

バラスト交換を減らす

村本 勝己

軌道技術研究部(軌道・路盤 主任研究員)



むらもと かつみ

はじめに

図1に軌道の構造として最も一般的なバラスト軌道の構造を示します。バラスト軌道は、基本的にレール、締結装置、まくらぎ、道床で構成されています。この道床には、一般に粒が大きめで、大きさが比較的揃っている砂利が使用されていますが、鉄道業界においてはこの砂利をバラストと呼びます。バラスト(ballast)とは、そもそも「調整する物」という意味なので、バラスト軌道とは「まくらぎ下に敷いた砂利によって線形を調整する軌道」ということとなります。バラストには、過去にはふるい分けした砂利(主に河川から採取してふるい分けした砂利)が使用されていたこともありますが、環境保護などの理由により、日本では現在ほぼすべて砕石(岩塊を人工的に砕き、ふるい分けした砂利)が使用されています。

ところで、近年、日本で新たに建設されている軌道には、バラスト道床を用いないスラブ軌道や直結軌道(図2)が多く採用されています。これらは、路盤や土木構造物に剛に結合された軌道で、列車荷重によって大きな変形をすることがなく、安定性に優れた軌道です。線形の微調整は基本的に締結装置で行いますが、あまり大きな調整はできませ

ん。したがって、スラブ軌道や直結軌道を支える土木構造物には高い精度や安定性が要求されます。

一方、バラスト軌道は、土木構造物の多少の変形はバラスト道床で調整して線形を保つことができるので、設置条件を選びません。したがって、列車が非常に多く走るような路線を除けば、バラスト軌道は現代でもコストパフォーマンスに優れた軌道構造といえます。

さて、このバラストですが、日本では20~30年程度で交換(更新)されることが多いようです。しかし、特に耐用年数が定められているわけではありませので、バラスト交換の周期はできるだけ長く、交換量は少ないに越したことはありません。そこで、バラスト軌道の補修法の課題と、バラスト交換を前提としない軌道補修方法の概要についてご説明します。

タイタンパーによる軌道補修

- バラスト軌道が優れているのは、バラスト道床が
- ・列車荷重を支える十分な強度
 - ・軌道の線形の調整機能
- の2つの性能を兼ね備えているからです。この調整機能

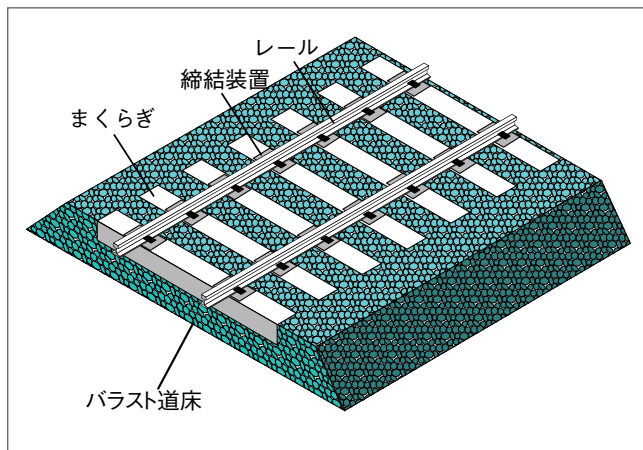


図1 バラスト軌道

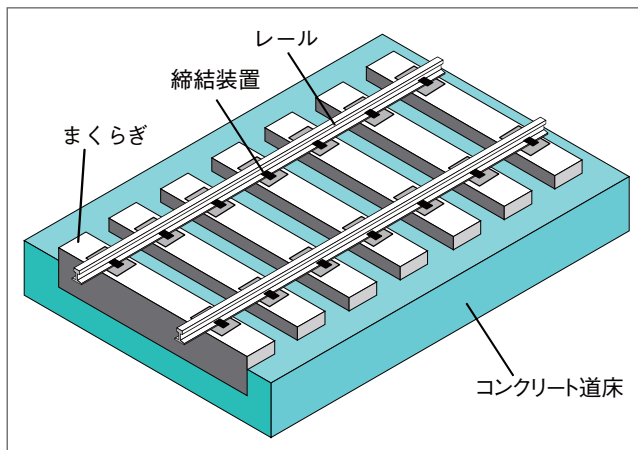


図2 直結軌道



図3 ハンドタイタンパー



図4 マルチプルタイタンパー

を最大限に発揮するために必要なのが、タイタンパーという補修機械で、人が持って作業するハンドタイタンパー（図3）と、大型車両機械のマルチプルタイタンパー（図4）の2種類が一般に使用されています。タイタンパーによる軌道補修とは、図5に示すように、沈下したまくらぎをジャッキアップし、ツールと呼ばれるヘラ状の部材を挿し込み、振動させながらまくらぎ下にバラストを掻き寄せて軌道の高さを修正するというものです。ただし、タイタンパーによる軌道補修には、このバラストを掻き寄せる過程で、列車荷重によって締め固まっていたバラストを若干緩めてしまうという問題があります。

