新幹線のスラブ・バラスト境界における軌道変位の特性評価

JR 東日本　正会員　○瀬谷　誠
株式会社日本線路技術　正会員　緒方政照
JR 東日本　正会員　原田彰久

1．はじめに

JR 東日本の新幹線は、開業から約 30 年が経過した。この間、列車の最高速度は、210km/h から 300km/h に引き上げられている。軌道構造は、おもにスラブ軌道が採用されている。しかし、駅などにおいて部分的にバラスト軌道が存在するため、スラブ軌道とバラスト軌道の境界が約 200 箇所存在する。このような箇所では、図１に示すとおり軌道構造が急変するため、一般区間よりも高低変位が進みやすく、また、乗り心地も悪化しやすい。経年や列車の高速化に伴う保守コストの増加や乗心地の観点から、構造の改良が求められている。

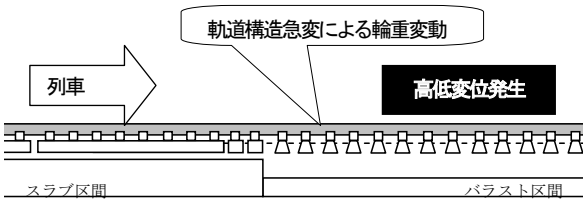

図１　新幹線のスラブ・バラスト境界構造

2．目的

新幹線のスラブ・バラスト境界における軌道変位の特性を分析・評価し、最適な改良構造の策定に寄与することを目的とする。

3．現状分析

現行の構造について分析した結果、以下の傾向が確認された。

- 列車進行方向「スラブ→バラスト」において通トンと軌道変位進み(10m 弦高低)に相関が見られた
- 10m 弦高低変位が主たる変位であり、長波長変位の数値に影響を与えている。
- 軌道変位(10m 弦高低)は、初期沈下の影響が大きい
- 軌道変位(10m 弦高低)が概ね-4mm 程度に達すると軌道整備を実施している。

また、軌道変位発生箇所における特徴的な現象として、浮きマクラギが発生していると推測された。そして、これは軌道変位進みにも影響すると考えられる。しかし、定量的に把握できていないことから、現場調査および解析により評価を試みた。

4．現場調査

浮きマクラギの状況を確認するため、現場調査を実施した。ここで、浮きマクラギ量の定義を、締結装置を緩解した際のマクラギ本体沈下量（レール直下)、とした。調査結果を図２に示す。

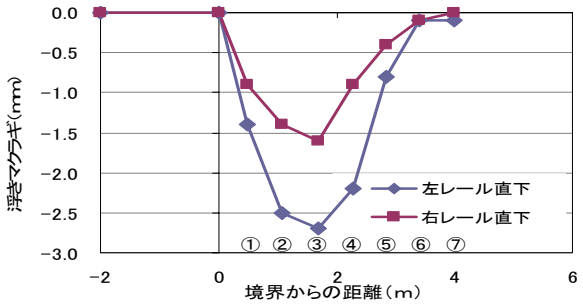

図２　浮きマクラギ発生状況

調査の結果、最大で 2.7mm の浮きマクラギが発生していることがわかった。なお、この箇所の 10m 弦高低変位（動的）は、左 -3.1mm、右 -3.4mm であった。また、発生範囲は、マクラギ③、④本目をピークに、⑥、⑦本目までであった。この傾向は調査を実施した他の 2 箇所についても同様であった。

5．解析による検証

浮きマクラギによる軌道変位進みへの影響を調査するため、解析を実施した。概要は以下のとおり。

5.1　解析方法

（1）解析モデル

軌道動的解析モデルを用いる（図３)。

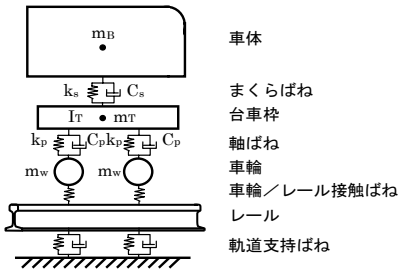

図３　軌道動的解析モデル

（2）解析条件

列車走行条件については、進行方向を「スラブ軌道区間」→「バラスト軌道区間」とする、列車速度は 320km/h とする、車両は新幹線Ｅ５系とする。

軌道条件については、60kg レールのロングレール区間とする。浮きマクラギは実測結果をもとにモデル化する(図４)。

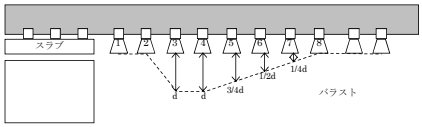

図４　浮きマクラギのモデル化

（3）解析範囲

図５に示すとおり、スラブ区間 5m、バラスト区間 15m の範囲とする。

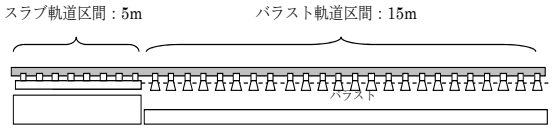

図５　解析範囲

5.2 解析結果

浮きマクラギの有無による結果は以下のとおり。

（1）車輪上下変位

車輪上下変位の出力を図６に示す。浮きマクラギのない場合は境界部で軌道弾性の変化に応じて急変し、若干のオーバーシュートを示した後、有道床軌道側の軌道弾性に応じた一定変位に収束する。浮きマクラギがある場合にはこの部分で変位波形が乱れ、大きな上下変位を示す。いずれの場合もこの車輪上下変位が輪重変動を誘発する。

