

輪重データの分布形状分析と確率分布モデルとの適合性評価

鉄道総研 正会員 ○小木曾 清高
 鉄道総研 正会員 西本 正人
 鉄道総研 正会員 三和 雅史

1. はじめに

輪重・横圧の推定法としては、軌道、車両の各パラメータを入力とする力学モデル等による方法や、実測データの統計分析結果に基づく方法が考えられる。これまで筆者らは、輪重・横圧の等間隔サンプリングデータから得られる分布形状を考察した¹⁾が、本稿では、著大輪重や輪重抜けの発生確率の検討に用いることを想定して、輪重のロット統計量の分布特性についても分析する。

2. 等間隔サンプリングデータの輪重変動分布

在来線の車種Aの輪重データ(間欠法、サンプリング間隔 1.33m)に波長 50m 以上の成分をカットするハイパスフィルタ処理を施し、輪重変動成分を算出した。そして、50km/h 以上で走行した直線区間(バラスト, ロングレール)約 40km 分の輪重変動データの確率密度を一般的な確率密度分布(表 1)に当てはめた際の適合性を評価した。適合性評価には、一般的な指標である二乗平均平方根統計値(RMS)、カイ二乗統計値(χ^2)、およびコルモゴロフ・スミルノフ統計値(K-S)を用いた。

確率密度分布の実形状と推定形状(データから分布パラメータを推定して得られた理論分布の形状)を比較した結果を図 1 に示す。実形状は、いずれの統計値においてもロジスティック分布への適合度が最も高い。よって、等間隔サンプリングの輪重変動の分布はロジスティック分布でモデル化できる。

3. ロット統計量の分布

3.1 25mロット最大値

輪重変動の 25m ロット最大値の分布の実形状と推定形状を図 2 に示す。分布形状は非対称であり、対数正規分布への適合度が最も高い。ガンベル分布、ワイブル分布への適合度も他の分布に比べて高く、

順位は統計値により変動する。これらの分布は+側の裾野が長く、非負で非対称な形状を有する。ここで、ガンベル分布は極値分布の一つであり、一般に最大値の漸近分布として知られている。

これらの分布を用いて、理論分布の%点と各ロットの最大値の包含割合(実測最大値包含率)の関係を図 3 に示す。ワイブル分布では、理論分布の%点と同じ場合に実測最大値包含率が最も小さいことから、その他の分布を用いるのが良い。例えば、対数正規分布の実測最大値包含率 95%に対応する%点は、約 99.98%点であることから、この%点を用いて著大輪重に関する検討を行うことが考えられる。以上より、輪重変動のロット最大値は対数正規分布やワイブル分布でモデル化できる。

表 1 適合性評価を行った分布

①ロジスティック分布(Logistic)	②正規分布(Norm)
③対数正規分布(Lnorm)	④ガンベル分布(Gumbel)
⑤ワイブル分布(Wei)	⑥t 分布(Stu)

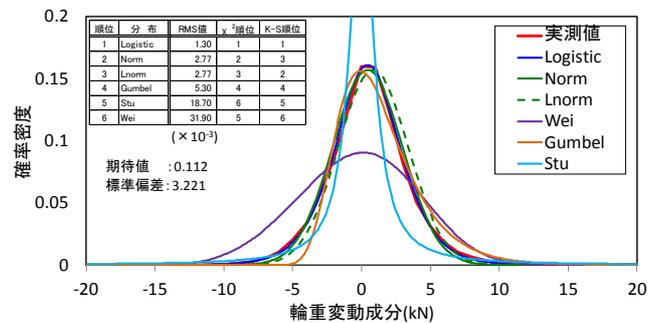


図 1 輪重実測値の分布

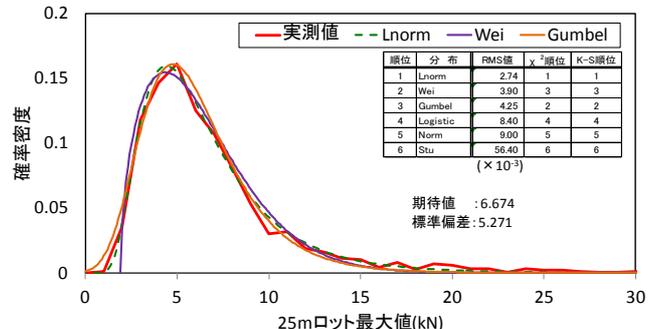


図 2 25m ロット最大値の分布

キーワード 輪重, 横圧, 統計的分析, 確率密度関数, 分布適合度

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財)鉄道総合技術研究所 軌道管理 (042)-573-7278

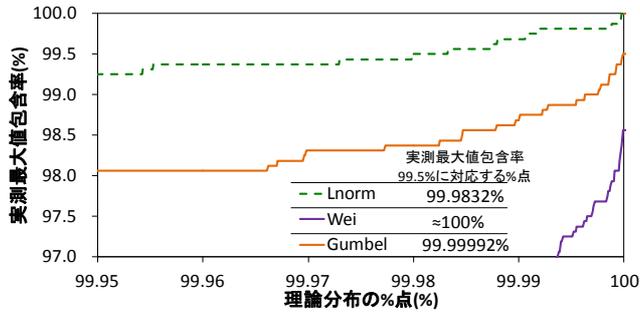


図3 理論分布の%点と実測最大値包含率

3.3 25mロット最小値

輪重変動のロット最小値の実形状と推定形状を図4に示す。ワイブル分布への適合度が最も高く、左右非対称の形状であるが、その程度は最大値の分布より弱い。ワイブル分布も極値分布の一つであり、最小値の漸近分布として知られている。

