

バラスト碎石の三次元挙動測定法

バラスト軌道は「道床バラスト」と呼ばれる任意形状を有する硬い碎石粒子の集合体から出来ています。個々のバラスト粒子には、高速走行する列車からの動的荷重および衝撃荷重を受けて、微小な回転や移動、粒子間のすべり、粒子破碎、摩耗現象が生じ、これらの微小現象が長期間にわたり累積して、道床内部に局所的な塑性変形が不均一に発生します。軌道面においては、不同沈下による軌道不整をもらたすことになります。

これら塑性変形の進展現象のメカニズムは、道床の骨格構造をなす不連続なバラスト粒子集合体の力学的特性に支配されます。したがって、走行荷重による軌道破壊のメカニズムを解明するには、まずは、道床内部の見えないところにある、バラスト粒子集合体がいかなる動きをしているのかをマイクロレベルで詳細に測定し、現象を把握することが大切です。

道床バラストの動的挙動に関しては、従来、一軸加速度センサを道床に直接埋設したり、あるいは、一軸センサをとりつけた碎石を道床内部に埋設して、いわゆる「道床振動加速度」を測定することが行われています。しかし、一軸加速度センサでは、測定軸がどの方向を向いているのかを特定できません。そのため、センサを道床内部に設置後、

道床のつき固め作業により、センサが移動・回転し、当初予定していた設置角度からずれて、正確な測定が難しいという問題点がありました。さらに、バラストの粒状性に着目すると、個々の粒子の回転挙動が塑性変形の大きな要因となるので、バラスト粒子集合体の挙動の測定に関しては、ある軸方向の往復振動（並進運動）のみではなく、バラストの回転運動を含めた三次元的な挙動を測定することが肝要です。

加速度センサには各種のものがありますが、センシングストーン設置後に、碎石の設置角度を特定するためには、重力による静的な加速度の大きさとその向きを測定できる必要があります。また、車輪とレール間の衝撃荷重によるバラスト挙動も測定するためには、低周波から高周波までの良好な周波数特性も要求されます。

そこで、本特許は、従来用いられてきた一軸加速度センサにかわり、三軸方向の加速度が測定可能で、高周波までの測定性能に優れる「 piezo抵抗型三軸加速度センサ」を用いました。本センサは、動的な加速度のみでなく、地球の重力による静的な加速度も測定できます。静止状態での各軸の加速度出力値は、各軸の傾きに応じた地球の重力の分力となっており、このことをもとにセンサの設置角度

を計算で求めることができます。また、本センシングストーンはこの三軸加速度センサを複数個内蔵しており、センサ設置後に碎石がどんなに移動や回転をしても、センサの設置角度とともに、バラストの水平方向、鉛直方向、奥行き方向の並進挙動、および、碎石の回転挙動も同時に測定できるようになりました。

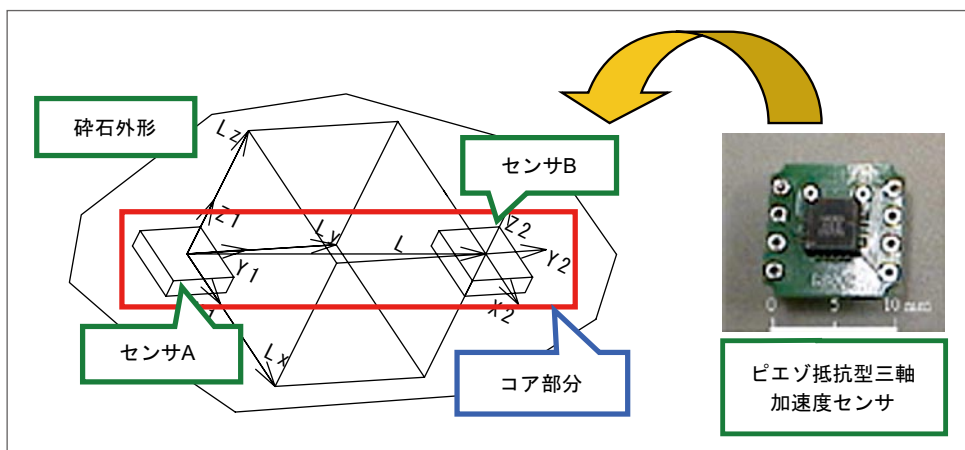


図1 三次元センシングストーンのしくみ

発明余話

在来線軌道にて測定試験を実施しました。設置場所はロングレールの溶接継目位置にあるまくらぎの直下15cmの道床内部です。図2は、まくらぎ側方からみた軌道の縦断面ですが、これは、静止状態での三軸加速度値と、碎石内部に取り付けたデジタル式方位センサより求めたものです。碎石内部にある2個のセンサを結ぶ直線は、真上から見るとほぼレール方向に一致していましたが、図のように横から見ると、両センサを結ぶ直線が水平面となす角はおよそ34°でした。本センシングストーンは水平に設置したのですが、その後のつき固め作業で、センシングストーンの上下面が逆さまになり、さらに大きく傾いたことがわかりました。このことは、重力軸を特定できるセンサの必要性を物語っています。

