

## クラスタ分析法による軌道変位異常箇所検知モデルの構築と検証

鉄道総合技術研究所 正会員 ○松本 麻美 三和 雅史  
政策研究大学院大学 大山 達雄

## 1. はじめに

検測技術の向上により大量の履歴データの取得が可能になっており、これらを活用して軌道等の異常箇所を検知し、その劣化進行過程の予測結果に基づいて保守対応措置の期限を推定する異常把握・管理法が求められている。しかし、軌道の劣化進行を予測する既往のモデル<sup>1)</sup>等では急進の予測等には対応していない。本研究では、軌道変位と保守実績の履歴データに対してクラスタ分析手法を用いて、大きな軌道変位の発生可能性が高い箇所を検知するモデルを構築し、実データを用いた検証結果を示す。

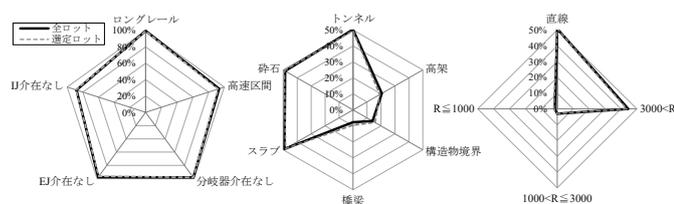
## 2. 軌道変位異常箇所検知モデルの構築

## 1) 使用データと分析方法

年間通トン約1.7~2.5千万トンの全軌道延長5,589ロット/100m、貨物走行のない高速線区、軌道検測頻度1回/10日のデータを使用し、分析は非階層のクラスタ分析(k-means)法を用いた。本線の管理基準(保守目標値、整備目標値、著大値)に軌道状態が安定している箇所およびスラブ軌道等の軌道変位が生じない箇所を想定し、5つのクラスタに分類した。

## 2) ロット選定とクラスタ分析法

分析用として全ロットのうち500ロットを選定(選定ロット)した。モデル展開時に妥当性が得られるよう、選定ロットは軌道構造等の割合が全ロットと同程度になるよう図1のとおり選定した。本研究における高低変位は、特筆ない場合異常値がより顕著に検出される5m弦<sup>2)</sup>の100mロット最小値を用いた。



(a) 軌道構成等 (b) 構造物等 (c) 線形  
図1 全ロットおよび選定ロット数の分布

クラスタ分析にあたっての指標は、軌道状態を表す際に一般に用いる高低変位の最小値と標準偏差に加え、検測期間中の軌道状態のばらつきや保守状況等を考慮できるよう最大偏差、改善回数、急進回数を用いた。これら5つの指標の詳細を表1に示す。

## 3) クラスタの特性分析

クラスタ分析を行った結果、表2に軌道状態が悪い順に並べ替えたクラスタ中心座標およびロット数、表3にクラスタ中心座標間距離を示す。表2より、改善回数以外の指標においてクラスタが大きいほど状態が良くなり、クラスタ5に半数以上のロットが分類された。また中心座標間距離が近いほどクラスタの性質が似ているといえることから、表3よりクラスタ2と3の性質が最も似ており、一方クラスタ1と5の性質が最も異なるものとなった。各クラスタの高低変位推移例を図2に示す。

クラスタ1は全て、検測期間中に10m弦高低変位の著大値相当である-10mmに近い著大値を検出したロットであった。高低変位のばらつきが大きく改善回数の多いロットが分類され、構造物の境界等軌道

表1 クラスタ分析に用いる指標

指標	概要
最小値	測定期間中の高低変位ロット最小値の最小値
標準偏差	測定期間中の高低変位ロット最小値の標準偏差
最大偏差	測定期間中の高低変位ロット最小値の最大値と最小値の差
改善回数	連続する測定日の高低変位ロット最小値が1mm以上改善した回数
急進回数	連続する測定日の高低変位ロット最小値が2mm以上急進した回数

表2 クラスタ中心座標とデータ数

クラスタ	最小	標準偏差	最大偏差	改善回数	急進回数	ロット数
1	-11.4	1.8	9.6	11	2	6
2	-9.4	1.7	7.7	4	0	27
3	-8.1	1.4	6.0	8	0	19
4	-5.8	1.0	4.1	2	0	116
5	-2.5	0.2	1.0	0	0	332

表3 クラスタ中心座標間距離

クラスタ	1	2	3	4	5
1		7.2	5.6	11.7	16.4
2	7.2		4.7	5.6	10.6
3	5.6	4.7		7.0	11.2
4	11.7	5.6	7.0		5.0
5	16.4	10.6	11.2	5.0	

