

国鉄 鉄道技術研究所 正員 池守昌幸
正員 ○ 板垣吉彦

1. まえがき

静的軌道狂いについて正規分布とみなしてよいとされているが、多数の動的軌道狂いの分布形状、軌道狂いのパワースペクトル密度について検討した結果をまとめたものである。

今回使用したデータはマヤ・チャート上の軌道狂いを1mm(地上1m)おきに読みとり500測点を1サンプルとしたものである。

2. 軌道狂いの正規性の検定

正規性の検定は次の方法による。

(イ) χ^2 検定による方法

(ロ) ひずみととがりによる方法

ひずみを表すものとして β_1 、とがりを表すものとして β_2 、 W_n を用いると次のようになる。

$$\beta_1 = \mu_3 / \sigma^3 \quad \mu_3 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^3 \cdot f_i$$

$$\beta_2 = \mu_4 / \sigma^4 \quad W_n = \sum_{i=1}^N |x_i - \bar{x}| / \sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

検定は先ず(イ)によって行うが、これによって否定されたものの中には不適当な階級境界値、階級中によって χ^2 の値を大きくしたものもあるのぞさらに(ロ)によって検定を行った。(イ)(ロ)の方法による結果を高低・通り・水準狂いについて示すと表-1となる。この検定の結果では高低・通り狂いについては約70%、平面性・軌間・水準狂いについては約50%のものが正規分布として否定できないことになる。これら軌道狂いの分布形の特徴としては全体としてflatなものよりPeakedなものが多く、20%~40%が非対称分布となっている。正規分布に近い分布形は β_1 と β_2 によって表示できるが正規分布と比較すると図-1となり、正規分布にくらべ中央と裾野で高い傾度をしめす。

高低 $\beta_1 - W_n$ に5分類 () 全体%100

Peak Skew ness	Peaked			Good			flat		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Good	3	11		N(m,r)					
	14(8)			121(71)					
Skew	6	13	3	4	7	3			
	22(13)			14(8)					

1 NO101~149 2 NO201~296 3 NO301~328

通り

Peak Skew ness	Peaked			Good			flat		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Good	1	4	3	N(m,r)				6	
	8(5)			127(74)			6(4)		
skew	6	6	1	1	12	4			
	13(8)			17(10)					

水準

Peak Skew ness	Peaked			Good			flat		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Good	3	7	1	N(m,r)				5	1
	11(6)			85(50)			6(4)		
skew	12	18	9	10	16	3	1		
	39(23)			29(17)			1(0)		

表-1

軌道狂いの分布形状

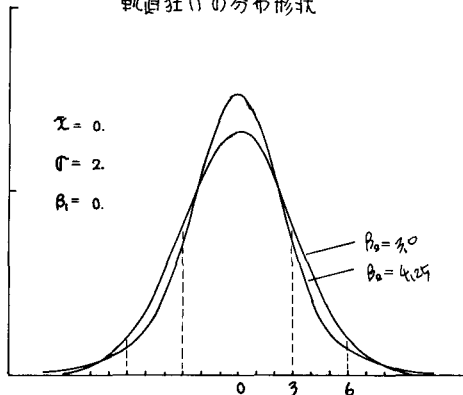


図-1

3. 軌道狂いのパワースペクトル密度

軌道狂いを時系列データとみなして不規則振動の問題として解析したものである。こうしたときに自己相関関数の推定値は(1)式で求められる。

$$R_x(j \Delta x) = \frac{1}{N-j} \sum_{n=1}^{N-j} (x_n - \bar{x}) \cdot (x_{n+j} - \bar{x}) \quad j=0, 1, \dots, m \quad (1)$$

またパワースペクトル密度の推定値は(2)式で求められる。

$$S_x(\omega) = S_x\left(\frac{K}{m} \cdot \frac{1}{2\pi}\right) = h(R_x(0) + 2 \sum_{k=1}^{m-1} R_x(k) \cos\left(\frac{\pi \cdot k \cdot K}{m}\right) + (1-j) R_x(m)) \quad K=0, 1, \dots, m \quad (2)$$

