

- 鉄道一般
- 車両
- 軌道
- 構造物
- 防災
- 電力
- 信号通信情報
- 材料
- 環境
- 人間科学
- 浮上式鉄道

# 構造物の境界： 盛土内部の異状を軌道検測データから診断する

軌道検測車で得られる検測データから、構造物境界部における盛土内部の状態評価を行うことができれば、盛土内部の効率的な詳細検査や効果的な補修を行うことができると考えられます。そこで、現場で管理している盛土内部のコア削孔調査の結果と軌道検測データを対比し、盛土内部状態評価法を検討しましたので、その内容について紹介します。



**矢坂 健太**  
Kenta Yasaka  
軌道技術研究部  
軌道管理研究室  
研究員  
【専門分野】 軌道保守計画



**坪川 洋友**  
Yosuke Tsubokawa  
前 軌道技術研究部  
軌道管理研究室  
副主任研究員  
【専門分野】 軌道保守計画、軌道検測

## はじめに

橋台やボックスカルバートなどの構造物と盛土の境界部では、雨水の浸透によって土粒子が流れ出し、盛土内部に緩みが生じることがあります。その結果、路盤沈下や軌道沈下が発生して、構造物と盛土の境界部が軌道管理上の弱点箇所となることが多くあります。一般的に、盛土内部の状態は図1のようなコア削孔調査などによって確認され、内部に緩みがあった場合にはセメントミルクなどの注入剤による補修が行われます。しかし、コア削孔調査はコストや時間が掛かるため、調査数を増やすのには限界があります。

一方、保線業務の中では、定期的に軌道検測車を走行させることにより、軌道の形状を確認しています。よって、盛土内部の緩みに伴って軌道の支持状態が変化する箇所の検出に軌道検測データを活用できる可能性が考えられます。そこで、軌道検測データを用いて構造物境界部の盛土内部の状態を評価し、緩みの有無を判定する手法を検討しましたので、その内容について紹介します。

## 盛土内部の緩みの検出に用いる指標の検討

軌道検測車では、主に偏心矢データ(図2；参照)と軸箱上下振動加速度データという軌道検測データを収録しています。以下に、各軌道検測データの概要について説明します。

### (1) 偏心矢データ

一般的に軌道検測では10m弦正矢法が用いられています。しかし、図3に示すように、10m弦正矢法では5mの整数分の1で検出倍率が0となるため、5m付近の波長の軌道変位を正確に把握できません。一方、近年の軌道

