

### 第86回

# 軌道変位管理

## はじめに

軌道の保守管理の一つの項目として、軌道変位管理があげられます。軌道変位（または軌道狂い）は、レールの正規の位置からのずれのことであり、さまざまな項目が測定されています（図1）。この軌道変位が大きくなると、列車の走行安全性や乗り心地が悪化するため、軌道変位管理は、軌道の保守管理においてとくに重要な項目であるといえます。そのため各鉄道事業

者では、軌道整備基準値や整備目標値などを定め、その値を超えないように、軌道変位が大きな箇所や大きくなりそうな箇所をマルチプルタイタンパー（図2）などの保守機械や手作業によって補修したり、長期的な軌道状態の維持を目指した材料交換などの計画を立てるといった管理を行っています。

ここでは、軌道変位管理の根幹である軌道整備基準値について、過去から現在における変遷や設定の考え方について紹介します。

間と水準の整備基準が「軌間は1/4インチ（約6.4mm）以内、高度（カント）は1/8インチ（約3.2mm）以内の増減は整齊せざる可」と示されました。その後、1923年に名称が軌道整備心得となり、1932年の改正で、軌間、水準、高低、通りの4項目に対する線路種別ごとの整備基準が定められました。

1964年には、国鉄全体の規程体系が大幅に改正され、軌道整備基準規程が制定されましたが、軌道整備基準値についてはそれまでの値が踏襲されていました。しかし、列車が年々高速化、重量化していたことなどから、新しい整備基準のあり方について理論的かつ実験的な検討が行われた結果、新たな軌道整備基準値が1972年4月に制定されました。この際の整備基準値を表1に示します。同表には、乙と丙の2種類の整備基準値が設定されています。なお、甲修繕は2年～4年周期で

## 在来線における軌道整備基準値

明治初期の鉄道開業当初は、軌道整備基準に関する規定はありませんでしたが、1912年に「軌道整備規程（明治45.1.24達27号）」が制定され、初めて軌

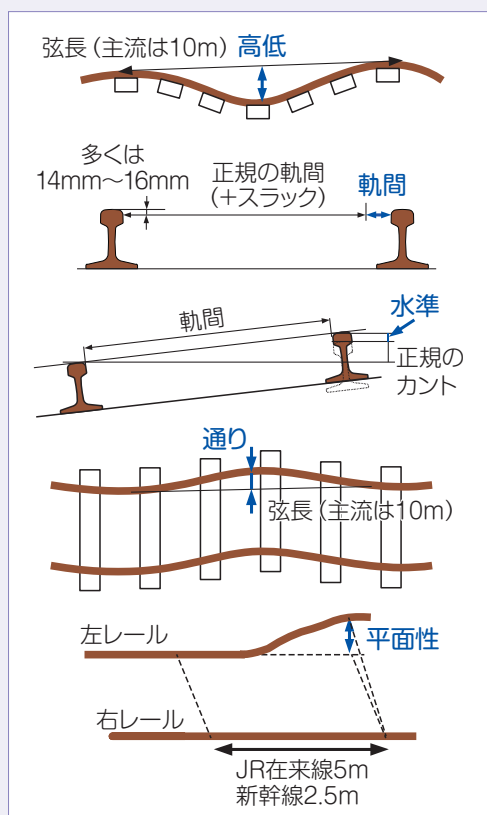


図1 軌道変位の測定項目



図2 マルチプルタイタンパー

表1 国鉄時代の軌道整備基準値(1972年以降)

種別	乙修繕整備基準値				丙修繕整備基準値			
	甲線	乙線	丙線	丙線中簡易線	甲線	乙線	丙線	丙線中簡易線
軌間	+10 (+6)							
	-5 (-4)							
水準	11 (7)	12 (8)	13 (9)	16 (11)				
高低	13 (7)	14 (8)	16 (9)	19 (11)	23 (15)	25 (17)	27 (19)	30 (22)
通り	13 (7)	14 (8)	16 (9)	19 (11)	23 (15)	25 (17)	27 (19)	30 (22)
平面性					23 (18) (カントの逡減量を含む)			

