

- 鉄道一般
- 車両
- 軌道
- 構造物
- 防災
- 電力
- 信号通信
情報
- 材料
- 環境
- 人間科学
- 浮上式鉄道

浮きまくらぎを 自動で補正する

バラスト軌道は、軌道を支持する路盤や構造物を選ばずに敷設できる高い自由度がありますが、軌道や路盤の構造が変化する箇所においては、軌道沈下量の相対差が大きくなって、「浮きまくらぎ」という現象が発生しやすくなります。バラスト軌道において「浮きまくらぎ」を防止することは原理的に難しいため、軌道保守で対応せざるを得ないのが実態ですが、鉄道総研では、この「浮きまくらぎ」を自動的に補正する「自動沈下補正補助まくらぎ」を開発しました。

はじめに

図1に示すように、レールとまくらぎで構成された軌きょうをバラスト道床（バラスト＝砂利）で保持するバラスト軌道は、軌道を支持する路盤や構造物の種類を選ばずに敷設できる自由度の高い軌道構造です。すなわち、路盤が硬い岩盤やコンクリート構造物でも、軟弱な粘性土地盤でも、バラストさえまいてしまえば、とりあえずは軌道を敷設して列車を通すことができるので、世界中の鉄道軌道の大半がこのバラスト軌道を採用しており、100年以上前から基本構造は変わっていません。ただし、日々の列車の運行でバラ

ストは少しずつ崩れて軌道がゆがんでいきますから、バラスト軌道には、定期的に線路のゆがみを直す軌道保守作業が必須となります。一般に、路盤が軟弱になるほど軌道がゆがみやすくなり、軌道保守の頻度が高くなります。なお、日本では、1978年にバラスト軌道を支持する路盤に必要な仕様が定められています。

さて、ここで重要なのが、軌道の沈下＝軌道のゆがみではないということです。例えば、仮に軌道が沈下しても、全体が一様に沈下するのであればレールに相対的な変位はほとんど発生しませんから、軌道はゆがんでいないとい