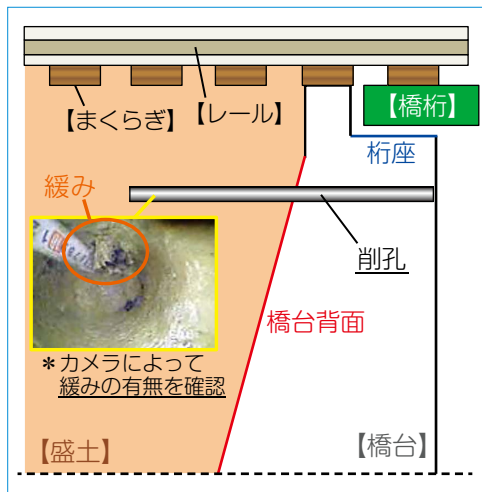


図1 橋台背面のコア削孔調査

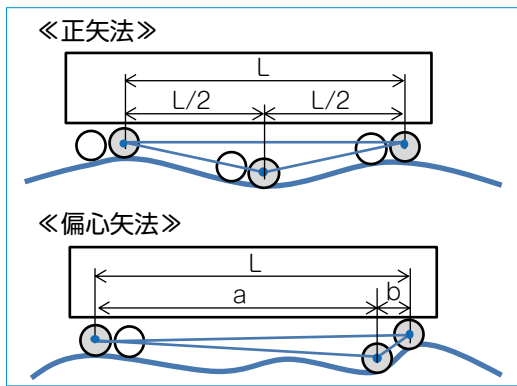


図2 正矢法と偏心矢法

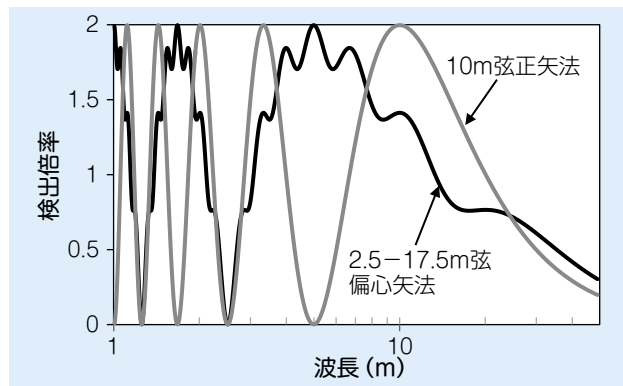


図3 10m弦正矢法と偏心矢法の検出特性



図4 加速度センサー取り付け状況

検測車では偏心矢法による測定が行われています。東海道・山陽新幹線用の軌道検測車(弦長:2.5m-17.5m)で用いられている偏心矢法では波長が2.5m以上であれば検出倍率が0とならないので、10m弦正矢法では把握できない5m付近の波長の局所的な軌道変位を把握することができます。

そこで、盛土内部の状態評価の検討に用いる指標として、橋台などの構造物のレール長手方向の延長を考慮し、10m弦高低変位と5m弦高低変位を候補としました。

## (2) 軸箱上下振動加速度データ

軸箱上下振動加速度データとは、図4のような台車の輪軸の軸箱支持装置に取り付けられた加速度センサーを用いて測定した上下振動加速度のことです。このデータによって、レール凹凸や波状摩耗、浮きまくらぎなどの状態評価ができます<sup>1),2),3)</sup>。

### ☞ 正矢法と偏心矢法について

正矢法とは、任意の長さの弦における midpoint の相対変位を検測する方法です。それに対して、偏心矢法とは、不等間隔の点の相対変位を検測する方法です。

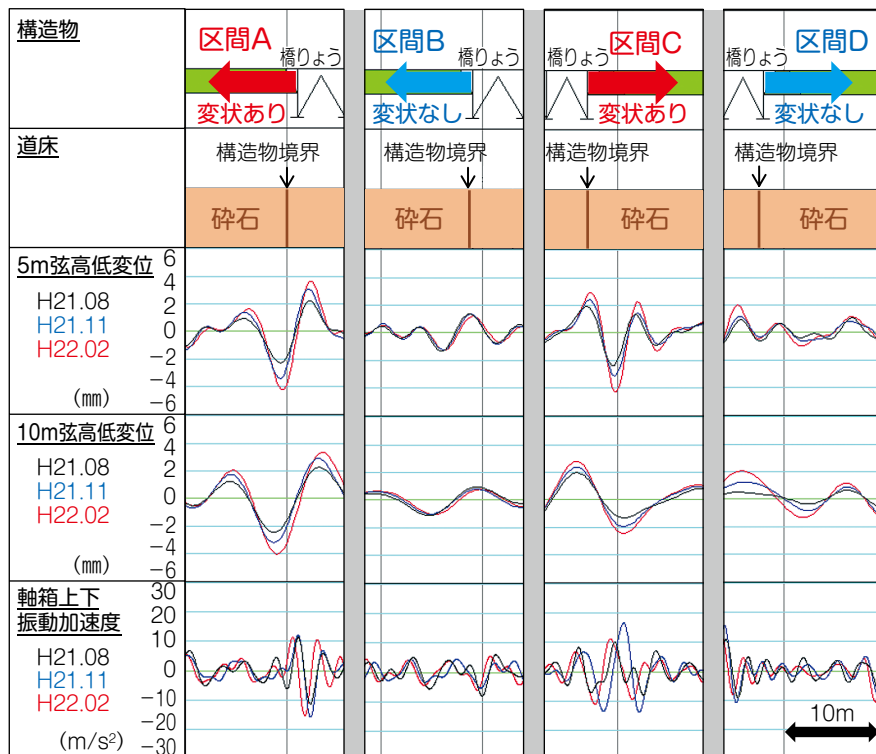


図5 構造物境界部における軌道検測波形  
(盛土内部緩みあり: 区間AとC, 盛土内部緩みなし: 区間BとD)

