土木学会第53回年次学術講演会（平成10年10月）

IV－436

準絶対基準軌道狂い整正におけるマルタイ施工誤差

鉄道総合技術研究所　正会員　古川　敦
鉄道総合技術研究所　　　　　神山　雅子
西日本旅客鉄道　　　正会員　金岡　裕之

1．はじめに

マルタイによる軌道狂い整正は、従来マルタイ自身の持つ偏心矢による相対基準機構により行われてきた。しかし昨今では新幹線における 40m 弦正矢整備や在来線における復元波形を用いた長波長軌道整備など、マヤ車による事前検測結果に基づきあらかじめ各地点毎の移動量を求め、マルタイに入力し施工する準絶対基準整備とも呼べる施工方法がＪＲ各社で実施されている[1]。後者の施工方法では各地点毎の移動量の算出において、マルタイ施工後のリア検測輪の位置は軌道狂い整備後の理想線形上にあることが前提となっている。しかしながら、マルタイの施工誤差や軌きょうの戻り量の影響によりこの前提は必ずしも成り立たず、またリア位置が理想線形上に無いことが線形全体へどのように影響するかは明確ではない。この点に関し本報告は、マルタイ施工後のリア位置の誤差分布を仮定し、ある地点でのリア位置誤差の施工の進展に伴う伝播と、その無限遠における影響について考察したものである。

2．マルタイ施工誤差の分布形

マルタイのミドル位置での誤差は０を中心に正規分布することは考えにくい。ライニング、レベリング（扛上のみ）の場合とも軌きょうの剛性や周囲のバラストの状況、あるいはマルタイ自身の自重により、所期の移動量に対して移動方向と反対方向に戻ることによる誤差が発生する[2]。ここではこの誤差の分布について図１のように考える。

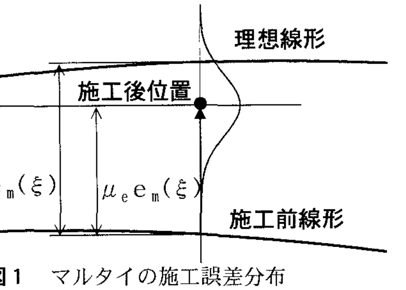

図１　マルタイの施工誤差分布

地点ξにおける計画移動量を $e_m(\xi)$ とする。マルタイの実際の移動量の絶対値はこの移動量に比例して小さくなるものとし、その比例定数を μ_e（$0<\mu_e<1$）とする。また誤差の標準偏差 $\sigma(\xi)$ も計画移動量に比例するものとし、その比例定数を σ_e とすると、マルタイの実移動量の平均値は $\mu(\xi)=\mu_e \cdot e_m(\xi)$、標準偏差 $\sigma(\xi)=\sigma_e \cdot e_m(\xi)$ となる。すなわちリア位置の誤差 $\varepsilon_m(\xi)$ は次のように表わされる。

$$\varepsilon_m(\xi)=\{1-\mu_e+\varepsilon_e(\xi)\}\cdot e_m(\xi) \quad \text{--} \quad (式1)$$

ここで $\varepsilon_e(\xi)$ は平均値０、標準偏差 σ_e の独立な誤差

新幹線の実施工においてレベリングの移動量を計測した結果は図２に示すとおりであり $\mu_e=0.74$、$\sigma_e=0.35$ であった。ライニングについても図３のように移動量の絶対値は計画値より小さくなる傾向が見られた。

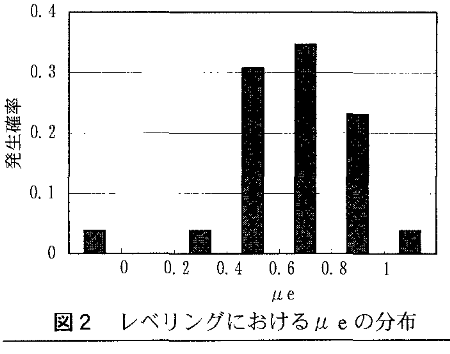

図２　レベリングにおけるμ_eの分布

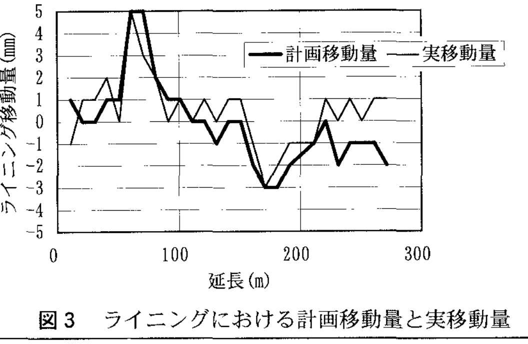

図３　ライニングにおける計画移動量と実移動量

キーワード：マルチプルタイタンパ、準絶対基準、施工誤差
連絡先：〒185-8540 国分寺市光町 2-8-38　TEL 042-573-7278　FAX 042-573-7296