うことになります。すなわち、軌道のゆがみが大きい箇所とは、軌道沈下量の変化率が大きい箇所ということです。

軌道沈下量の変化率が特に大きい箇所では、図2に示すように、まくらぎがバラスト



村本 勝己
Katsumi Muramoto
軌道技術研究部
主任研究員
【専門分野】地盤工学、
バラスト軌道、省力化軌道



中村 貴久
Takahisa Nakamura
軌道技術研究部
軌道・路盤研究室
副主任研究員
【専門分野】バラスト軌道、
省力化軌道、路盤・路床



野村 清順
Kiyonori Nomura
軌道技術研究部
軌道・路盤研究室
研究員
【専門分野】バラスト軌道、
軌道管理

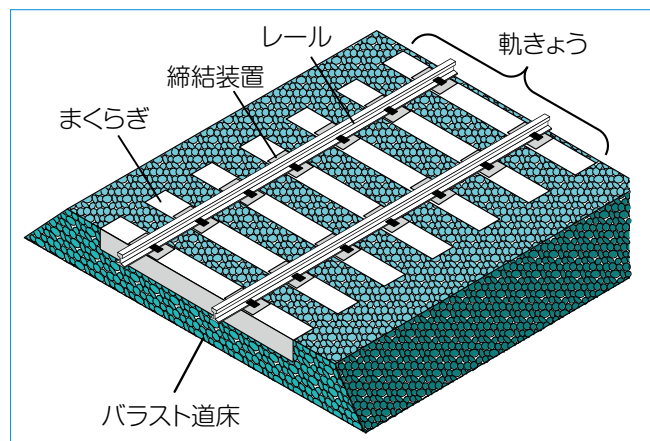


図1 バラスト軌道

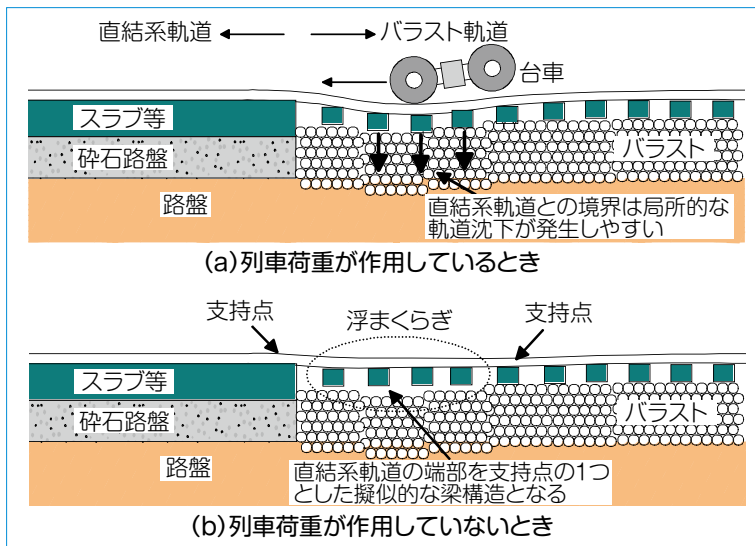


図2 軌道構造境界部における浮きまくらぎの概念図

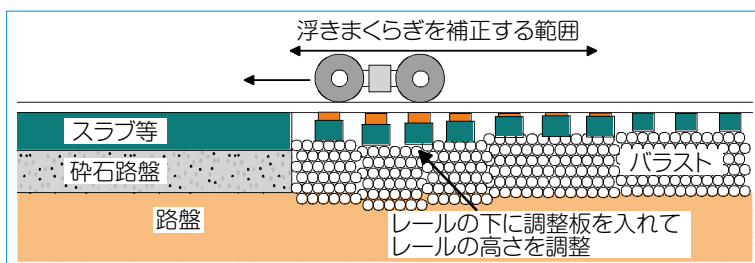


図3 高さ調整板による浮きまくらぎ補正

から離れてレールにぶら下がった「浮きまくらぎ」という状態が発生します。浮きまくらぎ発生箇所では、その上を列車が走行するたびにまくらぎがバラストにたたきつけられてバラストが破碎したり、噴泥(☞参照)を発生させたりするため、軌道状態が急速に悪化していきます。一般に、浮きまくらぎが発生しやすいのは、

- 1) コンクリート構造物と盛土の境界部のような、路盤構造変化箇所。
- 2) バラストを使用しない直結系軌道(☞参照)とバラスト軌道の境界部のような、軌道構造変化箇所。
- 3) レール継目部

といった、構造境界部であり、軌道保守上の要注意箇所となります。

浮きまくらぎを補正するには

バラスト道床は所詮は砂利ですから、どんなに良好な条件であったとしても、列車荷重による変形をゼロにすること

はできません。したがって、バラスト軌道である限り、構造境界部における浮きまくらぎを抜本的に防止することもまた極めて困難です。なぜなら、境界部のバラストをセメントなどで固め

てバラストが崩れないようにしても、構造境界部が移動したにすぎないからです。

したがって、浮きまくらぎ発生箇所の軌道状態を健全に保つには、高頻度の軌道保守が必要となります。ところが、タイタンパーを用いた一般的な軌道保守では、補修直後にバラストが緩んで初期沈下が発生することが多く、それがまた浮きまくらぎを再発させることになり、効果的ではありません。

次善の策としては、図3のように、レールとまくらぎの間にまくらぎが沈下した分だけ調整板を挿入して、レールの高さを一定に保つ方法があります。この方法だと、あまりバラストが緩まないで、補修の効果が比較的長持ちすると考えられます。ただし、タイタンパーを用いた軌道保守と比べて手間がかかる上に機械化も難しいため、軌道が沈下するたびに手作業でレール高さを調整するのは現実的ではありません。

そこで、鉄道総研では、この高さ調整作業と同等の効果を自動で行い、軌道が不連続に沈下するのが避けられないような箇所でも、浮きまくらぎを防止

☞ 噴泥

バラスト軌道の典型的な劣化現象で、バラスト道床の表面に泥土が噴き出してくる現象。泥土の由来が路盤土の場合は路盤噴泥、摩耗したバラストである場合は道床噴泥という。浮きまくらぎが噴泥を促進させる要因の一つである。



