

自動沈下補正補助まくらぎを用いた レール継目部の浮まくらぎ対策

村本 勝己* 中村 貴久* 櫻井 祐**

A Method of Preventing Hanging Sleepers on Rail Joints
using Automatic Irregularity-Correcting Short Sleeper

Katsumi MURAMOTO Takahisa NAKAMURA Tasuku SAKURAI

In ballasted track, when sleepers are hanging from the rails without contacting the ballast under no train loads they are called hanging sleepers. When a train passes on the track under these conditions, the hanging sleepers contact the ballast below and generate impact loads that can break ballast and/or cause mud-pumping. This causes track conditions to deteriorate quickly. Hanging sleepers tend to occur mostly in the vicinity of rail joints and the boundary between ballasted and ballastless tracks, and at other places where the settlement of ballasted track is discontinuous.

RTRI has been developing different versions of automatic irregularity-correcting sleepers (AICS) that will automatically compensate for discontinuous settlement of ballasted tracks and minimize the occurrence of hanging sleepers. This paper introduces one version; a low-cost short-sleeper type (hereinafter referred to as “AICS-SS”), which will soon be commercialized. Authors performed repeated loading tests on life-size track models, which simulated the rail joint zone. The authors, thereby, clarified that AICS-SS have the enough potential to prevent hanging sleepers even under high axle load conditions on deteriorated ballasted tracks.

キーワード：バラスト、軌道沈下、浮まくらぎ、レール継目、自動沈下補正まくらぎ、AICS

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、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。浮まくらぎは、直結軌道／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で発

生しやすい(図1)。

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(Automatic Irregularity-Correcting Sleeper, 以下「AICS」という)の開発を進めてきた^{1) 2)}。図2はまくらぎタイプのAICS(S型)の試作機である。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、浮まくらぎ防止対策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)を開発した。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。

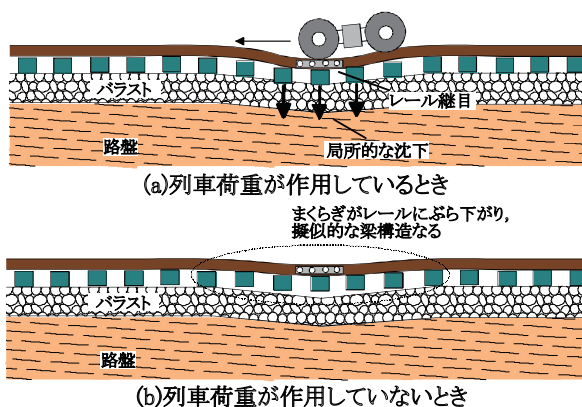


図1 レール継目部の浮まくらぎ発生概念図

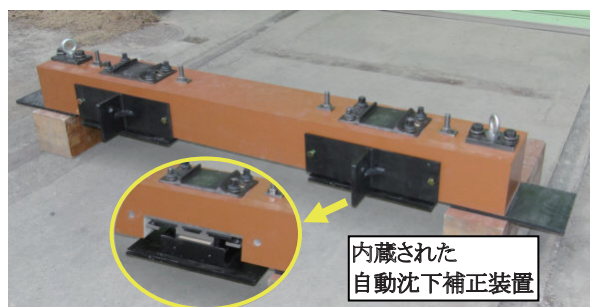


図2 AICS 試作機 (S型)