キーワード クラスタ分析, 異常検知, 軌道変位, 履歴データ, 保守管理

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 軌道技術研究部 TEL042-573-7276

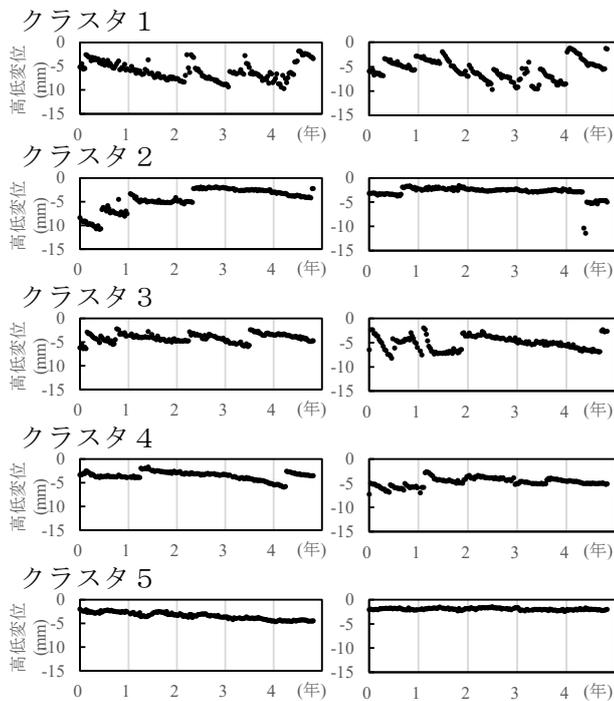


図2 高低変位推移例

状態が悪くなりやすいロットが多くを占め、保守管理に注意を必要とするグループであると考えられる。

クラスタ2には、著大値に近い高低変位が急進により発生するようなロットが分類された。中心間距離の近いクラスタ3と比べると、本クラスタは軌道状態の割に保守頻度が低い傾向にあり、これは、27ロット中25ロットが分岐やEJの介在箇所および定尺区間等であったことから、保守困難箇所として急進に注意を要するグループであると考えられる。

クラスタ3も大きな高低変位が時々発生しているロットが分類された。本クラスタは、保守頻度がクラスタ2より多い傾向にあったことから、定期的に保守がなされており、現場でも軌道変位が大きくなりやすい箇所として管理されているロットが分類されている傾向にあると考えられる。

クラスタ4は多少の高低変位の変動や保守があるものの、比較的落ち着いたロットが分類された。他クラスタと比べて、一般に軌道の弱点箇所になりやすい急曲線区間が多く含まれたが、曲線半径が小さいと走行速度が遅くなり軌道変位が進みにくくなることから、軌道変位は安定していると考えられる。

クラスタ5は高低変位が0mmに近い状態で変動なく推移しており、保守実績のないロットが分類された。軌道変位が生じないスラブ軌道や温度変化の少ないトンネル内にあるロットが半数以上を占めた。

### 3. 軌道変位異常箇所検知モデルの検証

#### 1) クラスタ特性と異常値

選定ロットのうち、検測期間中に著大値相当である高低変位-10mm以下となったロットと、目標値相当の6mmから次回検測時に著大値相当となるような-4mm/10日以上急進が発生したロットの計11ロットを異常値とした。これらの異常値は全てクラスタ1または2に分類され、その内訳はクラスタ1に5つ、クラスタ2に6つとなった。クラスタ1に分類された異常値は、軌道変位が常に大きく定期的に保守を繰り返しているロットが多くを占め、クラスタ2には軌道変位の進みが落ち着いている期間があるものの時々急進が生じるようなロットが分類された。なお、クラスタ1は6ロット中5ロットが異常値であったが、残り1ロットも高低変位-9.6mmを検出し、かつ保守回数も多いロットであった。

#### 2) クラスタ分析に基づく保守管理法

以上の結果より、クラスタ1から順に「要注意」、「準要注意」、「注意」、「安定推移」、「極安定推移」とグループ化することができる。軌道検測の都度本分析法を適用し、「要注意」、「準要注意」、「注意」に分類されたロットを特に、巡回等で軌道変位や材料状態の変化に注意して確認することで、著大値の発生や事後保守の防止に有効と考えられる。また前回検測値と比べて、今回検測値が注意を要する上位のクラスタに接近または移動したロットを抽出することによって、急進等に注意すべきロットを事前に検知できる可能性があると考えられる。

### 5. まとめと今後の課題

高低変位の履歴データをクラスタ分析することで、分類されたクラスタ別に急進などを含む大きな高低変位の発生可能性を予測して軌道を管理する手法を提案した。今後は、本モデルを全ロットに適用して、異常検知手法としての正当性および有用性を検証する。また、将来的には本モデルをローカル線などにも適用できるよう汎用性を高める必要がある。

#### 参考文献

- 1)山本修平、三和雅史、田中博文、嘉嶋崇志、高頻度検測データの特性を考慮した軌道変位予測モデルの構築、第21回鉄道工学シンポジウム、No.2, pp.9-16, 2017.
- 2)木村寛淳、田中博文、下野勇希：偏心矢を用いたバラスト軌道における高低変位急進箇所の効率的な検出手法、土木学会第65回年次学術講演会、IV-212, pp.423-424, 2010.