

論文 分岐器の軌道狂い連続管理に向けた検討

片岡 武

正会員 西日本旅客鉄道株式会社 鉄道本部 施設部 (〒530-8341 大阪市北区芝田2丁目4-24)

E-mail:takeshi-kataoka@westjr.co.jp

分岐器の軌道狂い検測は、軌道検測装置等を活用して連続的に検測しているが、その管理は定点管理となっている。分岐器は短い区間に急曲線が存在するため、一般軌道のようにフィルタ処理等で通り狂いの基準線を適正に作成することができず、通り正矢の設計値も線形が複雑であるため、容易に連続的に計算することができない。このような課題を解決して分岐器の軌道狂いの連続管理ができるように、分岐器の線形に関する諸元を与えることで通り正矢の設計値を連続的に算出するプログラムを開発した。本研究では、通り正矢の設計値算出の考え方と、この設計値を分岐器の通り狂いの連続管理に適用した結果について紹介する。

Key Words : turnout, alignment, 10m-chord versine, irregularities continual calculation

1. はじめに

分岐器の軌道狂い検測は、軌道検測装置等を活用して連続的に検測しているが、その管理は定点管理となっている。分岐器は短い区間に急曲線が存在するため、一般軌道のように軌道検測データに移動平均処理やバンドパスフィルタ処理を行うことで通り狂いの基準線を適正に作成することができない。また、分岐器の種類や番数によって曲線の数や延長が異なり、ポイント先端部で入射角のある分岐器もあることから、分岐内曲線の通り正矢の設計値を連続的に計算することは容易ではない。このような課題を解決して分岐器の軌道狂いの連続管理ができるように、各種分岐器の線形に関する特徴をパターン分けし、線形に関する諸元をもとに通り正矢の設計値を連続的に算出するプログラムを開発した。本研究では、通り正矢の設計値算出の考え方と、この設計値を分岐器の通り狂いの連続管理に適用した結果について紹介する。

2. 現状の分岐器の軌道狂い管理における課題

分岐器の軌道狂い管理は、分岐器の種類毎に測定項目別に測定位置を決めて管理をしている¹⁾。普通分岐器には、片開き分岐器、両開き分岐器、振分分岐器、曲線分岐器(内方、外方)があり、普通分岐器の通り、軌間の測定位置は、図-1のようになっている。

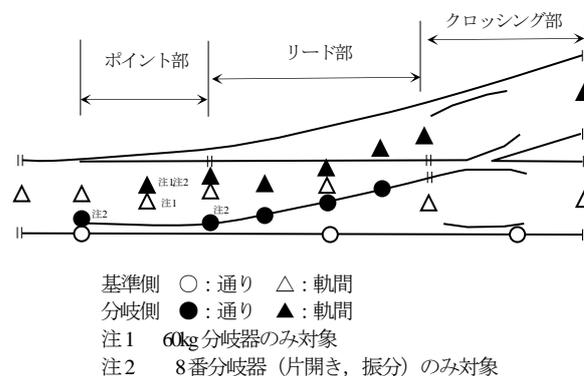


図-1 普通分岐器の通り、軌間の測定点

通りは、基準側では分岐器の前端、中央、後端の3点を、分岐側ではリード部の3点を基本とし、8番分岐器(片開き、振分)のみ、分岐側のポイント前端と後端を管理している。軌間は、基準側では分岐器前端、ポイント部前端・後端、リード部中央、クロッシング部前端・後端の6点を、分岐側ではポイント部後端、リード部の3点、クロッシング部の前端・後端を基本とし、一部の分岐器でポイント部中央を管理している。

通り正矢の設計値は、各測点の前後の曲線諸元やスラックから計算し、測定値との乖離を軌道狂いとして管理しているが、軌道狂いの測定を軌道検測装置で連続的に実施している現状からすると、多くの測定値が軌道狂いの確認に活用できていない。現状の定点管理で列車の走

行安全性や走行安定性の確保はこれまでの実績で十分できてはいるものの、一般軌道の軌道狂いは連続管理しているのに対し、より線形が複雑な分岐器が定点管理となっている。この要因としては、一般軌道では検測データにローパスフィルタ処理や移動平均処理²⁾等を行うことで適切な基準線を作成できるのに対し、分岐器では短い区間に円曲線や直線が混在等しているため、同様の手法が適用できないこと、通りの設計値を連続的に計算することが煩雑であることが考えられる。

