

論文 施策の評価・分析に適用可能な軌道状態の長期推移予測モデルの構築

松本 麻美¹・三和 雅史¹

¹正会員 公益財団法人鉄道総合技術研究所（〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38）

E-mail: matsumoto.mami.78@rtri.or.jp, miwa.masashi.23@rtri.or.jp

軌道上を列車が繰り返し走行すると、列車荷重により道床や路盤が沈下し、軌道変位が徐々に大きくなる。本研究では、車両から軌道に作用する動的輪重を推定し、これに基づく材料等の劣化の累積が軌道変位等の進みに現れると考え、軌道変位と道床およびレールの状態を考慮して、長期的な軌道状態の推移を予測するモデルを構築した。また、シミュレーションを用いることで、施策等により軌道構造や車両の輸送量等の条件が変化した場合の軌道変位の推移を予測することが可能となった。

Key Words: track irregularity growth, prediction model for track condition, wheel load variation, long-term prediction model

1. はじめに

バラスト軌道上を列車が繰り返し走行すると、列車荷重により道床や路盤が沈下するため、軌道変位が徐々に大きくなる。軌道変位が大きくなると、乗り心地の悪化や走行安全上の余裕が減少するため、通常は道床のつき固めにより軌道変位を低減（改善）させる。しかし、図1に示すように、道床やレール等の材料が劣化した箇所では、軌道変位進みの増加や軌道変位の改善効果が減少し、つき固めの頻度は高くなると考えられる。こうした箇所に対しては、材料交換等を行うことでつき固めの頻度を低減させることが可能であるが、材料交換には多くの費用がかかるため、長期的な経済性を考慮して適切な時期に行う必要がある。

以上のことから、これまでも長期的な軌道変位推移を予測するモデルが幾つか構築されてきた。

例えば、一般に「軌道狂い進み S 式^{1) 2)}」と呼ばれる予測式は、モデルとしては単純ではあるが、材料状態が変数でなく、また進みが通過トン数の 0.35 乗で増減するとされている他、全列車の平均速度が変数となっているため、一部の車両諸元の変更や速度向上の効果を明確に表せないという問題があった。

また、材料劣化を考慮したモデルとしては、軌道構造条件を与えた上で、各時点における車両の輪重を推定して、軌道変位推移を予測するモデルがある^{3) 4)}。本モデルは、力学的な考え方（軌道負担力の算定モデル）に基づいて構成されているため、軌道構造等の条件が変化し

た場合の予測が可能である。しかしながら、各箇所の履歴データを入力とするモデルではないため、材料状態を含む各箇所の現状や特異性を反映できない。

そこで、これらの課題に対応するため、力学的な考えに基づきながら、各箇所の履歴データを活用して軌道状態を予測するモデルが考案された^{5) 6)}。本モデルは、走行試験結果に基づいて輪重を算定する一方、履歴データに基づいて、輪重作用時の軌道変位等の進みを予測するものである。しかしながら、輪重の推定には走行試験の結果が必要であるため、複数の車種が走行する線区において各車種の輪重の推定が難しかった。また履歴データに基づいて、輪重に対する軌道変位等の進みを予測するパラメータが設定されるため、軌道構造等の条件が変化した場合の予測ができないという問題があった。

以上のことから、本研究では、上述のモデルを改良し、複数車種の走行線区や、軌道構造・車両・運転条件が変化した場合にも適用できるモデルを構築した。

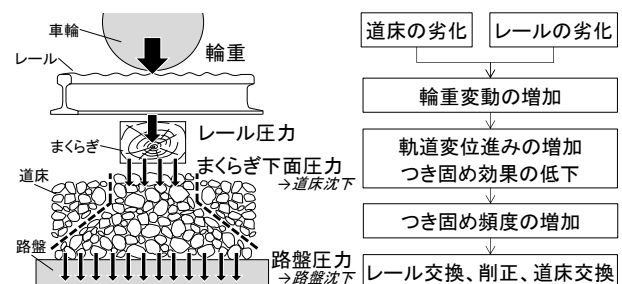


図1 材料劣化と軌道変位進み等の関係

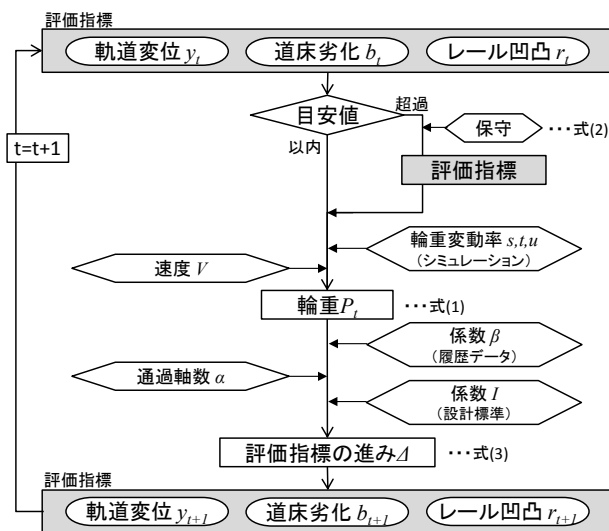


図2 材料劣化を考慮した長期推移予測モデル

表1 軌道状態の評価指標

軌道状態	記号	評価指標
軌道変位	y	波長6-50mの軌道〔高低〕変位(mm)
道床劣化	b	波長3-6mの軌道〔高低〕変位(mm)
レール凹凸	r	レール凹凸(mm)または 波長75-250mmの軸箱加速度(m/s^2)