* 軌道技術研究部 軌道・路盤研究室

** 株式会社 スミハツ

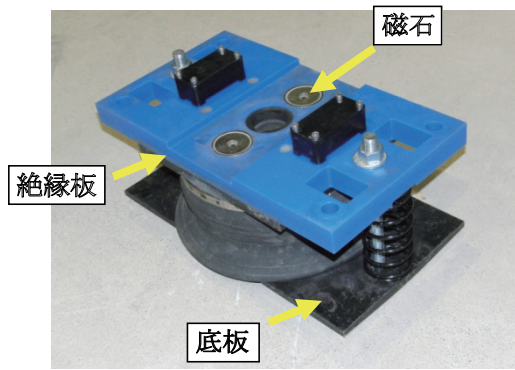


図3 AICS-SS 試作機

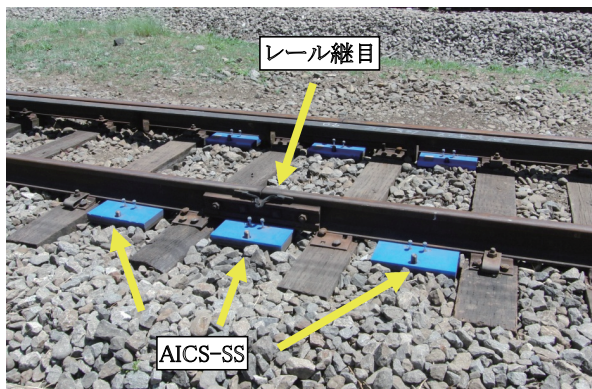


図4 AICS-SS の軌道への設置状況

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(防錆処理した鉄球)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、バラストの局所的な沈下が進行しても AICS-SS がその沈下分を補償してレールレベルを

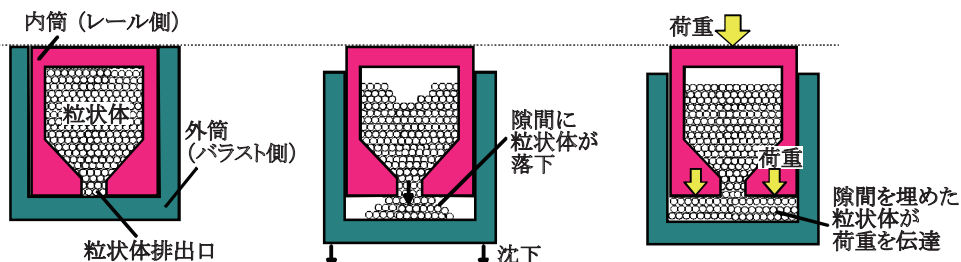
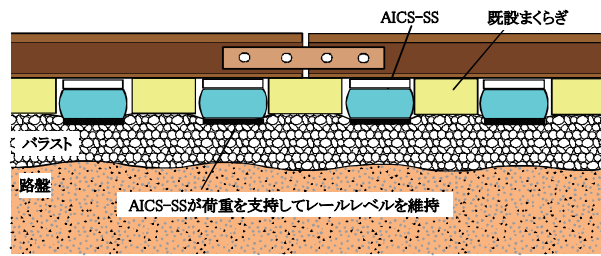
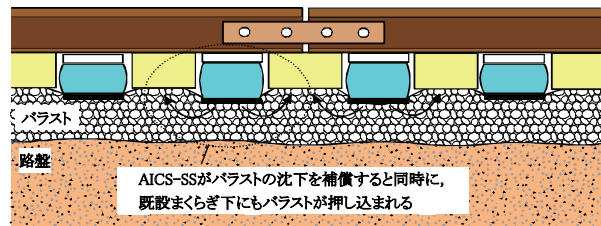


図5 自動沈下補正装置の原理



(a)補正量が小さい時



(b)補正量が増大した時

図6 AICS-SS による浮まくらぎ抑制の原理

維持することができる。

また、図6に示すように、AICS-SS の補正量が増大して既設まくらぎ下に隙間が生じようとする時、AICS-SS 下のバラストはせん断変形して既設まくらぎ下に逐次押し込まれるため、結果として既設まくらぎが浮くことはなく、常に軌きょう全体で荷重を支持することになる。

3. 実物大軌道模型試験の概要

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7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 $=50\text{MN}/\text{m}^3$ 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(M-40)100%に対して粘性土(MSFカオリン)を乾燥重量比で10%添加したものをを用いた。この土砂混入バラストは、最大乾燥密度 $\rho_{d\text{max}}=2.242\text{g}/\text{cm}^3$ 、最適含水比 $w_{\text{opt}}=7.3\%$ であった。これを含水比約5.5%で十分に転圧して締め固め密度比(D値) $=98\%$ に締め固め、列車荷重によって十分に固結した道床を再現した。