この対策として、一般軌道よりも短い延長での移動平均処理を行って基準線を算出し、分岐器の軌道狂い管理を連続的に行っている事例⁹⁾がある。この手法では、容易に基準線が算出できるが、分岐器が低番数になるほど通り狂いの設計値と基準線との乖離が大きくなり、この乖離を考慮した管理が必要となる。

分岐器の定点管理の基準値は、分岐器の線形に基づく通り正矢の設計値を使用しているため、連続管理でもこの設計値を連続的に計算して基準値とすることが望ましい。そこで、普通分岐器の線形に関する諸元をもとに、通り正矢の設計値を連続的に算出することで、通りの基準線を作成することを検討した。

3. 分岐内曲線の通り正矢計算の考え方

(1) 通り正矢計算手法の検討

分岐内曲線を xy 座標で表現して通り正矢を計算するうえで、基本とする考え方が実務上問題のない精度で計算ができるかの検討を行った。

a) 測定弦の傾きによる誤差の影響

図-2 に示すように、xy 座標平面上で軌道の平面線形が $f(x)$ で表わされる場合、点 AB を結ぶ 10m 弦を張ると、C 点における 10m 弦正矢 $V(x)$ は式-(1) で計算できる。

$$V(x) = \frac{f(x+5) - f(x-5)}{2} - f(x) \quad \text{式-(1)}$$

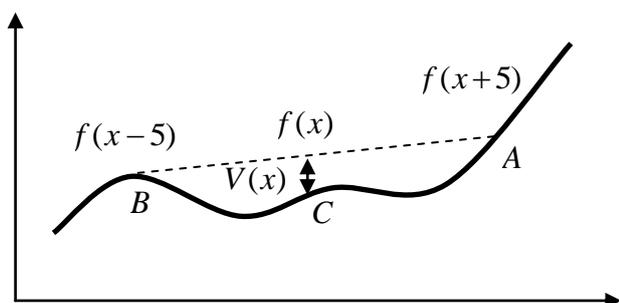


図-2 10m 弦正矢の計算方法

10m 弦正矢は、弦の中点で弦に直交するように計算するため、弦に直交する傾きが y 軸の傾きと大きく乖離する場合、式-(1) で計算した正矢には誤差が生じる。分岐内曲線の 10m 弦通り正矢を式-(1) を適用して計算する場合、この誤差の影響を考慮して適用する必要がある。そこで、この誤差の影響が些少となる条件を検討した。

図-3 のように、xy 座標面上に原点を通る曲線半径 R の円曲線を描き、原点を一端とする、弦長が 2L の弦と、その弦に対する中心角を 2θ とすると、この円曲線の線形は式-(2) で表わすことができる。

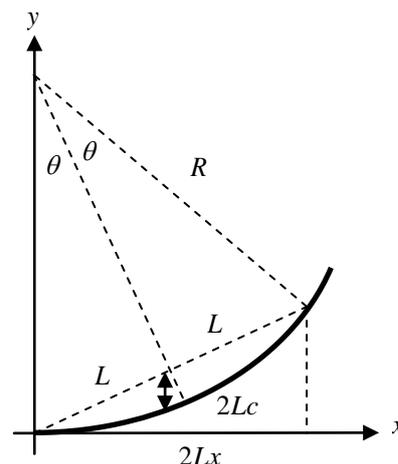


図-3 xy 座標上の原点で接する円曲線

$$f(x) = R - \sqrt{R^2 - x^2} \quad \text{式-(2)}$$

弦長 2L の正矢 V_1 を式-(1) により計算すると、式-(3) となる。

$$V_1 = L \sin \theta - f(L \cos \theta) \quad \text{式-(3)}$$

$\sin \theta = L/R$ であることから、式-(3) は式-(4) となる。

$$V_1 = \frac{L^2}{R} - \left[R - \sqrt{R^2 - L^2 \left\{ 1 - \left(\frac{L}{R} \right)^2 \right\}} \right] \quad \text{式-(4)}$$