<備考>

- (1) 数値は、高速軌道検測車による動的値を示す。ただし、かっこ内は静的値を示す。
- (2) 平面性は、5mあたりの水準変化量を示す。
- (3) 曲線部におけるスラック、カントおよび正矢量(縦曲線を含む)は含まない。
- (4) 側線は、丙線に準ずる。

表2 現在の軌道整備基準値(JR在来線)の例

種別	最高速度 (km/h)				
	120km/hを 以上の線区	95km/hを 超える線区	85km/hを 超える線区	45km/hを 超える線区	45km/h 以下の線区
軌間	直径および半径600mを超える曲線		20(14)		
	半径200m以上600mまでの曲線		25(19)		
	半径200m未満の曲線		20(14)		
水準	(平面性に基づき整備を行う)				
高低	23 (15)	25 (17)	27 (19)	30 (22)	32 (24)
通り	23 (15)	25 (17)	27 (19)	30 (22)	32 (24)
平面性	23 (18) (カントの逡減量を含む)				

<備考>

- (1) 数値は、高速軌道検測車による動的値を示す。ただし、かっこ内は静的値を示す。
- (2) 平面性は、5mあたりの水準変化量を示す。
- (3) 曲線部において、スラック、カントおよび正矢量(縦曲線を含む)は含まない。
- (4) スラック未整備区間における軌間の整備基準値については、次の値とする。  
直径および半径200m以上の曲線 20(14)  
半径200m未満の曲線 15(9)

行う線路全体の修繕作業のことで、整備基準値は定められていません。

乙修繕整備基準値は、現在における整備目標値に近く、各軌道変位が丙修繕整備基準値を超えることのないように、保守の経済性や乗り心地を考慮して設定されました。一方、丙修繕整備基準値は、列車の走行安全性を考慮して定められています。このため、後述する走行安全上の判定目標から、線路種別や項目別に、安全上の余裕と軌道変位を発見してから補修するまでの期間(15日~20日)における変位進み量を差し引いた値となっています。

現在における軌道整備基準値の一例を表2に示します<sup>1)</sup>。これらの値をみると、1972年4月に国鉄が制定した丙修繕軌道整備基準値を基本として定められていることがわかります。現在各鉄道事業者の在来線で用いられている軌道整備基準値は、この値を基本として、それぞれの考え方で定めています。

## 軌道変位の走行安全上の判定目標

先に示した丙修繕整備基準値は、走行安全上の判定目標から余裕量を差し引いた値となっていますが、この走行安全上の判定目標は、1963年に発生し

た東海道線鶴見駅構内脱線衝突事故後に設置された「鶴見事故技術調査委員会」の安全基準分科会において、表3に示す値が妥当とされました<sup>2)</sup>。なお、同表の値は後述する動的値が示されています。

この走行安全上の判定目標は、過去における軌道変位最大値に関する調査研究<sup>3)</sup>や、1967年前後の全国主要線区1~3級線の高速度検測車による検測データを分析して決められています<sup>4)</sup>。以下に各項目について説明します。

### ①軌間変位

軌間変位(スラック量を除いたもの)を分析し、直線部では+18mm~-13mm、曲線部では+22mm~-12mmの変位が存在していたため、スラックを含めた判定目標を+43mm、-13mmとしました。

### ②高低・通り変位

全国の高低・通り変位について、軌道延長30kmあたりの超過箇所数発生状況を分析し、存在する最大変位が高低で40mm、通りで36mm程度であったため、これを判定目標としました。

