

分岐器の弾性支持化に対する評価手法

軌道技術研究部 軌道構造研究室
副主任研究員 及川 祐也

1. はじめに

分岐器は、構造が複雑であることや様々な長さのまくらぎが短い区間に敷設されていることなどから、一般区間の軌道と比較して軌道変位が生じやすく、保守量の多い箇所の一つとなっている。一般に分岐器は弾性構造を有していないことから、弾性まくらぎや弾性式レール締結装置の使用などによって分岐器に弾性を付与することが、軌道変位の抑制に対する有効な対策になると考えられる。しかし、これまで分岐器に弾性を付与した際の評価手法は確立されていなかった。そこで本研究では、弾性支持化などの分岐器の支持条件が車両や軌道の挙動に与える影響を評価するため、分岐器を対象とした車両の走行シミュレーションモデルを構築し、さらに、分岐器種別やまくらぎ支持条件などを任意に設定できるシステムを構築した。これを用いることによって、分岐器走行時の輪重変動やレール変位などが求まり、分岐器を弾性支持化した際の事前評価が可能となる。以下にシミュレーションモデルの概要とシミュレーション結果の一例を述べる。

2. 軌道モデル

軌道モデルの構成とポイント部およびクロッシング部のモデル化について以下に述べる。

2.1 軌道モデルの構成

軌道モデルの全体図を図1に示す。軌道モデルには分岐器区間と前後の一般区間がある。分岐器の種別は片開きであり、本シミュレーションにおいて車両は基準線側を対向または背向で走行する。

軌道モデルは図2に示すように、レールとまくらぎを梁要素でモデル化しており、レールとまくらぎの間およびまくらぎ下にはばね要素（以下、「レール支持ばね」および「まくらぎ支持ばね」という）を配置している。レール支持ばねはレール締結装置等、まくらぎ支持ばねはまくらぎパッドと道床ばね等の合成ばねに相当する。

レールは車輪との接触を考慮するため、梁要素とレールの断面形状を再現したシェル要素を組み合わせモデル化している。車輪は図3に示すように、シェル要素で作られたレールの表面と接触する。シェル要素は図4に示すように、節点を梁要素の節点と剛結しており、シェル要素に作用した荷重が梁要素に作用することとなる。

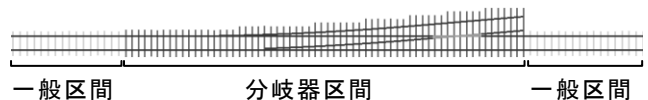


図1 軌道モデル全体図

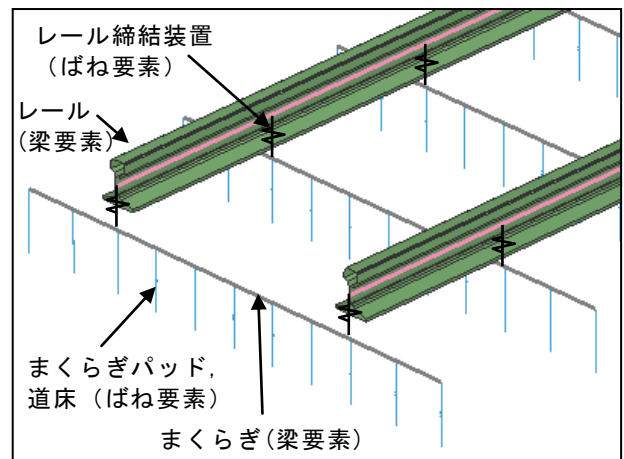


図2 軌道モデルの構成

る。なお、シェル要素と梁要素を剛結している位置は、レール断面の重心である。

接触については、接触する境界面間に垂直にばねを付加するペナルティ関数法¹⁾を用いている。また摩擦についてはクーロン摩擦(摩擦係数 0.3)としている。

2.2 ポイント部のモデル化

トングレールの梁要素については、図5に示すように直トングレールと曲トングレールでモデル化開始位置が異なる。直トングレールは、頭部幅が 30mm の位置で車輪が曲基本レールから乗り移ると仮定して、その位置から後端側をモデル化している。曲トングレール～曲リードレールは、固定部より後端側をモデル化している。乗り移り位置から後端側の曲基本レールと固定部より後端側の曲トングレールに直接車両からの力は作用しないが、荷重分散に影響を及ぼすためモデル化している。また、レールの梁要素の断面剛性は基本レール、トングレールともにレール長手方向に変化せず、一様に普通レール断面と同等としている。