一方、円曲線上の 2Lm 弦通り正矢 V は、式-(5) で計算でき、式-(4) と式-(5) の差が測定弦の傾きによる誤差となる。

$$(2R - V)V = L^2 \Rightarrow R \gg L \text{ より、} V = \frac{L^2}{2R} \quad \text{式-(5)}$$

8 番分岐器の分岐側曲線半径が 100m であるので、 $R=100\text{m}$ 、 $2L=10\text{m}$ として式-(4)、式-(5) を計算すると、 $V_1=125.23\text{mm}$ 、 $V=125\text{mm}$ で、その誤差は 0.18% とと些少である。

以上から、曲線の始端又は終端が x 軸に接するように xy 座標を設定して曲線の線形を計算すれば、接点の近傍では式-(1) の方法で分岐内曲線の正矢が実務上問題のない精度で計算できることが確認できた。

b) x 座標軸上の誤差による影響

分岐内曲線に関する諸元は、分岐器図集に記載されており、長さに関する諸元はレール長手方向の寸法となっている。分岐内曲線の線形を xy 座標軸上で表わす場合、正確にはレールの傾斜に対応した座標を計算する必要があるが、これらを計算することは繁雑である。そこで、レール長手方向の寸法をそのまま x 軸の長さとした場合にどの程度誤差が生じるのかを検討した。

図- 3 で、原点を一端とする弦長 2L の弦を張り、その中心角を 2θ、その円弧の長さを 2Lc、原点とは異なるもう一方の端部から x 軸上に降ろした点と原点との距離を 2Lx とすると、これらは式(6)、式(7)、式(8)で表わされる。

$$L = R \sin \theta \quad \text{式-(6)}$$

$$2L_c = 2R\theta \quad \text{式-(7)}$$

$$2L_x = R \sin 2\theta \quad \text{式-(8)}$$

ここで、上述と同様に R=100m, 2L=10m として 2Lc と 2Lx を計算すると、2Lc=10.004m, 2Lx=9.987m となる。Lx/Lc は 99.83% となり、レール寸法を x 軸上の距離とする際に生じる誤差は 0.17% と些少である。

以上の検討結果から、曲線の始端又は終端が x 軸に接するように xy 座標を設定すれば、接点の近傍ではレール長を x 座標としても実務上問題がないと考えられる。そこで、分岐内曲線の線形が変更となる地点毎に x 座標軸に接するように線形を計算することで、分岐内曲線全区間の 10m 弦通り正矢を計算することとした。

(2) 分岐内曲線の特徴による分類

分岐内曲線は、緩和曲線のない円曲線が 1 つ又は 2 つあり、その曲線長や中間直線長によって正矢の測定状況が異なるため、状況に応じた計算式が必要となる。また、一部の分岐器ではポイント先端部に入射角があるため、この条件も検討する必要がある。

これら特徴を考慮すると、分岐内曲線の線形としては図- 4 の 4 パターンに大別できる。各パターンの特徴を表- 1 に示す。

表- 1 分岐内曲線の線形のパターンの特徴

パターン	入射角	ポイント部	円曲線数	対象分岐器
1	有	直線	1	側線用
2	有	曲線	2	60kg 用 10 番, 12 番の片開, 両開, 振分
3	無	曲線	2	内方, 外方
4	無	曲線	1	上記以外

