Ⅳ-370　マルチプルタイタンパーの最適軌道狂い整正性能の検討

日本機械保線　正員　佐藤吉彦
西日本旅客鉄道（前同上）　正員　久保田信平

１．要旨

日本の鉄道においても、最近の線路補修作業はマルチプルタイタンパー（以下「マルタイ」と略称する）を主体に行われるようになり、その作業性の改良は活発に進められてきたが、整正原理に関する検討が十分に行われているとは言い難い。筆者らは、この点に関して現用の機械の伝達関数の立場から軌道狂い整正の基本特性を解析した[1)]が、ここではさらにその最適軌道狂い整正性能の実現方法を追求する。

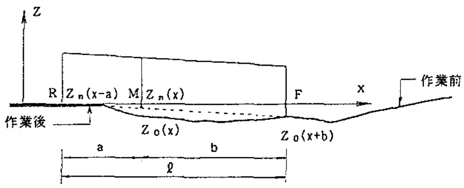

図１　レベリングモデル（プラッサー社）

２．伝達関数

この場合の伝達関数 $H(j\Omega)$ は、作業前後の狂いの関係を空間周波数の関数として与えるもので、換言すると、「相対基準作業における、ある空間周波数の狂いの残存率」と言うことができる。

図1～3において、変数 Z_n、Y_n は作業後の軌道上にある測点を、変数 Z_0、Y_0 は作業前の軌道上にある測点を表す。この場合、プラッサー社製のマルタイのレベリング（上下方向の整正作業）の伝達関数 $H_1(j\Omega)$ は、次のように与えられている[2)]。

$$H_1(j\Omega)=\frac{ae^{jb\Omega}}{1-be^{-ja\Omega}}=\frac{ae^{jb\Omega}}{a+b+be^{j(-a\Omega+\pi)}} \quad (1)$$

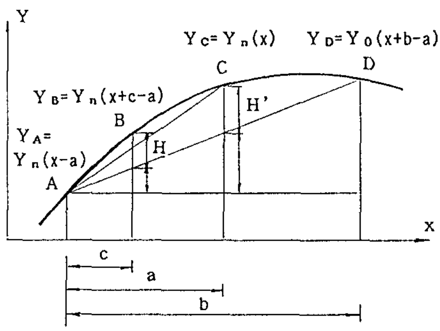

図２　ライニングモデル（プラッサー社）

３点式ライニング（左右方向の整正作業）は、曲線半径の補正を行えば、記号は異なるもののレベリングの場合と同じである。４点式ライニングの伝達関数 $H_2(j\Omega)$は、プラッサー社もマチサ社も「４点を通る円曲線」を整正の基本としている。文献2)の誤りを正してこれを求め整理した結果、次のようになった。

$$H_2(j\Omega)=\frac{a(a-c)}{b(b-c)}e^{j(b-a)\Omega}\cdot\frac{1}{1+\dfrac{a(b-a)}{c(b-c)}e^{j\{-(a-c)\Omega+\pi\}}+\dfrac{(a-c)(b-a)}{bc}e^{-ja\Omega}} \quad \cdots\cdots\cdots (2)$$

マチサ社85型のレベリング伝達関数 $H_3(j\Omega)$は、フロント部における測定機構による狂いの平均効果を考慮に入れて、次のように求められる。

$$H_3(j\Omega)=H_1(j\Omega)\cdot(1+e^{jc\Omega})/2$$
$$=C(j\Omega)\cdot H(j\Omega) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (3)$$

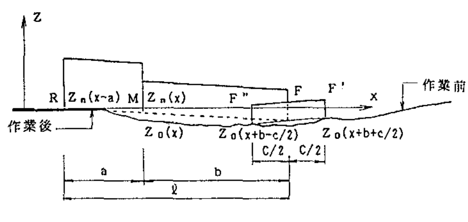

図３ レベリングモデル（マチサ社）

３．数値計算例

ここで、レベリングの性能を計算した例[1)]を示すと図４のようになり、BMNRI-85（マチサ）には 8 m付近に整正不能な部分あるが、10 m以上の成分に関しては

