通過時応力及び第2正衝撃点通過時の附加応力¹⁰⁾が図-6 のようになった⁹⁾。他の点での附加応力は整理するにいたれなかつた。これによると，単なる歪計取付位置通過時の車輪荷重応力は，速度による変化を余り現わさないが衝撃による附加応力は，速度とともにほぼ直線的に増加する事がわかる。それを図-6 で破線で示したが，速度による増加割合の比率は，円錐，円筒，3mmへこみ，5mmへこみ付きの順で4.6, 7, 9となる。

7. 考察並びに検討

今回の実測結果の範囲内で考察と検討を試みる。

1. 轍叉通過時の車輪運動 第2正衝撃点(C点)の存在が記録上比較的明確に把握でき(6.2参照)，通過の際の附加応力には比較的明瞭な特性が現われた(6.3参照)。これは轍叉欠線通過時の毎回の車輪運動が等整であつた事を意味する。他の衝撃点通過時の記録が不明瞭であつたことは，それらの点を通過する際の手車輪運動が不規則であると同時に与える衝撃も小さかつた

ことを意味している。

2. 衝撃と走行速度 衝撃による附加応力と走行速度の間にはほぼ直線的な関係がある(6.3参照)¹¹⁾。理論誘導の結果(5.3参照)を考慮すると，附加応力と衝撃速度の間にも直線的な関係があるようだ。これらより次のことが推察される。すなわち，軌条曲げ応力が軌道の強度を支配する場合に言及すべき衝撃は走行速度に正比例する。一方弾性変形の仕事量が問題となるような衝撃は走行速度の自乗に比例することになる。なお予想(5.1参照)に反して円錐形踏面車輪の衝撃も速度に関係があつたと見られるが，轍叉近辺の継目落ちの磨耗，轍叉自体の活荷重撓み等に起因したのだろう。

3. 衝撃と踏面形状 附加応力の走行速度による増加割合の比例をもつて，衝撃の大きさを表わせるなら¹²⁾，円錐，円筒，3mmへこみ，5mmへこみ付き踏面車輪が，4, 6, 7, 9の割合となる。

4. 測定値の信頼性 客車第3軸車輪による応力測定値の試験日ごとの平均値(走行速度 30 km/h 以下のものにつき集計)の，全測定値中位数に対する平均偏差は 3.1%であつた。一方，事前，事後の補正実験より得た補正曲線もほとんど一致していた。それらより，歪計取付位置通過時の測定応力値はかなり良好な精度をもたらしたものと認められる。

装置自体の電氣的，機械的的特性が，衝撃応力の測定値中に混在しないとは断言できないので，それらの絶対値の信頼性は若干薄弱だが，今回の実測目的が衝撃の大きさの比較になるのだから，それを行う限りは信頼しようとする。

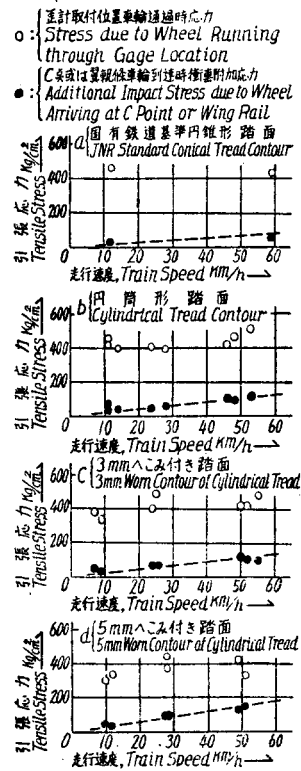
5. その他 歪計取付位置通過時の車輪荷重応力が走行速度による変化を現わさなかつた(6.3参照)が，同様の例は他にも見受けられる¹³⁾。附加応力値が 200 kg/cm² 以下だつた(4.3参照)が，轍叉欠線近辺では更に大きな値を生じているはずである。

なお，理論誘導の根拠としたことが認められるなら(5.で述べた事項)更に次のような推論が下される。すなわち，軌条継目など，車輪の落下や跳躍が予想されるとするとそこでの衝撃速度ひいては衝撃の大きさは，ばね上荷重の影響も考慮しなくてははいけない。〔(1)(2)式の f に影響する〕またある限度以上の高速ではほぼ一定となる。

8. 結 び

衝撃の大きさと保守の関係，現用車輪踏面の磨耗状態などが未知なので，円筒形踏面車輪を実用に供した際の，線路に及ぼす総合的利害は，いまここに断ずることができないことをお断りしておく。本研究は一部文部省科学研究費によつたことを附言する。