### ③平面性変位

平面性変位は、とくに緩和曲線部において分析した結果、その最大値は28mmでした。また、カントの逡減区間では、設計値上で平面性変位が存在

表3 軌道変位の走行安全上の判定目標

種別	走行安全上の判定目標	
軌間	+43mm	-13mm
高低	± 40mm	
通り	± 36mm	
平面性	± 27mm	

し、通常の軌道変位を加味すると平面性変位27mmが存在することとなるため、これを判定目標としました。

## 動的値と静的値

表1と表2に示した軌道整備基準値には、動的値と静的値の値が定められています。動的値は列車荷重が作用した状態(動的)で検測した軌道変位で、静的値は作用していない状態(静的)で検測した軌道変位です。

車両を安全に走行させるためには、軌道変位を動的値で管理することが望ましいのは言うまでもありません。しかしながら、動的値の検測には、軌道検測車や軌道検測装置を搭載した車両が必要となるため、地域鉄道事業者や、軌道検測車が走行しない側線などでは、トロリー式の簡易軌道検測装置や手検測などで得られる静的値での管理に頼らざるをえません。

このような背景をもとに、過去に動的値と静的値の関係が以下のように整理されました<sup>2)</sup>。

- ①1967年第1四半期における高速軌道検測車の検測結果から、軌間・水準変位7mm以上、高低・通り変位10mm以上の箇所を抽出し、合計5000箇所以上の静的変位を手測りした。
- ②一つの静的変位に対する動の変位の分布が正規分布と仮定し、平均値および標準偏差を求めた。
- ③それぞれの静的変位に対する動の変位の上限および下限を、信頼度90%として求めた。
- ④軌間・水準変位7mm以下、高低・通り変位10mm以下については、1962年に行った調査結果を用いて、上記調査結果と統合した。

以上により求めた関係図の一部を図3に示します。この関係図から、動の変位の上限值に対応する静的変位を静的値の基準値としています。たとえば、高低変位の動的値の基準値を30mmとした場合の静的値の基準値は、この図より22mmとなります。

### その他の軌道整備基準項目

ここまでは、軌間・水準・高低・通り・平面性の5項目についての整備基

準値について述べてきましたが、それ以外の項目などについて説明します。

#### (1) 複合変位管理

昭和30年代から40年代にかけて、2軸貨車の競合脱線が頻発しました。とくに前述した東海道線鶴見駅構内における脱線事故は、脱線した貨車に旅客列車が衝突脱線し、さらにその旅客列車に別の旅客列車が衝突脱線するという3重脱線事故であり、死者161名、負傷者120名を出す大惨事となりました。鶴見事故技術調査委員会における議論や北海道の狩勝実験線で行われた実験および旧鉄道技術研究所内における理論解析などから、2軸貨車の競合脱線は、2軸貨車のローリング固有振動数(おおむね0.8Hz~1Hz)に近い波長の軌道変位が連続することによって車両がローリング共振を起こし、走行安全性が低下して発生することが明らかとなりました<sup>2)4)</sup>。このうち軌道変位については、通り変位と水準変位が逆位相で存在する場合に車両の走行安全性が低下することがわかりました。

その結果、競合脱線の防止を目的として、1982年から以下に示す複合変位による軌道変位管理が、貨物列車が走行する線区(運転速度45km/h以上)

で行われることになりました。

#### 複合変位 =

$$| \text{通り変位} - 1.5 \times \text{水準変位} |$$

この複合変位の整備基準値を表4に示します。表内における波数の数え方は、同表横の丸数字のとおりです。複合変位が整備基準値に達した場合には、1か月以内に整備を行うこととしています。その理由として、補修延長が長く作業が大規模になる、補修余裕を考慮している、などがあげられます。しかし、複合変位が重複している場合や、基準値を著しく超過している場合は、補修の時期を早める必要があります。また、期間内に整備ができない場合は、脱線防止ガードの敷設区間を除き、45km/h以下の徐行などの処置が必要とされています。