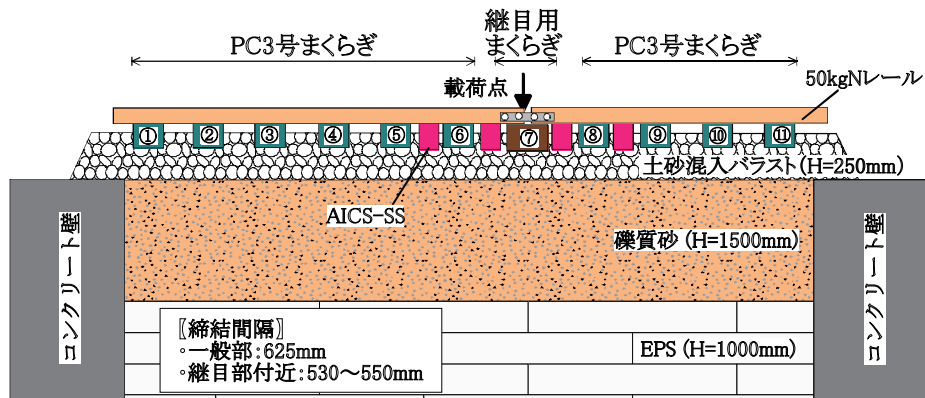


図7 レール継目部の軌道模型の概要

表1 荷条件

試験ケース	無対策	部分道床交換	AICS-SS	
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
荷周波数	5Hz			
荷回数	100万回	110万回	125万回	75万回

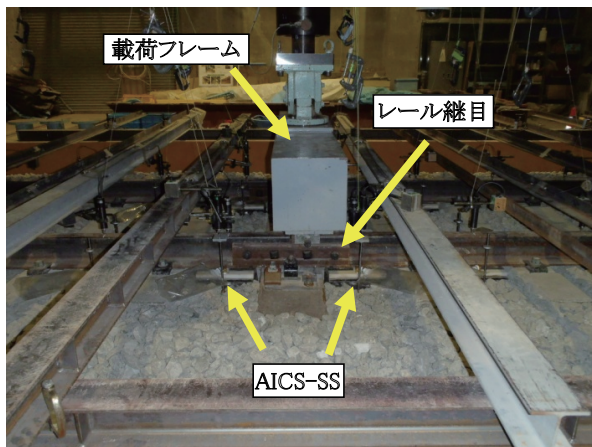


図8 荷試験の状況



図9 バラストへの散水

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荷を行った。

- ① 軸重165kNで100万回の荷試験を行う(無対策ケース)。
- ② 次に、継目用まくらぎ下のバラスト100mmを豆碎石(単粒度4号碎石)で部分道床交換してTT(ハンドタイタンパー)で軌道整正を行ってから軸重165kNでさらに110万回の荷を行う(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75万回の荷を行う(AICS-SSケース)。

図8に荷試験の状況を示す。なお、すべての試験ケースにおいて、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)。

4. 実物大模型試験結果

4.1 軌道の変形

図10に荷点直下における荷時および除荷時のレール変位の推移を示す。ここに、レール1およびレール2とは、軌きょうを構成する2本のレールを識別するものである。

無対策ケースは、土砂混入バラストが固結状態であるために、散水前の軌道沈下量は比較的小さいが、散水によって土砂混入バラストの強度が低下すると急激に沈下が進行した。部分道床交換ケースについても散水後には軌道沈下量は増大し、さらにレール2本の除荷時の変位差は0.7mm程度であった。これは、部分道床交換の精度が影響しているものと考えられる。

