

急曲線・鉄まくらぎ区間における軌間変位の動的値と静的値の差に関する検討

日本貨物鉄道(株) 正会員 ○吾郷 太寿
 日本貨物鉄道(株) 正会員 村松 穂高
 北海学園大学 正会員 上浦 正樹

1. はじめに

JR 貨物では約 1,300km の線路設備を保守しており、第一種鉄道事業区間は 34.9km であり、ほとんどが停車場構内の設備である。停車場構内での軌道検測は軌道検測装置（レールマスター）により、静的値を検測している。第一種鉄道事業区間では、隣接する各旅客会社の協力を得て、高速軌道検測車により動的値を検測している。一方、JR 貨物発足時、貨物駅構内のまくらぎの多くは木まくらぎであったが、腐朽せず耐用年数が 60 年とされる鉄まくらぎの敷設を進めてきた。現在、保守している並まくらぎ 147 万本のうち木まくらぎが約 51%、鉄まくらぎが 28.5%である。



図-1 蘇我駅構内通路線

表-1 線区の諸元

線名	蘇我駅構内通路線	東新潟港線 (上沼垂～焼島)
最大速度	20km/h	60km/h
曲線半径	R=300m	R=600m
レール種別	50N	50N
レール締結装置	線ばね, AP型	線ばね, AP型
まくらぎ間隔	31本/25m	31本/25m
道床厚	150mm	200mm
道床種別	ふるい(一部碎石)	碎石

当社は、2018年6月16日外房線蘇我駅構内で列車脱線事故を発生させた。本事故は、19両編成の貨物列車が蘇我駅構内の分岐器付近を走行中に軌間が拡大したことにより脱線したものである。分岐器付近の軌間が拡大した原因は、まくらぎ検査において連続不良の判定が出た箇所の補修が出来ていなかったこと、軌間の静的値が整備基準値以内であったことにより軌間拡大に対する危険性の認識が不十分であったことである。この事故の恒久対策の一つとして、木まくらぎ検査の見直しなどの取組みを実施した。その一方、急曲線かつ腐朽した木まくらぎ区間における軌間変位について、静的値を基本として、列車通過時の横圧による動的変位を管理できることが望ましい。

そこで、急曲線区間を対象として軌間変位の静的値に対する、木まくらぎに腐朽のない状態での動的値、腐朽による影響がある状態での動的値の二段階に分離して、静的値により動的値を推定する研究を進めることとした。以上から、本検討ではその第一段階として、腐朽のない材料である鉄まくらぎ区間の急曲線における軌間変位の動的値と静的値との差の範囲を検討することとした。

2. 軌間変位における動的値と静的値の比較

軌間変位における動的値と静的値を比較した事例は少ないが、国鉄時代1962年と1967年に高速軌道検測車による動的値と手検測による静的値を比較し、データ数5,000～6,000の分布を正規分布と仮定し、信頼度90%における静的値に対する動的値の上限と下限を示している例がある。本検討では急曲線を対象に、高速軌道検測車によるデータを動的値、レールマスターによるデータを静的値とし、それらの差を検討することとした。

3. 対象の線区と軌間変位の分布

継目を除き、すべて鉄まくらぎが敷設されている急曲線のうち、動的値及び静的値のデータを有する箇所の中から、蘇我駅構内通路線（データ数181）（図-1）と東新潟港線（上沼垂～焼島）（データ数381）を選定した。その主な諸元を表-1に示す。次に蘇我駅構内通路線の軌間についてスラックを除いた動的値と静的値（図-2）からその差を算出した（図-3）。同様に東新潟港線での軌間の動的値と静的値（図-4）からその差の分布を図-5に示す。以上からそれぞれの平均と標準偏差を求めた（表-2）。

4. 信頼区間と信用区間

19世紀から続く一般統計学では母平均（真の値 X ）は1点と仮定し、一定量のサンプリング数の確保をキーワード 鉄まくらぎ, 軌間, 動的値, 静的値, ベイズ統計

連絡先 〒151-0051 東京都渋谷区千駄ヶ谷 5-33-8 日本貨物鉄道株式会社 保全工事事部 TEL 050-2017-4063

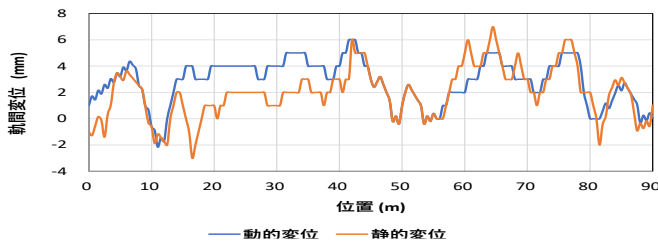


図-2 軌間変位の比較 (蘇我駅)

件として得たデータ x の集合を正規分布と仮定している. この真の値が入る範囲を信頼区間とし, 信頼度 90%とはこの真の値が入る範囲を信頼区間とし, 信頼度90%とは信頼区間に真値 X が入る確率が90%であることを意味している.