図-6 各種踏面形状における軌条底曲げ応力と走行速度の関係 (供試車両第1輪) Relation between Bending Stress of Rail Base and Train Speed, under Each Tread Contour (1st wheel of Test Car)



参考文献その他

- 1) 東京方より, EF5319電気機関車十オハフ 33615 客車十ヤ401 2軸有蓋供試車輛十ヨ2018緩急車。
- 2) 八十島義之助, 峯村芳郎: 敷設レールの活荷重応力について, 土木学会誌, 昭.25—9。
- 3) 正衝撃点とは車輪が軌条に衝突する点を意味し, 負衝撃点とは車輪が離脱し荷重が瞬間的に0となる点とする。轍叉軌条頭部上面が今回の実測では大体一様に軌間内方に傾斜していたので想定したのである。図—3において輪帯外縁ないしは偽似(逆)輪縁の接触線が太く描かれているのは, 1回ごとの走行位置がかなりずれるからである。
- 4) 接触位置は転走するうちに軌間内方へと移動していくから, へこみ付き踏面なら, そのへこみの最大値の方へ移動する。
- 5) 踏面傷損のある車輪が転走する場合に, このような結果をもたらすとする説が次の文献に掲載されている。W.C. Willard: Maintenance of Way and Structures。
- 6) これより低速度だと跳躍せずに転走してC点に到達すると云う速度。
- 7) v 一定の場合の v_{ss} を各種形状踏面車輪につき(8)式により概算すると, 円筒, 3mm へこみ, 5mm へこみ付きの順で 1:1.6:2.0 の比率となった。
- 8) 試験列車通過直後に観察された軌条頭部上面の掻き傷より判断した。
- 9) 供試車輛の前後車輪とも同様の結果だったのでここでは片方のみ掲載する。
- 10) オッシログラフ記録の曲線が衝撃のために余分に山をなした部分だけの応力値を附加応力とした。
- 11) 次の文献で, 単純支持梁の中央に動的荷重が衝突した場合は, 衝撃曲げ応力は衝撃速度と双曲線の関係にあるとしているが, 今回も双曲線的関係であつたかも知れない。Timoshenko: Vibration Problem in Engineering。
- 12) 次の文献でも曲げ応力で衝撃荷重の比較実測を行つている。もつとも衝撃が測定位置直上に加わるようにしてあるが。Joint Committee on Relation Between Truck and Equipment of the Mechanical and Engineering Divisions, AAR: Effect Flat Wheels on Track and Equipment, Bull. of A.R.E.A Dec. 1951。
- 13) 次の文献脚註など参照, 小林勇外: 電車荷重によるレールの衝撃応力に関する実験的研究, 土木学会誌, 昭.27.5. (昭. 27. 8. 8)

UDC 624.131.439.82

土の ATTERBERG 限界測定に対する時間の影響

正 員 内 田 一 郎*
松 本 鍊 三**

TIME EFFECTS ON DETERMINATIONS OF ATTERBERG
LIMITS OF SOIL

(JSCE Jan. 1953)

Ichiro Uchida, C.E. Member, Renzo Matsumoto

Synopsis The authors have researched the time effects on determinations of liquid limit, plastic limit and shrinkage limit. Liquid limit of clayey soil varies with time that is required form adding of water to determination, and this variation is considerably affected by mixing. Plastic limit and shrinkage limit of clayey soil vary a little with time. From above facts they conclude that time is an important factor for the variation in strength of disturbed soil.

要旨 土の Atterberg 限界のうち, 特に液性限界試験に対して水を混入してから試験を行うまでの所要時間の影響並びにそれに関連して乱した土の強さの時間的変化について研究を行つたもので, その他塑性限界及び収縮限界に対しても同様な試験所要時間の影響について研究を行つた。

1. 緒 言

土の液性限界の測定法に関しては日本工業規格

* 九州大学助教授, 工学部土木教室

** 九州大学助手, 工学部土木教室

(JIS) によつて規定されている。この規格に従つて測定を行つた場合, 粘着性の土に対しては水を混入して測定を終るまでの所要時間に応じてその結果が異なることがわかつた。そこでその変動を組織的に研究することとし, 図—1 に示すような3種の土に対して次に述べるような実験を行つた。なおこの液性限界の他に塑性限界及び収縮限界に関しても検討を行つた。

2. 液性限界

まづ粘着性の土である No. 1, No. 2 について, 気乾試料及び炉乾燥試料(105~110°C にて乾燥)を用い