これに対して、AICS-SSケースについては、散水後のレール変位量の増加はわずかであり、さらに軸重を

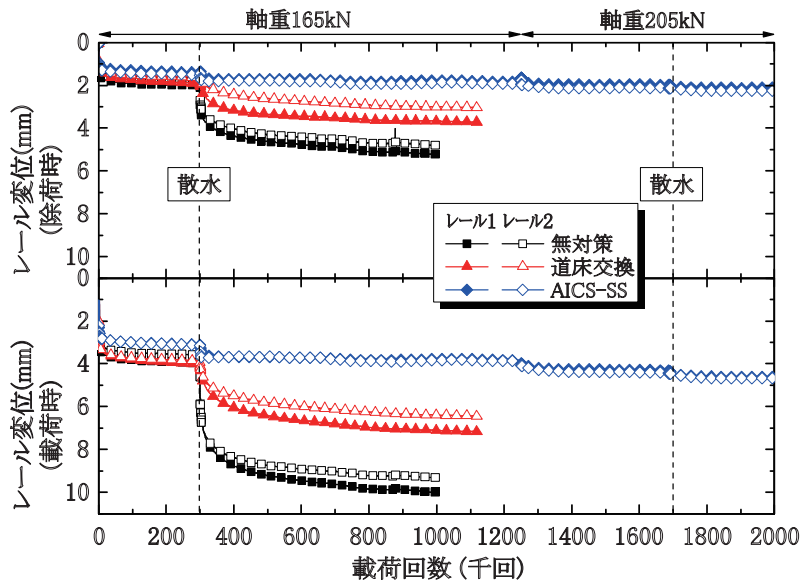


図10 荷重点直下のレール変位の推移

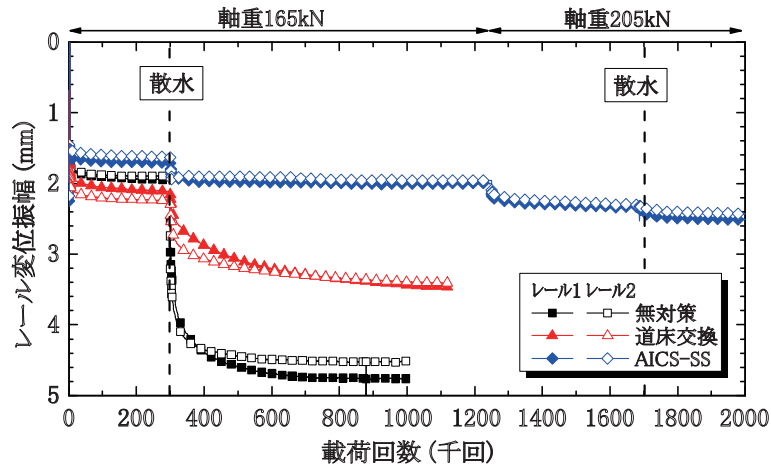


図11 荷重点直下のレール変位振幅の推移

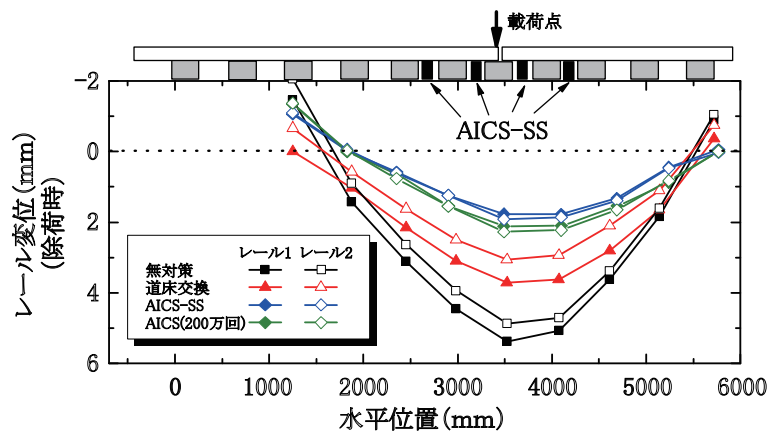


図12 100万回荷役後のレールの変位分布（除荷時）

205kNまで増加させても沈下が急激に増加する傾向はみられなかった。また、レール2本の変位量の差はほとんどみられなかった。

図11に荷重点直下におけるレール変位振幅の推移を示す。無対策ケースの変位振幅は散水後に急激に増大して4mm以上となり、明らかな浮まくらぎ状態となって

衝撃的な荷重が発生した。さらに、2本のレールに0.2mm以上の変位振幅差が発生した。部分道床交換ケースについては、散水後の変位振幅は3mm程度であったが、その後変位振幅は増加し、浮まくらぎが顕在化する傾向がみられた。AICS-SSケースについては、散水や軸重の増加に伴う変位振幅の増加はわずかであり、すぐに一定