2. 軌道状態の長期推移予測モデル

(1) モデルの概要

一般に、材料が劣化すると輪重変動が大きくなり、軌道変位進みが増加する。よって、長期的な軌道状態の推移予測のためには、軌道変位だけでなく、材料の劣化状態の推移も予測する必要がある。

そこで本研究では、図2に示す材料状態を考慮した長期推移予測モデルを構築した。本モデルでは、 t 期における軌道状態の評価指標（軌道変位、道床劣化、レール凹凸）に応じて輪重が増減すると考え、これに基づいて推定した輪重から、 $t+1$ 期の軌道変位進み・道床劣化進み・レール凹凸進みを予測する。

具体的には、対象とするロットまたは区間における長期的な軌道状態の推移を予測する場合、そのロットまたは区間における t 年度の各評価指標を算出する。なお、この各評価指標の初期値は、対象ロットまたは区間における履歴データに基づいて設定する。

次に、 t 年度の各評価指標が目安値を超過している場合は、その指標に応じた保守を同年度に行い、各評価指標に保守による改善量を与える。さらに、その各評価指標と輪重変動率および速度から輪重を推定するが、このときの輪重変動率にはシミュレーションから得た結果を用いる。

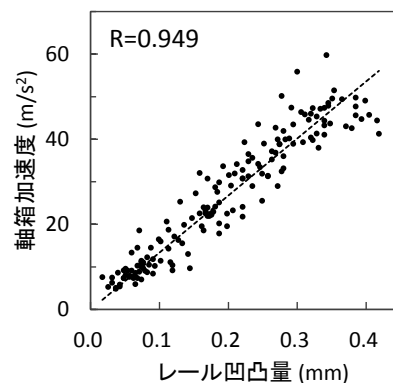


図3 レール凹凸と軸箱加速度

最後に、輪重から算出される各評価指標の進みを用いて、次年度の軌道状態が求まる。

以上のフローを繰り返すことで、軌道状態の長期的な推移を求めることができる。このとき、輪重と各指標の進みに係数 β 、 I については、履歴データや軌道構造に応じた値を用いる。これにより、軌道構造や輸送量が変化した場合には、輪重又は各評価指標の進みを算定する係数を変えることで、新しい条件における軌道状態の推移を予測することができる。

ここで、本モデルにおける軌道状態の評価指標の詳細を表1に示す。軌道変位については、一般的な管理指標として用いられている10m弦高低変位に対応するように、6~50mの復元波長域の高低変位 y を用いる。道床劣化については、一般には軌道状態を表すが、ここでは土砂混入率と5m弦高低変位との相関が高いこと⁷⁾を考慮して、これに対応するよう3~6mの復元波長域の高低変位 b を用いる。なお、軌道変位 y と道床劣化 b は双方とも高低変位を用いたが、それぞれ異なる波長帯域を用いることで多重共線性は緩和されていると考えられる。また、レール状態については、レール凹凸量を指標とするが、図3に示すレール凹凸と軸箱加速度の関係⁸⁾に基づいて、レール凹凸量の代わりに軸箱加速度を用いることも可能である。ここで用いた軸箱加速度は、一般的なレール凹凸の波長に応じて75~250mmのバンドパスフィルター処理を行ったものとした。

以下の検討においては、1ロットを100mとし、軌道状態についてはロット内における標準偏差、輪重についてはロット内における最大値を用いた。

(2) 輪重の算定

本モデルでは、定常輪重（直線区間では静止輪重）に変動輪重を加えることで動的輪重を求める。また変動輪重は、軌道状態の評価指標である軌道変位、道床劣化、レール凹凸が影響すると考え、これらから算出する。輪重 P の算定式を式(1)に示す。

$$P = P_g + \Delta P$$

$$\Delta P = (s \cdot y + t \cdot b + u \cdot r) \cdot (V/100) \cdot P_g \quad (1)$$

P_g : 定常輪重 (kN) ΔP : 変動輪重 (kN)

s : 軌道変位に伴う輪重変動率

t : 道床劣化に伴う輪重変動率

u : レール凹凸に伴う輪重変動率

V : 速度 (km/h)

輪重変動率を表す係数 s , t , u については、本式を任意の車両に対して適用できるように、シミュレーションにより設定する。例えば、図4に示すような軌道形状を車両運動シミュレーションモデル⁹⁾に適用して、3種類（機関車 [静止輪重: 82.6 kN]、特急車両 [40.0 kN]、通勤車両 [27.2 kN]）の車両における輪重変動率を算出した。各車両とも、シミュレーション時の走行速度を 100 km/h とした。

図5に、シミュレーションにより求められた、軌道状態と輪重変動率との関係を示す。輪重変動率を表す係数 s , t , u は、図中に示した回帰式の係数に該当し、例えば通勤車両における係数は、 $s=0.014$, $t=0.130$, $u=2.214$ となる。また、これらの図より、軌道状態の劣化が進むと、輪重変動が大きくなることがわかる。