各 R は曲線半径, θ は入射角を表わす

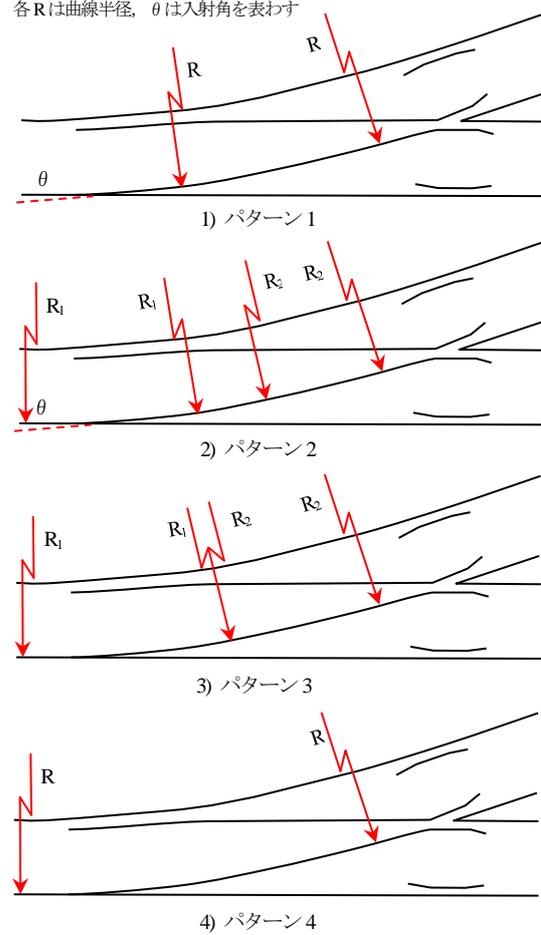


図- 4 分岐内曲線の線形のパターン

(3) 通り正矢の具体的な計算方法

a) 外軌側の正矢の計算

分岐内曲線の計算式は、図- 4 の 4 パターンをもとに、弦長と曲線長との相対的な関係からパターン分けを行った。当社で最も敷設数の多い側線用分岐器 T50N 片 8-201 形式の正矢を計算するための軌間線（レール頭頂面から 14mm 下がった位置のレール側面の線）の xy 座標の考え方を以下に示す。

正矢の計算誤差を些少にするため、分岐器内での 10m 弦の測定弦が x 軸とできるだけ平行となるように、測定位置に応じて 3 種類の xy 座標軸を考える。各座標軸において、10m 弦の前端、中央、後端の y 座標を計算し、式(1)により、正矢を計算する。ポイント先端からの距離を x[mm]とした場合の、各座標軸における正矢の計算式の一例を示す。

10m 弦の前端がポイント部、中央及び後端がポイント先端より手前にある場合の正矢 V(x)は、図- 5 の 1) のように、ポイント先端を原点とし、ポイント先端より手前が x 軸と接するように xy 座標を考えると、式(9)で表わせる。

$$V(x) = \frac{1}{2}(x+5,000) \cdot \sin \theta \quad \text{式-(9)}$$

10m 弦の前端が円曲線内，中央がポイント部，後端がポイント先端より手前にある場合の正矢 $V(x)$ は，図-5の2)のように，ポイント先端を原点とし，ポイント部が x 軸と接するように xy 座標を考えると，式(10)で表わせる。

$$V(x) = \frac{1}{2} \left\{ \frac{(x+5,000-L_p)^2}{2R} + (5,000-x) \cdot \sin \theta \right\} \quad \text{式-(10)}$$

10m 弦の前端が円曲線終端より後方，10m 弦の中央及び後端が円曲線内にある場合の正矢 $V(x)$ は，図-5の3)のように，円曲線終端から後方が x 軸に接するように xy 座標軸を考えると，式(11)で表わせる。

$$V(x) = \frac{1}{2} \frac{\{L_p + L - (x-5,000)\}^2}{2R} - \frac{(L_p + L - x)^2}{2R} \quad \text{式-(11)}$$