また、図3は測定結果の一例です。これは、特急列車(走行速度78km/h)の先頭車両の前台車の第1軸、第2軸が通過する時の、センシングストーンの鉛直方向加速度について、並進成分と回転成分に分けて示したものです。回転挙動は角度単位でも表示できますが、ここでは並進挙動との比較のため加速度単位で示しました。図より、台車の第1軸、第2軸の通過による走行荷重を受けたバラスト

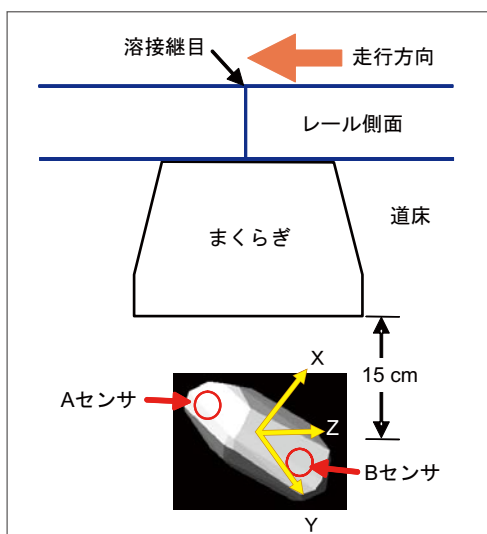


図2 静止時のセンサ出力値から求めたセンシングストーンの設置状況

※記事に関するお問合せ先：情報管理部(知的財産)
NTT：042-573-7220 J R：053-7220

《権利メモ》

発明の名称：三軸加速度センサーを用いた三次元センシングストーン

概要：道床内の碎石の三次元的な並進挙動と回転挙動とを同測定可能とした三次元センシングストーン

出願番号：特願2006-260726 (2006.9.26)

公開番号：特開2008-81952 (2008.4.10)

総研発明者：相川 明

は、荷重載荷直後に大きく運動した後、高周波の激しい振動を伴って急激に減衰したことがわかります。また、載荷直後の高周波応答は回転成分についても見られます。これらのことより、車輪・レール間の荷重成分が、まくらぎ下15cmのバラストまで伝わっており、しかも、バラスト粒子には、並進運動のみではなく回転運動(回転振動)も発生していることが確認できました。

本稿では、列車走行時の道床内部バラストの三次元的な動的挙動(並進運動・回転運動)を測定するために開発したセンシングストーンのしくみについて紹介しました。本特許が、軌道破壊のメカニズム解明とその対策法の検討のための一助となれば幸いです。

(鉄道力学研究部 軌道力学 相川 明)

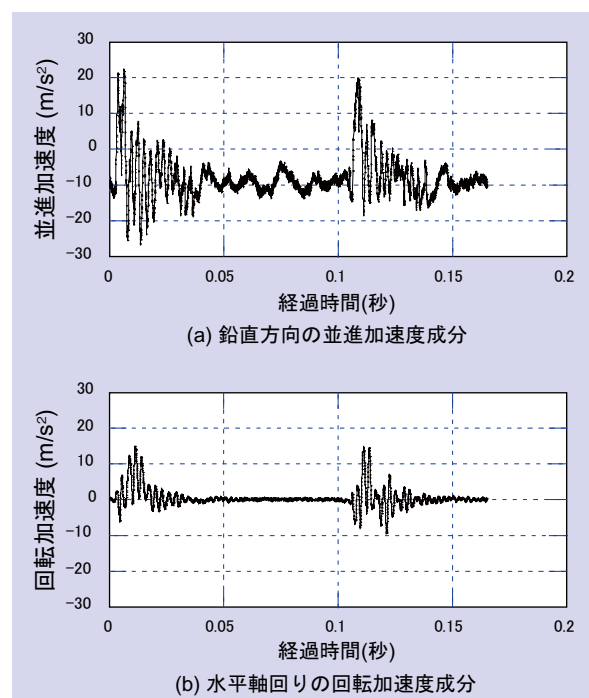


図3 鉛直方向加速度に関する測定例