

敷設条件を考慮した軌道変位進み量の推定モデル

(財)鉄道総合技術研究所 正会員 米澤秀剛
 (財)鉄道総合技術研究所 正会員 三和雅史
 東日本旅客鉄道(株) 正会員 青木宣頼

1. はじめに

軌道変位進み量の推定には、軌道破壊理論や S 式¹⁾、有道床軌道の設計標準²⁾等の方法が提案されている。しかしながら、これらは線区全体あるいは同じ輸送条件、軌道構造条件の範囲における軌道変位進みを推定するマクロなモデルであるため、構造物の介在や材料の状態など、敷設条件が反映された実際の軌道変位進みとは異なる結果が得られることがある。本研究では、高低変位の推移履歴データを統計的に分析し、敷設条件を考慮して高低変位の推移を推定するモデルを構築する。

表1 軌道変位分析データ

線名	主な軌道構造	通過トン数(百万t/年)	最高速度(km)	貨物列車(本/日)	整備基準値(m)
A線	ホマクラギふるい道床	1.5~2.5	95	セメント×2	27
B線	ホマクラギふるい道床	0.7	95		27
C線	ホマクラギふるい道床	0.6~2.0	95		27
D線	ホマクラギふるい道床	0.9	85		30
E線	PCマクラギ砕石道床	10.4	110	コンテナ×2 石油×8	25

2. モデルの構築

(1) 線区別モデル

最初に、表1に示す閑散線区を中心とした5線区において測定された高低変位データを分析して線区別の推定モデルを構築する。ここでは、測定期間中に整備目標値を超過した箇所データのデータを用いるが、データ数が少ない線区においては整備目標値を超過しなくても変位量が大きな箇所のデータを分析に追加する。

まず、高低変位量と進み量の実態を確認する。高低変位量はいずれの線区においてもほとんどが25mm以下であり、整備基準値を超えるデータは全4,678データ中2箇所だった。また、変位進み量は、軌道構造が弱い線区や、軌道構造は強いが通過トン数が多い線区でやや大きい。ほとんどが-10mm/100日以下である。D線の高低変位量と100日あたりの高低変位進み量(マイナス側)の関係を図1に示す。図中の直線は15~90日のうちに安全上の限度値(40mm)¹⁾に到達する高低変位量と進み量の組み合わせを示したものである。これらの直線の右上にあるデータは存在しないことから、現状の軌道変位管理においては、短期間で限度値を超える高低変位が存在する可能性は低いと考えられる。

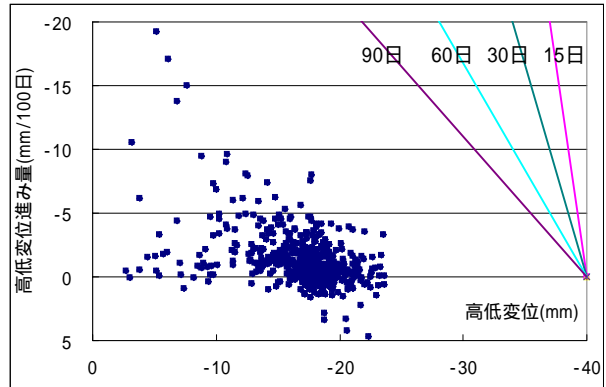


図1 高低変位と高低変位進み量の関係の例(D線)

表2 線区別の分散分析結果

	切片	踏切	無道床橋梁	有道床橋梁	分岐器	道床不良	交互作用	
							無道床橋梁道床不良	踏切分岐器
	y ₀	y ₁	y ₂	y ₃	y ₄	y ₅	y ₆	y ₇
A線	-1.54		-0.99			-0.91	0.8	
	0.49		0.51			0.51	0.53	
B線	-5.42		1.97			1.79	-1.52	
	-1.34				-0.28	-0.11		
C線	0.37				0.41	0.19		
	-4.74				0.68	0.61		
D線	-1.34		-0.24	-0.35				
	0.28		0.16	0.23				
E線	-6.86		1.44	1.51				
	-1.69			-0.80		-0.91		
E線	0.71			0.35		0.63		
	-4.77			2.32		1.44		
E線	-1.65	-0.87				-1.00		0.86
	0.33	0.46				0.40		0.52
E線	-8.02	1.89				2.49		-1.64

上段:係数
 中段:標準誤差
 下段:値
 ;10%有意

次に、一般に構造物の介在箇所や材料不良箇所では変位量や進み量が大きいということが経験的に言われている。そこで、これらの存在が進み量に与える影響を定量的に把握するために分散分析を実施した。表2に結果を示す。なお、表中の係数y₀~y₇は分散分析により得られる高低変位進み量yの推定式(式1)の係数である。

$$y = y_0 + y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6 + y_7 \dots \text{(式1)}$$

キーワード 高低変位推移モデル、構造物、安全限度超過確率

連絡先〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (財)鉄道総合技術研究所 軌道管理研究室 TEL042-573-7278

