

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

木まくらぎ軌道の PCまくらぎ化計画を支援する

木まくらぎが腐朽などして劣化するとレールを適切に締結できなくなり、脱線に至ることがあります。そこで、腐朽の心配がないコンクリートまくらぎ(PCまくらぎ)に交換するPCまくらぎ化が行われることがあります。ただし、PCまくらぎ化には費用がかかるため、限られた費用を有効活用するために、PCまくらぎ化の効果が高い箇所を適切に選んで施工することが重要です。このことから、PCまくらぎに交換する曲線を効率的に選択して、PCまくらぎ化計画の策定を支援するシステムを開発しましたのでご紹介します。



三和 雅史
Masashi Miwa
軌道技術研究部
軌道管理研究室
室長
[専門分野]軌道保守計画, 最適化モデル分析



金丸 清威
Seii Kanemaru
前 軌道技術研究部
軌道管理研究室
研究員
[専門分野]軌道検測, 検査装置



片山 雄一郎
Yuichiro Katayama
前 軌道技術研究部
軌道管理研究室
研究員
[専門分野]軌道変位管理, 脱線

はじめに

木まくらぎ(☞参照)は古くから軌道の材料として用いられ、現在でも多くの地域鉄道の本線のほか、駅や車両所の構内などで広く用いられています。この木まくらぎは、材料が木であるため、図1のように長年の使用により劣化が進むと、レールがまくらぎにしっかりと固定されない締結不良の状態となります。



図1 木まくらぎの劣化

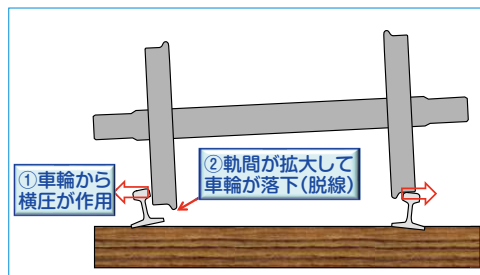


図2 軌間内脱線のイメージ

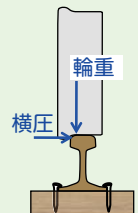
これが連続して存在すると、図2のように、列車の通過時に作用する横圧(☞参照)により軌間が拡大し、車輪が落下する軌間内脱線に至ることがあります。また、横圧が作用した際に軌きょう(☞参照)に横移動の力が発生すると、重量が軽い木まくらぎ構造の軌きょうでは、図3のように著大な通り変位(軌きょう

☞まくらぎ

木製のまくらぎが多かった時代には「枕木」と表記され、あえて「木まくらぎ」と表す必要はありませんでしたが、現在ではコンクリートや鉄、樹脂など材料はさまざまであるため、ここでは木製のまくらぎを「木まくらぎ」と表記します。

☞輪重と横圧

車輪から軌道に作用する力であり、レールに対して軌道面に垂直、平行方向に作用する力をおのおの輪重、横圧と呼びます。



☞軌きょう

レールとまくらぎをレール締結装置により締結してはしご状に構成したものを「軌きょう」といいます。

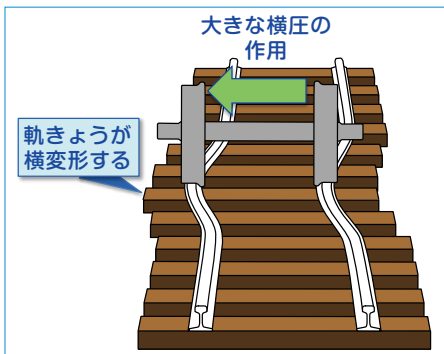


図3 軌きょうの横変形の発生イメージ



図4 PCまくらぎ化

の横変形)の発生が心配されます。

そのため、木まくらぎの状態を定期的に検査し、不良なまくらぎを健全なまくらぎに交換することが重要です。ただし、この検査は目視に頼っているため、今後の労働力不足などを考えると、従来なみの検査品質の維持は、これからますます難しくなると考えられます。そこで、腐朽する心配がないコンクリート製のまくらぎ(PCまくらぎ)に交換するPCまくらぎ化により軌間内脱線などを防止し、安全性を向上する施策が行われます。とくに近年では、地域鉄道の持続的な維持を目的として、国や自治体からの補助金によりPCまくらぎ化が行われることもあります。PCまくらぎ化の方法としては、図4に示すように連続的あるいは部分的に交換する方法があります。部分的な交換の場合は、脱線に至らせない範囲でPCまくらぎの本数を減らせるため、経済的ではありますが、どちらの方法においても費用がかかります。そのため、PCまくらぎ化による安全性向上効果、すなわち費用対効果の高い曲線から優先的にPCまくらぎ化を行うことが重要です。