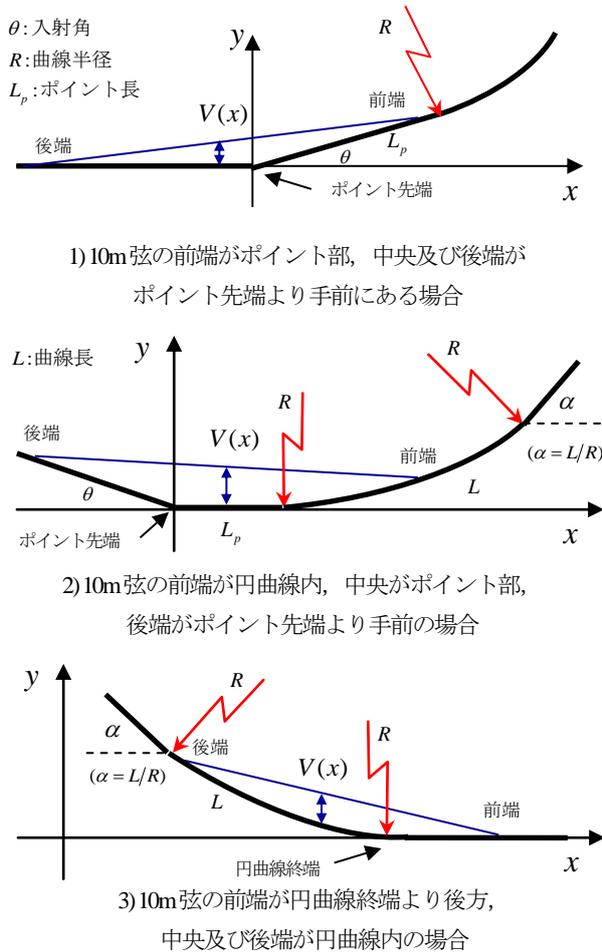


図-5 正矢計算の xy 座標の考え方 (パターン1)

b) スラックと内軌側の正矢

低番数の分岐器には図-6のようにスラックがついているため，内軌側の正矢を計算する際には，この影響を

考慮する必要がある。内軌側の正矢の計算手順を以下に示す。

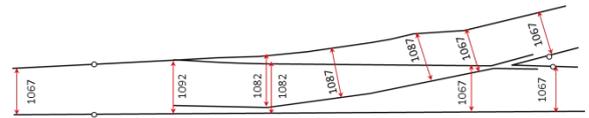


図-6 分岐器のスラック (T50N 片 8-201)

- 1) 外軌側の曲線半径から 1067[mm] を減じ，外軌側と同様の手法で正矢を計算する。
- 2) 分岐器前後の区間で，スラックの変化を xy 座標上の関数で表わす。
- 3) 式(1)を用いて，スラックが正矢に及ぼす成分を計算する。
- 4) 1) と 4) で求めた正矢を合算する。

c) ポイント先端部の正矢と軌間

ポイント先端部で車輪が基本レールからトングレールに移る位置は，トングレールの頭部幅が分岐器種別に応じた値以上となる。このため，図-5の1), 2)でポイント先端部の軌間線の xy 座標を考える際には，トングレール先端から車輪乗り移り位置までは基本レールを軌間線としている。図-7に側線用分岐器 T50N 片 8-201 形式のポイント先端部の軌間線を示す。

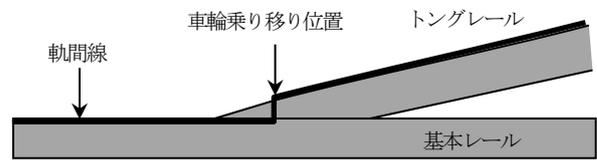


図-7 ポイント先端部の軌間線

4. 分岐内曲線の通り正矢を計算するプログラムの開発

(1) プログラムの概要

分岐内曲線の正矢を容易に確認できるように，正矢の計算に必要な分岐器の各種諸元を分岐器形式毎に整理し，この諸元と分岐器形式に応じた正矢の計算式から分岐内曲線の正矢を計算するプログラムを開発した。プログラムの入出力には Excel を使用し，上記諸元を整理した分岐器台帳の管理や出力結果の確認を容易にできるようにしている。また，軌道検測装置や軌道検測車の検測データを指定して処理した場合には，通り正矢と検測データがグラフ表示され，両者の乖離はマクロを使用することで，定量的に確認できるようになっている。

図-4のパターン別に，正矢計算に用いた分岐器の主

な諸元を表-2に示す。この他、曲線分岐器では基準線側曲線半径が、スラックがある分岐器では各スラックの値とスラックのてい減距離が必要となる。

表-2 正矢計算に用いる分岐器の主な諸元

パターン	分岐器の主な諸元
1	円曲線半径と曲線長, 入射角, 直線ポイント長
2	2つの円曲線半径と曲線長, 入射角, 円曲線間直線長 ^{注1)}
3	2つの円曲線半径と曲線長, 円曲線始端からポイント先端までの距離
4	円曲線半径と曲線長, 円曲線始端からポイント先端までの距離

注1)必要な分岐器のみ対象

(2)分岐内曲線の測定値と計算結果との比較

分岐内曲線の通り、軌間に対して、開発したプログラムで計算した設計値と現行の定点管理の基本値、軌道検測装置による測定値を比較した。一例として、T50N片8-201形式の分岐側の比較結果を図-8に示す。通り、軌