そこで、コア削孔調査において構造物境界部の盛土内部に緩みが確認され、その後、軌道沈下が発生して補修を実施した箇所の軸箱上下振動加速度を評価しました。その結果、盛土内部に緩みがある場合は、波長1.0~5.0mに着目した軸箱上下振動加速度が大きくなる傾向にありましたので、これを盛土内部の状態評価の検討に用いる指標としました。

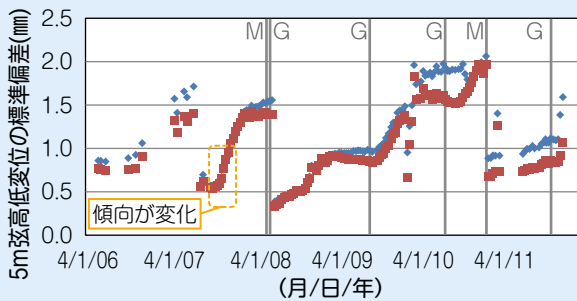
## 盛土内部の緩みが軌道検測データに与える影響

構造物境界部における盛土内部の緩みが軌道検測データに与える影響について評価しました。図5は、橋台背面

の盛土内部のコア削孔調査によって、緩みがあると判定された区間AとC、緩みがないと判定された区間BとDにおいて、5m弦高低変位と10m弦高低変位、及び波長1.0~5.0mに着目した軸箱上下振動加速度の波形を示したものです。ここで、区間AとB、及び区間CとDは比較的近い位置にあり、それぞれの軌道構造はほぼ同じです。

盛土内部に緩みがない区間BとDについては、高低変位、軸箱上下振動加速度ともに顕著なものはなく、波形の経時変化は小さいことがわかります。一方、盛土内部に緩みがある区間AとCについては、5m弦高低変位、10m弦高

【区間A：盛土内部に緩みあり】



【区間B：盛土内部に緩みなし】



◆左レール ■右レール M：マルチプル・タイ・タンパー施工 G：レール削正(※参照)

