

分岐器介在ロングレールの敷設範囲拡大に向けた評価手法の研究

軌道技術研究部 軌道構造
研究員 西宮 裕騎

1. はじめに

近年、駅周辺の騒音対策や保守管理の効率化を目的として、分岐器が介在する区間のロングレール化が進められている。敷設に際し、分岐器の配置や軌道構造および高架橋の条件などに依存するレール軸力の分布を把握し、軌道の座屈安定性や高架橋への影響に関する検討が必要となる。本報告では、複数台の分岐器が介在する高架橋上のレール軸力解析システムを始めとする、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の研究を紹介する。

2. 2台の分岐器が介在するロングレールの敷設方法の検討

バラスト軌道において1台の分岐器をロングレール化する場合には、敷設条件が明らかにされており、実際に数多くの敷設事例がある。また、複数台の分岐器が介在する場合についても、評価法を提案している¹⁾²⁾。

しかし、実際に敷設を行うには様々な分岐器配置や番数の組合せに対する具体的な敷設条件を明らかにする必要がある。そこで、様々な番数の分岐器が介在するロングレールの軸力解析を行い、必要道床横抵抗力を算出した。

2.1 ロングレールの軸力の算出

2組の分岐器が連続して介在するロングレールのレール軸力は、過去に構築した解析手法¹⁾²⁾を用いて算出することができる。レール軸力はロングレール後端の継目部付近(以下、「ヒール部」と呼ぶ。)やクロッシング後端付近において、一般の不動区間の軸力を上回ることが報告されている。また、分岐器を配置する条件によって軸力の増加する範囲と割合が異なる。この違いを明らかにするために、図1に示す4つの配置パターンと番数の組み合わせに対し、解析を行った。解析結果のまとめを表1に、軸力分布の例を図2に示す。

これらの分岐器をロングレール化するためには、座屈安定性の確保の観点から、不動区間に比べて高いレール軸力が発生する箇所を把握し、必要な道床横抵抗力を確保する必要がある。

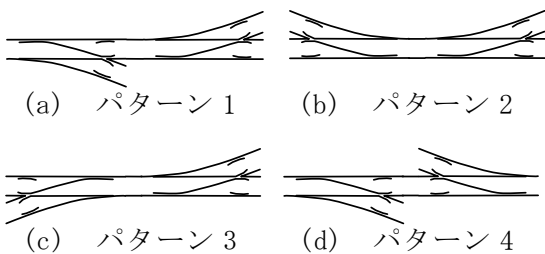


図1 分岐器の配置パターン

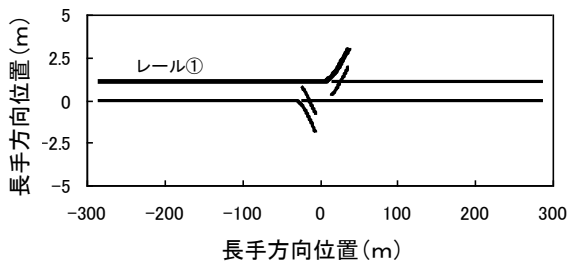
表1 最大レール軸力の解析結果(単位: kN)

No.	番数	配置パターン			
		1	2	3	4
1	8・10	732(15)	725(14)	725(14)	735(15)
2	10・10	750(18)	731(15)	731(15)	741(16)
3	10・12	755(19)	745(17)	745(17)	763(20)
4	12・12	778(22)	747(17)	747(17)	779(22)
5	10・16	785(23)	775(22)	775(22)	794(25)
6	16・16	820(29)	781(23)	781(23)	835(31)

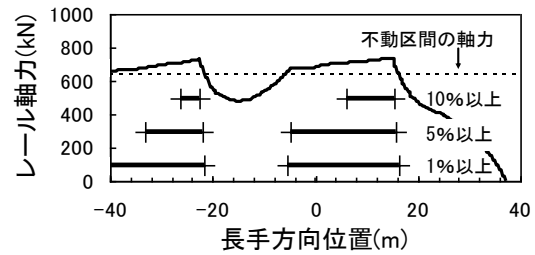
※解析条件: 60kg レール、レール温度上昇量 35℃、分岐器間距離 5m、基準線側のみロングレール。