レールのシェル要素も梁要素と同様に、レール長手方向に断面剛性は変化せず、線形は直線とする。しかし、曲基本レールの梁要素は途中から曲線を描くため、図6に示すように曲基本レールの梁要素の節点とシェル要素の断面重心は、次第にずれた状態で剛結されるようになる。

直トングレールがモデル化された地点から、シェル要素と剛結される梁要素の節点を曲基本レールから直トングレールへと切替え、以降はレールの梁要素の節点と、シェル要素の断面重心の位置は一致する。

2.3 クロッシング部

クロッシングの断面は形状が複雑であり、さらにレール長手方向に変化するため、その断面剛性がシミュレーション結果に大きく影響するものと考えられる。そこで、クロッシングの断面剛性を求め、レールの梁要素の断面剛性に反映させた。

固定クロッシングの一例として、在来線 60kg レール 12 番分岐器用マンガンクロッシング(図面番号: C₆₀M12-102)の各まくらぎ間の断面について、断面積と断面 2 次モーメントを求めた。なお、断面 2 次モーメントは断面における水平中立軸回りのものである。断面積と断面 2 次モー

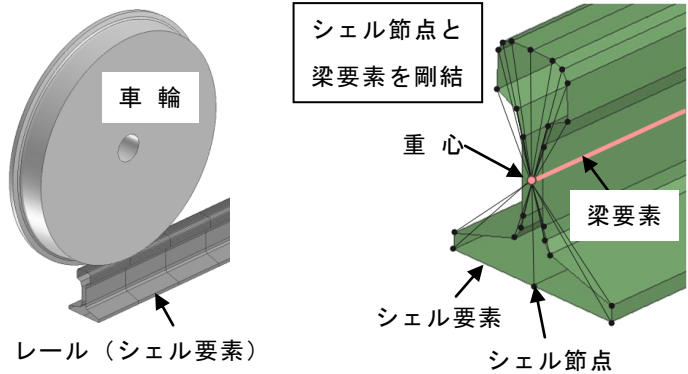


図3 車輪とレール

図4 レールの梁要素とシェル要素の関係

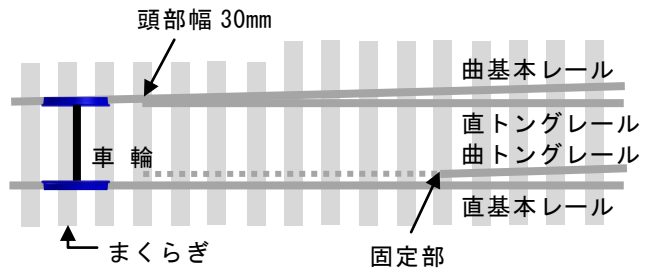


図5 ポイント部におけるレールの梁要素

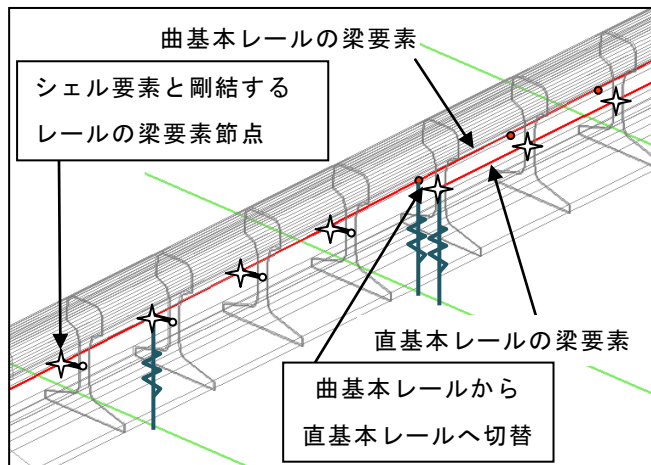


図6 ポイント部におけるシェル要素と梁要素の剛結方法

メントを求めた結果を図7に示す。グラフにはクロッシングの値と、比較のため普通レールの2倍の値を示している。この図より固定クロッシングの断面積は、レール2本分より大きな値となっていることがわかる。また断面2次モーメントは、およそレール2本分であることがわかる。

