

師多田一雄君の工事の労を感謝せねばならない。
なお本報告文は学会誌紙面の都合で削減され判明し

がたい点は御諒承願いたい。

(昭.27.12.23)

UDC 625.143.033.34

活荷重による敷設軌条のねじれの実測報告

正 員 八 十 島 義 之 助*

ON THE EXPERIMENTAL STUDY OF TWISTS OF TRACK RAILS UNDER LIVE LOAD

(JSCE May 1953)

Yoshinosuke Yasoshima, C.E. Member

Synopsis The author measured twists of rails in several locations in service straight tracks by means of a mechanical method. The results are that twists always occur in service track rails by train loads; directions of twists are both inward and outward of track; There are rail sections where twists always occur toward one side only, while in some sections twists occur toward both sides; twist consists of two elements, which have different source from each other. The author studied on twist distributions at rail joint, relation between twist and train speed, and relation between twist railstrength etc.

要 旨 活荷重による敷設軌条のねじれを、機械的な方法により直線路の敷箇所において実測した。その結果；敷設軌条は活荷重により常に大なり小なりねじれる、ねじれは場合により軌間の内方とか外方に向う；常に一定方向をとる測定位置も、荷重によりその方向を異にする位置もある；現象的には単一なものとして現われるねじれも、分析すると成因を異にする2種のねじれから成る；などのことがわかった。その他、軌条継目部でのねじれ伝達の状況、活荷重走行速度とねじれ、軌条強度とねじれ等に言及した。

I. 前 言

走行する車輛に基づく車輪荷重が加わる際に生じる敷設軌条のねじれ¹⁾について、理論式の誘導はさきに著者が試みた²⁾が、現象の実際はどうであるかの解答は明確でなかつた。理論式より演繹される各種事象の実証と、他の定性的、定量的の解明を目的として、営業線路の敷設軌条について実測を行った。本文はその報告である。

II. 実測の方法と結果

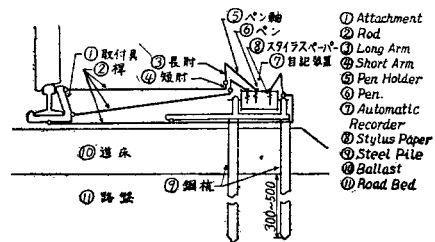
1. 実測方法 実測

の方法は、軌条の一定断面上の3点 A, B, C (図-1参照)の移動量 $\Delta y_a, \Delta y_b, \Delta h$ を三成分軌条用変位計(撓度計)³⁾ 図-2参照)で測定し、所要の修正を施した上、計算により求めた。

2. 実測場所、測定

* 東京大学助教授, 工学部土木教室

図-2 三成分軌条用変位計(撓度計)
Schematic View of 3-Elements Rail Deflection



位置及び実測経過 実測場所としては東京近辺の営業線路の種々な地点の直線区間を主として選んだ。測定位置としては敷設軌条の中央部で枕木支間中央を主として選んだが、継目近辺、枕木辺縁も比較のために若干とり上げた。実測は1947年より1950年に至る3ヶ年にわたり適当な時機に行い、以後は記録整理に費した(詳細は表-1-a参照)。

3. 影響線の一般形状 測定位置車輪群通過時のねじれの影響線を変位計の記録に修正を施した上で画いたものの例が図-3である。図-3-aでは輪群が通過する際に、裾の長い緩曲線を生じ、各個の車輪が測定位置を通過する際にはさらにその上に各独立の山型曲線(図では0線より遠ざかるのを山型とする)を添加している。図-3-bでは輪群を覆う緩曲線の中で車輪通過の際に今度は逆に、各独立の谷型曲線を添加している。図示していない他の記録を調べても、輪群を覆う緩曲線と、車輪各個について現われる山または谷型の急曲線とから成っているの、前者を1次波、後者を2次波と称することにする。一次波には図-3-a, bのように単純なものの外に、0線を横切つて逆測に跨るものも時にはある(図-3-c参照)。さらにそれ

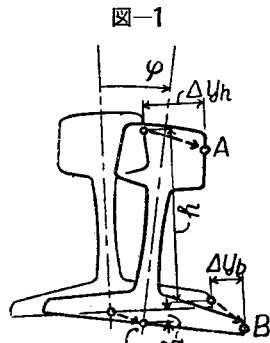
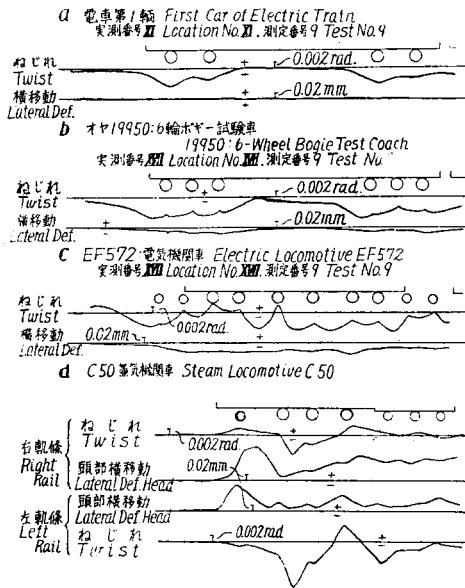


