

自動沈下補正補助まくらぎの開発

軌道技術研究部 軌道・路盤研究室

室長 村本 勝己

1 はじめに

バラスト軌道において、無負荷時にまくらぎがバラストに接触せず、レールにぶら下がっている状態を浮まくらぎという。浮まくらぎが発生すると、車両走行時にバラストとまくらぎが衝突して衝撃的な荷重が発生し、バラストが破碎したり、噴泥が発生するなどして軌道状態が急速に悪化する。一般に、浮まくらぎは、接続軌道取付部も含めた直結系軌道／バラスト軌道境界部やレール継目付近等、バラスト軌道の沈下量が不連続となる箇所が発生しやすい(図1)。

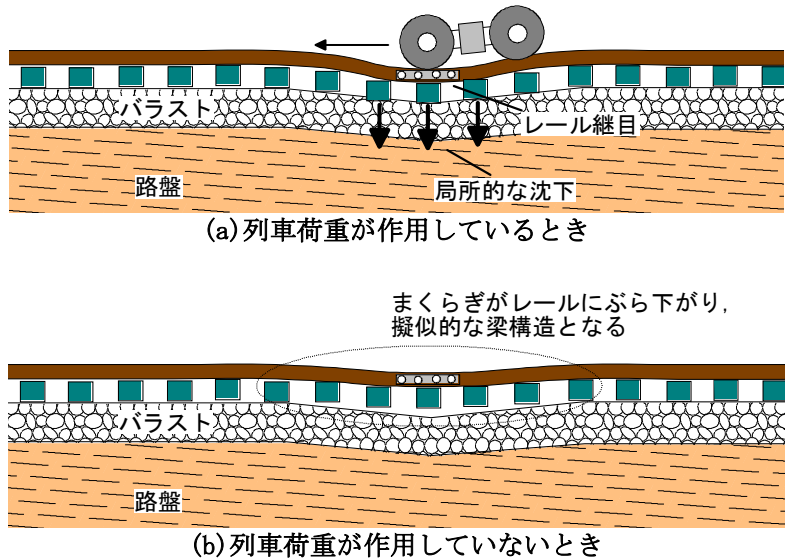


図1 レール継目部の浮まくらぎ発生概念図

鉄道総研では、バラスト軌道の不連続な沈下を自動的に補正して浮まくらぎを抑制する、自動沈下補正まくらぎ(図2、Automatic Irregularity-Correcting Sleeper、以下「AICS」という)の開発を進めてきた¹⁾²⁾。AICSは、顕著な浮まくらぎ抑制効果があることが模型実験等によって実証されているが、まくらぎ交換工事が必要であり、設置コストが高いという問題があった。そこで、鉄道総研では、浮まくらぎ防止機能をより低コストに実現するために、自動沈下補正補助まくらぎ(以下「AICS-SS」という)の開発を進めている。本報告では、AICS-SSの概要と実物大模型試験結果について紹介する。

2 AICS-SSの概要

AICS-SS(図3、図4)は、既設のまくらぎを撤去せずに、まくらぎ間に補助的に設置する一種の短まくらぎであり、レール底面に強力な磁石によって固定される。このAICS-SSには、AICSと同様に自動沈下補正装置が内蔵されている。自動沈下補正装置とは、図5に示すように内筒と外筒の二つの箱を入れ子に組み合わせた構造体で、内筒上面は絶縁板を介してレール側と繋がり、外筒底面は底板を介してバラストに接している。内筒の内部には直径約2mmの粒状体が入っており、バラストの沈下に伴って外筒が沈下して内外筒間に隙間が発生すると、内筒底面の粒状体排出口から粒状体が落下して隙間が埋まり、自動沈下補正装置の実質的な高さが増加する。その結果、図6に示すように、バラストの局所的な



図2 AICS 試作機(S型)