軌道変位に対する係数 s は、静止輪重が重い車両の方が大きくなる傾向にある。これは、高低変位 y が輪重変動に与える影響は、輪重が重い車両に対して大きいと考えられる。道床劣化に対する係数 t 、レール凹凸に対する係数 u についても、着目した軌道変位やレール凹

凸に対する車両の応答が、車体の質量やばねによって定まる振動特性に応じて異なるため、車種間での差異が生じたと考えられる。

以上より、通勤車両 [静止輪重: 50 kN] が走行する線区において、本手法により算出した輪重の推定値と実測値との比較を図6に示す。ばらつきがあり、推定値の方が実測値より若干大きい、大小関係や傾向は近いことから、本モデルによる輪重の推定は妥当と考えられる。

(3) 保守改善量の算出

一般に、軌道変位に対してはつき固め、道床やレールの劣化に対しては材料交換やレール削正といった保守が行われる。本モデルでは、それらの保守による軌道状態の改善を、次のとおり考慮した。

まず、軌道変位 y については、MTT や道床交換後のつき固めによって減少（改善）する。そこで、図7につき固めによる高低変位の改善量と、軌道検測結果から得た保守前の軌道状態の関係を示す。これより、つき固めによる高低変位の改善量は、保守前の軌道状態に応じて増減することから、式(2) のとおりモデル化した。ここに示す改善量係数は、図7に示す線区であれば、図中のように、 $\gamma=0.732$, $\delta=-0.178$ と求めることができる。

なお、つき固めによる改善量は、列車が繰り返し通過するにつれて、またつき固めを繰り返すにつれてバラストが細粒化し、道床劣化が進んで徐々に小さくなる。この改善量予測モデルは、例えば、改善量係数を増減させ

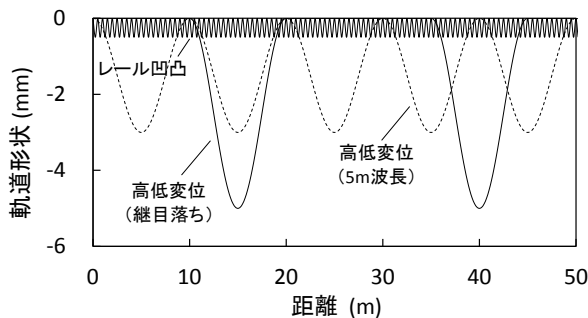


図4 シミュレーションに入力した軌道形状例

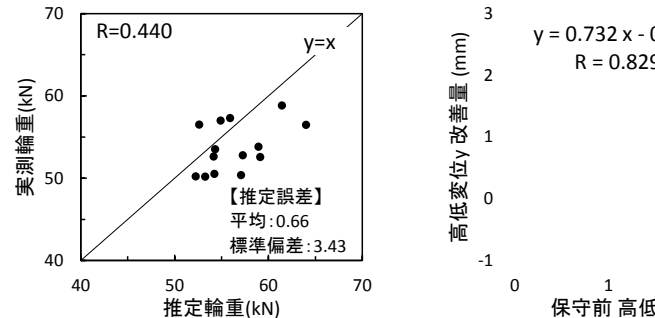


図6 輪重の推定値と実測値

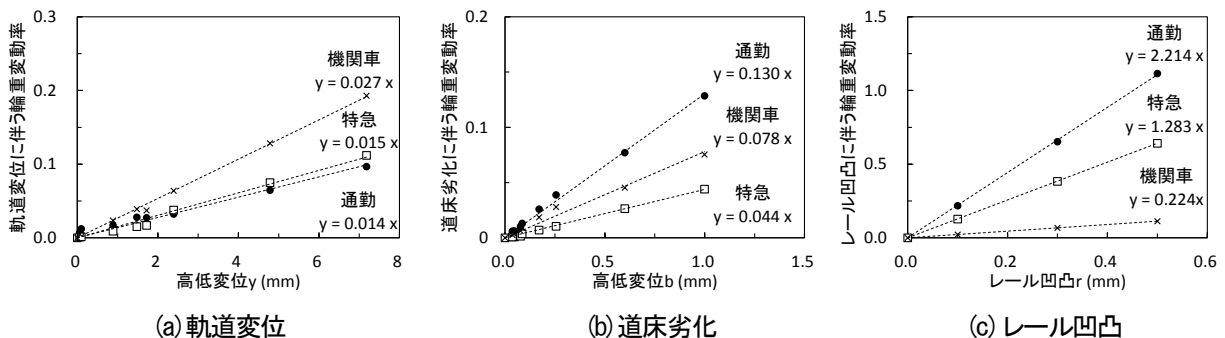


図5 輪重変動に関するシミュレーション結果

ることで、繰り返し载荷やつき固めによる道床劣化も考慮することができる。

$$Y = X + \delta \quad (2)$$

X: 保守前の軌道状態(mm)または(m/s^2)

Y: 保守改善量(mm)または(m/s^2)