07-32-SLC（プラッサー）より整正効果が良いということが明らかにされた。このことは、「マチサマルタイは大きな狂いの整正に向き、プラッサーマルタイは微少な狂いの整正に向く」と言われていたのを説明するものでもある。通り狂いについても同様の性能が求められた。

4．最適整正性能の検討

式(1) において整正性能を上げるためには、分母の絶対値が最大になれば良いので、この式を複素数平面に図示したのが図5である。これによれば、この値が最大になるのは、$a\Omega = \pi$ の時であり、このときこの式は次のように表されるので、a は小さければ小さいほど整正性能が良くなり、$\Omega = 2\pi/a$（$\lambda = a$、λ：波長）がカットオフ周波数となる。

$$|H_1(j\Omega)|_{max} = a/(a+2b) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4)$$

同様にして、$C(j\Omega)$の零値は$\Omega = \pi/c$ （$\lambda = 2c$）で与えられる。

一方、通りに関してもこの整正性能を最小にするためには、分母の絶対値を最大にすれば良い。これを複素数平面に示したのが図6である。ここで、この条件を求めるとこれは次の連立方程式によって与えられる。

$$(a-c)\Omega = \pi$$
$$a\Omega = 2\pi$$

したがって、これを満足するためには、$a = 2c$という条件が必要となる。さらに、$\beta = (b-a)/(a-c)$と置いてこれらの条件を式(2) に代入するとその絶対値は次のようになる。

$$|H_2(j\Omega)|_{max} = \frac{1}{(1+2\beta)^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5)$$

つまり、BCの長さに対するCDの長さの比を大きく取ることにより、そのほぼ2乗に逆比例して整正性能の向上を計ることが出来る。またこの最小値の周波数は$\Omega = \pi/(a-c)$ （$\lambda = 2(a-c)$） である。カットオフ周波数については、図6から考えても解析的に正確な値を求めるのは困難であるが、式(2) の第2項が第1項の約2倍の値であることと、第3項の指数関数のべき指数が第2項のそれの2倍であることから、$\Omega = \pi/(4a)$（$\lambda = a/8$）がその近似値になるものと考えられる。

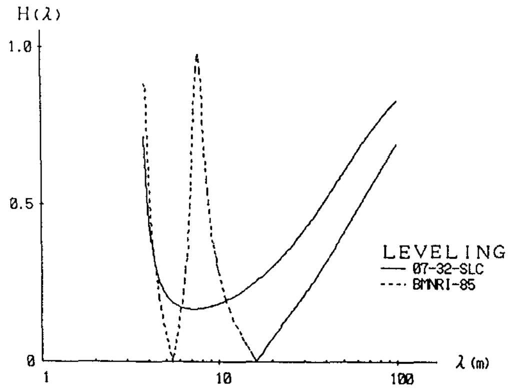

図4　レベリング伝達関数の例

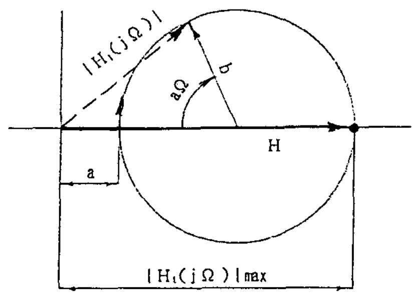

図5　レベリング伝達関数

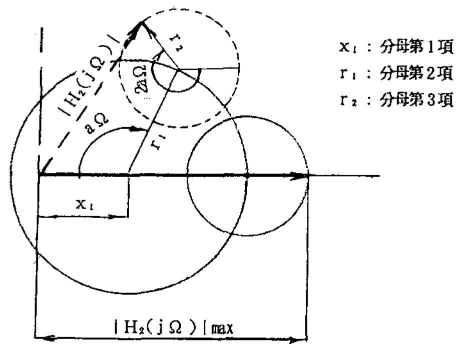

図6　ライニング伝達関数

以上により、マルタイの最適軌道狂い整正性能を実現する方法が明かになったものと考える。

文　献

1）久保田信平、佐藤吉彦：マルチプルタイタンパーの整正特性の解析、第19回関東支部技術研究発表会IV-11(1992.3.14)。

2）ESVELD, C.:Modern Railway Track, MRT-Productions (1989)。