※()内は不動区間のレール軸力からの増加割合(%)。

※不動区間のレール軸力: 637kN(60kg レール)。



(a) 解析モデル(左:10番、右12番)



(b) レール①の軸力分布

図2 パターン1のレール軸力分布

2.2 必要道床横抵抗力の算出

必要道床横抵抗力の計算にはエネルギー法による座屈安定性評価法³⁾を拡張した手法を用いた。これは、対象としている分岐器の線形は、基準線側が直線、分岐線側が曲線で構成されていることから、直線と曲線のエネルギー変化量を加算することにより最低座屈強さを求める手法である。

得られた最低座屈強さから安全率を20%みて許容軸力を算出し、必要道床横抵抗力は、ばらつきを考慮して70%が有効に作用するものとして算出した。

計算に用いた条件を表2に、座屈安定性評価法により必要道床横抵抗力を求めた結果を表3に、その中の計算例を図3に示す。ここで、道床横抵抗力 g は次式で近似した。

$$g = g_0 y / (y + a)$$

ただし、 g_0 は最終道床横抵抗力、 y はレール横変位、 a は $g = g_0 / 2$ となる時のレール横変位である。

表2 計算条件

項目		設定条件
レール種別		60kg レール
道床横抵抗力の初期特性値 a		1mm
道床縦抵抗力(ヒール部)		13.4 kN/m/レール
道床縦抵抗力(クロッシング後端部)		18.0 kN/m/レール
レール締結装置回転モーメント		5000 N・m/m
初期通り変位	波高	20mm
	波長	10m
座屈波形		第I波形
温度変化量		35℃

2.3 敷設に向けた検討

得られた必要道床横抵抗力を確保することにより、座屈安定性が確保される。しかし、合成まくらぎや木まくらぎを用いる分岐まくらぎは、PCまくらぎに比べて軽いため、期待できる道床横抵抗力が小さい。また、長い分岐まくらぎでもレール1本あたりの道床横抵抗力に換算すると、ロングレール化に必要な道床横抵抗力を満足しない可能性があるため、ロングレール化のためには道床横抵抗力を増加させる必要がある。その方法として、座屈防止板や座屈を防止する杭の使用、道床安定剤の散布、まくらぎ底部に突起を設けるなどの対策が挙げられる。

表3 ヒール部の必要道床横抵抗力

分岐器の番数	レール軸力の増加量				
	0%	5%	10%	15%	20%
8	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1
10	4.7	5.0	5.6	6.0	6.6
12	4.1	4.6	5.0	5.6	6.0
16	3.7	4.1	4.6	5.0	5.6

(単位: kN/m/レール)

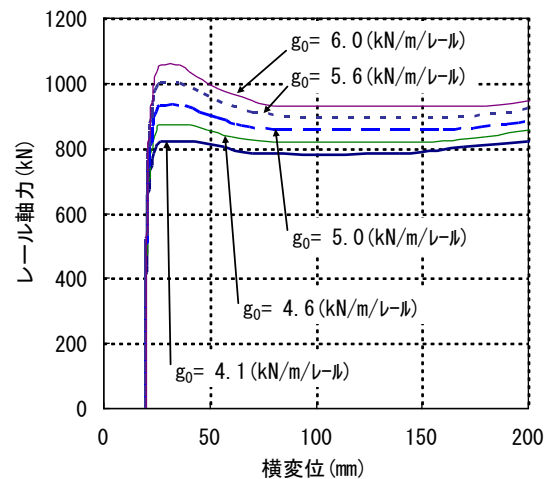


図3 表3の12番分岐器の最低座屈強さの計算結果

3. 高架橋上のレール軸力解析システムの開発

3.1 開発の背景

高架橋上の分岐器介在ロングレールの軸力は、過去に構築された評価手法を用いて算出することができる²⁾。しかし、評価にあたっては、ロングレール区間全域にわたって分岐器の番数、配置、高架橋の形式と長さなどの情報が必要であり、入力数が膨大な量となる。そこで、過去に構築した解析手法と計算実績から得られた知見を集約し、効率的に条件を入力可能な解析システムを開発した。開発したシステムの主な特徴は以下のとおりである。