図-3 ねじれ及び軌条底部横移動影響線の代表例⁴⁾
Typical Influence Lines of Rail Twist and Rail Base Lateral Deflection



らが複雑に組合わされたものもある。図-3-d は鉄道技術研究所の資料を借用掲載した複合型の一例である⁴⁾。一次波の生じる位置は、沈下などの始まらぬ遠方の場合がある(図-3-b, c が顕著)。

一定の測定位置で、型式類似の車輛が走行する場合、あるいは同一車輪が反覆走行する場合の一次波の形状は量的な差はあるが大体一定している。二次波は必ず

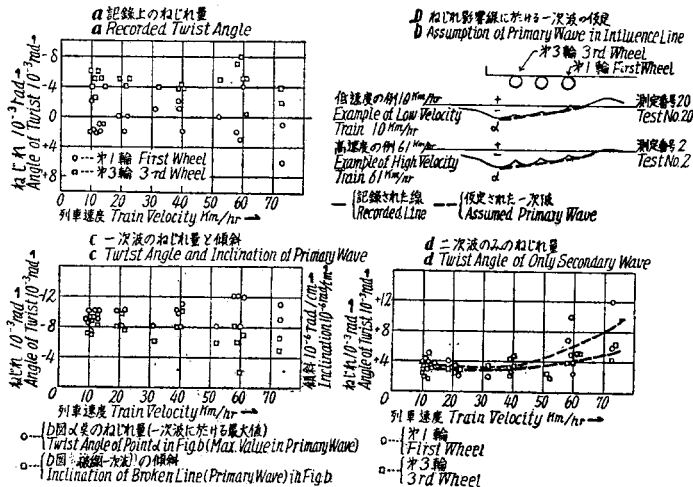
しもそうでなく、同一車輛でも山型、谷型の入れかわることも時どき起る。

4. 影響線の速度変化 実測番号 XVII では同一編成の試験列車が、各種速度段階で同一測定位置を反覆走行したので、影響線の速度変化の状況を観察することができた。

まず、被牽引車輛の代表例としてオヤ 19950 号の後部ボギー 3 輪について、記録上のねじれ量と速度の関係を示したのが図-4-a である(図-3-b も参照のこと)。これだと速度に応じる変化があるようだが、その変化に秩序を認めることはむずかしい。そこで一次波と二次波を別々に観察することにしてまずそれらの境界線を図-4-b のように定める。すなわち影響線を包絡する曲線を図の破線のように画いてこれを一次、二次波の境界線とし、その線の直線に近似した場合の性質をもつて一次波を表わすものとする。それが図-4-c である。一方境界線より測つたねじれ量を二次波とし図化したのが図-4-d である。図-4-c においても速度変化が不明瞭であるが、図-4-d となると、この場合は速度増加にともなつてねじれ量も増加し、その性質もやや規則的に見える。すなわち、現象としての記録上のねじれ量と、一次波のねじれ量は速度変化が不明瞭であるのに反し、二次波はやや規則的であると云うことができる。

次に牽引車輛として EF 572 電気機関車について調べると、図-3-c のように、一次波の形状がはなはだ捉えにくい。そこで、記録上の車輪と車輪の中央点を連結する屈折直線をもつて境界線として一次波と二次波の比較を行つた。その結果、わづかながら二次波の方が速度とともに変化し、しかも規則的であることもわかつた。ただし、車輪によりねじれ量の増加する場合と減少する場合があつた。

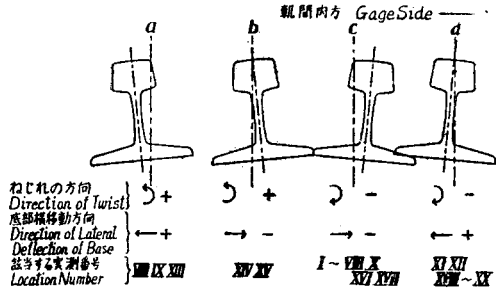
図-4 列車速度ねじれ影響線(実測番号 XVII における19950号車後部ボギー車輪の記録より)
Train Velocity and Influence Lines of Twist (From Records of Rear Truck Wheels of No. 19950 Car in Location No. XVII.)