ここで、軌道保守を行った後のバラスト軌道の典型的な沈下曲線を図6に示します。この図が示すように、一般にバラスト軌道は補修直後に急速に沈下し、その後は概ね列車通過量に比例して沈下が徐々に進行していきます。前者は、主に道床が締め固まって密度が増加していく過程で、初期沈下といいます。後者は、主に列車の振動によって道床が崩れていく過程で、定常沈下といいます。

通常は、タイタンパーによる軌道補修によってバラスト

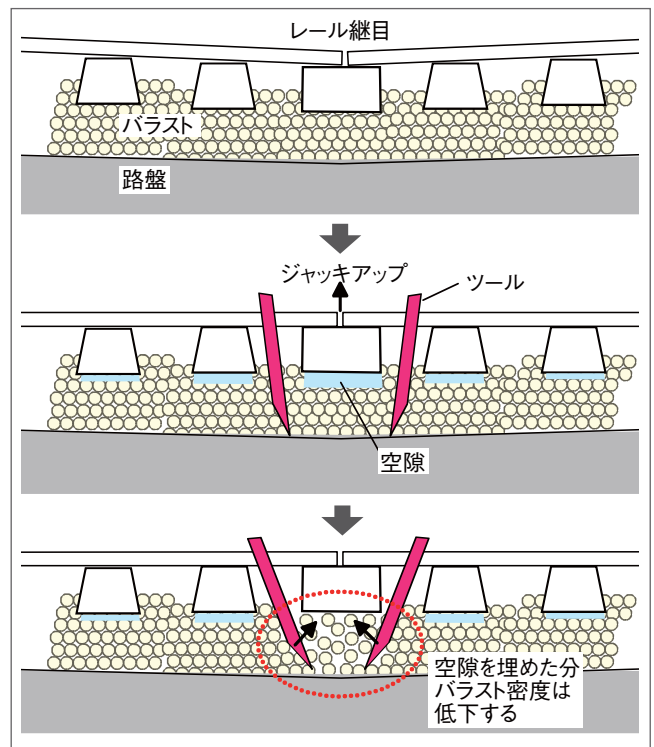


図5 タイタンパーの原理

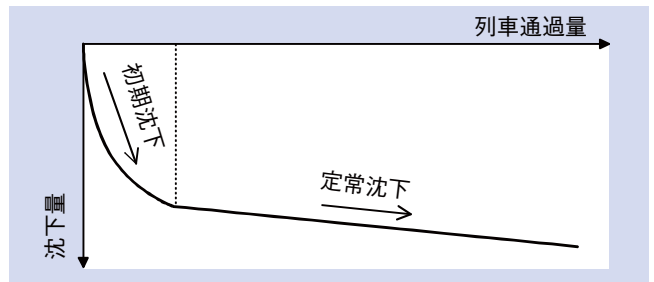


図6 バラスト軌道の典型的な沈下曲線

が緩んだとしても、健全なバラストは粒径が比較的揃っているために、密度はあまり低下しません。これは、例えば玉の大きさが揃っているパチンコ玉を箱の中に詰める場合、どんな入れ方をしても箱の中に詰められる玉の個数に大差がないのと同じ理屈です。結局のところ、補修後の密度があまり低下しないのであれば、初期沈下量も少ないということになりますので、粒径が揃っているバラストはタイタンパーによる補修と極めて相性が良いといえます。

バラストの劣化

しかし、バラストは通常、使用しているうちに破碎や摩耗が進行しますし、外部から土砂が混入したりすることもあります。その結果、粒径は小さくなり、粒径の分布も広がりますが、これを一般にバラストの劣化といいます