以上のことから、各曲線のPCまくらぎ化優先度を算出し、PCまくらぎ化計画の作成を支援するシステムを開発しました。

PCまくらぎ化計画支援システムの概要

本システムを起動すると図5に示すメインメニューが現れます。本メ

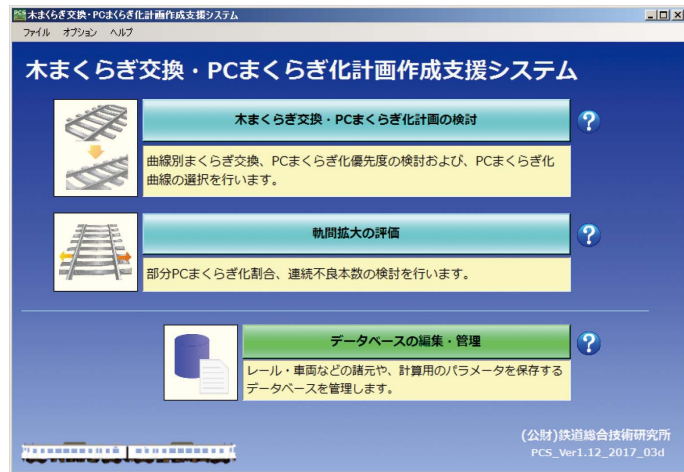


図5 システムのメインメニュー

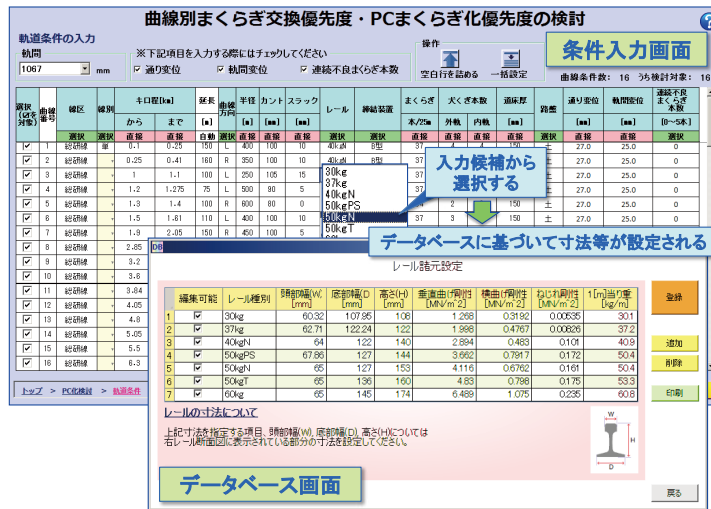


図6 条件入力とデータベースの各画面

ニューのうち「木まくらぎ交換・PCまくらぎ化計画の検討」では、各曲線のPCまくらぎ化優先度の算定、PCまくらぎ化曲線の選択が行えます。また、「軌間拡大の評価」では、部分PCまくらぎ化の際の敷設割合の検討や木まくらぎの連続不良本数の管理基準の検討が行えます。

検討条件の入力は、図6に示す画面

で行います。ここで、軌道材料や車両の諸元はデータベース化されているため、たとえば軌道条件入力の際には、材料種類を選択するだけで、寸法などの情報が自動設定されます。

