

## 軌道技術の最近の話題と今後の課題

軌道技術研究部

部長 石 田 誠

### 1. はじめに

軌道技術とは、大別すると鉄道が誕生して以来改良されつつも基本的な構造を変えていないバラスト軌道の列車荷重による軌道破壊に対し、良好な軌道状態を維持する保守技術とその保守作業を抜本的に軽減するスラブ軌道等の省力化軌道の建設技術であると言える。その軌道技術において、少子高齢化の社会における熟練技術者の不足を踏まえた新たな保守システムの構築、あるいは新たな材料や要素技術の発展を踏まえた新たな軌道構造や保守方法の開発は今後の重要な課題であると考えられる。ここでは、軌道技術の最近の話題と今後の課題と題して、2007年1月に国土交通省より通達された「鉄道構造物等維持管理標準」の軌道編及び2009年度に審議を終えて現在取りまとめを行っている「軌道構造設計標準」の概要と最近の研究開発の取り組み状況とともに、今後注目すべき技術と課題について紹介する。

### 2. 最近の話題

#### 2.1 維持管理標準

##### (1) 維持管理標準の目的と適用範囲

2002年3月に「鉄道に関する技術上の基準を定める省令」（以下、「省令」という）が制定され、鉄道の技術基準が仕様規定から性能規定へと大きく変化した。これに伴い、鉄道施設の維持管理に関する解釈基準の制定作業が進められ、2007年1月に「鉄道構造物等維持管理標準」の土木構造物編と軌道編として国土交通省より通達された。このうち軌道編は、性能規定化の観点から、技術的及び経済的実現性を前提とした上で、鉄道事業者が軌道の維持管理を実施する際の標準的な考え方を示すことを目的とし、鉄道事業法に定める新幹線を含む普通鉄道の軌道の維持管理に適用する。本線を適用範囲とするが、側線および軌道（路面電車等）についても準用してよく、維持管理の対象によっては土木構造物や電気設備の維持管理標準を適用してもよい。

##### (2) 要求性能

軌道の維持管理において要求される性能は、列車の安全・安定な運行を実現するための性能である。軌道に要求される具体的な機能として示す「性能項目」には、車両の走行空間の確保（車両と地上設備あるいは車両同士が衝突しない）、脱線に対する走行安全性の確保、乗客に不快を感じさせないこと、積荷を破損しないこと（車両に過度の振動が発生しない）、外気温の変化に対しレールが適切に伸縮すること（張り出しによって著大な軌道変位が発生しない）、列車の安定的な運行の実現、のような事項がある。

##### (3) 軌道の検査体系

検査は定期検査、臨時検査及び随時検査からなる。定期検査は、軌道の一般的な状況を把握するために定期的実施する検査のことで、さらに軌道状態検査および軌道部材検査に区分する。

軌道状態検査は、軌道変位、遊間、レール温度のように列車の走行安全性に影響するが構造的な強度には直接関係しない項目に関する検査であり、軌道部材検査はレール、分岐器、まくらぎ

等の軌道を構成する部材に関する検査である。なお、この標準の中では、特に断らない限り「定期検査」を「検査」という。臨時検査は、定期検査の結果、さらに詳細な検査が必要と判断される場合に行う検査で、性能をより高い精度で判定するために行う検査である。随時検査は、地震や大雨、融雪による異常出水等によって軌道が何らかの被害を受けた可能性がある場合で、必要と判断された場合に行う検査である。

## 2.2 設計標準

### (1) 設計標準の目的と適用範囲

軌道構造は、レール、まくらぎ、道床バラスト、路盤等で構成される比較的簡単な構造体であるが、列車荷重を支持し、これを分散させて構造物に伝達するとともに、円滑な列車走行のための案内路という重要な役割を担う。その設計は、他の構造物と同様に、列車荷重によりレールやまくらぎ等の軌道部材に発生する応力がそれらの耐力を超えないようにしなければならないことはいうまでもないが、特に道床バラストを有するいわゆる「有道床軌道」（新しい設計標準では、「バラスト軌道」と呼ぶ。）については、列車の繰返し通過による道床バラストや路盤の漸進的な塑性沈下・変形によって軌道面の不整（軌道変位）の発生・成長を伴うため、円滑な列車走行を確保するための復元・補修作業が日常的に必要とされるという特徴を有する。一方、鉄道建設の技術基準については、基準が定められた当初より、特定の仕様・寸法・方式等を定めることにより、結果的に求められる性能を満足させる仕様規定であった。その後、運輸省（現国土交通省）において平成10年に、運輸技術審議会の答申を受け、鉄道の技術基準について「原則として備えるべき性能を規定する、所謂性能規定とする」方針の決定の下、安全を確保しつつ、新技術の導入等に際して規定が障害にならないように、また鉄道事業者の技術開発の自由度をより向上させることを目的に、仕様規定の体系を抜本的に改め、最終的に鉄道が備えるべき性能をできる限り具体的に定めた性能規定への改訂が進められている。