理論分布の%点と各ロットの実測最小値包含率の関係を、図3に示す。対数正規分布では、理論分布の%点と同じ場合に実測最小値包含率が小さいことから、最小値の裾野に着目した分析を行う際はその他の分布を用いるのが良い。例えばワイブル分布の実測最小値99.5%を包含する理論分布点の%は、約0.009%点であることから、この%点を用いて輪重抜けに関する検討を行うことが考えられる。

よって、輪重変動のロット最小値はワイブル分布でモデル化可能である。

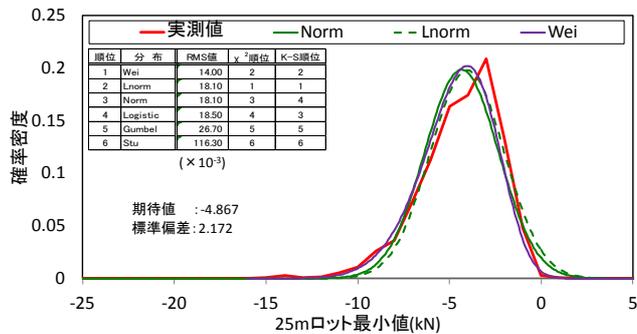


図4 25m ロット最小値の分布

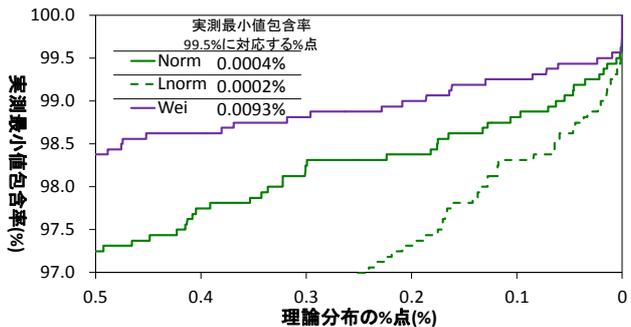


図5 理論分布の%点と実測最小値包含率

3.4 25mロット標準偏差

標準偏差(σ)の分布についても、上記と同様の分析を行うと、ワイブル分布や対数正規分布との適合度が高い。ここで、一般に輪重変動の最大・最小値を推定する場合、 σ の $\pm n$ 倍として算出することが多い。そこで、最大値/ σ と最小値/ σ の分布の実形状と推定形状を図6に示す。これらの分布についても一般的な分布への適合度を評価した。

最大値/ σ は、+側に裾野が長い非対称形状を有し、実測の最大値は5.9であり、概ね4.3以下に分布している。実形状は対数正規分布やガンベル分布への適合度が高い。

最小値/ σ の形状は左右対称に近く、実測の最大値は-3.8であり、ロジスティック分布への適合度が高い。

以上より、最大値と最小値の推定においては用いる分布を別にした方がよく、また σ の $\pm n$ 倍として最大・最小値を表す際には、 n を使い分ける必要があると考えられる。

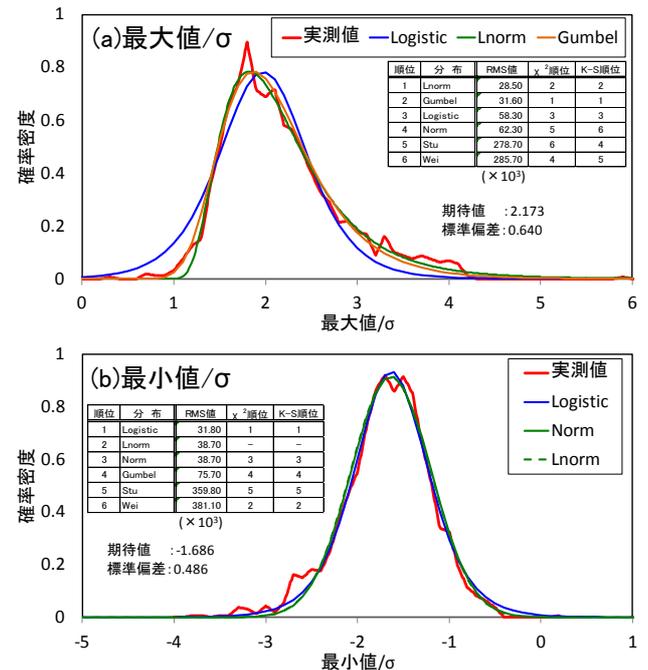


図6 25m ロット最大値/ σ ，最小値/ σ の分布

4. まとめ

本稿では、輪重変動成分(直線, バラスト, ロングレール区間)の分布の統計的特性を分析し、評価した。本結果より、さらに多くの実測データを分析し、輪重推定精度の向上に取り組んでいきたい。

<参考文献>

- 1) 小木曾, 西本, 三和: 列車荷重の統計的特性に関する分析結果, 鉄道技術連合シンポジウム(J-RAIL2012), 2012.12