#### (2) 長波長軌道変位管理<sup>5)</sup>

軌道整備基準値の高低・通り変位は、10m弦正矢で測定された値となっていますが、高速走行時の乗り心地を向上するため、長波長軌道変位管理が一部の鉄道事業者で導入されています。この理由について説明します。

質量をもった物体には、その物体が最も揺れやすい周波数である固有振動数が存在します。鉄道車両も同様で、加振源となる軌道変位の周波数がこの固有振動数に一致すると、振幅が大きくなり、大きな車両動揺が発生し、乗り心地が悪化する可能性があります。

鉄道車両は複数のばね、ダンパーで構成され、振動方向も上下、左右、回転などのモードがありますが、一般に1Hz~1.5Hz付近に各モードの固有

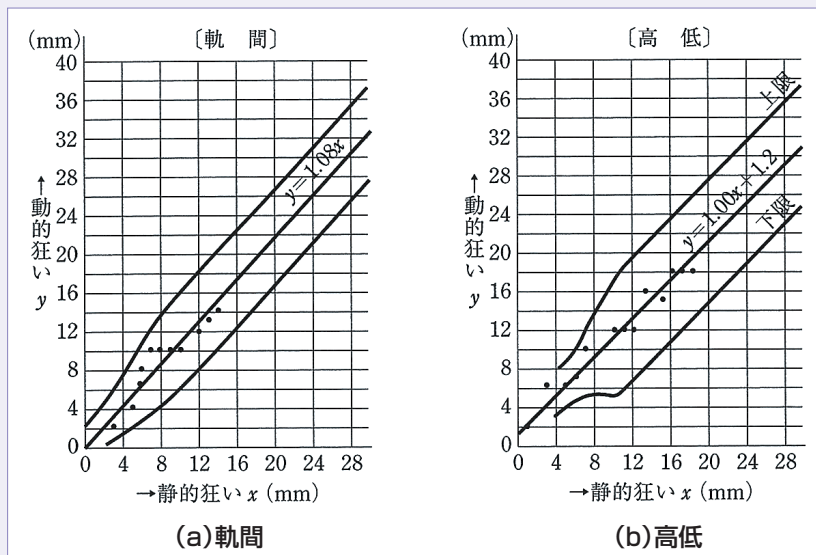


図3 静的値と動的値の関係<sup>2)</sup>

表4 複合変位の整備基準値

長さや波数	整備基準値	波数の数え方
80m以内に4か所以上	18mm	
60m以内に3か所以上	21mm	
30m以内に2か所以上	25mm	
全般	35mm	

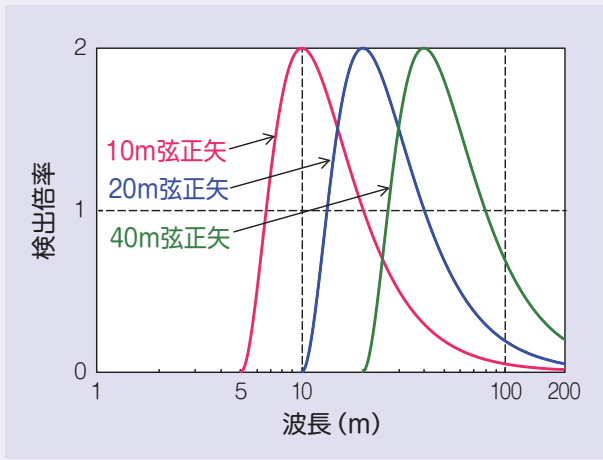


図4 弦長の異なる正矢法の検測特性

振動数が集中するため、この固有振動数に応じた周波数の軌道変位を整流することが乗り心地の向上に有効となります。

一方、10m弦正矢の検測特性（ある波長に対する検出倍率）を図4に示します。10m弦では波長10mの軌道変位に対して検出倍率が2倍となり感度が高いのですが、軌道変位の波長が長くなると感度が低くなっていき、波長20mで1倍、それ以上の波長では倍率がさらに小さくなります。図4には20m弦正矢や40m弦正矢の検測特性も合わせて示していますが、こちらも弦長付近の波長帯域の倍率が大きくなっています。前述した1Hz～1.5Hzの固有振動数に対する軌道変位の波長は走行する車両の速度により異なり、60km/h走行時の1Hzに相当する波長17mに対しては10m弦正矢の検測特性で十分な感度を有しているといえますが、130km/h走行時の1Hzに相当する波長36mに対しては、20m弦正矢を用いた方が感度が良く、乗り心地に影響のある軌道変位を抽出しやすくなります。そのため、一部の鉄道事業者では、高速線区において20m弦正矢での管理値を定め、長波長軌道変位管理を実施しています。

なお、このような長波長軌道変位管理は、おもに乗り心地上での効果を期

待しているため、走行安全性に影響のある指標とは区別していることが多いです。