γ, δ : 改善量係数

次に、道床劣化 b については、道床交換によって一定値に減少する。これは、細粒化したバラストを入れ替えることにより、道床が初期の状態に戻ると考えるためである。

レール凹凸 r については、レール削正により減少し、またレール交換により一定値まで減少する。レール削正の場合については、レール削正による軸箱加速度の改善量と、削正前の軸箱加速度の関係を図8に示す。この関係より、つき固めによる改善量と同様、式(2)のモデルにより、レール削正による軸箱加速度の改善量を算出することができる。レール交換の場合は、道床交換と同様、レールが初期の状態に戻ると考えられるため、指標は一定値まで減少するとした。

以上により、保守を行った際の、各評価指標の推移を予測することが可能となる。

(4) 軌道変位進みの予測

軌道変位進みを予測するにあたり、走行試験で測定した実測輪重と軌道変位進みの関係を図9に示す。これより、輪重が大きいほど軌道変位進みも大きくなる傾向にあることがわかる。なお既往の研究^{5, 6}より、輪重と軌道変位進みには指数関数的な関係があることから、縦軸は対数表示とした。また、図10に式(1)のモデルで算定した推定輪重と各評価指標の進みの関係を示す。この結果から、輪重が大きくなるほど軌道変位進みだけでなく、道床劣化やレール凹凸も大きくなることがわかる。これらの結果から、式(3)のとおり輪重を用いて、軌道変位進み Δy 、道床劣化進み Δb 、レール凹凸進み Δr をモデル化した。

$$\begin{aligned} \Delta y &= \sum_j \alpha_j \beta_y I_y \\ \Delta b &= \sum_j \alpha_j \beta_b I_b \\ \Delta r &= \sum_j \alpha_j \beta_r I_r \end{aligned} \quad (3)$$

本式の係数 j は車種であり、各車種での進みの総和により、各指標の全車種での進みを求めることができる。 α_j は通過軸数(単位: 10百万軸)を表す。また、 P は輪重を表すが、これは2章(2)に示した手順により推定することができる。係数 $\beta_y, \beta_b, \beta_r$ については、1回の輪重作用時における軌道変位進み、道床劣化進み、レール凹

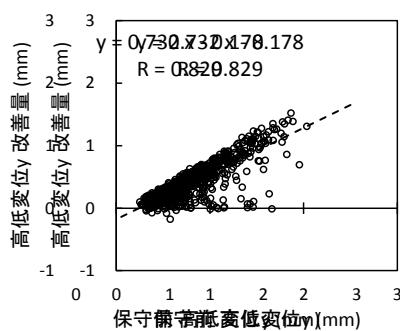


図7 つき固めによる改善量

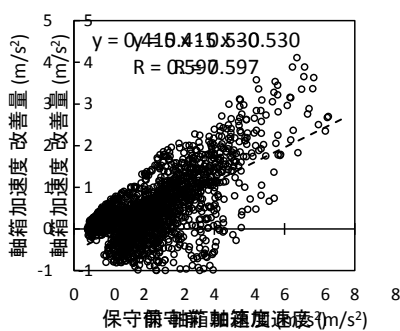


図8 レール削正による改善量

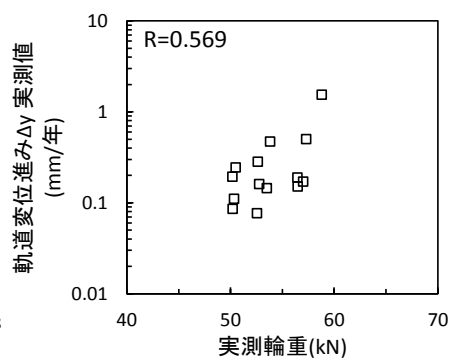
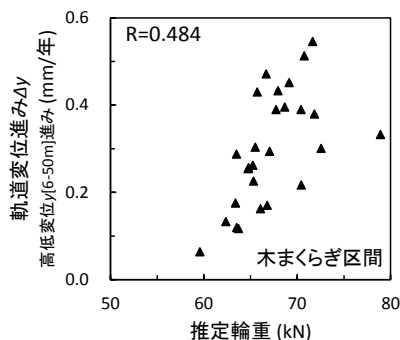
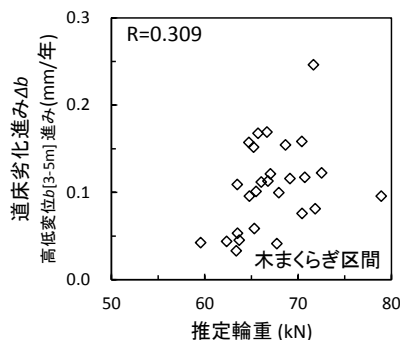