PCまくらぎ化優先度の算定

各曲線におけるPCまくらぎ化優先度は、図7に示す考え方で算定します。

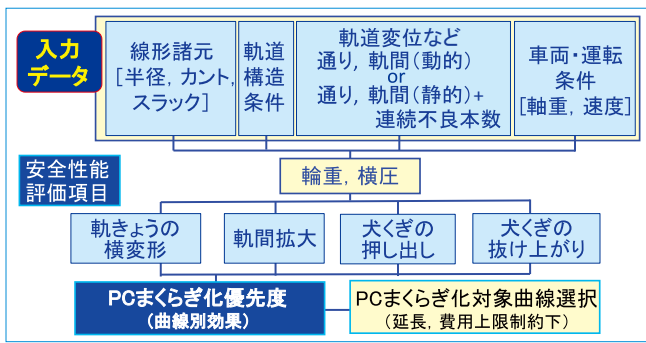


図7 PCまくらぎ化優先度の算定法

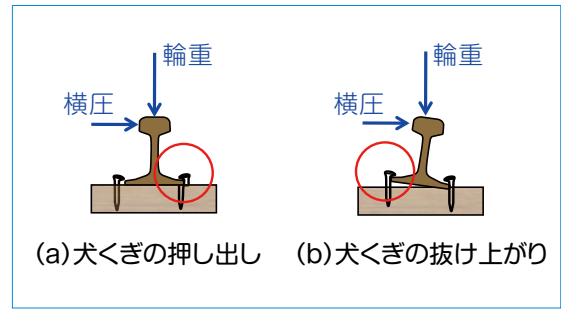


図8 犬くぎの押し出しと抜け上がり

PCまくらぎ運搬	2000 円/本
発生まくらぎ運搬	1500 円/本
PCまくらぎ交換	10000 円/本
レール交換	2000 円/本

PCまくらぎ	10000 円/本
レール締結装置	2000 円/組
軌道パッド	300 円/組
レール	6000 円/組

曲線	延長(km)	総費用	工事費	材料費	
PC	6	0.700	¥32,580,000	¥13,250,000	¥19,330,000
鉄	0	0.000	¥0	¥0	¥0
計	6	0.700	¥32,580,000	¥13,250,000	¥19,330,000

ランク	全対象	選択	選択延長
A	2	2	0.230
B	2	1	0.110
C	4	3	0.360
D	3	0	0.000
E	5	0	0.000
全	16	6	0.700

図9 優先度算定結果と施工曲線選択結果の出力画面

線形諸元、軌道構造・軌道変位(通り、軌間)、車両・運転条件を入力し、輪重と横圧を算定して、安全性を評価します。この評価項目は、国が定める軌道構造の設計標準に従ってパラスタ軌道を設計する際に考慮する4項目です。各項目における限界値(安全性を満足しなくなる値)と応答値(想定条件下での使用において発生し得る最大値)を求め、「応答値/限界値」により安全性を評価して優先度を算定します。各項目の内容は以下の通りです。

①軌きょうの横変形

先述のように、軌きょうに横圧が作用した際に、軌きょうに大きな横変形が生じる状態の発生への余裕を評価します(図3)。

②軌間拡大

先述のように、横圧によって軌間が拡大し、軌間内脱線に至る状態の発生への余裕を評価します(図2)。

③犬くぎの押し出し

横圧によってレールが横変位して、犬くぎが大きく変形する状態の発生への余裕を評価します(図8(a))。

④犬くぎの抜け上がり

横圧によってレールにねじりが生じて、犬くぎが抜け上がる状態の発生への余裕を評価します(図8(b))。

図9は優先度算定結果の表示画面です。上記4項目の応答値/限界値の各平均値をPCまくらぎ化優先度としてA~Eでランク判定します。具体的には、1項目でも1を超えた曲線についてはAランクと判定して最優先でPC

まくらぎ化することを提案し、どの項目も1を超過しない曲線については画面にB~Eの順に優先度が高いとして出力します。

PCまくらぎ化曲線の選択

算定された各曲線の優先度(A~E)に基づいて、PCまくらぎ化する曲線を選択します。ここでは、PCまくらぎ化する曲線の総延長や総費用の上限制約下で、施工対象として選択した各曲線におけるPCまくらぎ化優先度の総和が最大となるように曲線群を選択します(図9①)。図9では「PC化対象」列に●が表示された曲線が選択された施工対象曲線です。また、PCまくらぎ化の費用も曲線別に出力されます(図9②)。