- ①ほとんどの新幹線の駅構内の分岐器配置に対応できる
- ②高架橋の形式や長さなどのデータを表計算ソフト上で分かりやすく入力することができる
- ③解析モデルの拡張に柔軟に対応できる
- ④レール破断時の開口量をレール毎に照査できる

3.2 システムの構成

システムは、過去に構築した解析手法²⁾のFEM解析モデルを基本とし、定義データの入力を効率的に行えるものである。システム全体図を図4に、処理フローを図5に示す。システム構成上の特徴は、定義データの入力の容易さと解析結果のグラフ化による可視化を考慮し、表計算ソフトをシステムを中心としたことである。全ての定義データはこの表計算ソフト上に入力され、解析モデルの作成と解析実行は外部プログラム制御機能を利用して行い、解析結果も同ソフト上に転送されてグラフ化される。また、今後のFEM解析モデルの拡張性を考慮し、汎用FEM解析ソフトを解析ソルバーとして用いる。

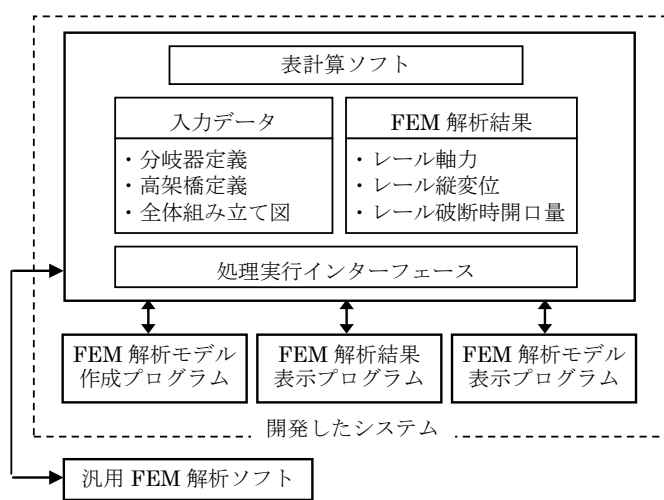


図4 システム全体図

3.3 解析例

本システムを用いて、新幹線の駅構内に敷設されている分岐器が介在する場合を対象としたロングレール化について検討した例を示す。解析区間の概略を図6に、解析条件を表4に、レール軸力の解析結果を図7に示す。レール軸力が増加している区間について必要道床横抵抗力を確保することにより、これらの伸縮継目が撤去可能であることが分かった。従来の手法では、一連の解析作業に数日間を要したが、本システムを用いることで、数時間程度で解析結果をまとめることが可能となった。