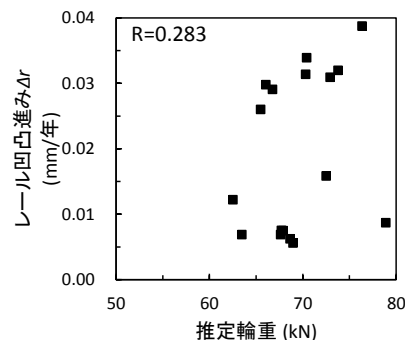
図9 実測輪重と軌道変位進み



(a) 軌道変位



(b) 道床劣化



(c) レール凹凸

図10 推定輪重と各評価指標の進みとの関係

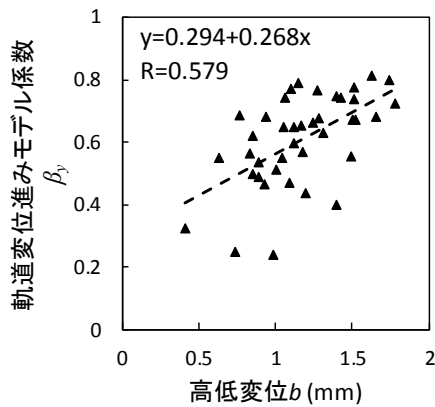


図11 道床劣化と軌道変位進みモデル係数 β_y の関係

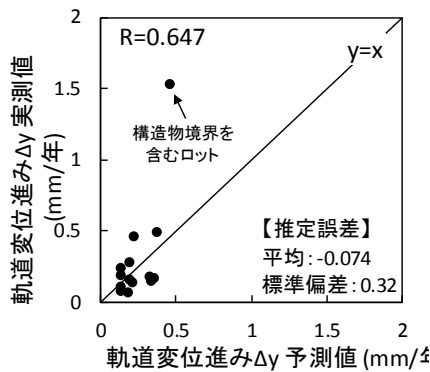


図12 軌道変位進みの推定値と実測値

凸進みを算出するための係数である。この係数は、軌道構造や材料状態に依存すると考えられるが、これらの両方を考慮して値を定めることは難しいため、 β_y 、 β_b 、 β_r は材料状態のみに依存する係数とした。そして新たに係数 I_y 、 I_b 、 I_r を定義して、この係数により軌道構造を考慮する。 β_y 、 β_b 、 β_r と I_y 、 I_b 、 I_r の値は、評価指標毎には異なるが、各車種で共通の値と考えてよい。

ここで、レール凹凸に関する I_r については、急曲線の内軌波状摩耗のように、特定の条件下で進みやすい状況を考慮する際に用いる。同様に、軌道変位進み等において、レール種別など構造物等の影響が現れる箇所については I_y 、 I_b で考慮する。

ところで、 β_y 、 β_b 、 β_r については、単一の車種が走行する線区の場合は、軌道状態に影響を与える車種が当該車種のみである為、各箇所の履歴データに基づいて式(1)により推定した輪重と、各進みの実測値との関係から、直接的に設定することができる。一方、複数の車種が走行する場合でも、 β_y 、 β_b 、 β_r は各車種で共通と考えられるため、 β_y 、 β_b 、 β_r 以外のパラメータが既知であれば、 β_y 、 β_b 、 β_r を式(3)より一意に求められる。また、例えば、現状の軌道構造は変えずに車両条件のみ変更した場合の軌道状態の推移を予測するには、 I_y 、 I_b 、 I_r に1.0を設定することで、車両条件だけを変更した場合の検討が可能である。

表2 係数 I_b 、 I_y

レール	まくらぎ	本数 (本/25m)	道床厚(mm)			
			150	200	250	300
60kg	PC	43	1.13	0.64	0.49	0.42
		41	1.23	0.68	0.51	0.44
		39	1.34	0.72	0.54	0.46
		37	1.46	0.76	0.56	0.48
	木	43	1.37	0.68	0.52	0.45
		41	1.49	0.72	0.54	0.47
		39	1.64	0.77	0.57	0.49
		37	1.81	0.82	0.60	0.51
50kg N	PC	43	1.46	0.76	0.58	0.48
		41	1.59	0.81	0.59	0.50
		39	1.74	0.86	0.62	0.52
		37	1.91	0.92	0.65	0.54
	木	43	1.80	0.82	0.60	0.51
		41	1.97	0.87	0.62	0.53
		39	2.18	0.93	0.66	0.55
		37	2.41	1.00	0.69	0.58
40kg N	木	43	2.25	0.95	0.67	0.56
		41	2.47	1.02	0.70	0.58
		39	2.73	1.09	0.74	0.61
		37	3.03	1.17	0.78	0.64

上述のように得られた β_y 、 β_b 、 β_r のうち、軌道変位進みを表す係数 β_y については、道床が劣化すると、同じ輪重が作用した際の軌道変位進みが大きくなることから、 β_y も増加すると考えられる。そこで、道床劣化の指標である波長3～6mの高低変位 b と β_y の関係を図11に示す。この図より、高低変位 b と各指標と β_y の間には相関があることから、 β_y については道床の劣化と共に数値が大きくなると考えられ、この関係により β_y に道床状態を反映できる。

以上のように、時間の経過と共に β_y 、 β_b 、 β_r を更新することで、道床やレールなどの材料劣化を考慮して、軌道状態の劣化を推定することができる。なお、レール凹凸に関しては、近年、その成長がロジスティック曲線等で表すことができるという知見が得られつつある¹⁰⁾ため、この関係が明らかになった際には、モデルを改良することが想定される。

本モデルにより推定した高低変位進みの推定値と、軌道検測結果に基づき算出した実測値の関係を図12に示す。構造物の境界付近に存在しているために、実測値が大きくなった1ロットを除けば、両値は近い傾向にあったことから、マクロに長期的な検討を行うのであれば、十分な精度で高低変位進みを予測できると考えられる。