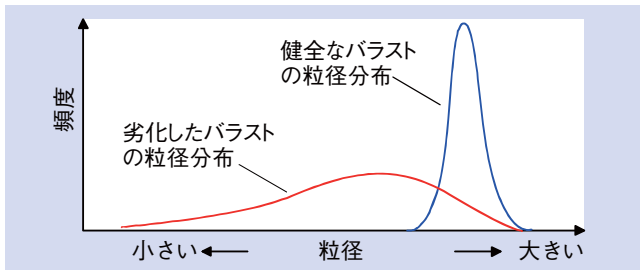


図7 バラストの劣化の概念図



図8 劣化したバラストの例

(図7, 図8)。バラストの劣化が進むと、タイタンパーによる軌道補修を行った直後の密度変化が大きくなり、初期沈下量が次第に増えていきます。これは、補修をしてもすぐに沈下が再発してしまうということであり、補修の周期が次第に短くなっていくこととなります(図9)。最終的には、劣化したバラストを新品に交換しなければなりません。

ただし、ここでいうバラストの劣化とは、必ずしも力学的劣化を意味するものではありません。粒径の分布が広いバラストは、列車荷重でよく締め固められると健全なバラストよりも密度が高くなるため、強度はむしろ増加します(図10)。問題は、タイタンパー補修では補修の度に密度を低下させてしまうため、密度変化しやすい劣化したバラストの強度特性を生かせないことにあります。

タイタンパーを使用しない軌道補修

タイタンパー以外の軌道補修法の選択肢としてまず挙げられるのが、英国で実用化されているストーン・ブローア(Stone Blower)という補修機械です。図11にストーン・ブローアの基本原理を示します。これは、ジャッキアップしたまくらぎと既設のバラストとの隙間に、比較的小粒径の碎石を空気圧で充填して、軌道の高さを修正するもので、マルチプルタイタンパーと同様の大型の車両機械です。タイタンパーと異なり、列車荷重で締め固まった既設のバラストを緩めないの、劣化したバラストでも初期沈下量が少ないと考えられます。

日本でも、まくらぎ下に小粒径の碎石を敷き込む方法は、

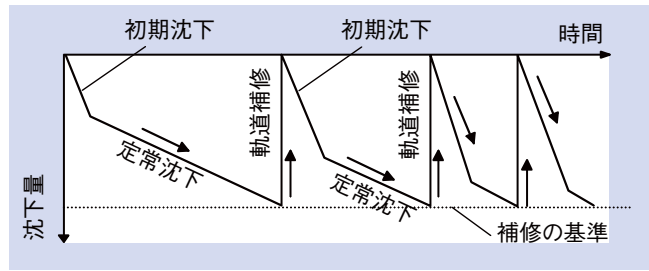


図9 軌道補修周期の概念図

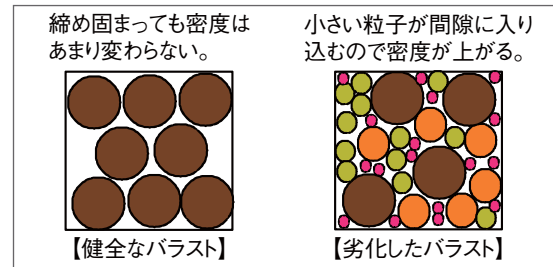


図10 締め固まったバラストの密度

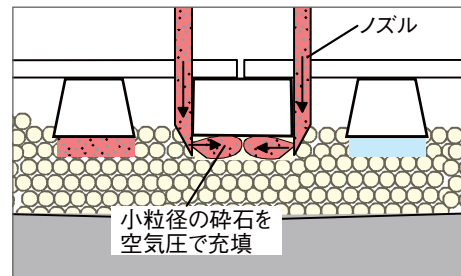


図11 ストーン・ブローアの原理

過去に行われていました。主に、スコップなどを用いてまくらぎ下に碎石を押し込む簡易な方法(豆碎石敷込み工法)ですが、現在ではほとんど行われていません。これは、
①施工性や仕上がり精度が良くなかった。
②既設のバラストの締め固めが進んで硬化するのが好ましくないとされた。
といったことが理由のようです。

しかし、近年、まくらぎ下に何らかの調整物を入れて既設のバラストを緩めずに軌道の線形を補修するという考え方が、バラスト軌道の補修の選択肢として見直されつつあります。その手法は概ね、

- ①空気圧などで小粒径の碎石や砂を敷き込む方法
 - ②液体の樹脂やモルタルを流し込んで固める方法
- の2種類に大別されます。①の方法は、豆碎石敷込み工法や簡易型のストーン・ブローアなどですが、簡易な装置で充填した材料は密度や強度が低く、沈下抑制効果がありません。一方、②の方法は、硬化した充填材の強度が高いことから沈下抑制効果は期待できますが、硬化のコントロールが難しいために短い列車間合いでの施工が難しいことや、再補修が難しいといった問題があります。