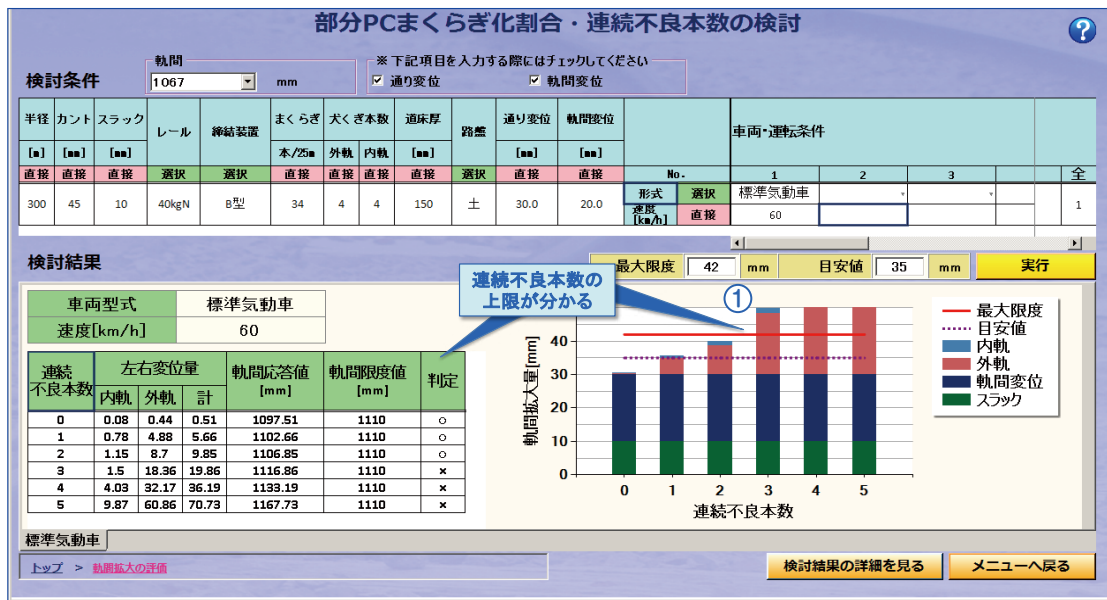


図10 木まくらぎの連続不良本数の許容範囲の検討(部分PCまくらぎ化割合の検討)

部分PCまくらぎ化割合の検討

図10のように木まくらぎの連続不良本数と軌間拡大の関係性を分析できます。図の条件では、軌間拡大は連続不良本数が3本以上で最大限度を超えるため(図10①)、この曲線における連続不良本数の許容値は2本までと考えられます。すなわち、部分PCまくらぎ化の際のPCまくらぎ敷設割合は、3本に対して1本以上であると判断できます。この結果は、木まくらぎの連続不良に関する検査基準の検討にも利用できます。

システムの性能検証

以上のように構築したシステムを模擬線区データに適用しました。ここでは、全線が15km程度の半径300~1600mまでの16曲線を有する線区データを用いました。レールは全て37kgレール、まくらぎは37本/25mとして締結装置は犬くぎ、車両は一般的な気動車としました。これらの条件下で各曲線の優先度を曲線半径別にまとめたものを図11に示します。一般に、半径が小さいほうが横圧が大きくなるため、優先度は高い傾向にあり、最も優先度が高い曲線は、検討対象とした曲線中で最小の半径300mでした(図11①)。一方、半径がほぼ同

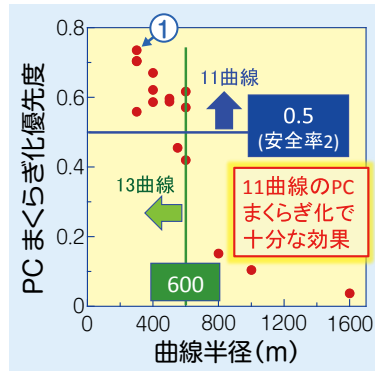


図11 PCまくらぎ化優先度

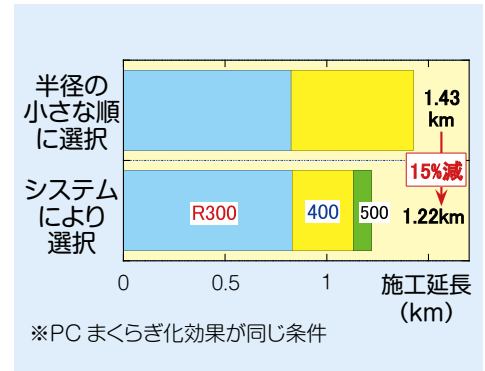


図12 施工曲線選択結果

じであっても優先度が異なる曲線があります。これは、各曲線によって速度などの条件が異なるためです。この結果、たとえば線区としての安全性を安全率2(優先度0.5の逆数)以上の状態に向上したい場合、半径600m以下の全13曲線のPCまくらぎ化を行わなくても、11曲線のPCまくらぎ化だけを行えば、実現できることがわかります。

以上の優先度を考慮してPCまくらぎ化曲線を選択した結果を図12に示します。ここでは、PCまくらぎ化対象曲線の優先度の和(=安全性の向上量)を一定値以上確保することを条件として選択しました。その結果、システムを用いて選択したほうが半径の小さな曲線順に選択した場合と比べて、15%短い延長の施工で同程度の安全性の向上が実現できました。

おわりに

PCまくらぎ化計画システムは、現在、一部の地域鉄道でモニター使用中です。今後は、モニターからのご意見を参考にして操作性を向上し、実用化したいと考えています。

なお、本研究は、国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施しました。[RRR]

文献

- 1) 金丸清威, 三和雅史, 片山雄一郎: PCまくらぎ化計画作成システムの開発, 鉄道総研報告, Vol.30, No.10, pp.47-52, 2016
- 2) 国土交通省鉄道局監修, 鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物等設計標準・同解説 軌道構造, 丸善出版, 2012