な

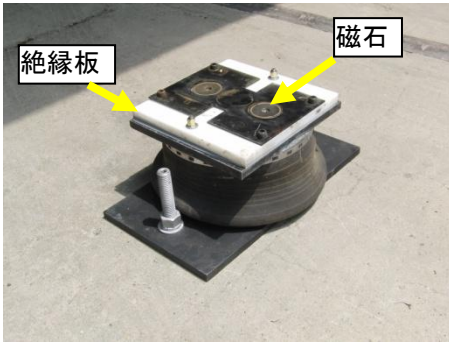


図3 AICS-SS 試作機

沈下が進行しても AICS-SS がレールレベルを維持すると共に既設まくらぎ下にバラストを押し込む効果を発揮し、浮まくらぎの発生が抑制される。

粒状体の材質については、セラミック球や各種金属球について検討を進めた結果、コストと性能のバランスを考慮して防錆処理を施した鉄球とした。なお、排出口の形状、面積、および粒状体の粒径等の最適値については、現在も検討を進めている。

図7に AICS-SS の設置手順を示す。AICS-SS は、既設のまくらぎの間に設置するため、まくらぎ交換は原則不要である。また、バラストの土砂混入率が高くなければ、道床交換も不要である。

ただし、土砂混入率の高いバラストの場合、設置後のバラスト密度が一時的に低下して、既設まくらぎ下で道床噴泥が発生する場合がある。そこで、土砂混入率の高いバラストの場合は、設置範囲のまくらぎ下 100mm 程度を豆碎石等に置換えることを推奨する。

