

IV-52 軌道狂い指数（P 値）の誤差 に関する一考察

御鉄道総合技術研究所 正会員 須永 陽一

御鉄道総合技術研究所 正会員 内田 雅夫

1. まえがき

軌道狂いの管理状態を表す指標としてP値が用いられて久しい。しかしP値が提案された当初から、優等線区的良好な軌道状態に対してはP値の適用には無理があることが指摘されていた^{1), 2)}。またP値の検討の段階では手検測による静的軌道狂いによっていたが、軌道検測車の登場により動的狂いが採用され、車上搭載の計算機による解析が可能となった。今後一層の高速化が計画されている在来線区においては、良好な乗心地を目指してより厳しい管理が要求されつつある。このような優等線区における軌道管理指標としてP値を適用しつづけることが妥当であるかどうか、軌道狂いに生ずる誤差の観点から検討を行った。

2. 軌道狂いに生ずる誤差とP値

2.1 軌道狂いの誤差とP値の変動

高速軌道検測車における軌道狂いは、図1に示すような計測法により測定されている。いま、軌道狂いを $\phi(x)$ 、誤差を ε とおけば、測定される軌道狂いは

$$y = \phi(x) + \varepsilon_0 + \varepsilon_1 \quad \text{..... (1)}$$

ただし、

ε_0 ; 偶然誤差, $N(m, \sigma)$

ε_1 ; 系統誤差

である。通常の計測では検出、伝播等の部位は各々独立な機構であると考えられるから、系統誤差は小さく、ほぼ正規分布と仮定できる偶然誤差に支配される。

また軌道狂い指数P値は、或る軌道延長(N)における軌道狂い限度 α を超える確率の百分率で定義される。ここで軌道狂いを $\phi(x)$ とし、P値を発生確率で表せば、

$$P(x) = \int_0^N \{ |\phi(x) + \varepsilon| - \alpha \} dx / \int_0^N |\phi(x) + \varepsilon| dx \quad \text{..... (2)}$$

となる。今(1)式の離散化が成り立つものとするれば、

$$P(x_i) = \text{rank} [|\phi(x_i) + \varepsilon| - \alpha] / n \quad \text{..... (3)}$$

ただし、

$\text{rank} [\phi(x_i)]$: $i = 1 \sim n$ における $\phi(x_i)$ が正となる時の次数

となる。(3)式よりP値の変動は誤差 ε 、限度値 α 、サンプル数 n に影響される。このことは文献1), 2)でも指摘され、P値の信頼区間として図2のように与えられており、P値が小さい程信頼区間も狭くなる。以下ではこれらの誤差について考察する。

2.2 サンプリングによる誤差

現在の高速軌道検測車（マヤ車）の計算機では、軌道狂いの処理は0.5 m毎にサンプリングされ、量子化が行われている。その後、P値算出のために(3)式により限度超過数の計数化が行わ

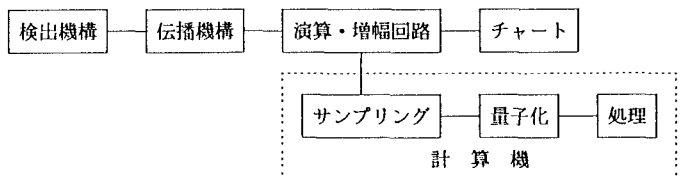


図1 軌道狂いの計測方法

れる。ここで、軌道狂いは10m弦正矢法で測定されており、10m波長の振幅成分が卓越した波形が得られる。図3に示すように波長10m程度の一般的な軌道狂いは片振幅が5m間隔程度で生じ、この間のサンプル数は10程度となるため、軌道狂い3mm程度の良い波形では1サンプルを計数するかどうかで最大10%程度の変動がP値に含まれることになる。これは系統誤差となる。

2.3 振幅成分の誤差

次に、図1に示したような間接測定法で偶然誤差の有る場合を、軌道状態の良い波形を例に模式的に描けば図4のように考えられる。当然 $|\phi(x_i)| > \alpha$ であるから、誤差の影響は限度値 α を含まない偏差量の方が良い。通常は、量子化演算のためにはアンチエイリアジングフィルタを用いて、必ずノイズ成分の除去を行う必要がある。

2.4 軌道狂いの零点における誤差

マヤ車においては軌道狂いの零点を自動的に補正するために、移動平均法が用いられている。通り狂いP値の算出には24m間の平均値を零としている。零点の誤差は振幅成分と同様な偶然誤差として取扱える。しかし、図5のような緩和曲線の出入口においては零点には偏りが生じる。これは特異箇所での系統誤差となる。この偏りを出来るだけ小さくするためには、理想に近いデジタルフィルタを用いるべきである。

3. まとめ

元来P値が採用された背景には、簡易な計算法を用いるという制限があった。しかし、計算機の進歩と相俟って、軌道狂いに統計手法を適用するからには、軌道狂いを表す分布本来の指標である標準偏差等の偏差量で表すのが適切であり、軌道狂いの適正な管理指標の確立のために今後も検討を進めていく必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 沼田実: "軌道狂い量の統計的評価", 鉄道業務研究資料, Vol. 10-8 1953.
- 2) 小野木次郎: "鉄道軌道の変位の研究", 鉄道技術研究報告, No.123, 1960.

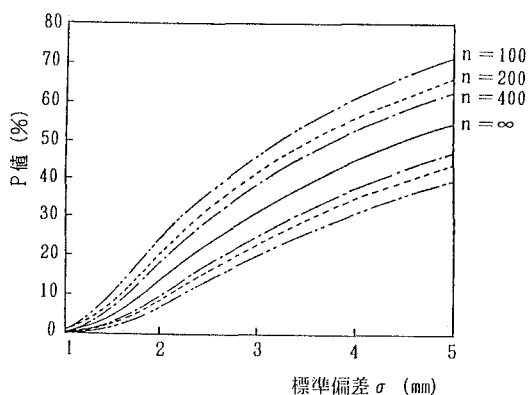


図2 P値の信頼区間

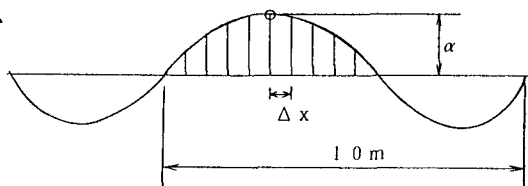


図3 軌道狂いの良い場合のP値の計数化

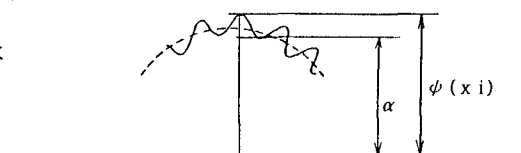


図4 偶然誤差を含んだ軌道狂い

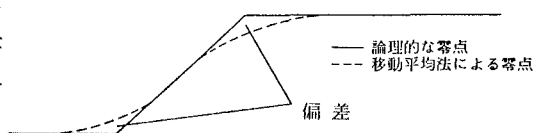


図5 緩和曲線の出入口に生じる零点の偏差