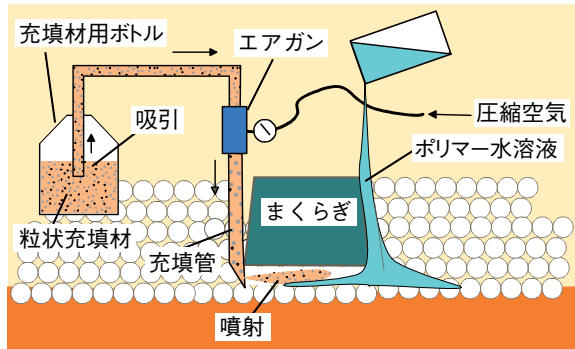


図12 水ガラス・ポリマーゲル充填工法の概要



図13 粒状充填材の充填

水ガラス・ポリマーゲル充填工法

前記の問題を踏まえて、鉄道総研では、主にローカル線の軌道補修コスト削減のために、水ガラス・ポリマーゲル充填工法¹⁾(図12)の開発を進めています。本工法は、まず空気圧でまくらぎ下に粒状充填材を充填し(図13)、その後ポリマー水溶液を散布して(図14)充填材に浸透させて硬化させる工法です。本工法で使用する材料を表1に示します。本工法の特徴は以下の通りです。

- ①充填材は、硬化していなくても列車荷重を支えることができるので、短い列車間合いでも列車を通しながら施工することができる。
- ②硬化した充填材(図15)は適度な弾力を持ち、過度に硬化しないので、再補修も容易に行うことができる。
- ③本工法で使用される材料は、すべて地盤改良材や食品添加物などであり、土壌汚染のリスクが低い。

実用化に向けて現在も開発を進めていますが、営業線で行った試験施工の結果、ハンドタイタンパーによる補修と比較して、同一箇所での軌道の変位速度が約1/3になるという結果²⁾が得られています(図16)。

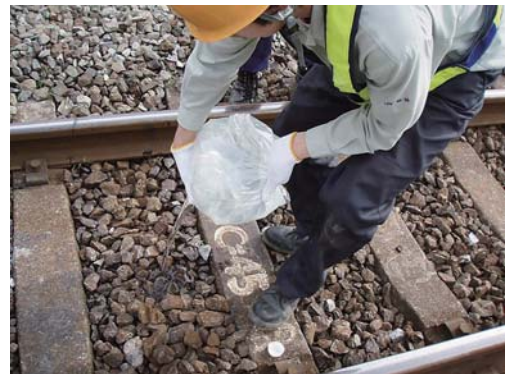


図14 ポリマー水溶液の散布



図15 硬化したまくらぎ下の充填材

おわりに

タイタンパーによる軌道補修がバラスト軌道の補修の中心であることに今後も変わりはありませんが、タイタンパーによる補修がすべての場合に最適であるわけではありません。鉄道総研では、劣化したバラストに対しても有効な軌道補修方法を実用化し、軌道補修の効率化を目指します。

なお、水ガラス・ポリマーゲル充填工法は、国土交通省の補助金を受けて開発しています。**RRR**

文献

- 1) 中村貴久, 村本勝己, 三田地利之: 水ガラス・ポリマーゲル充填による有道床軌道の補修法の開発, 鉄道総研報告, Vol.23-10, pp.23-28, 2009
- 2) 中村貴久, 奥村隆之: 生分解性ポリマーを用いた有道床軌道の補修法の開発, 新線路, Vol.63-12, pp.29-31, 鉄道現業社, 2009

表1 充填材料の諸元

材料名称	諸元	備考
ポリマー水溶液	ポリビニールアルコール(PVA) 12%水溶液	土壌改良材 (生分解プラスチック)
粒状水ガラス	3号珪酸ソーダ造粒体	地盤改良材
有機酸粉末	スルファミン酸	食品添加物
珪砂	3号人工珪砂	

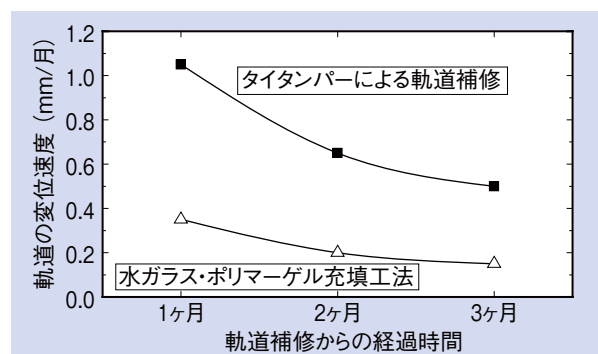


図16 現地試験における補修効果の比較²⁾に加筆修正