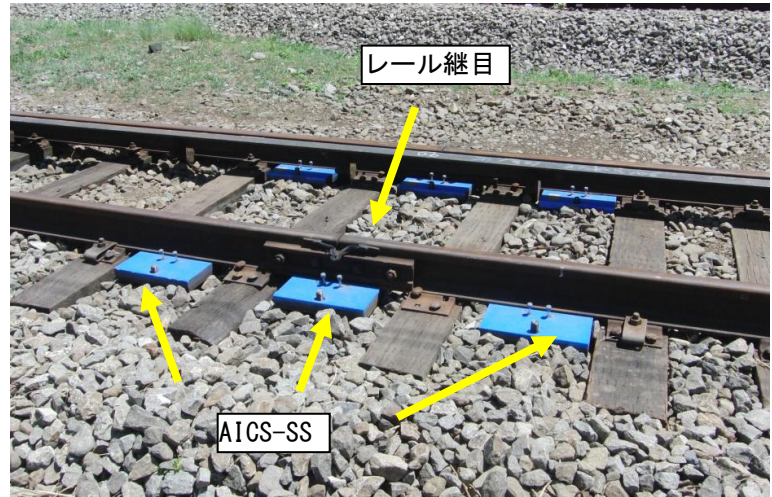


図4 AICS-SS の軌道への設置状況

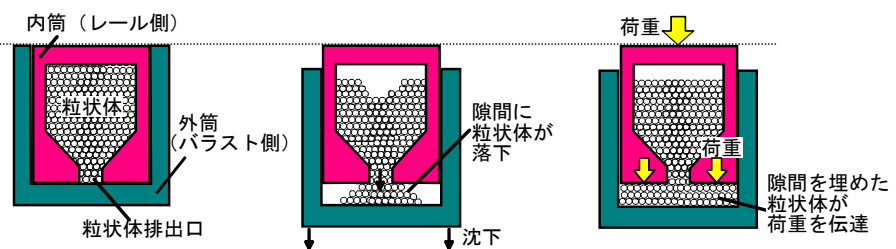


図5 自動沈下補正装置の原理

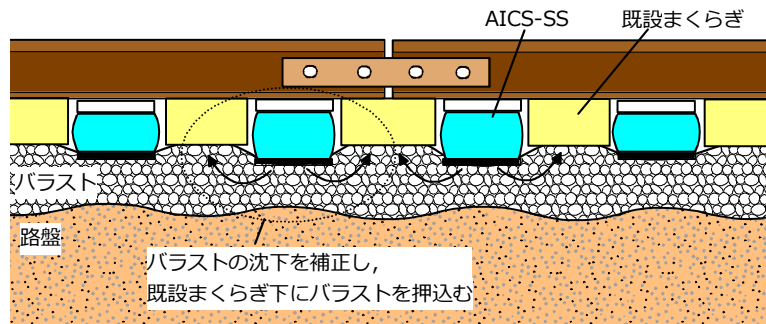


図6 AICS-SS による浮まくらぎ抑制の原理

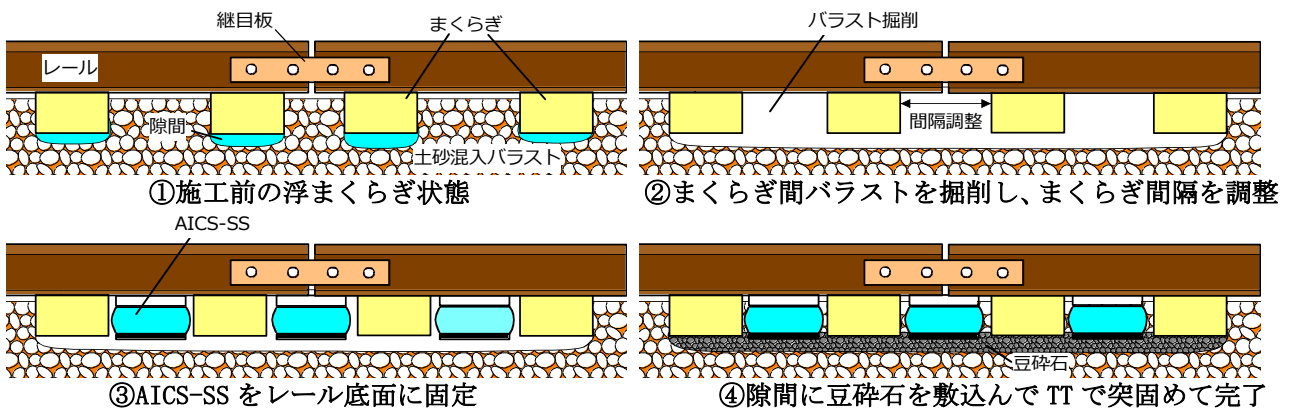


図7 AICS-SS の敷設手順 (掛け継目の例)

3 実物大模型試験

AICS-SSの浮まくらぎ抑制効果を検証するため、レール継目部を模擬した実物大軌道模型を用いた繰返し載荷試験を行った。

図8に軌道模型の概要を示す。軌きょうは、まくらぎ11本で構成した支え継目構造とした。路盤はEPSと礫質砂を組合せて、 K_{30} 相当値=50MN/m³程度の比較的剛性の小さい路盤条件を再現した。バラストは、細粒化した土砂混入バラストを想定して、粒度調整砕石に粘性土(カオリン)を10%(乾燥重量比)添加したものを用いた。これを最適含水比で十分に転圧して、列車荷重によって十分に固結した道床を再現した。

載荷条件を表1に示す。本試験は、一つの軌道模型

に対して以下に示す手順で載荷を行った。

- ① 軸重165kNで100万回の載荷試験を行う(無対策ケース)。
- ② 次に、継目用まくらぎ下のバラスト100mmを豆砕石で部分道床交換してTTで軌道整正を行ってから軸重165kNでさらに100万回の載荷を行う(部分道床交換ケース)。
- ③ 再びTTで軌道整正を行ってAICS-SSを設置し、さらに軸重165kNで125万回、軸重205kNで75万回の載荷を行う(AICSケース)。

なお、すべての試験ケースにおいて、載荷30万回程度で継目部付近に大量の降雨を想定した散水(15L/m²)を行い、土砂混入バラストの泥土化を促進した。

図9に100万回載荷後の各試験ケースのレールの沈下形状を示す。無対策ケースは載荷点を中心に顕著な局所沈下が発生し、浮まくらぎによる衝撃が激しくなった。その後、部分道床交換して軌道整正すると、軌道沈下量は3割程度減少したが、やはり浮まくらぎが発生した。最後に、AICS-SSを導入すると軌道沈下量は劇的に減少し、左右レールの変位差もほとんどみられなかった。なお、本軌道模型はレールが7m程度しかなく、軌道端部は拘束されていないので、通常の軌道