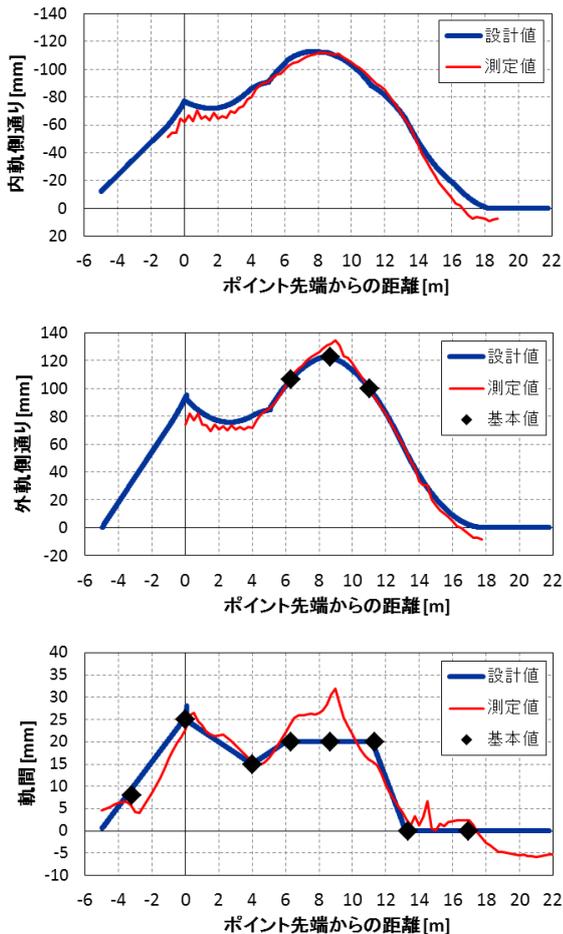


図-8 通りと軌間の設計値と測定値の比較

間の設計値と基本値との乖離は 0.1mm 程度であること、設計値と測定値は同程度であり、良く似た波形となって

いることから、実務上問題のない精度で設計値が計算できていると考えられる。この結果から、プログラムで計算した設計値は基準線として活用でき、定点管理では把握しきれない軌道狂いの極大値を把握することができることから、列車の走行安全性の向上や効果的な分岐器の軌道整備に繋がると考えられる。

なお、両データの比較する際に、位置合わせを精度良くする必要があるので、軌道検測装置の測定間隔が 25cm 間隔であることから、設計値は 1cm 間隔で計算し、位置ずれを補正しやすくしている。

5. まとめと今後の課題

分岐器の軌道狂い管理を連続的に行うことを目的に、その基準線となる分岐内曲線の正矢を連続的に計算する手法を考案し、計算に必要な分岐器諸元の台帳整備と正矢の計算プログラムの開発を行った。現行の定点管理の基本値や軌道検測装置の測定値とプログラムの計算結果を比較すると、精度よく計算ができていることが確認できた。

分岐器の前後には、分岐附帯曲線や別の分岐器が近接して敷設されることが多く、分岐内曲線の前後 10m 以内に分岐附帯曲線や別の分岐器の分岐内曲線がある場合には、この線形も考慮して通りの正矢を計算しなければいけない。今後、このような条件でも通り正矢が計算できるようにプログラムを改良し、全ての普通分岐器の軌道狂いの連続管理ができる環境を整えていく。

(2017.04.07 受付)

参考文献

- 1) 日本鉄道施設協会：分岐器の構造と保守，pp.418-420，1987.
- 2) 真田弘，佐藤清：マヤ車検測信号の基準線補正と要注複合狂いの抽出処理，鉄道技術研究所速報，1983.3.
- 3) 安田康弘，三井良裕：新しい分岐器軌道狂い管理，pp.35-37，新線路，2000.7.

STUDY ON TRACK IRREGULARITIES CONTINUAL CALCULATION OF TURNOUT

Takeshi KATAOKA

Track irregularities of turnout are measured continuously by track measuring instrument, but they are calculated and checked only at several points. One of the reasons is that the criteria of its alignment irregularities are not easily calculated because its alignment is complicated. For the purpose of checking track irregularities of turnout continuously, we developed the system with that the criteria of its alignment irregularities are easily calculated using turnout alignment parameters. In this paper, we introduce the idea, the calculation method and the result that criteria calculated by the system is compared with the data measured by track measuring instrument.