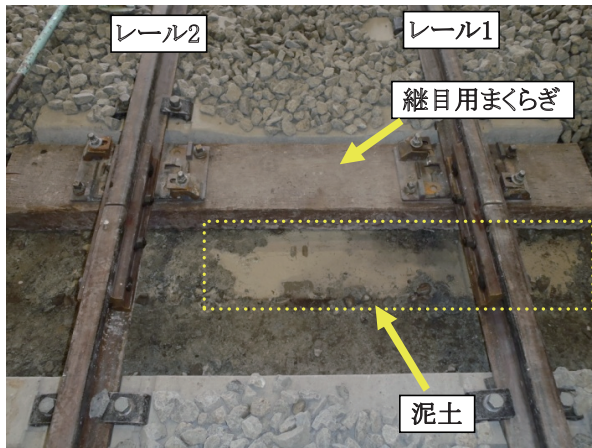


図 13 無対策ケース終了後の継目部の道床状態

値に収束する傾向がみられた。また、最終的な変位振幅は2.5mm程度であり、浮まくらぎは発生しなかった。

図 12 に各ケースにおける 100 万回载荷後の除荷時レール変位分布を示す。無対策ケースは载荷点付近を中心に V 字型に局所沈下が発生しており、部分道床交換ケースはそれより 3 割程度沈下量が低減しているものの、2 本のレールの変位差が大きいことがわかる。これに対して、AICS-SS ケースは局所沈下を効果的に押さえ、さらにレール 2 本の変位差も低減させている。なお、本試験はレール継目上に载荷点を固定した定点繰返し载荷試験であり、さらにレール両端を固定していないため、実軌道に比べてアップリフトが顕著になっている点に注意する必要がある。

4.2 道床の状態

図 13 は、無対策ケース終了後に道床交換を行うために、継目部付近のバラストを撤去した際に観察された継目用まくらぎ下の道床状態である。写真右がレール 1、左がレール 2 であるが、レール 1 側の方のバラストの泥土化が顕著であることがわかる。ところで、無対策ケースにおいてレール 1 の方がレール 2 よりも 0.2mm 変位振幅が大きかったことから (図 11)、レール 1 側の方が

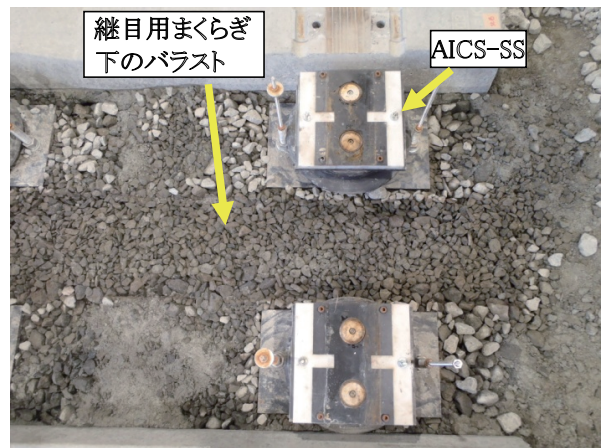


図 14 AICS-SS ケース終了後の継目部の道床状態

まくらぎ支持剛性が小さかったことが明らかである。すなわち、レール 1 側の方が道床に対するポンピング作用が大きく、より多くの細粒分が土砂混入バラストから分級されて堆積したものと考えられる。

図 14 は AICS-SS ケース終了後の継目用まくらぎ下付近の道床状態である。継目用まくらぎ下および AICS-SS 下は豆碎石によって部分道床交換されており、泥土の堆積はみられなかった。

4.3 AICS-SS の沈下補正効果

図 15 に、AICS-SS 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-SS 直下のバラスト沈下量) の推移を示す。AICS-SS ケースにおけるレールの最終的な除荷時沈下量は約 2mm であったのに対して、AICS-SS の補正量は約 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、散水等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できることが確認された。