5. ねじれ分布曲線 実測番号 X ~ XV の 6 個の測定位置は、同軌道、同側軌条の 15 m の範囲に並んでいる。同時測定でこそないが常に同種の電車荷重を対象として測られたものであるから、その区間のねじれ分布曲線の標準的傾向を図-5 のように把握することができた⁵⁾。

この図によつて観察されるのは継目部を境界として前後の軌条においてねじれの性状がかなり変化すると云うことである。すなわち浜松町方

図一七 ねじれと底部横移動の関係
Relation Between Twist and Lateral
Deflection of Rail Base



III. 検討並びに考察

今回の測定方法とその結果に基づき検討と考察を試みる。

1. 測定装置 三成分軌条用変位計は機械的な測定装置だから、高速変位を対象とする測定では運動部分の慣性の影響が現われるはずである。しかし今回の測定の範囲ではほとんどその影響はなかつた。軌条沈下の測定値は、深度 30~50 cm の路盤と敷設軌条の相対的な移動量を現わすに過ぎないから、絶対量をこの変位計から求めることは不可能である。しかし今回の実測目的はねじれの角度を求めにあり、沈下量は単に修正のために用いるにとどまる。しかもその修正は頭部と底部の横移動量に同じように行い、その上で差を求めてねじれの角度を算出するのだから、沈下量の誤差の影響はほとんどないと見てよい。ただ、路盤の不同沈下による変位計の傾斜がねじれの角度測定値に誤差を生ぜしめるはずだが、このようなことが起つたと見られたことはなかつたし、あつたとしてもそれによる誤差はそれほど大きくはないだろう。主としてスタイラスペーパーに自記させたが、記録線の太さは約 0.1mm で、これがねじれ角度測定値に及ぼす精度の限界は約 0.0002rad である。なお、変位計の時の回転運動についても修正を行っているので、スタイラスペーパー上の曲線の補正目盛は、普通尺でないことに注意を払う必要がある。

2. ねじれの一般性状

a. 敷設軌条は活荷重により大なり小なりねじれる (II-7 参照)。

b. ねじれの特性は測定位置にかかる各種の因子の影響をかなり受ける。すなわちある車輛が走行して数箇所の測定位置を通過する場合、各測定位置ではその車輛に応じる同じようなねじれを示さないうえ、それらの位置でいかなる車輛が通過しても現わすような、その位置に応じる特性をも現わすのである。

c. ねじれの方法は、測定位置により軌間内方に向う場合、外方に向う場合があるが、測定の度ごとに方向を異にする位置もある (II-7 参照)。

d. 影響線、分布曲線において、ねじれは一次波と二次波とから合成されている。前者は荷重点よりかなりの遠方にまで伸びており鉛直荷重よりもその及ぼす範囲の広いことさえある。後者のみを取出すと荷重点を中心とした局所的な変位であると云える (II-4 参照)。

e. 軌条支承体ねじれ係数⁶⁾は枕木ごとにかなり異なる値を示すばかりでなく、ねじれ量により変化するように推察される。

f. ねじれの角度の最大値は車輛通過時に生じるとは限らない。

3. ねじれの発生原因 一次波は荷重が接近して枕木一軌条間、あるいはそれ以外の軌道部分の遊びが埋まる際に生じるものと考えられる。二次波は各車輛荷重とその偶力成分により生じるものと考えられる。

4. 軌条継目部とねじれ 軌条継目部はねじれを伝達するがその程度に強弱があり、方向性の存在もかなり顕著である。複線区間における継目部の非対称の摩擦が、方向性をもたらしたと考えられる。ねじれの伝達が弱くて不完全な継目では走行車輛がそれを通過すると同時に、突如として大きな偶力を軌条端に与えることになり、軌条の強度の上に不適当な影響を与えるはずだから注意を要する。

5. 走行速度の影響 ねじれの角度の速度変化は二次波においてやや規則的であつた (II-5 参照)。すなわち、速度のいかにかわらわらず、埋まるべき軌道の遊びは一定だから、それに由来する一次波には速度の影響は現われない。一方、速度変化により軌条に加わる側圧などは変化し、それが荷重の偶力成分にも影響するから、それに由来する二次波にも一定の変化が現われるのではないかと考えられる。