☞ 直結系軌道

バラストを使用せず、まくらぎをコンクリート構造物などで直接支持する軌道構造で、一般的なまくらぎを使用する「まくらぎ直結軌道」と、大判の軌道スラブを用いた「スラブ軌道」がある。近年では在来線では「まくらぎ直結軌道」が、新幹線では「スラブ軌道」が多く採用されている。

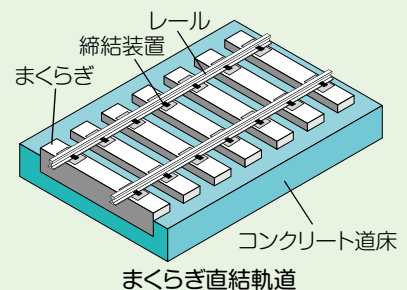




図4 自動沈下補正補助まくらぎ (AICSS)

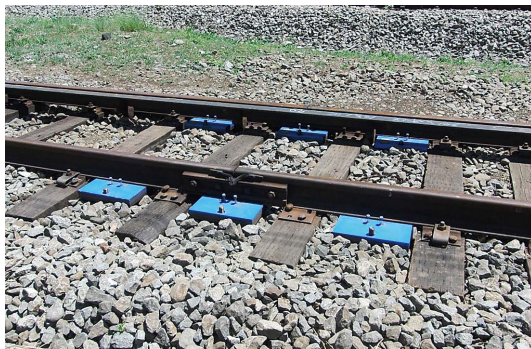


図5 AICSSの設置状況 (レール継目部)