(5) 軌道・車両・運転条件の変化への対応

車両や速度を変えて検討する場合は、式(1)の各値や係数、速度を変更後の条件に合わせればよい。また、輸送条件（通過頻度）が変化する場合は式(3)の α に新しい通過軸数を設定すればよい。 I_y 、 I_b 、 I_r については、同一の軌道構造で使用し続ける場合、1.0のままでよく、軌道構造を変える場合には、現状の軌道構造に対する進み量の変化の程度を I_y 、 I_b 、 I_r に反映させる必要がある。

そこで、鉄道構造物設計標準・同解説〔軌道構造〕¹¹⁾の考え方に基づいて、50 kgN レール - 木まくらぎ (37 本/25m) - 道床厚 200 mm の際の軌道変位進みを 1.0 とし、各軌道構造条件で算出した軌道変位進みとの比を整理したものを表 2 に示す。この軌道構造に対して、例えば、まくらぎを PC 化するのであれば I_y に 0.92 を設定すればよい。なお、普通継目を溶接継目とする場合には、レール凹凸の減少に伴って輪重が減少すると考えればよい。また、 I_y については、図 13 に示すように高低変位 y と高低変位 b の両進みの間には線形の関係があるため、 I_b には I_y と同じ値を用いて良い。また、 I_r については、熱処理レールの導入等、凹凸進みに影響すると考えられる軌道構造の変更の際に、その効果を反映させる。

3. 長期推移予測モデルの活用

(1) ロット単位での検討

本モデルにより、在来線 (200 万トン/年) - 木まくら

ぎ構造 (37 本/25m) - 50 kgN レール - 道床厚 200mm のロットにおける長期的な高低変位の推移を算出した。予測に必要なパラメータは履歴データ等に基づいて設定し、本ロットにおける高低変位の目安値は 2.5 mm とした。また、車両条件は静止輪重 50 kN の車両が 100 km/h で走行するものとした。

以上の条件において、50 年間の高低変位推移を本モデルで予測した結果を図 14 に示す。経年によって高低変位の保守周期が徐々に短くなっていくのは、レールや道床状態が劣化することによって、高低変位進みが増加すると共に、つき固めの効果が低下するためである。また、17 年目と 40 年目に高低変位が大きく良化し、高低変位進みが減少するのは、道床交換の効果である。

以上の条件を基本条件とし、この条件を表 3 に示す条件①～⑤に変更した場合の高低変位の推移を図 15 に示す。比較のため、本図には基本条件の結果も重ねて図示した。また、50 年間における保守回数の合計と平均高低変位進みを条件別に算出した結果を図 16 に示す。

これより、条件①の PC 化や条件②の重軌条化のような軌道構造強化を行った場合、平均高低変位進みが抑制されることにより保守周期が延伸され、基本条件と同程

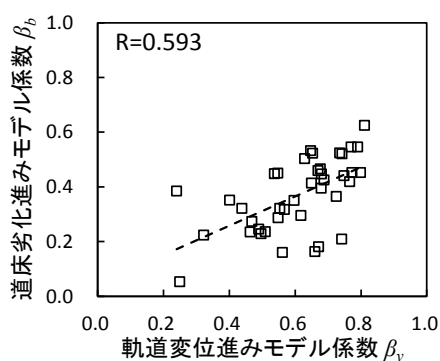


図13 軌道変位進みモデル係数

表3 基本条件および検討条件

条件	レール	まくらぎ		道床厚 mm	静止輪重 kN	速度 km/h	係数 I (表2)
		種別	本/25m				
◆基本条件	50kgN	木	37	200	50	100	1.00
①PC化	50kgN	PC	37	200	50	100	0.92
②重軌条化	60kg	PC	37	250	50	100	0.56
③車両軽量化	50kgN	木	37	200	30	100	1.00
④速度向上	50kgN	木	37	200	50	120	1.00
⑤速度向上・PC化	50kgN	PC	37	200	50	120	0.92

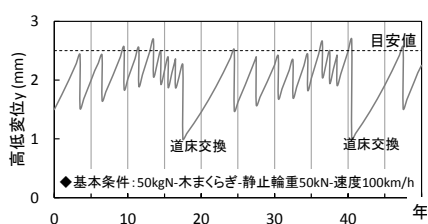
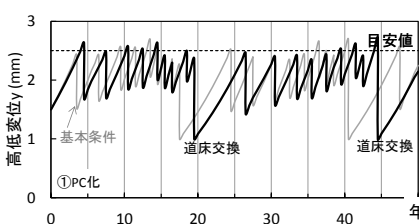
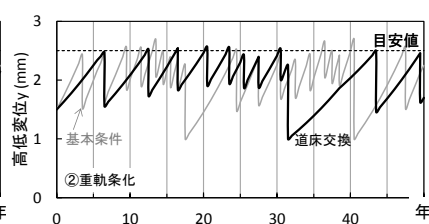


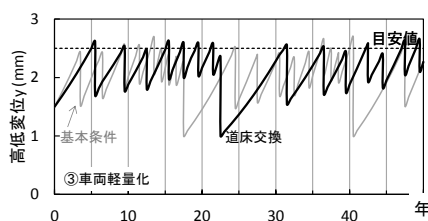
図14 高低変位推移の予測 (基本条件)