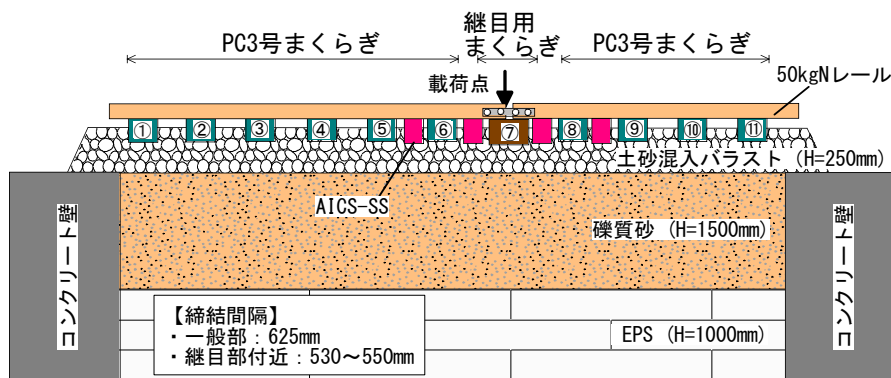


図8 レール継目部の軌道模型の概要

表1 載荷条件

試験ケース	無対策	部分道床交換	AICS	
載荷荷重(軸重)	5~165kNの正弦波荷重	5~165kNの正弦波荷重	5~165kNの正弦波荷重	5~205kNの正弦波荷重
載荷周波数	5Hz			
載荷回数	100万回	100万回	125万回	75万回

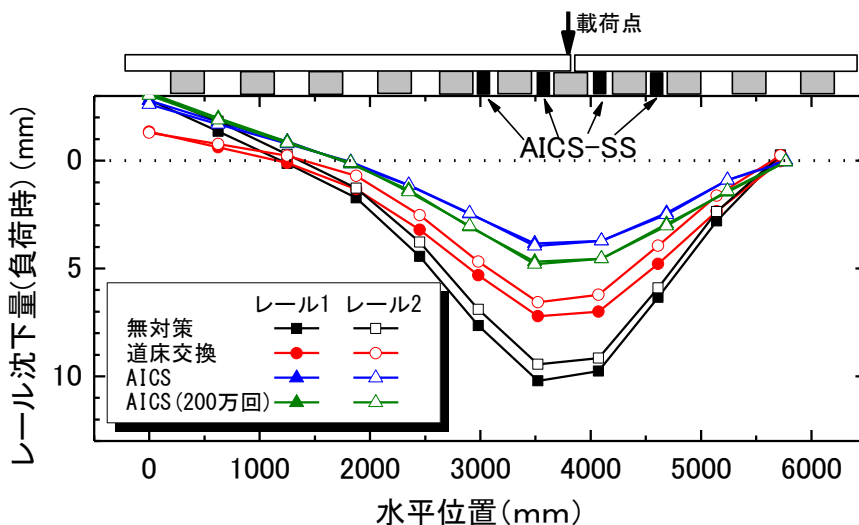


図9 100万回載荷後のレールの沈下形状(負荷時)

よりもアップリフトがやや過大になっていると考えられる。

図10に荷重点直下付近のレール変位振幅の推移を示す。散水前の無対策ケースは、道床が固結状態だったため、高い軌道支持剛性を示していたが、散水後には道床の強度が低下し、浮まくらぎの発生と共に道床が泥土化して急激に支持剛性が低下した。部分道床交換ケースにおいても、散水後に支持剛性が低下し、さらに荷重の進行と共に浮まくらぎが進展し、徐々に剛性が低下する傾向がみられた。AICS ケースは、散水による支持剛性の低下は見かけ上軽微であり、軸重を 205kN に上げててもレール変位振幅は 2mm 台を維持していることから、高軸重条件下でも顕著な浮まくらぎ抑制効果を発揮していたことがわかる。