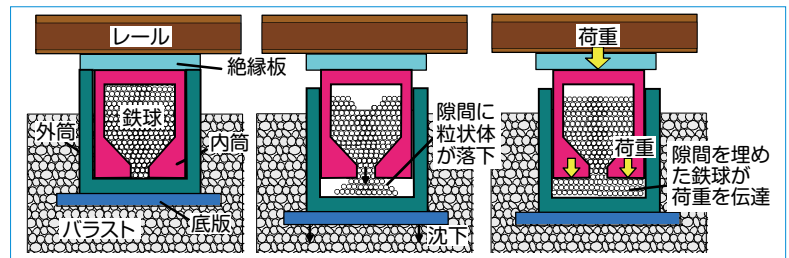


図6 AICSSの原理

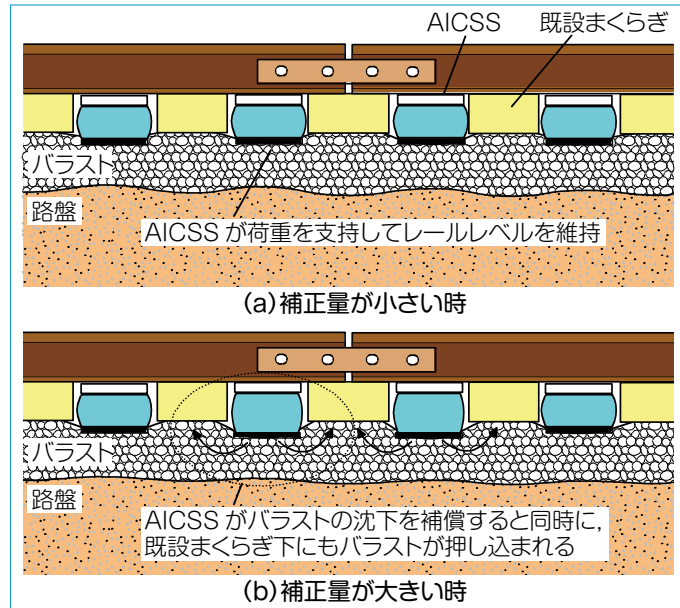


図7 AICSSの浮きまくらぎ抑制の概念図

することが可能な、自動沈下補正補助まくらぎ(図4, 図5)を開発しました^{1,2)}。

自動沈下補正補助まくらぎの概要

図6に、自動沈下補正補助まくらぎ(以下 AICSSという)の原理を示します。AICSSの内部は、中空の内筒と外筒を入れ子に組み合わせた構造になっており、内筒は絶縁板を介してレールと締結され、外筒は底板を介してバラストに接しています。内筒の底部には穴があいており、中には防錆処理をした鉄球(直径約2mm)が入っています。ここで、バラストに局所的な沈下が生じると、外筒がそれに追従して沈下し、内筒と外筒の間に隙間が発生しますが、その隙間は内筒から落下した鉄球がすぐに埋めてしまうので、AICSSはレールにぶら下がることなく、常にレールを支持し続けることが

できます。

さらに、図7に示すように、列車荷重を伝達したAICSSがバラストに押し込まれると、そのバラストが、既設のまくらぎ下に回りこむため、結果として既設のまくらぎ下の空隙も埋められて浮きまくらぎが抑制されます。

AICSSの浮きまくらぎ抑制効果

AICSSの浮きまくらぎ抑制効果を検証するため、鉄道総研では、軌道構造境界部やレール継目部を模擬した実物大軌道模型の繰返し載荷試験を行いました(図8)。例えば、図9はレール継目部を模擬した試験におけるレール変位振幅の推移です。この試験では、細粒分が多く混入したバラストを使用しているため、大量の降雨を想定した散水を行うと、無対策の軌道ではバラストが強度を失って急激に沈下が進みます。その結果、レール継目部付

近のまくらぎが浮きまくらぎとなって変位振幅が増大し、噴泥が発生しました。その軌道に対して、継目を中心に4箇所(左右レールで計8基)にAICSSを設置して同様に載荷を行うと、散水によってバラストの強度が低下してもAICSSが浮きまくらぎの発生を抑制して、軌道状態が悪化することはありませんでした。さらに荷重を大きくして計200万回まで載荷を継続しても、AICSSは浮きまくらぎを抑制し続けました。200万回載荷後のAICSSによる沈下補正量は約15mmでしたが、レール自体は2mm程度しか沈下しませんでした。