軌道は、図1に示すように、バラスト軌道とスラブ軌道を代表とする直結系軌道がある。新しい標準は、道床バラストのつき固めを基本とする保守を前提としたバラスト軌道と少なくとも定期的な保守を前提としない直結系軌道の両者を対象とし、その両者の構造の性能を照査する場合に適用する。照査方法については、軌道を支持する各種構造物の設計標準において適用されている限界状態設計法を基本とする性能照査型設計法とする。性能照査型設計法により、軌道を支持する構造物と同一のルールに基づいて性能を照査することができ、所定の性能を有していることが確認できれば新技術の採用もしやすくなる。また、ライフサイクルコスト

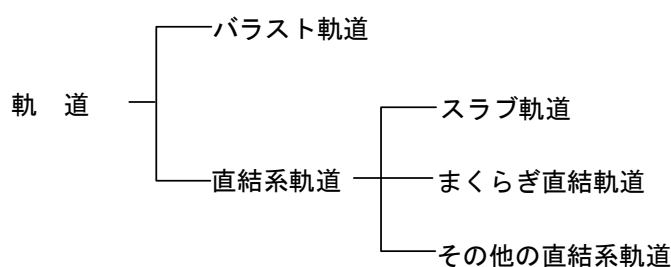


図1 軌道の分類

の概念を盛り込み、建設・敷設費等の初期投資と軌道変位の整正や軌道部材の交換・補修等の保守・補修費用との両者を考慮して、バラスト軌道と直結系軌道のどちらが長期的に経済的かを評価でき、より合理的な軌道の選定が可能となることが考慮されている。また、実験や高度な解析等、工学的な方法で所要の性能を満足することを確かめた場合には必ずしもこの標準によらなくてよいが、この標準の主旨を十分に尊重し、実情に適合するように適切に照査を行うことが重要であるとしている。

## (2) 要求性能

軌道構造の要求性能は、その使用目的や施工中および設計耐用期間において、上記の「設計の目的」に適合するために以下の事項に基づき要求されるすべての性能を設定するものとする。

- ・軌道構造では、一般に、安全性、使用性に関する要求性能を設定するものとする。
- ・安全性は、想定される全ての作用のもとで、軌道構造が使用者や周辺の人々の生命を脅かさないために保有すべき性能である。安全性には、構造体としての安全性と機能上の安全性がある。
- ・使用性は、想定される作用のもとで、軌道構造の使用者や周辺の人々が快適に軌道構造を使用または維持管理を行うための性能、および軌道構造に要求される諸機能に対する性能である。

## 2.3 最近の取り組み

### [軌道材料]

新幹線脱線対策技術に関して、主に逸脱防止ガードやレール転倒防止装置のスラブ軌道やバラスト軌道など各種軌道構造に対応した構造や分岐器および伸縮継目に対する脱線対策技術に取り組んでいる。また、レールとその付属物関係に関して、継目穴や頭部横裂傷からのき裂進展に関する研究や腐食・電食レールの余寿命評価、線ばね形レール締結装置の改良などの基礎的あるいは実用的な課題、さらには分岐器に関する耐摩耗トングレールの開発(図2)やトングレールと車輪との接触解析手法など信頼性向上を目的とする課題について取り組んでいる。

### [軌道構造]

流動性を改善した接着層にテフロンシートを挿入し、水分の侵入による腐食を防ぐ改良形接着絶縁レールの実用化、分岐器介在ロングレールの敷設範囲の拡大に向けた評価手法、レール折損時の応急復旧装置の設計法などに取り組んでいる。

### [省力化軌道]

既設の軌道スラブに対する衝撃振動試験、CAモルタルに対する重錘落下試験及び貫入試験等によりスラブ軌道の健全度評価手法と合理的な補修方法の開発や既設バラスト軌道における高性能バラストレス化手法の開発に取り組んでいる。

### [バラスト軌道]

地震時におけるバラスト軌道の変形特性と道床横抵抗力の解明さらには座屈安定性向上のための方策とともに、バラストに拘束圧(プレストレス)を付加する新しい省力化工法や閑散線区における軌道補修法の開発に取り組んでいる(図3)。