6. ねじれと軌条強度 ねじれは、ねじれ角度変化率に応じる剪断応力を軌条に生ぜしめる。軌条断面隅角部が強度上の弱点を形成していることが A. R. E. A.⁸⁾ で指摘されているが、この剪断応力の集中現象も要因の一つではなからうか。ある断面での剪断応力はその隅角部で最大値またはそれに近い値を現わす剪断応力そのものはねじれ角度変化率に比例する。その変化率は、ねじれ分布曲線の傾斜角の最も急な位置で最も大きな値を現わす。しかるにその傾斜角は荷重点から若干離れて最大値を現わすから、ひいては剪断応力最大値 (またはそれに近い値) も荷重直下ではない位置で生じていると云うことができる。もつとも

この場合の剪断応力は、ねじれに起因するものについてであるが、いずれにせよ応力集中を起しにくいような断面、例えば隅角部半径の大きい方が軌条としてはよいのではないだろうか。

7. **ねじれと継目鉋** 国有鉄道の50 疋 3 種軌条のねじれ係数を概算すると 214 cm^4 となつたのに対しその継目鉋のは2枚合せて約 150 cm^4 であつた。剪断効果をあわせ考えた上でなくては明確でないが、ねじり強度上の軌条、継目鉋の断面均衡も今後の設計において考慮した方がよくはなからうか。

IV. **結 語** 単純で一般的な性状を求めんとして、今回は直線路でのねじれを実測対象とした。しかし実用上の問題を解決するにはさらに側圧の大きい曲線路での実測を行う必要があるだろう。またねじれにより軌条に生じる剪断応力もあわせて測定すべきである。

本実測を行うに当り、終始沼田教授の御指導を仰いだ。国有鉄道の星野陽一技師、運輸省の高橋憲雄技官、原田暁技官、国有鉄道の早川仁技師、落合圭二技師、東京急行電鉄の松下英麿氏、勝氏には作業上の種々の便宜を計つて頂いた。東京大学の横塚君、中島君、実測期間における在学生の曾我、木下、高井、篠塚、古川の諸君には、実測作業そのものに従事していただいた。ここに深謝する次第である。本実測に要した費用

の一部は文部省科学研究費によつたことを附記する。

参 考 文 献

- 1) この場合「ねじれ」とは、軌条軸の直交断面内でのその回転を云う。
- 2) 八十島義之助：レールのねじれの理論について 土木学会誌, 34 卷 11 号, 昭 25.11
- 3) 撓度計の歴史はかなり古いが三成分のものは戦後梅北製作所により作りはじめられた。本計を用いた測定報告は次の文献などにある。
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 25.11
佐藤 裕：軌道の速度衝撃, 第 8 回年次学術講演会概要, 昭 27.5
- 4) 図-3-d においては II-1 に述べた修正を施していないから、ねじれと横移動は概略値である。
- 5) II-8 に述べるように各測定位置でのねじれの角度の頻度分布の偏差が比較的小さいので、標準的傾向を把み得ると考えた。また図-5 のねじれ分布曲線は測定位置での平均値、生の記録の形状の両者より推定して画いたものである。
- 6) 上掲 2) の文献参照
- 7) ねじれの影響線の二次波が谷型をなしている場合がそれで、その際のねじれ角度の最大値は、車輪通過の瞬間を挟んだ前後に発生する。
- 8) A. N. Talbot: Tests of Vertical Stresses in Web of Rail Bull. A. R. E. A. 1941 外
- 9) 上掲 2) の文献参照

(昭.28.1.6)

新 刊 紹 介

幕 田 貞 夫 著

撓角法によるラーメンの解法と設計例

A 5 判 350 頁 定価 450 円 理工図書KK発行

ながい年月構造工学に関する講義をうけもつてきた私は、どうしたらむづかしい理論をやさしく学生諸君に理解してもらえるかと云うことに、いつも苦心してきた。

終戦後は立派な構造工学のことが沢山発行されているようであるが、難解な理論を扱つたことはどうしてもむづかしいことになりがちであつて、初学者向きの本が少ないことを残念に思つてきた。

今度幕田氏のこの本を見せて頂いて、従来の本と違って解りにくいとされているラーメン理論を大変やさ

しく楽に説いておられ、加うるに著者が実際にやられた設計例をあげて懇切な説明を加えておられることを非常に嬉しく思つた。ラーメン構造を学ばれる初学者にとつてはまたとない好伴侶であると信ずる。

著者幕田貞夫氏は稀に見る篤学の士であつて、建設省の公務員として忙しい実務をもつておられるかたわら、後進者のために良書をつつと著わされること心から敬意を表するものである。

このように、著者が実際の仕事に従事してをられる人であることは、本書の内容に永年の体験に基づく生きた資料が盛り込まれる結果となり、本書の価値を一層高めておることと考える。

ここに初学者のためのラーメン構造に関する良書の発刊を、土木技術界のために心から喜ぶとともに、本書を世に推奨してやまないものである。

(早稲田大学教授 工学博士 青木楠男)