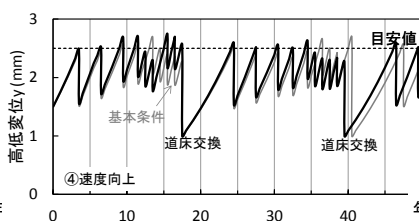
(a) 条件① PC化



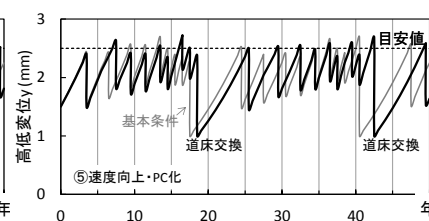
(b) 条件② 重軌条化



(c) 条件③ 車両軽量化



(d) 条件④ 速度向上



(e) 条件⑤ 速度向上・PC化

図15 高低変位推移の予測

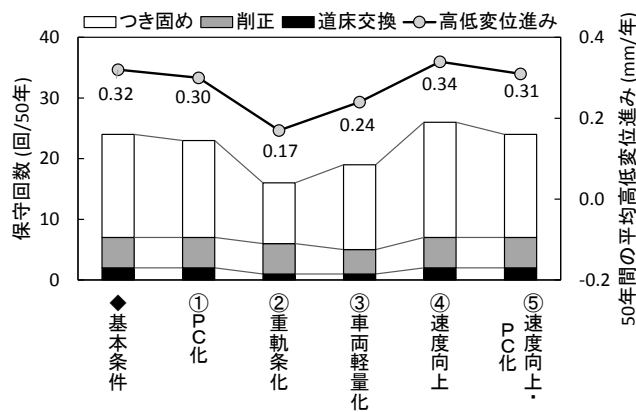


図 16 条件別の保守回数と高低変位進み(ロット)

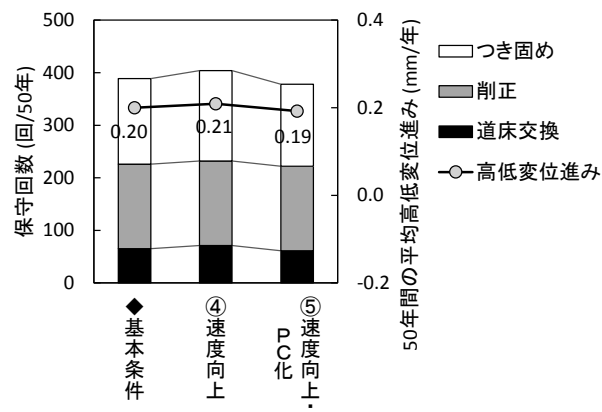


図 17 条件別保守回数と高低変位進み(区間)

度の軌道状態を維持する場合の各保守回数は減少することがわかる。また、条件①、②を比較することで、同じ軌道構造強化であっても、PC化のみを行うか、PC化に合わせて重軌条化を行うかによって、平均高低変位進みの抑制効果の度合いが変わってくることから、施策の違いによる平均高低変位進みの抑制効果を比べることができる。

次に、条件③の車両軽量化においても、車両が軽くなったことで輪重が減少し、平均高低変位進みが抑制されて保守周期が延伸された。本条件においては、基本条件と同程度の軌道状態を維持するための保守回数は、MTTによるつき固めが3回、道床交換が1回、削正が1回減少した。

また、条件④のように速度向上を行った場合は、基本条件と比べて平均高低変位進みが0.02 mm/年増加したことにより、保守周期は短縮され、同程度の軌道状態を維持するためにMTTによるつき固めが2回増加した。このような場合、本ロットにおいては、例えば条件⑤のように、速度向上にあわせてPCまくらぎ化を行うことによって、基本条件の時と同等の高低変位進みとなり、同じ保守回数で軌道状態の維持が可能となる。

以上のように本モデルでは、単ロットにおいて軌道や車両の条件が変化した際に、その条件を考慮した長期的な高低変位の推移が予測できる。これより、本モデルは単ロットにおける施策の評価・分析等に活用できる。

(2) 区間単位での検討

3章(1)では、ロット単位でPC化や速度向上などの施策が、高低変位進み等に与える影響を分析したが、こうした施策は一般に線区全体または一定の区間に渡って行われるため、単ロットではなく複数ロットでの評価・分析をする必要がある。そこで、在来線(200万トン/年) - 木まくらぎ構造(37本/25m) - 50 kgN レール - 道床厚 200 mm の 40 ロット(総延長 4 km) の区間にお

ける履歴データを用いて、50 年間における高低変位推移を予測した。ここでは、本線区の平均高低変位 y が 3.5 mm 程度であったため、高低変位の目安値を 4.5 mm とし、3章(1)と同様の車両条件を用いて分析を行った。この条件を基本条件として、表 3 に示す、④速度向上、⑤速度向上にあわせて全延長を PC 化した場合の 2 条件においても、50 年間における高低変位推移を予測した。これは、ある線区等において速度向上を検討する場合、その施策が長期的に軌道状態にどれくらいの影響を与えるか、また、その影響を踏まえて現状の保守周期等を維持するには、どのような軌道構造に強化すればよいかを検討することと同義である。

