

3604 構造物境界部における盛土状態評価手法の検討

○ [土] 矢坂 健太 [土] 坪川 洋友 (鉄道総合技術研究所)

[土] 泉並 良二 (西日本旅客鉄道)

Developing an evaluation method for embankment degrading condition at the site of railway structural boundary

○ Kenta YASAKA, Yosuke TSUBOKAWA, (Railway Technical Research Institute, 2-8-38, Hikari-cho, Kokubunji-shi, Tokyo)
Ryouji IZUNAMI, (West Japan Railway Company)

At the boundary site where is between structures and embankments, soil particles are often eroded by the penetration of rain water. Then the cavity and relaxation of soil particles grow inside of the embankment. As a result, deformation such as roadbed settlement or rail road settlement easily occurs. At present, for finding the deformation, we examine the inside of embankments by test boring or core drilling tests. In the case that a cavity is found, we repair it by grouting cement milk into the embankment. But both test boring and core drilling tests are very expensive, and take long time. Therefore, we developed the method for evaluating embankment degrading condition based on the measured data from the track recording car, which are longitudinal level irregularity and axlebox vertical acceleration data.

キーワード：構造物境界、盛土、軸箱上下振動加速度、偏心矢

Keywords: structural boundary, embankment, axlebox vertical acceleration, asymmetrical chord offset

1. はじめに

構造物と盛土との境界部では、雨水の浸透によって土粒子の浸食・流出を受け、盛土内に緩み域が生じることがある。その結果、路盤沈下や軌道沈下等の変状が発生するなどし、構造物と盛土との境界部が軌道管理上の弱点箇所となることが多い。

現在、盛土内の状態はボーリング調査やコア穿孔調査等によって確認されており、緩みなどがあつた場合にはセメントミルク等を注入することによって補修されている。しかし、ボーリング調査やコア穿孔調査はコストや時間がかかるため、調査数を増やすには限界がある。

一方、既往の研究¹⁾において、軸箱加速度や偏心矢データ等の軌道検測車で得られる検測データを活用してレール状態や道床状態を評価できることが示されている。特に道床劣化箇所の検出では軌道の支持ばね剛性に着目して評価するため、本稿で扱う盛土内部の緩みに伴う支持状態の変化箇所の評価、検出にも同様の手法を適用できる可能性がある。そこで、本稿では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の盛土状態を評価、検出する手法を検討した。

2. 盛土状態評価フロー

構造物境界部における盛土状態評価フローを図1に示す。まず、軌道検測車の検測データを用いて自動的に構造物境界部の抽出を行う。抽出された箇所に対しては、著大な軌道狂いや急激な軌道狂い進みの有無をチャートや軌道狂い推移図で確認し、監視レベルを判定する。その結果、急進監視が必要と判定された場合には詳細確認によって原因の特定を行う。そして、詳細確認によって構造物境界部の盛土内部に緩み域があると判断される場

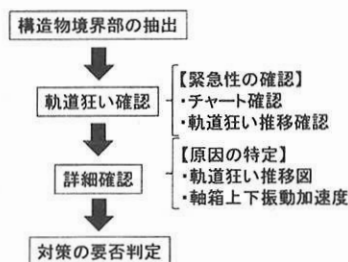


図1 盛土状態評価フロー

表1 境界部条件

区間	詳細調査結果 (緩み域の有無)	線形			構造物背面の 盛土の土質
		曲線半径	勾配(‰)	勾配(‰)	
A	無し	直線	下り	2	粘土混じりの砂礫土
B	無し	直線	下り	2	粘土混じりの砂礫土
C	無し	直線	下り	11	砂礫土
D	無し	直線	下り	15	砂礫土
E	有り	直線	下り	15	礫質土
F	有り	直線	下り	15	礫質土

合は適切な対策を施す。

本稿では構造物境界部として橋台に着目して、盛土状態評価の検討を行った。ここで、本稿において盛土状態評価手法の検証を行う際に用いた境界部のデータは表1に示す条件の箇所である。

3. 盛土状態評価手法

3.1 構造物境界部の検出手法の検討

2010年2月に実施した詳細調査で橋台背面の盛土内部に緩み域が確認されなかった区間A～Dを対象とし、軌道検測車の軸箱上下振動加速度による構造物境界部の検出手法を検討した。