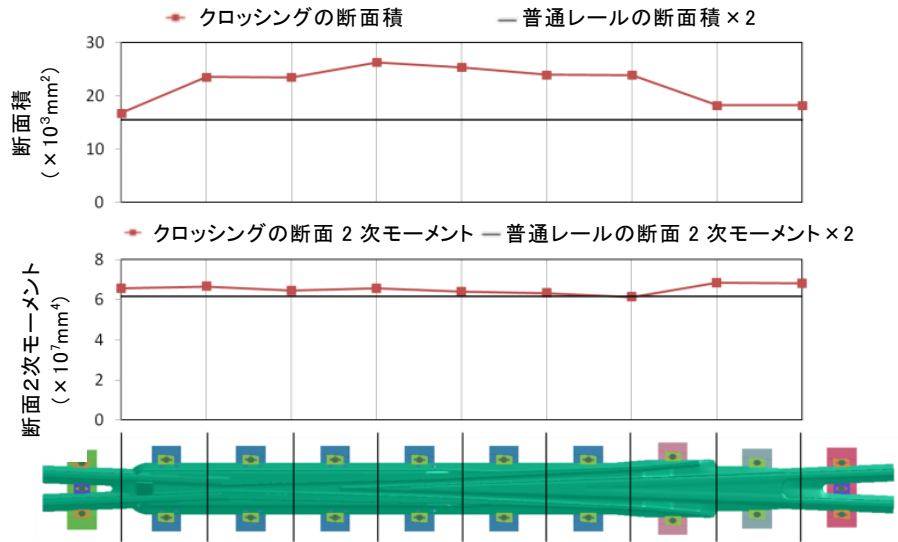


図7 クロッシングの断面2次モーメントと断面積
(図面番号：C₆₀M12-102)

求めた断面剛性を解析モデルに反映する。クロッシングは2本のレールでモデル化するため、図8に示すように、クロッシング位置における基準線レールと分岐線レールの梁要素の節点を剛結する。さらに、断面2次モーメントは普通レールのままとし、断面積については位置に応じてクロッシングの1/2の値をそれぞれのレールの梁要素に与えた。また、シェル要素についてはポイント部と同様にレール長手方向には変化せず、基準線レールの梁要素の節点と剛結している。これによってクロッシング部では、車輪から作用した荷重が基準線レールと分岐線レールの両方に作用することとなる。

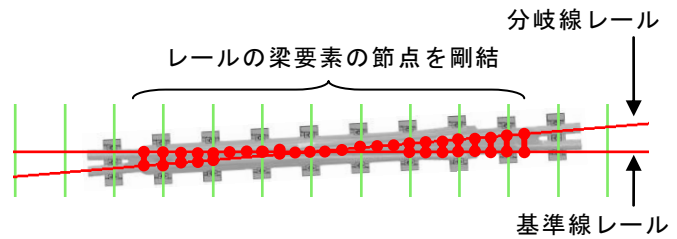


図8 クロッシング部におけるレールの梁要素

なお、走行側のレールは連続したものであり、車輪の乗移りは模擬していない。

3. 車両モデル

車両モデルは、図9に示すように車体、台車および輪軸を剛体でモデル化し、軸ばね、まくらばねおよび台車牽引リンクをばねでモデル化している²⁾。各ばね定数、取付位置および重心位置は車両諸元に基づいている。また、本モデルは車両走行時の上下荷重を軌道に与えることを目的としているため、軸ばねとまくらばねの回転自由度については、ローリングのみ考慮している。