### [路盤]

近接工事時における列車走行安全性確保のために、経済的で常時観測可能な軌道・路盤変状監視システムの開発に取り組んでいる。

### [軌道検測]

従来から開発を進めてきた加速度を2回積分して変位を求める慣性測定法について、低速度域で

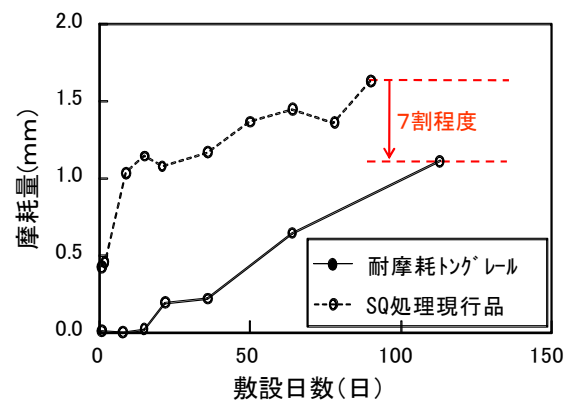


図2 耐摩耗トングレールの摩耗特性

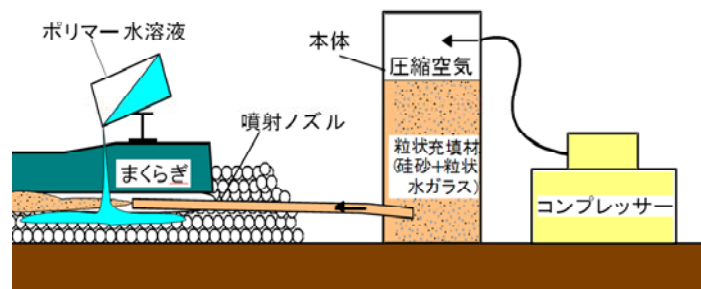


図3 水ガラス・ポリマーゲル充填工法

の精度を向上し、測定波形を処理する際に10m弦正矢法の特性を取り入れた「慣性正矢法」を開発した。現在、台車装架型はJR九州の営業車に搭載され本格的な測定が開始されようとしている。一方、レールからの離れ等の測定条件は厳しくなるが、台車における厳しい振動環境が避けられる車体装架型は長期性能確認試験に取り組んでいる(図4)。

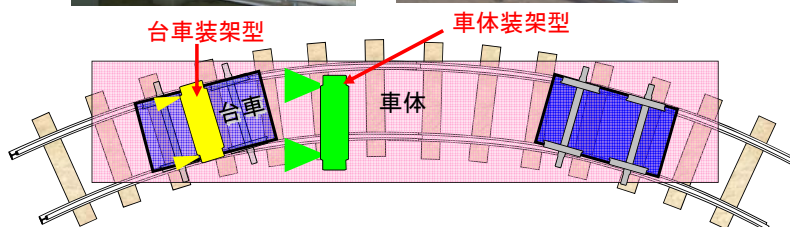


図4 慣性正矢法のセンサー取り付け部  
(台車装架型, 車体装架型)

#### [軌道保守計画策定支援システム]

マルチ運用計画最適化プログラムの機能向上と、複数工種を組み合わせた保守計画策定支援システムへの拡張及びリスクを考慮した保線作業意志決定支援モデルの開発に取り組んでいる。

#### [レール溶接]

ガス圧接においては、接合阻害因子である酸化物介在物をより効果的に低減し得る加熱・加圧パターンにより、テルミット溶接においては、凝固割れの現象解明を踏まえた溶接条件により、溶接部の信頼性向上を図る研究開発に取り組んでいる。

#### [非破壊検査法]

レールの損傷検知を確実にするため、レールの非破壊検査方法として使用されている超音波探傷検査を補完する技術として、特にレールきしみ割れのき裂進展を捉えるための渦流探傷法について取り組んでいる。

### 3. 今後の課題

車輪とレールからの転動音や構造物音などは、地盤振動とともに沿線環境に関する重要な課題であり、また車輪/レール作用力によるバラスト軌道の沈下や軌道部材の疲労破壊等の軌道破壊は軌道保守の重要な課題である。これに関しては、その加振源としての車輪/レール作用力とそれによる対象構造物の動的応答を理解することが重要であるため、多くの研究機関で車両と軌道の動的相互作用の解析法の研究が進められてきた。近年、マルチボディダイナミクスと呼ばれる運動解析ソフトが注目され、それを用いた研究開発が鋭意進められている。今後は、さらなる軌道の動的挙動の解明や軌道の状態監視システムあるいは材料劣化予測システムとの融合により、新たな保守管理システムへの応用発展が大いに期待される。

一方、車輪とレール、レールと継目板、レールと軌道パッドを含む締結装置、軌道パッドとまくらぎあるいは軌道スラブ、まくらぎとバラスト、分岐器の各部材間などのトライボロジー(「摩擦・摩耗」に関する専門分野の名称)に関わる軌道技術の課題にはまだ未解明な点が多い。また、まくらぎ/バラスト間の摩擦抵抗が軌道座屈の防止に重要な役割を果たしていること、あるいはスラブ軌道ではある一定のレールふく進力以上でレールと締結装置間がすべる設計になっていることなど、例えば車輪/レール間の潤滑と研削、まくらぎ/道床間の座屈防止版の効果などは、更なるトライボロジーの面からの研究開発が大いに期待される。