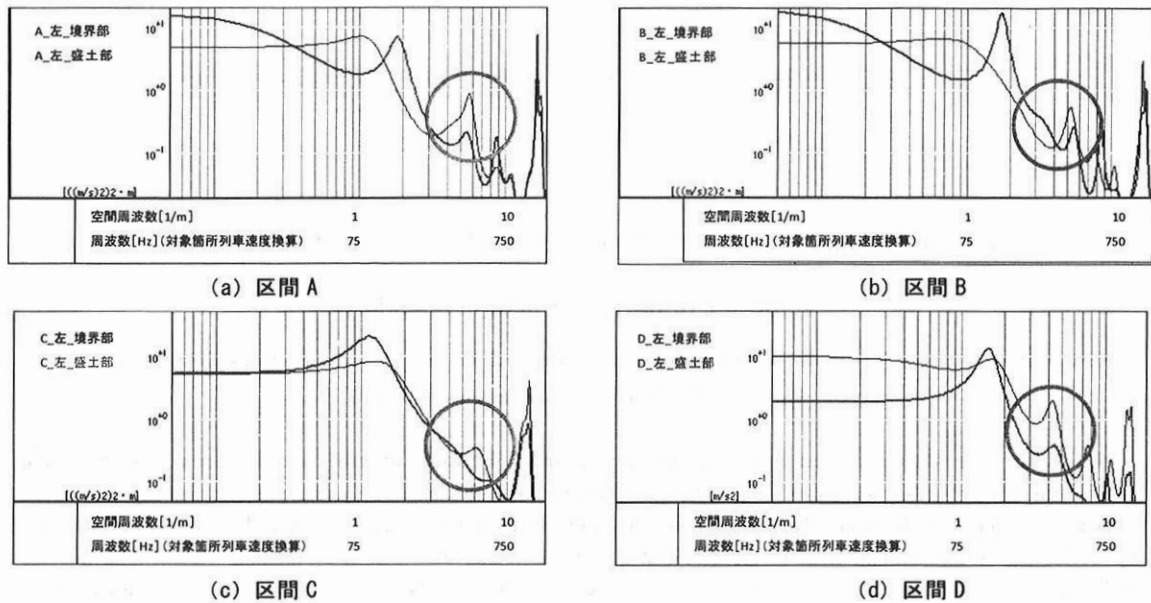


図2 構造物境界部と盛土区間における軸箱上下加速度のパワースペクトル密度

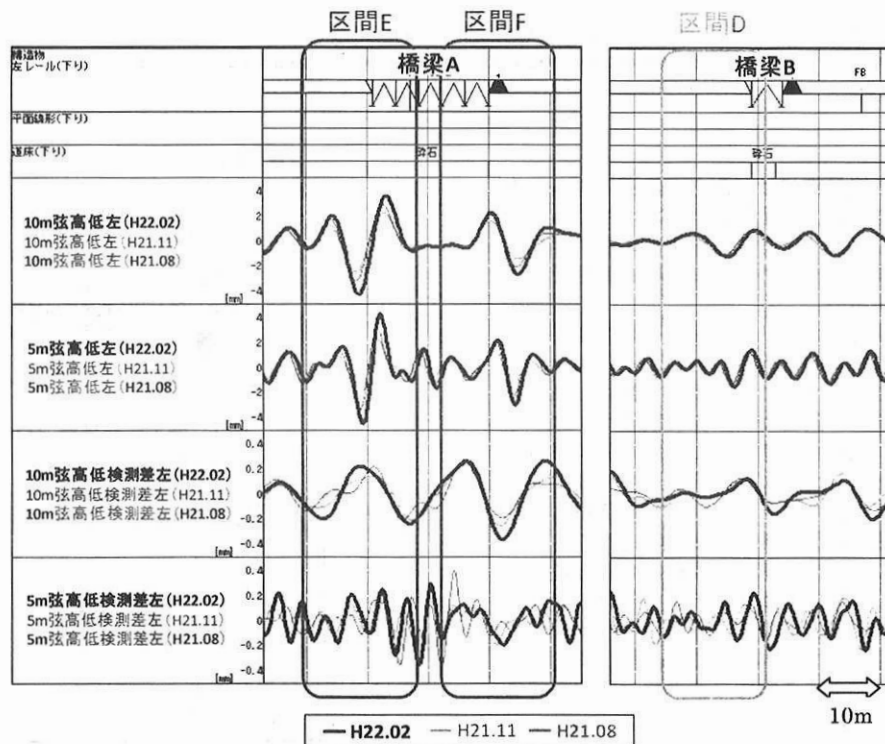


図3 各種軌道狂い（緩み域無し：区間D、緩み域有り：区間E・F）

図2は、表1の区間A～Dにおける軸箱上下振動加速度のパワースペクトル密度を構造物境界部と隣接する盛土区間について示したものである。図2より、評価区間によって波形にばらつきはあるものの、全ての境界箇所において空間周波数 4～6 (1/m) 付近でパワーが大きくなる傾向にあることが確認される。なお、この空間周波数は調査箇所における列車速度により換算した場合、300Hz～450Hz となる。以上のことより、この周波数帯

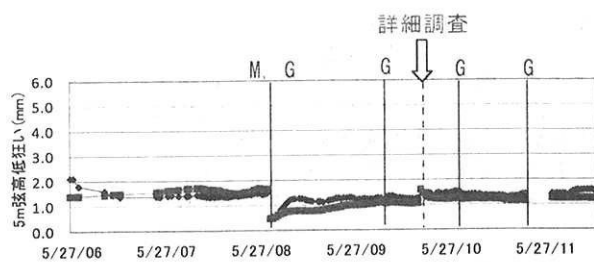
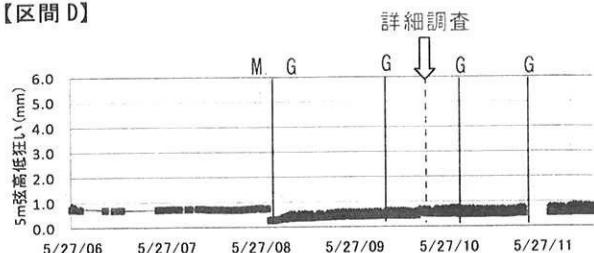