AICSSの現地試験

AICSSの施工性および実軌道での浮きまくらぎ抑制効果を検証するため、営業線への試験敷設(図10)を行いました。

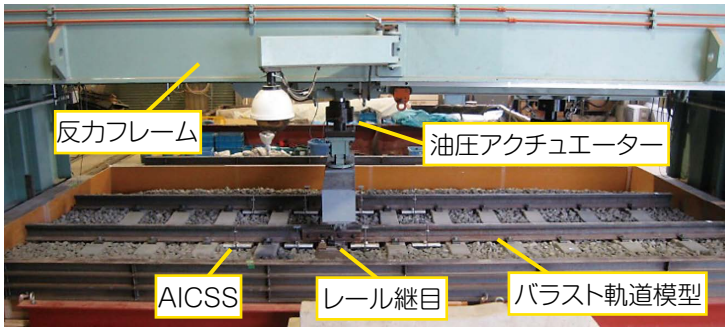


図8 レール継目部を模擬した実物大軌道模型の繰返し載荷試験

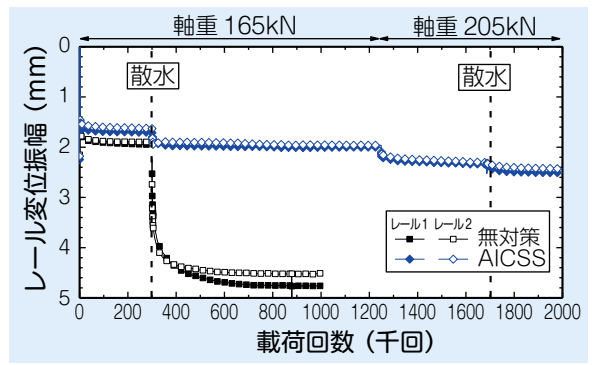


図9 レール継目部のレール変位振幅の推移



図10 営業線での施工状況

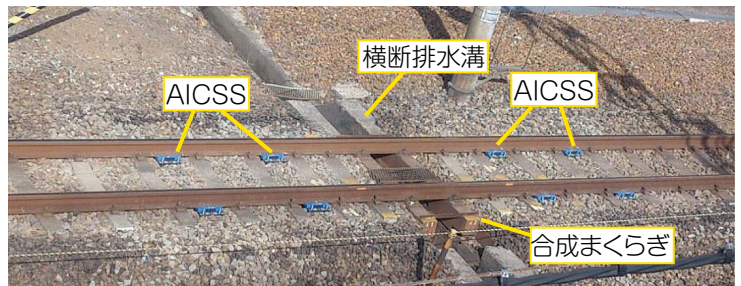


図11 営業線の横断排水溝付近に試験敷設されたAICSS

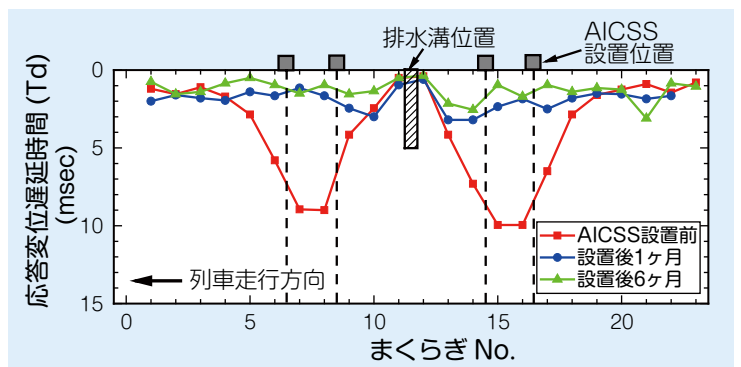


図12 FWD試験から得られたまくらぎ支持状態(右レール)の推移

図11は、線路を横断する排水溝(開きょ)の前後に敷設されたAICSSの状況です。これは、コンクリート製のく体の上に、バラスト止めを兼ねた合成まくらぎ(ガラス繊維補強プラスチック製のまくらぎ)が直接設置された、一般的な横断排水溝の構造ですが、バラスト軌道側に浮きまくらぎが発生しやすい典型的な事例です。今回は、AICSSの敷設ピッチを広げて、既設のまくらぎ2本ごとに1対(左右レール合わせて2基)とし、設置個数を半減することでコストダウンを狙いました。

図12は、FWD³⁾(重い落下式たわみ測定装置)を用いて調査した当該箇所まくらぎ支持状態の推移です。ここに示す応答変位遅延時間Tdは、軌道の支持状態に対して感度の高い指標で、浮きまくらぎ上では特に大きくなります。AICSS設置前のTdの分布を

見ると、排水溝前後のまくらぎNo.6~9およびNo.14~17の浮きまくらぎが顕著であることが推定されました。そこで、図11に示す4箇所AICSSを設置した結果、施工から半年が経過しても、左右レールともに浮きまくらぎは発生しておらず、良好な軌道状態を保っています。

また、別の路線でレール継目部においても試験敷設を行いました。同様に良好な浮きまくらぎ抑制効果が確認されています。

おわりに

AICSSの基本構造の開発は終了しており、現在は量産化に向けた検討を

進めています。当面は、営業線での敷設実績を増やし、適用条件や施工法を深度化していく予定です。[RRR]

文献

- 1) 咲村, 村本, 中村, 櫻井: 改良型自動沈下補正補助まくらぎ(AICSS-SS)の性能確認試験, 土木学会第69回年次学術講演会, VI, pp.729-730, 2014
- 2) 村本, 中村, 櫻井: 自動沈下補正補助まくらぎを用いたレール継目部の浮きまくらぎ対策, 鉄道総研報告, Vol.27, No.4, pp.17-22, 2013
- 3) 伊藤, 中村, 村本, 佐野: 列車荷重による軌道支持剛性の経時変化に関する基礎的検討, 土木学会第68回年次学術講演会, VI, pp.1085-1086, 2013