

軸箱加速度を用いたレール凹凸の管理

須永 陽一 (株式会社テス 技術部)

はじめに

線路は車両から繰り返し荷重を受けることで、徐々に変形します。人が感じる車両の揺れに影響する変形の波長は5m以上とされています。この波長域には厳しい管理目標が定められ、軌道検測車等を用いて日常管理が行われています。ただし、レール表面の凹凸に代表されるような波長が5m以下となる短い波長領域の変形については、必ずしも統一された指標はありませんでした。そこで、車軸を支える軸箱に着目し、直接軸箱に振動加速度計を設置することにより、このような短い波長領域の線路の変形を捕捉できないかと考えました(図1)。ここでは、軸箱加速度を活用した短波長領域の管理手法について、その変遷を主体に触れてみたいと思います。

振動加速度計の選定

当初は、振動加速度センサの選定にも苦慮しました。将来的なことも考慮して、 10m/s^2 以下の小さい加速度も捕捉したかったため、高感度のセンサを用いたのですが、レールの継目などで衝撃を受けるため、破損するのではないかと危惧されました。

結局、出来るだけ廉価なセンサを用いて、壊れたら壊れた時と割り切ることにしました。最終的に採用した加速度計は、廉価なセンサで、測定範囲が 500m/s^2 のものを採用しました。また、不要な振動成分が混在しないように、

取付治具を用いなくて、直接軸箱に貼付けることとしました。現在でも衝撃で破損した事例はないようで、安心しています。

軸箱加速度を介在したレール凹凸と輪重変動

まず、軸箱加速度と、輪重変動と呼ばれる荷重の変動との関係を模索しました。しかし、検討を始めた20年前には、輪重測定は間欠測定法と呼ばれる方法で測定され、車輪1回転(約2.6m)で4個、約65cm間隔の間欠的なデータでした。これに対して、軸箱加速度は数cmの間で変動が生じていました。著大値は稀にしか発生しないので、中々マッチングしたデータの捕捉が出来ず、苦慮しました。当時はパソコンによるデジタル処理も夢の世界であり、アナログ的な手段に頼らざるを得ず、チャート上で波形を引き伸ばしたり、不要と考えられる成分を除去してみたりで、著大値を波形パターンから特定する毎日でした。2年ほど波形との睨み合いが続きました。その甲斐があつてか、

$$(\text{輪重} = \text{静止輪重} + 0.8 \times \text{車輪質量} \times \text{軸箱加速度})$$

と、質量に加速度を掛けたものが荷重を表すという、簡潔的な表現ができました(図2)。

また、0.2mm程度の非常に小さなレール凹凸でも、軸箱加速度は 80m/s^2 、輪重は静止輪重の約2倍の値となることも分かりました(図3)。

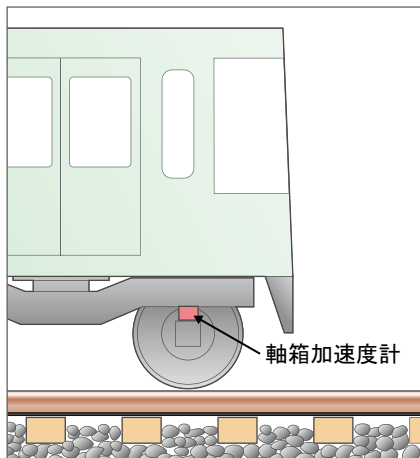


図1

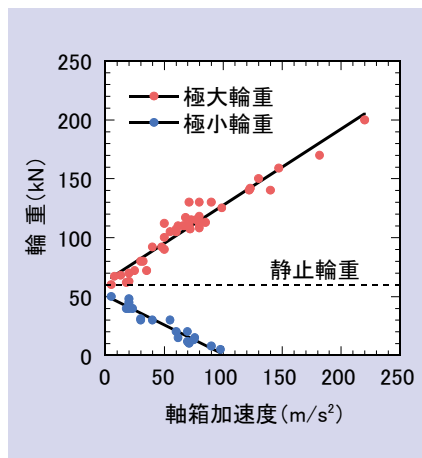


図2

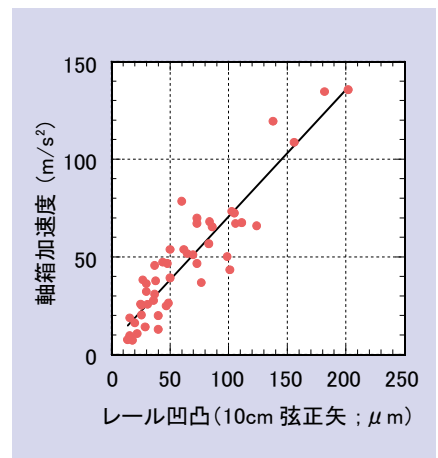


図3

浮きまくらぎとレール波状摩耗

ここで、図3は特定の箇所のデータを除外したもので表しました。輪重変動はレール表面の凹凸ばかりでなく、まくらぎ直下のバラストの支持状態にも影響を受けるためです。一般にこういう箇所は、浮きまくらぎと呼称されますが、車両の高速走行に伴って、浮きまくらぎによる著大輪重も無視できなくなりました。したがって、著大輪重の発生原因を軸箱加速度で判別できれば、保守上も非常に有効な手法と考えられました。