### 新幹線における軌道整備基準値

新幹線の軌道整備基準値は、新幹線軌道整備基準規程（昭和44.10.30施達第15号）において規定されました。その際の軌道整備基準値を表5に示します。新幹線の軌道検測は、高速軌道検測車によりおよそ10日に1回の割合で実施されており、その結果にもとづき軌道整備作業の指示・検収を行うシステムが確立されていたため、在来線と異なり動的値のみの記載でした。

その後の速度向上にともない、速度区分や管理値の見直しが各社で行われました。在来線において言及した長波長軌道変位管理については、より速度が高いことから、20m弦正矢ではなく40m弦正矢管理が導入され、乗り心地の向上が図られています。また、在来線と異なる運転規制（徐行）を行う運転規制値なども定められています。

### おわりに

軌道の保守管理においてとくに重要な項目である軌道変位管理の中で、お

表5 新幹線における軌道整備基準値

項目	単位	列車速度 160km/h 以上の本線		列車速度 160km/h 未満の本線		副本線、回送 線および着発 収容線		側線	
		+6	-4	+6	-4	+6	-4	+6	-4
軌間	mm	+6	-4	+6	-4	+6	-4	+6	-4
水準	mm	5		6		7		9	
高低	mm/10m	7		8		9		10	
通り	mm/10m	4		5		6		7	
平面性	mm/2.5m	5		6		7		8	

もに軌道整備基準値に着目して紹介しました。現在では、走行安全性だけでなく、乗り心地の向上を図るためなど、各鉄道事業者で用いられている数値は細部に違いがあることも多いですが、その数値の根拠を知ることによって、軌道変位管理の意味の理解が深まるのではないのでしょうか。

鉄道総研では、今後の軌道変位管理として、車両の諸元や速度などの条件と軌道の線形や軌道変位の特徴を考慮した走行安全性の新しい評価や、画像解析技術を用いて脱線事故時の被害拡大要因を沿線環境から抽出し、軌道変位管理値や検査間隔を設定できる手法の開発<sup>6)</sup>などに取り組んでいます。そのほか、さらなる走行安全性の向上や保守の効率化に向けて、今後も研究開発を進めていきます。

（清水惇／軌道技術研究部  
軌道管理研究室）

### 文献

- 1) 国土交通省鉄道局監修、土木関係技術基準調査会編：解説「鉄道に関する技術基準（土木編）」、日本鉄道施設協会、2002
- 2) 日本国有鉄道：東海道本線鶴見列車事故技術調査委員会報告書、1968
- 3) 広井生馬：狂いの最大値、鉄道線路、Vol.10, No.3, 1962
- 4) 脱線事故調査委員会：脱線事故調査委員会報告、1972
- 5) 高井秀之、菊池勝浩：在来線の長波長軌道狂い管理、鉄道総研報告、Vol.4, No.4, pp.27-34, 1990
- 6) 清水惇、三和雅史：画像解析技術を活用した軌道のリスクベースメンテナンス法の開発、鉄道総研報告、Vol.33, No.2, 2019