図6 5m弦高低変位の推移

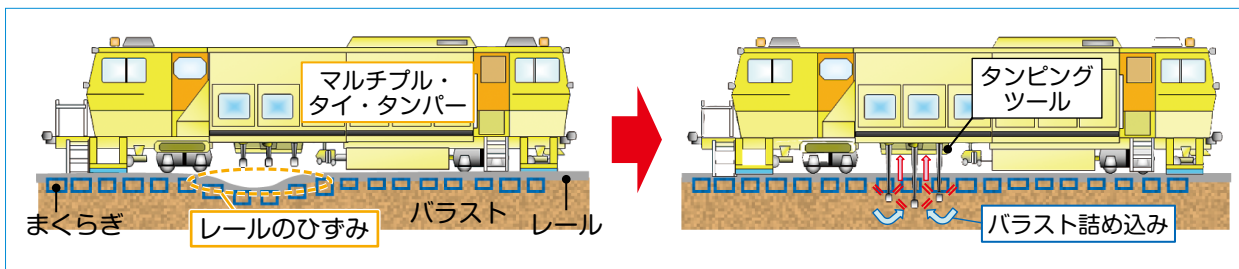


図7 マルチプル・タイ・タンパー施工

低変位は緩みのない区間BとDと比べて大きく、波形の経時変化も見られます。

また、高低変位の弦長で比較すると、区間Aでは高低変位の最大値は同程度ですが、区間Cでは5m弦高低変位の最大値の方が10m弦

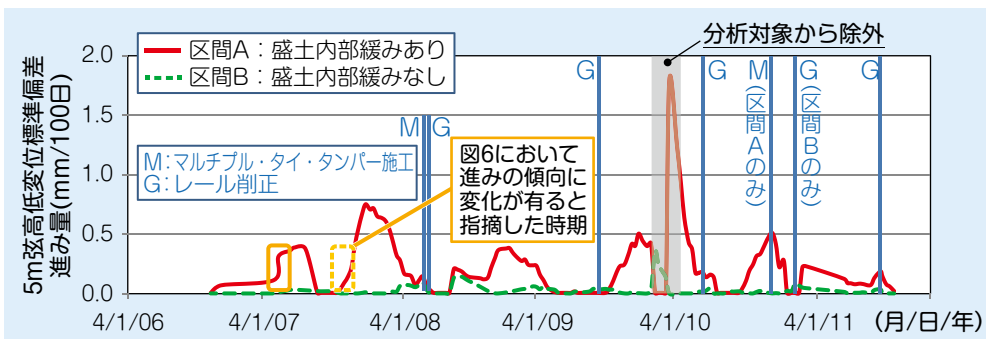


図8 5m弦高低変位進み量の推移

のものよりも大きいことがわかります。これは、構造物境界部における盛土内部の緩みの領域が局所的なものであり、10m弦よりも5m弦の方が短い波長の変化を捉え易いためと考えられます。

次に、区間AとCの軸箱上下振動加速度については、区間BとDに比べて大きい値であるものの、経時変化に着目した場合、軸箱上下振動加速度の最大値は必ずしも増加する傾向にないことがわかります。

これらのことから、軌道検測データによって構造物境界部の盛土内部の状態を評価する際には、10m弦高低変位よりも5m弦高低変位の方が有効であり、5m弦高低変位やその経時変化が評価指標として適用できる可能性が

高いことがわかりました。また、軸箱上下振動加速度については、経時変化を評価に用いることが難しいことから、5m弦高低変位で評価した区間に対して軸箱上下振動加速度の最大値を補足的な評価指標として用いるのがよいと判断しました。

### 5m弦高低変位による評価

5m弦高低変位を用いた構造物境界部の盛土内部の状態評価法を検討するため、盛土内部に緩みがある区間Aと盛土

内部に緩みがない区間Bについて、25mロットの標準偏差を算出し、約5年間にわたってそれらの推移を追跡しました。

両区間の推移図を図6に示します。盛土内部に緩みがない区間Bでは、5m弦高低変位の標準偏差は評価期間を通して変動が小さく、緩やかに大きくなっていることがわかります。一方、緩みがある区間Aでは、緩みが無い区間Bよりも5m弦高低変位の標準偏差が大きく、図7に示したようなマルチプル・タイ・タンパー施工などの軌道保守作

#### ※ マルチプル・タイ・タンパー施工とレール削正について

マルチプル・タイ・タンパー施工とは、マルチプル・タイ・タンパーという機械により、バラストを突き固めてまくらぎ下に詰め込むことでレールのひずみを矯正する作業のことです。レール削正とは、レール削正車という機械により、レール頭頂面の微小な凹凸を削正する作業のことです。

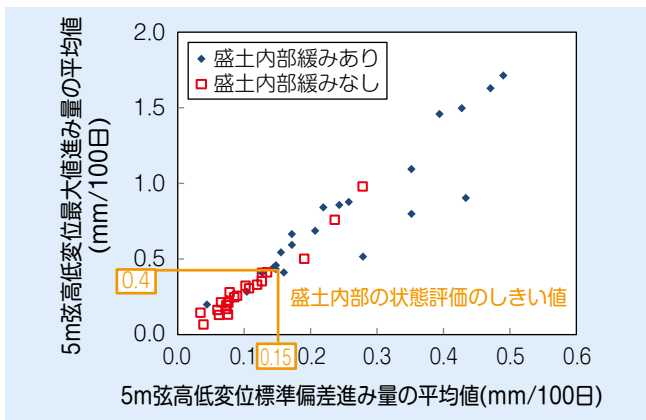


図9 5m高低変位の標準偏差と最大値の進み量の関係

表1 盛土内部の状態評価の適合率

指標組み合わせ	緩みあり (22 区間)	緩みなし (21 区間)
標準偏差のみ	82%(18 区間)	86%(18 区間)
最大値のみ	91%(20 区間)	76%(16 区間)
標準偏差 or 最大値	91%(20 区間)	76%(16 区間)
標準偏差 and 最大値	82%(18 区間)	86%(18 区間)