3．マルタイの誤差伝播のモデル式

マルタイの偏心矢と軌道狂いの関係は図４のように表される。

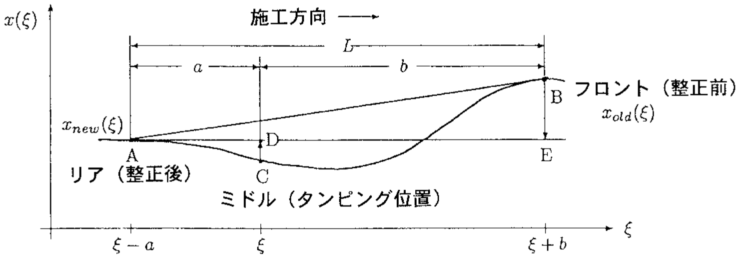

図４　準絶対基準整備におけるマルタイ偏心矢と軌道狂いの関係

ここでは簡単のためタンピングの施工間隔をａ（ミドルとリアの間隔）とし施工をξ＝ａから始めるものとする。準絶対基準においては、フロント位置$\xi+b$ における移動量 $x_{old}(\xi+b)$をあらかじめ算出しマルタイに与える。こうした場合の施工後のミドル位置 $x_{new}(\xi)$は理想線形上に整正されたリア位置$\beta\ x_{new}(\xi-a)$を用いて(2)式のように表される。

$$x_{new}(\xi)=\beta\ x_{new}(\xi-a)+\alpha\ x_{old}(\xi+b)\text{、}\quad \beta=b/L\text{、}\ \alpha=a/L \qquad \text{(式 2)}$$

リア位置 $x_{new}(\xi-a)$での誤差は(2)式に従って次々とミドル位置での移動量に影響する。このような誤差の伝播を以下のようにモデル化する。地点ξにおけるマルタイの設定移動量に対する誤差を$\varepsilon_m(\xi)$、地点ξにおける軌道の理想線形からの誤差を$\varepsilon(\xi)$とする。今リア位置が$\xi=k\cdot a$ にあるとすると、この位置における軌道の理想線形からの誤差が$\varepsilon(k\cdot a)$がタンピング位置である$\xi=(k+1)\cdot a$ での誤差に及ぼす影響は式(2)より、$\beta\cdot\varepsilon(k\cdot a)$。タンピング後のミドル位置の誤差$\varepsilon((k+1)\cdot a)$は、マルタイの施工誤差$\varepsilon_m((k+1)\cdot a)$を加え

$$\varepsilon((k+1)\cdot a)=\beta\cdot\varepsilon(k\cdot a)+\varepsilon_m((k+1)\cdot a)\quad=\beta^{k+1}\cdot\varepsilon(0)+\sum_{i=0}^{k+1}\beta^{k-i+1}\ \varepsilon_m(i\cdot a) \qquad \text{(式 3)}$$

式３に式１を代入すると

$$\begin{aligned}\varepsilon((k+1)\cdot a)&=\beta\cdot\varepsilon(k\cdot a)+\{1-\mu_c+\varepsilon_e((k+1)\cdot a)\}\cdot e_m((k+1)\cdot a)\\&=\beta^{k+1}\cdot\varepsilon(0)+(1-\mu_c)\sum_{i=1}^{k}\beta^{k-i+1}e_m((i+1)\cdot a)\ +\sum_{i=1}^{k}\beta^{k-i+1}\ \varepsilon_c((i+1)\cdot a)\cdot e_m((i+1)\cdot a) \qquad \text{(式 4)}\end{aligned}$$

式(4)の第１項は初期誤差が及ぼす影響、第２項はタンピング後の平均戻り量による誤差、第３項は戻り量のばらつきによる誤差である。

4．誤差の無限遠における影響

(式 4)のｋ→∞での平均値、標準偏差の極限を考える。各地点の移動量 $e_m(i\cdot a)$（$1\leqq i\leqq k$）のうちの絶対値の最大値を e_{max} とする。このとき、

$$|\varepsilon((k+1)\cdot a)|\leqq\beta^{k+1}\cdot\varepsilon(0)+(1-\mu_e)\cdot e_{max}\sum_{i=1}^{k}\beta^{k-i+1}+e_{max}\sum_{i=1}^{k}\beta^{k-i+1}\ \varepsilon_e((i+1)\cdot a) \qquad \text{(式 5)}$$

式(5)の右辺の平均値をμ_m、標準偏差をσ_m とすると、

$$\mu_m=\beta^{k+1}\cdot\varepsilon(0)+(1-\mu_e)\cdot e_{max}\cdot\frac{1-\beta^{(k+1)}}{1-\beta}\qquad k\to\infty\ \text{で}\qquad \mu_m=(1-\mu_e)\cdot e_{max}\cdot\frac{1}{1-\beta}$$

$$\sigma_m{}^2==e_{max}{}^2\cdot\sigma_e{}^2\cdot\frac{1-\beta^{2(k+1)}}{1-\beta^2}\qquad k\to\infty\ \text{で}\qquad \sigma_m{}^2=e_{max}{}^2\cdot\sigma_c{}^2\cdot\frac{1}{1-\beta^2}$$

いずれの値も有限であるので、マルタイ施工の進捗に伴って誤差が発散することは無い。しかしながら設定移動量が大きいとそれに伴って誤差も大きくなることから、事前の移動量計算の際には、乗り心地等に影響の無い範囲で、なるべく少ない移動量とすることが望ましい。

参考文献　1)例えば佐野他：在来線高速化に対応したＭＴＴ自動線形整備装置の開発、土木学会年次講演会、 1994.9

2)佐藤：マルタイ自動ライニングシステムによる長波長整備、新線路、1993.10.