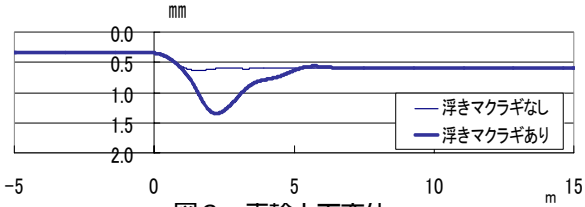

図６　車輪上下変位

（2）輪重変動

輪重変動の出力を図７に示す。境界部での車輪変位が急激に変化するほど大きくなる。浮きマクラギがない場合には、輪重変動は3kN程度となっており、静止輪重の6～7%にとどまっている。輪重変動は、境界部から 1～1.5m 程度の箇所で最大となるが、おおむね3m 程度の範囲で収まる。浮きマクラギが存在する場合は全般に輪重変動は大きくなり、最大で15kN程度となる。浮きマクラギによって、輪重変動の拡大とともに、輪重変動波形に高周波のビビリ振動がみられ、レールとの相互作用で、その影響がやや遠方にまで及んでいる。これは浮きマクラギが、車輪通過時に急激な下方変位を総じて道床を衝撃することによる現象と考えられる。

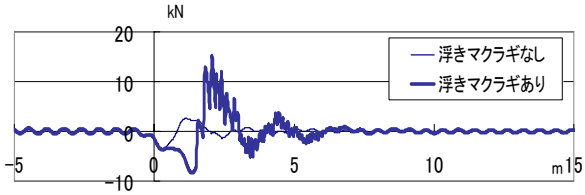

図７　輪重変動

（3）マクラギ底面作用力

図８にマクラギ底面作用力の出力を示す。浮きマクラギがある場合、当該マクラギは一定の荷重がかかるまでは道床からの反力を受けないため、その隣接マクラギが大きな反力を負担することとなる。そこで、ここでは浮きマクラギの隣接マクラギに着目した。解析結果では、この作用力は浮きマクラギがない場合で17kN程度、浮きマクラギがある場合で最大23kN程度となっており浮きマクラギによって 40%程度の増加が見られる。このことから、浮きマクラギによって、その周辺マクラギが厳しい条件に置かれているといえる。

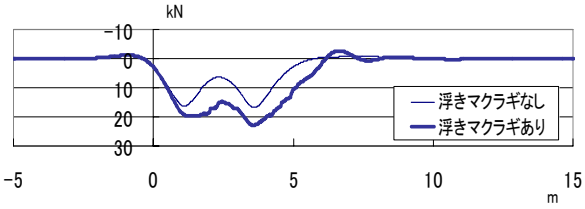

図８　マクラギ底面作用力

（4）道床加速度

図９に道床加速度の出力を示す。浮きマクラギのない場合で 13m/s^2 程度、浮きマクラギのある場合で16m/s^2 程度となっており、浮きマクラギによって、25%程度大きくなっているが、数値自体は特に大きいものではない。しかしながら、境界部の特定の箇所で常時通常より大きい振動加速度にさらされることにより、軌道変位進みが助長されると考えられる。

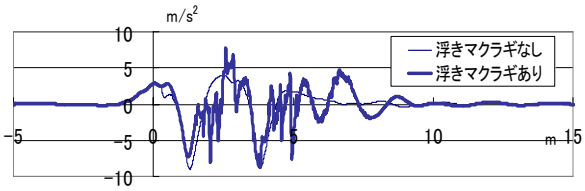

図９　道床加速度

（5）軌道破壊評価値

表１に軌道破壊評価値の比較を示す。軌道破壊評価値はマクラギ底面作用力と道床加速度の積で表わされるが、いずれも浮きマクラギによって大きくなるため、軌道破壊評価値としても 70%程度大きくなっている。軌道変位進みについても浮きマクラギが影響するものと考えられる。

表１　浮きマクラギ有無による比較

浮きマクラギ	レール段差 (mm)	輪重変動 (kN)	まくらぎ底面作用力 (kN)	道床加速度 (m/s^2)	軌道破壊評価値	
なし	0.32	3.28	16.87	12.98	218.9	100%
あり	1.00	15.16	22.95	16.37	375.7	172%

６．まとめ

スラブ・バラスト境界部における軌道変位発生箇所では浮きマクラギが発生しており、軌道変位進みにも影響を与えることがわかった。

【参考文献】

1) 三浦重:軌道構造の動特性モデルの構築, 鉄道総研報告 Vol. 9, No. 12, 鉄道総研, 1995. 12.