50 年間における保守回数の合計と高低変位進みの平均を、条件別に算出したものを図 17 に示す。これより、速度向上を行った場合、基本条件と比べて高低変位進みが 0.01 mm/年増加したことにより保守周期が短縮され、同程度の軌道状態を維持するために MTT によるつき固めが 9 回、道床交換が 6 回増加した。一方、速度向上にあわせて PC まくらぎ化した場合は、基本条件の時と同等の高低変位進みとなり、また、軌道状態を維持するための保守回数も MTT によるつき固めが 7 回、道床交換が 4 回減少した。

以上のように、一定の延長を持つ区間等においても、本モデルにより、軌道や車両の条件が変化した際の長期的な高低変位の推移が予測できることから、本モデルを施策の評価・分析等に適用することができる。

4. まとめ

本研究により、施策の評価・分析を行うにあたり、軌道構造や車両の条件が変化した場合も適用できる、軌道状態(軌道変位、道床劣化、レール凹凸)の長期推移予測モデルを構築した。得られた知見を以下に示す。

- (1) シミュレーションにより算出した、軌道状態により増減する輪重変動率を用いて、バラスト軌道にかかる輪重を車種別に推定するモデルを考案した。また、本モデルで推定した輪重と実測輪重の比較において同様の傾向が得られたことから、本モデルは十分な推定精度を持つことを確認した。
 - (2) 実測輪重と軌道変位進みの関係、および推定輪重と軌道状態の進みの関係より、輪重から各軌道状態の進みを予測するモデルを構築した。本モデルは、輪重・通過軸数・材料状態による係数・軌道構造による係数で構成されており、軌道構造や輸送量が変化した場合でも、軌道状態の長期推移を予測できる。また、本モデルにより推定した高低変位進みの予測値と、軌道検測結果に基づき算出した実測値の比較において、両値は近い傾向にあったことから、マクロに長期的な検討を行うのであれば、本モデルは十分な推定精度を持つことを確認した。
 - (3) 履歴データを用いて本モデルによる検討を行った結果、軌道構造や輸送量が変化した場合の軌道状態の長期推移を予測できた。これにより、軌道や車両・運転条件が変化した際には、その内容を考慮して軌道状態を予測できるため、本モデルを施策の評価・分析等に適用することができる。
- 34 巻, 11 号, pp.442-446, 1986.9.
 - 3) 内田雅夫, 三和雅史: 材料劣化を考慮した軌道狂い経時変化の予測モデル, 鉄道総研報告, 第 11 巻, 2 号, pp.1-6, 1997.2.
 - 4) 三和雅史, 内田雅夫: 分枝限定法による軌道保守施策の長期最適化, 第 20 回土木計画学研究会, 1997.11.
 - 5) 吉田尚史, 矢坂健太, 三和雅史: 材料状態を考慮した軌道状態の長期推移予測モデルの構築, 土木学会第 68 回年次学術講演会講演概要集第 4 部, 2013.9.
 - 6) 吉田尚史, 矢坂健太, 三和雅史: 長期的な経済性を考慮した軌道保守計画モデルの構築, 第 20 回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集(J-RAIL2013), S2-3-5, pp.65-68, 2013.11.
 - 7) 田中博文, 松本麻美, 原田祐樹, 片山雄一郎: 軌道検測車による道床劣化箇所の抽出法の開発, 第 24 回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集(J-RAIL2017), S2-2-3, 2017.11.
 - 8) 田中 博文, 松本 麻美, 原田 祐樹, 桶谷 栄一: 軌道検測車で測定される軸箱加速度を活用したレール波状摩耗の状態評価と管理手法に関する研究, 構造工学論文集, Vol.64A, pp.541-549, 2017.3
 - 9) 土木関係技術基準調査研究会編: 解説 鉄道に関する技術基準(土木編), 日本鉄道施設協会, 2002.3.
 - 10) 田中博文, 三和雅史: レール波状摩耗の定期測定による凹凸進みモデルの検証, 日本機械学会 2017 年度年次大会講演論文集, No.17-1, 2017.9.
 - 11) 鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等設計標準・同解説 軌道構造, pp.303-306, 丸善出版, 2012.1.
- (2018.4.6 受付)

参考文献

- 1) 杉山徳平: 軌道狂い進みの実態調査とその解析, 鉄道技術研究報告, No.1081, 1978.7.
- 2) 杉山徳平, 家田仁, 上野昌喜, 山口義信: 軌道狂い状態を考慮した軌道破壊の要因分析, 鉄道線路, 第

DEVELOPING A LONG-TERM ESTIMATION MODEL FOR TRACK CONDITIONS, APPLICABLE TO THE ANALYSIS OF TRACK MAINTENANCE POLICY

Mami MATSUMOTO and Masashi MIWA

In this study, we developed a long-term prediction model of track conditions based on the idea that the track conditions (track irregularity, ballast, rail surface roughness) deterioration is fostered by dynamic wheel loads.

Moreover, by using the simulation and the dynamic wheel loads complementary, the model enables us to estimate track conditions even if track and transportation conditions change, whereby it becomes possible to analyze track maintenance policy.