また、図 15 において、1 回目の散水時ではレール 1 側よりもレール 2 側の方が補正量が多く、軸重増加後の

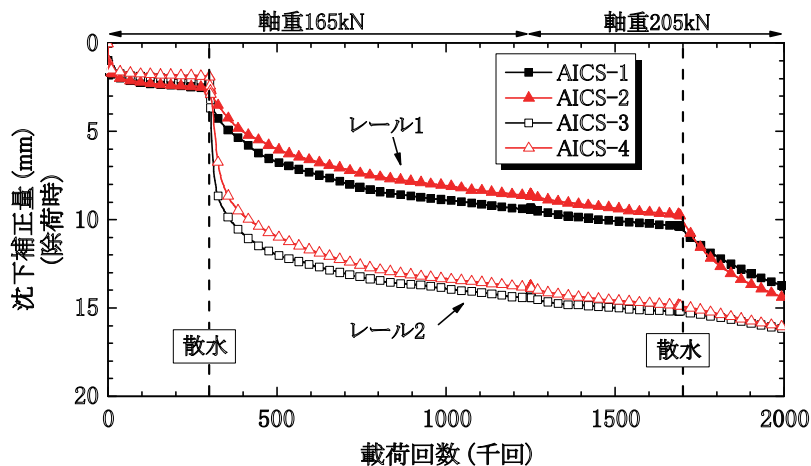


図 15 継目部付近における AICS-SS の補正量 (除荷時) の推移

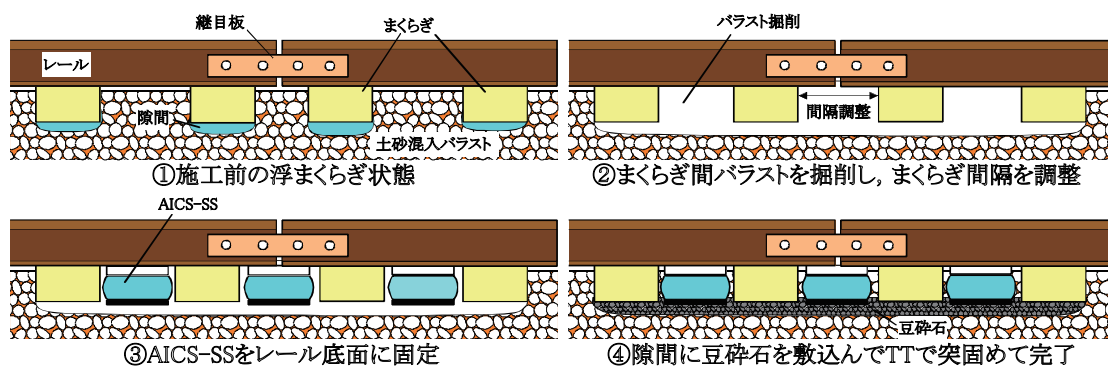


図 16 AICS-SS の敷設手順（掛け継目の例）

2 回目の散水においてはレール 1 側の補正量が増大しているが、図 10 からわかるように、いずれの場合においてもレール 2 本の変位差はほとんど発生していない。したがって、AICS-SS は、局所的な左右レール変位差の抑制にも効果があることが確認された。

なお、本実験で使用した AICS-SS 試作機の最大補正量は 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。

5. 試験線への AICS-SS の試験敷設

営業線における試験施工に向けて、AICS-SS の施工性および安全性を確認するため、鉄道総研内の試験線において AICS-SS の試験敷設を行った。図 16 に敷設手順の概要を示す。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、図 13 の様に既設まくらぎ下で道床噴泥が発生する可能性がある。そこで、土砂混入率が高いバラストの場合は、設置範囲のまくらぎ下 100mm 程度を豆砕石等に置換えることを推奨する(図 17)。図 18 に敷設後の状況を示す。敷設箇所は、R=160m 程度、カント=100mm 程度の急曲線部であるが、特に問題なく動作し、継目部の浮まくらぎを抑制している。

6. まとめ

実物大軌道模型を用いたレール継目部の繰返し载荷試験の結果は、以下のとおりである。

- 1) 粘土分が多い土砂混入バラストの含水比が増大すると強度が低下し、軌道沈下が急速に進行するが、まくらぎ直下だけ部分道床交換することによって一定の沈下抑制効果が認められた。
- 2) AICS-SS をレール継目部付近に設置することで、劣悪な道床条件においても浮まくらぎの発生および軌道沈下が抑制されることが確認された。また、



図 17 AICS-SS の敷設



図 18 敷設後の状況

左右レールの変位差の抑制にも効果があることが確認された。

7. おわりに

AICS-SS については、近日中に営業線における性能確認を行い、2013 年度中に実用化する予定である。

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
- 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