図11に、AICS ケースにおける、レール継目付近の4機のAICS-SSの沈下補正量(≒AICS 直下のバラスト沈下量)の推移を示す。AICS ケースにおけるレールの沈下量は最大でも 4mm 程度であったのに対して、沈下補正量は約 15mm であり、特に散水後に急激に補正量が増加していることがわかる。すなわち、散水によって土砂混入バラストの強度が低下して急激に沈下が進行しても、AICS-SS が速やかに作動してバラストの塑性沈下分を補償し、レールレベルと見かけの支持剛性を維持していたことがわかる。本実験で使用した AICS-SS 試作機の最大補正量は約 70mm なので、計算上は繁忙線区でも 4 年以上は沈下補正効果が発揮できることになる。

4 おわりに

AICS-SS は道床条件が劣悪な場合においても、また高軸重条件下においても、十分な浮まくらぎ抑制効果を発揮することが確認された。今後は、2012 年度中に営業線での現地試験を行い、2013 年度中に製品化する予定である。

参考文献

- 1) 村本, 中村:「自動沈下補正まくらぎによる構造境界部の軌道変位抑制効果」, 鉄道総研報告, Vol.23, No.10, pp.29-34, 2009.10
- 2) 村本, 櫻井:「軌道構造境界部における軌道沈下対策の効果比較」, 鉄道総研報告, Vol.26, No.2, pp.25-30, 2011.2

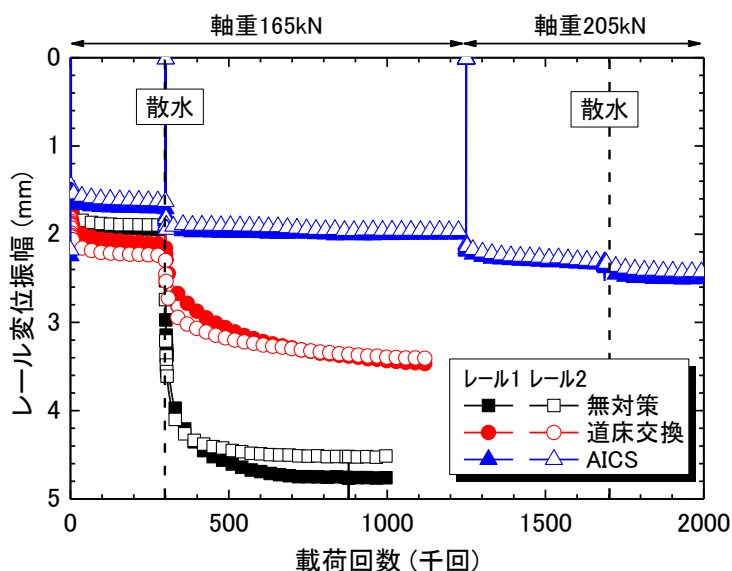


図10 荷重点直下のレール変位振幅の推移

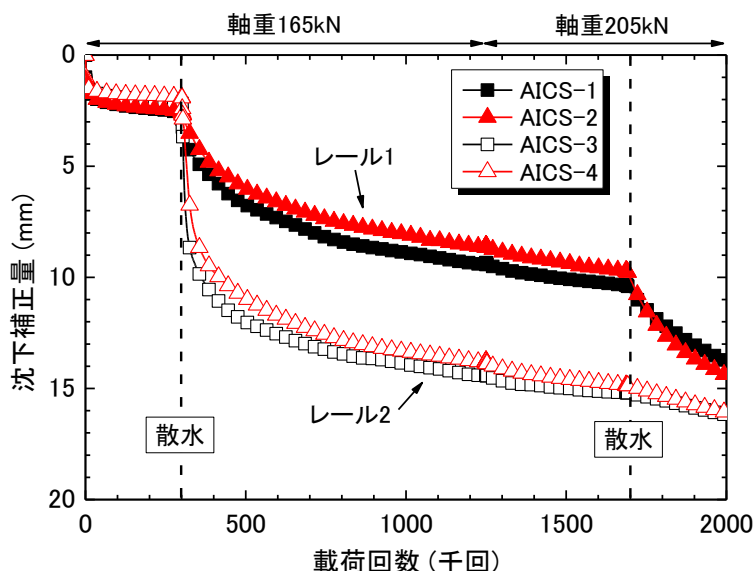


図11 AICS-SSの沈下補正量の推移