軌道狂いのうち高低・通り狂いについては測定方法自体にフィルター効果があるため(2)式で計算されたパワースペクトル密度をさらに補正する必要がある。補正した結果の一例を図-2に示した。この図では $\omega = 0.2, 0.4$ に ∞ 点を生じているがこれはフィルター補正によって出現したものでレール剛性等から考えても実際上存在するものではない。したがってこの解析方法ではフィルターの周波数特性から考えて短波長については $\lambda = 6 \sim 7 \text{ m}$ 、長波長については検出能力が逐次減少しきに誤差が増大していくことから $\lambda = 30 \sim 40 \text{ m}$ 程度が限度である。

図-3は高低狂いについて各サンプルの平均をとったもの ω はほぼ $\omega = 0.12$ の傾向を示し $S_x(\omega) = A \cdot \omega^\eta$ とすれば、 $\omega < 0.12$ では $\eta \approx -0.8$ 、 $\omega > 0.12$ では $\eta = -5.8 \sim -6.8$ 程度となって波長 $\lambda \approx 8 \text{ m}$ 以下になると急激に減少する傾向にある。

$\lambda = 12.5 \text{ m}$ 付近にピークが認められるがレール両端の継目落ちの影響と考えられる。

通り狂いについては平均的にとくに目立ったピークは認められず $\eta \approx -2.3$ 程度である。

4. まとめ

(i) 軌道狂いについては正規分布と認められるものが多い。

(ii) 軌道狂いのパワースペクトル密度は $S_x(\omega) = A \cdot \omega^\eta$ で表すとき高低狂いについて、 $\omega > 0.12$ では $\eta \approx -6$ 、 $\omega < 0.12$ では $\eta \approx -0.8$ 程度となって波長の増大と共に漸次増加するものと思われ。通り狂いについては $\eta \approx -2.3$ 程度である。

参考文献

- 小野木太郎 鉄道軌道の劣化の研究 鉄研報告635-5
佐藤 吉彦 乗心地の立場から見た軌道高低狂いの整備限度 鉄研報告641-8

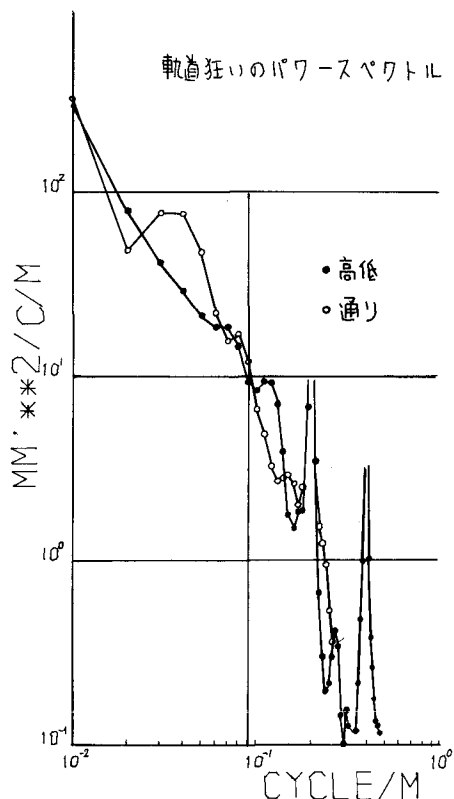


図 - 2

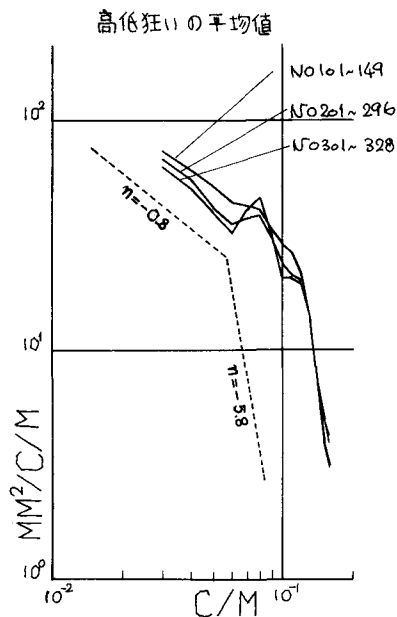


図 - 3