一方, ベイズ統計学ではサンプリング数に関係なく, ある事象 Y から得られたサンプリング結果 y が変わらないことから, これを定数と見なす. 次に一様分布のランダムデータを 1 万回発生させて各平均や標準偏差を定める. これにベイズの定理を用いて観測結果 y を掛け合わせて平均値の分布を求める. この繰り返しによって得られる集合を事象 Y と見なす. この結果に基づき, ある区間に入る確率 (信用区間) を求める. ベイズ統計における信用区間 90%とは事象 Y のうち, この区間に入る確率が 90%以内となることを意味している. 本検討では統計解析ソフト R を用いてマルコフ連鎖モンテカルロ法 (MCMC 法) により信用区間 90%の範囲を推定した.

5. 検討結果

従来法ではデータ x の集合の平均と標準偏差によって標準化した確率変数 z を用いる. この標準正規分布関数 $f(z)$ の正規分布表において信頼度 90%では標準正規分布関数 $f(z) = 1.645$ により表-2の平均と標準偏差を用いて最大値と最小値の差の範囲 (表-3) を求めた. ベイズ法では一個前の状態だけによって次の状態が決まるとするマルコフ連鎖を用いる. その初期値は表-2の動的値と静的値のそれぞれの平均と標準偏差とした. 次に乱数の発生回数を 10,000 回として動的値と静的値のそれぞれの平均が計算される. これから動的値と静的値の差の数は 10,000 個となる. よってこの差の確率分布により累積分布関数 (phc) を定める (図-6). 以上から 90%の確率で含まれる範囲を信用区間 90%として $phc=0.9$ から動的値と静的値の差の範囲 (表-3) を求めた.

6. まとめ

急曲線・鉄まくらぎ区間における軌間変位の動的値と静的値の差の範囲について, 静的値の平均が約 2mm に対し従来法の信頼度 90%およびベイズ法の信用度 90%ともその範囲は約 3mm 程度であり, ほとんど差はみられなかった. 今後, 木まくらぎ区間への拡大により, 木まくらぎの腐朽による動的変位について検討を進める.

参考文献 1) 佐藤吉彦他「線路工学」日本鉄道施設協会, pp.79-80, 1987

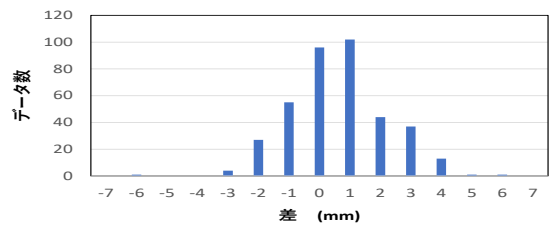


図-3 動的値と静的値の差 (蘇我駅)

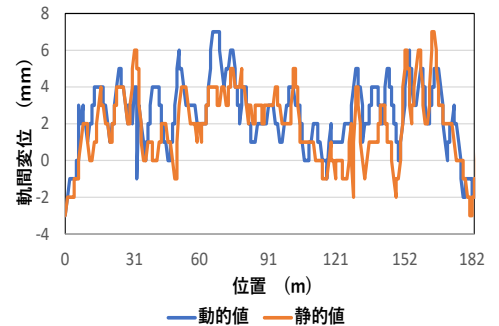


図-4 軌間変位の比較(東新潟港線)

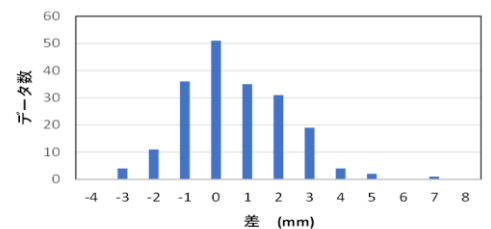


図-5 動的検測値と静的検測値の差

表-2 平均と標準偏差

	蘇我駅構内通路線		東新潟港線 (上沼垂～焼島)	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差
動的値(mm)	2.8	1.7	2.4	1.9
静的値(mm)	2.0	1.9	1.8	2.0
差 (mm)	0.7	1.7	0.6	1.6

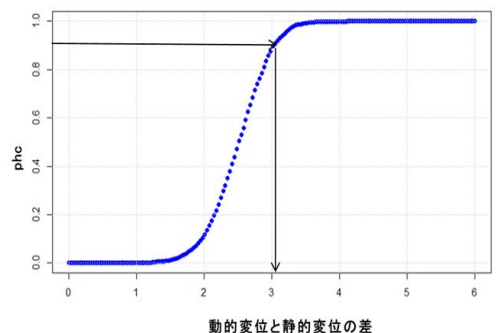


図-6 累積分布関数 (phc)

表-3 動的値と静的値の差の範囲

		蘇我駅構内 通路線	東新潟港線 (上沼垂～焼島)
従来法	信頼区間90%	2.8mm	2.6mm
ベイズ法	信用区間90%	3.1mm	3.0mm