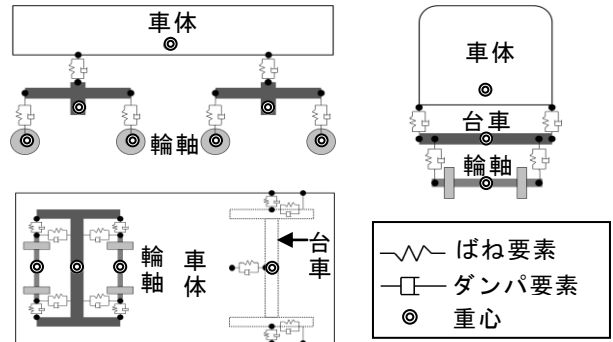


図9 車両モデル

4. シミュレーションモデルの自動作成

本シミュレーションモデルは、図10に示すモ

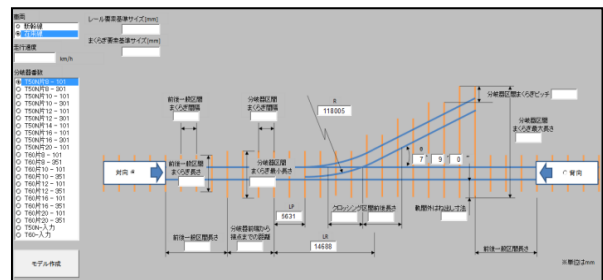


図10 モデル作成画面

デル作成画面において、各種条件を入力することで自動作成が可能である。なお、これらの値はデータベース化されている主な分岐器種別を選択することで設定できるほか、任意の値を入力することも可能である。また、レール・まくらぎ物性値、レール・まくらぎの支持ばねも要素毎に設定可能である。

5. シミュレーション結果

シミュレーションの一例として、在来線用 12 番片開き分岐器（図面番号：T₆₀片 12-101）を対象として、一般的な分岐器を想定して分岐器区間のまくらぎを合成まくらぎとした場合と、分岐器に弾性を付与したことを想定して弾性合成まくらぎ（まくらぎ下面にまくらぎパッドを設置したもの）に変えた場合のレール変位と輪重変動を求めた。なお、車両は通勤型車両を想定した諸元を用い、対向走行で速度を 100km/h とした。

シミュレーションの結果を図 11 に示す。分岐器区間のまくらぎが合成まくらぎの場合、分岐器区間のレール変位は一般区間と比較して 0.2mm 程度小さくなり、ポイント部とクロッシング部では更に小さくなる傾向を示した。輪重変動については、分岐器区間においても ±1kN 以内に収まっており、一般区間と大きな差はないことがわかる。分岐器区間のまくらぎを弾性合成まくらぎに変更すると、分岐器区間のレール変位は 0.05mm 程度大きくなり一般区間との差が小さくなった。輪重変動に関しては差異がみられるものの、最大輪重に関しては同程度であった。この結果から、

弾性合成まくらぎの使用により分岐器区間のレール変位を一般区間と同等にするためには、更に低弾性のまくらぎパッドが必要であることが分かる。

なお、本シミュレーションの結果として、レール支持ばねやまくらぎ支持ばねに作用する力から、レール圧力やまくらぎ下面圧力を求めることも可能である。

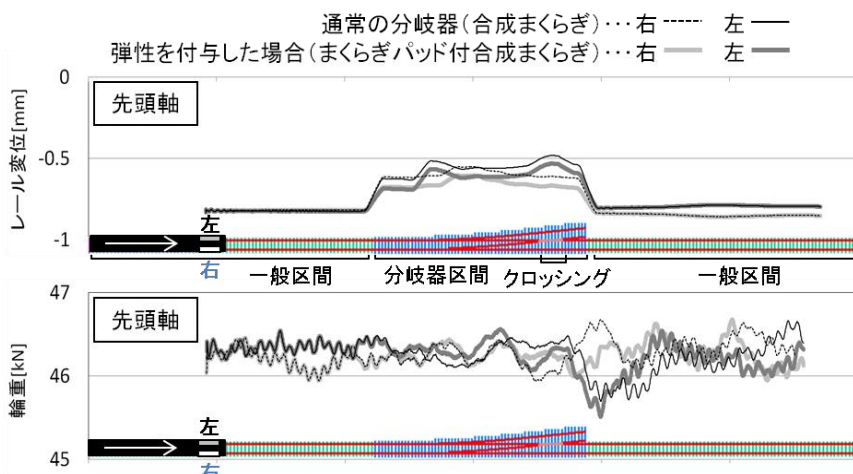


図 11 シミュレーション結果の一例

6. おわりに

分岐器の弾性支持化に伴う輪重変動やレール変位の変化等を評価する手法として、分岐器における走行シミュレーションモデルを構築した。これまでは分岐器の弾性支持化やまくらぎ間隔の変更などの効果を事前に検証する方法がなかったが、本手法を用いることによって、それらの事前評価に活用できると考える。

参考文献

- 1) 土木学会：衝撃試験・解析の基礎と応用，丸善株式会社，2004. 3
- 2) 日本機械学会：鉄道車両のダイナミクス，株式会社電気車研究会，1994. 12