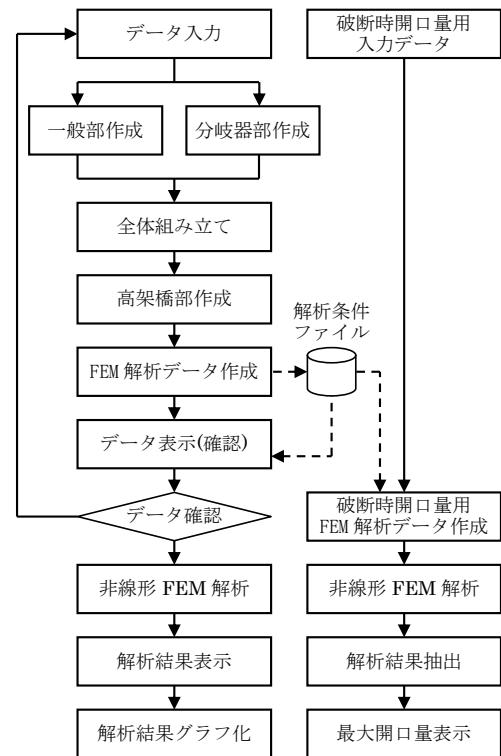


図5 処理フロー

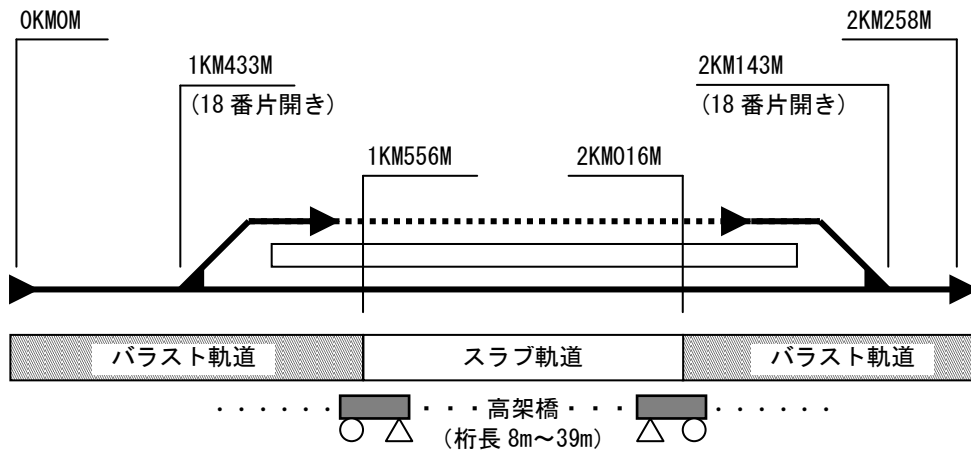


図6 解析区間の概略

表4 解析条件

項目	物性値
レール種別	60kg レール
レール温度上昇量	40℃
一般区間のまくらぎ間隔	625mm
一般区間の最終縦抵抗力	9.8kN/m/レール
一般区間の最終横抵抗力	8.8kN/m/レール
抵抗力の初期特性値 a	1mm
拘束ばね係数	6×10^4 kN/m
高架橋の線膨張係数	1×10^{-5}

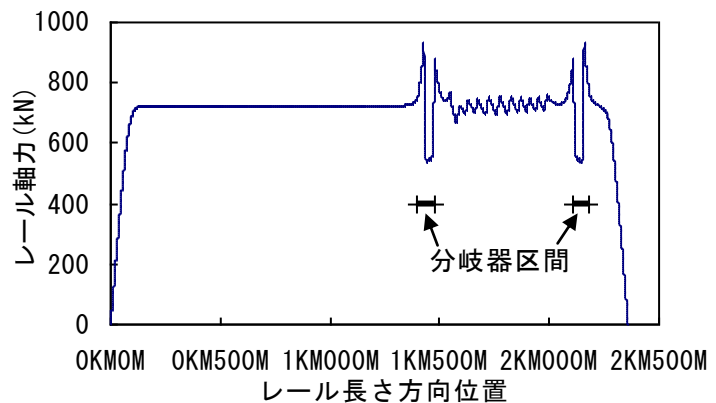


図7 本システムによるレール軸力の解析結果 (基準線側基本レール)

4. おわりに

分岐器介在ロングレールの敷設範囲の拡大に向けて、各種検討を行って敷設条件を整理した。また、過去の知見を集約し、個別のケースについてレール軸力の解析が容易に行えるシステムを構築した。今後は、敷設が広まっている高架橋上のまくらぎ直結分岐器について、敷設拡大に向けた取り組みを行う予定である。

[参考文献]

- 1) 三浦重, 柳川秀明: ロングレールと一体化した分岐器のレール軸力特性, 鉄道総研報告, Vol. 3, No. 1, pp. 36-42, 1989
- 2) 岩佐裕一, 片岡宏夫, 柳川秀明: 分岐器介在ロングレールの適用範囲の拡大, 鉄道総研報告, Vol. 20, No. 4, pp. 11-16, 2006
- 3) 宮井徹: エネルギー法による軌道座屈の数値解析, 鉄道技術研究報告, No. 1271, 1984