業によって一時的に良化するものの、半年ほどで保守作業前の状態に戻ることがわかります。また、2007年10月頃を境として5m弦高低変位の傾向が急激に変化していることもわかります。

このように、盛土内部に緩みがあると5m弦高低変位の標準偏差は、軌道保守作業によって一時的に盛土内部に緩みがない状態と同程度まで改善しますが、定常的に進みが速いという特徴があります。この傾向は5m弦高低変位の25mロットの最大値でも同様でした。

### 5m弦高低変位の進み量による評価

図8は、盛土内部に緩みがある区間Aと緩みがない区間Bにおいて、5m弦高低変位の標準偏差の進み量を比較したものです。ここで、図8の中で2010年2月頃の進み量に急激な変動が見られますが、軌道保守作業がないことからこの期間のデータを分析対象から除外しました。

盛土内部に緩みがある区間Aでは、5m弦高低変位の標準偏差の進み量は緩みがない区間Bよりも評価期間を通して大きいことがわかります。この傾

向は5m弦高低変位最大値の進み量でも同様でした。また、5m弦高低変位の標準偏差の進み量における推移に着目すると、2007年5月頃に進み量が急激に大きくなっていることがわかります。これは、図6に示した5m弦高低変位の標準偏差の推移図において進みの傾向に変化が見ら

れた2007年10月頃よりも早いことから、進み量を継続的に監視することによって、より早期に構造物境界部における盛土内部の緩みを捉えることができると考えられます。一方、橋台背面の削孔調査によって盛土内部に緩みが確認された22区間、緩みが確認されなかった21区間の計43区間について、5m弦高低変位の標準偏差及び最大値の進み量の約5年間の平均値を算出しました。図9は、5m弦高低変位の標準偏差と最大値の進み量の関係を示したものです。

盛土内部に緩みのない区間については、5m弦高低変位の標準偏差や最大値の進み量は小さく、概ね一定の範囲にあることがわかります。一方、盛土内部に緩みがある区間については、多少のばらつきはありますが、それらの進み量は大きい傾向にあることがわかります。

以上のことから、5m高低変位の進み量について、仮に盛土内部の状態評価のしきい値を「標準偏差の進み量 = 0.15mm/100日」、「最大値の進み量 = 0.4mm/100日」とし、片方の指標のみによる評価、両方の指標を用いた評価の橋台背面におけるコア削孔調査

結果に対する適合率を算出すると表1のとおりとなります。5m弦高低変位の標準偏差の進み量と5m弦高低変位の最大値の進み量の2つの指標の組み合わせによって適合率は変化しますが、適合率の最大値は、盛土内部に緩みがある場合、ない場合ともに85%以上となり、盛土内部の状態を適切に評価できていることがわかります。また、5m弦高低変位の標準偏差の進み量と最大値の進み量の何れかの指標がしきい値より大きい箇所については盛土内部に緩みがあると判定し、5m弦高低変位の標準偏差の進み量と最大値の進み量の両方がしきい値より小さい箇所については盛土内部に緩みがないと判定するのがよいと考えられます。これらのことから、軌道検測車の偏心矢データから算出した5m弦高低変位の進み量は、構造物境界部における盛土内部の状態評価法として有効であることがわかりました。

### おわりに

軌道検測車で得られる検測データを用いて構造物境界部における盛土内部の状態評価を行う方法を検討しました。その結果、評価指標としては5m弦高低変位の進み量が有効であることがわかりました。今後、5m弦高低変位の進み量を活用することで、効率的に削孔調査を行う区間を選定することができ、また効果的な補修を行うことができる可能性があると考えられます。[RRR]

### 文献

- 1) 須永他：輪重変動の立場から見たレール頭頂面凹凸の管理手法，鉄道総研報告，Vol.6，No.11，1992
- 2) 須永他：軸箱加速度を活用した短波長軌道変位の管理手法，鉄道総研報告，Vol.9，No.2，1995
- 3) 須永他：高速新幹線における短波長軌道変位の検出法，鉄道総研報告，Vol.13，No.5，1999