そこで、軸箱加速度の現象から、車輪と軌道の支持ばねで決まる固有振動的な変動要素を捨ててしまい、より質量の大きな車体の変動する要素を抽出する処理を試行しました。結果としては、レール凹凸による変動は除去され、浮きまくらぎによる変動だけを残すことができました(図4)。改めて簡潔な表現を用いれば、

(輪重 = 静止輪重の値 × 抽出処理後の軸箱加速度の値)

となりました。最初の表現で第2項を除去したものです。

実際に、現車試験で指摘された浮きまくらぎの箇所を補修すると、著大値も低減しました。

この判別法により、著大値発生箇所では、レール凹凸にはレール削正作業を、浮きまくらぎには突き固め作業をといった、的確な保守作業の選択も可能となりました。

さらに、稀に特殊な条件が重複した場合には、レール表面にレール波状摩耗と呼ばれる連続的な凹凸が発生することもあります。このレール波状摩耗の波長が、車輪質量と軌道支持ばねで決まる固有振動数に依存すると想定される時(新幹線では1m程度の波長)、軸箱加速度やレール凹凸の波形を見ると、レールの左側が凸ならば右側は凹と、連続的な凹凸は逆位相になることが分かりました(図5)。高速走行時の車輪は1m程度の短い間隔で、左右交互に荷重を移動させながら、走行していることとなります。

今後の管理手法

車輪とレールの間には、今後も予期できない色々な現象が生じると考えられます。例えば、車輪と軌道支持ばねで決まる固有振動数は、車輪回転とともに変化する可能性があるといわれています。軸箱加速度のピークとなる周波数も、走行速度の増加とともに若干高い周波数に移動することが認められています。

また、この固有振動数が、レール締結装置間隔から決ま

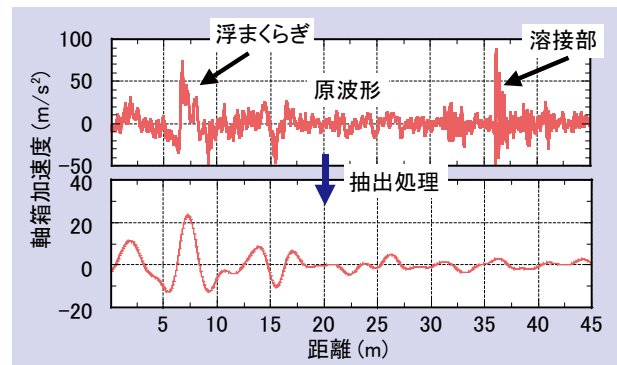


図4

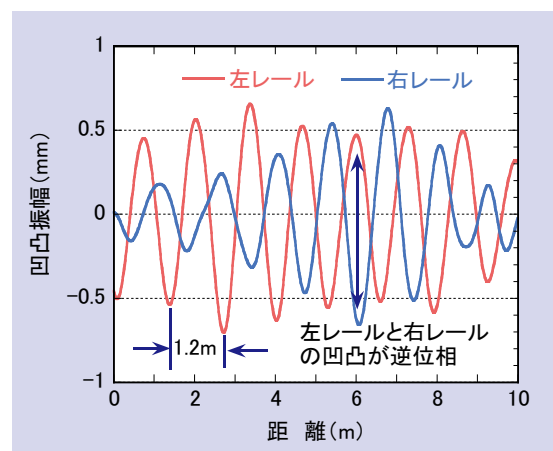


図5

る振動数に近づいた時、両者の間でうなりを生じ、大きな輪重変動となることも予想されています。

一方、効率的な管理手法の構築のためには、システムを構築する必要も生じます。このためには管理目標を明確にして、不要な振動成分の除去や、短波長領域の変動は走行速度に依存しますので、走行速度による補正にも配慮が必要となります。

おわりに

最後に、現在はパソコン等の急速な進歩もあり、つい人任せのデータだけで、机上の解析に頼ることがあります。しかし、肝心な現象を見誤ることが多々あります。実際の対象を何となくでも観察することが大事だと思います。大きなレール凹凸があればレール表面の照り面が急激に変化する様子を、浮きまくらぎがあれば直下の道床が白濁している様子を認識できると思います。必ず現場を観て、そこで何が起きているかを感じる必要があります。