ここでは、 μ 値が小さい要因に関しては軌道変位の推移に与える影響は少ないと考え、考慮しないものとし、大きい要因に関しては有意性があるものとする。表2から10%有意な要因が存在すると平均的に進み量が1mm/100日増加する。しかし要因によっては標準誤差が大きいことからデータのばらつきが大きい。そこで、得られた係数の値と標準誤差を用いて、高低変位進み量の変動範囲を確率シミュレーションにより把握する。ここで、変位進み量の実測値データについて分布の適合性を検討すると対数正規分布によく従う。よって、変位進み量を対数正規分布による確率モデルによりモデル化し、進み量が最大となる要因の組み合わせにおいて10,000回の確率シミュレーションを行った。整備基準値(30mm)を変位の開始値として得られたD線の15~180日経過後の高低変位量の分布を図2に示す。安全限度値超過確率は、30日経過後で0%、60日で $8.41 \times 10^{-7}\%$ である。

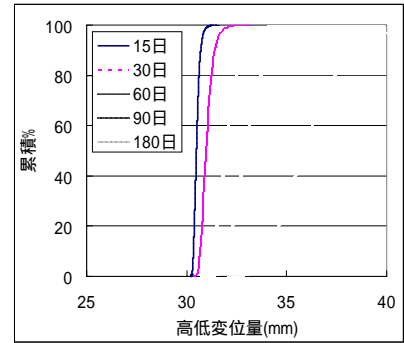


図2 高低変位量分布推定結果

表3 軌道クラス別進み量

変位進み量	クラス	クラス別進み量
~-1mm/年	A	-1mm/年
-1~-2mm/年	B	-2mm/年
-2~-3mm/年	C	-3mm/年
-3~-4mm/年	D	-4mm/年
-4mm/年~	E	-5mm/年

(2) モデルの一般化

以上で構築した線区別モデルを任意の線区で適用可能なモデルに拡張する。線区によって軌道構造条件や輸送条件が異なることから、本モデルはこれらを考慮する必要がある。ここで、進み量は輸送量に対して線形に増加すると仮定する。一方、軌道構造条件については従来の構造係数のような指標で定量化する必要がある。そこで、軌道構造条件に応じて有道床軌道の設計標準から得られる通過トン数あたりの進み量(mm/100日)/(100万t/年)を標準進み量 y として定義して考慮することとする。ここでは、以下の式により標準進み量を算出する³⁾。

表4 全線区の分散分析結果

	切片	軌道クラス(2)				交互作用
		無道床橋梁	有道床橋梁	無道床橋梁	有道床橋梁	無道床橋梁
	y_0	y_2	y_3	y_6	y_7	
全線	-0.14	-0.92	-1.45	-1.24	0.92	
	0.44	0.47	0.45	0.09	0.48	
	-6.41	1.96	3.23	13.24	-1.92	

上段:係数 10%有意
中段:標準誤差 5%有意
下段:t値

$$y = 0.44 + \mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \mu_4 \dots (2)$$

μ_1 ; 軌間に関する定数, μ_2 ; レールに関する定数, μ_3 ; 軌道支持ばね係数に関する定数, μ_4 ; レールと軌道支持ばね定数に関する定数

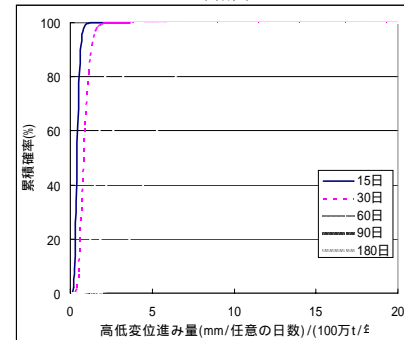


図3 高低変位進み量発生確率

以上の標準進み量から表3に示す軌道クラスを定義し、線区別モデルで考慮した要因を用いて、5線区分のデータをまとめて分散分析した結果を表4に示す。橋梁と軌道クラスが進み量に与える影響が大きい。ここで、線区別モデルと同様に、変位進み量が最も大きくなる要因の組み合わせを用いて確率シミュレーションにより変位進み量の推移範囲を分析する。得られた15~180日間の進み量の分布を図3に示す。15日(100万t/年)では高低変位進み量は最大で2mm進む。この結果から日数、発生確率、通過トン数をパラメータとした進み量 y を次式により推定できる。

$$y = -0.0241 \times x \times d \times T \dots (3)$$

x ; 発生確率 10^{-x} , d ; 日数, T ; 通過トン数(100万t/年)

本式を用いることで発生確率に対応した進み量の発生範囲を検査することができる。

3. まとめ

- (1) 閑散線区を中心とした5線区の高低変位が大きな箇所の推移履歴データを収集し、統計的に分析した。その結果、短期間で安全限度値を超える高低変位は存在しなかった。
- (2) 5線区データを分散分析することにより、高低変位進み量推移モデルを作成した。
- (3) 上記モデルを任意の線区で適用可能なよう一般化し、高低変位進み量を推定可能にした。

[参考文献] 1)佐藤, 梅原; 線路工学 PP27-44, 1987.2

2) 鉄道総合技術研究所編; 鉄道構造物等設計標準・同解説 軌道構造 [有道床軌道], 1997.3

3) 三和, 川口; 有道床軌道設計標準による軌道狂い進み量の計算の効率化, 施設協会誌 PP22-25, 2004.3