域のパワースペクトル密度を比較することで構造物境界部を検出できると考えられる。

3.2 盛土内部緩み域の抽出

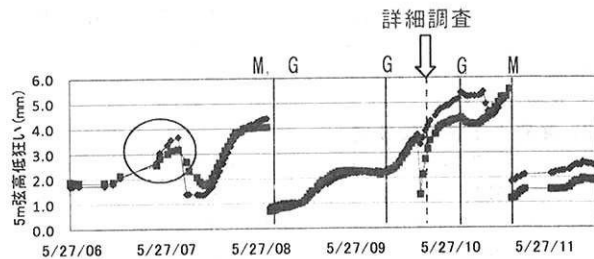
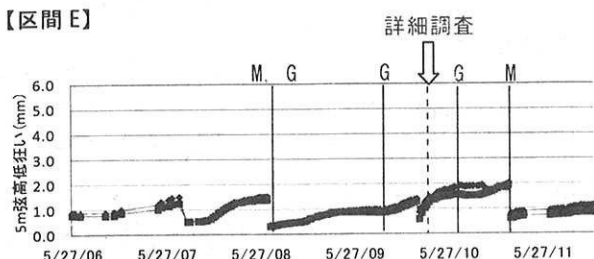
(1) 軌道狂い（軌道変位）

図3は、表1に示した詳細調査において橋台背面の盛土内部に緩み域が確認されなかった区間Dと、緩み域が確認された区間E・Fの軌道狂い（10m弦及び5m弦高低狂い、高低検測差¹⁾）を示したものである。ここで、区

【区間 D】



【区間 E】



← 左 → 右

図 4 5m 弦高低狂い推移図 (左：ロット標準偏差、右：ロット最大値)

間 D と区間 E・F は比較的近い位置にあり、レール種別等の軌道条件に差はない。

緩み域が確認されなかった区間 D については高低狂い、高低検測差ともに顕著なものはない。また、構造物境界部での盛土の沈下もないことも波形から確認される。一方、緩み域が確認された区間 E・F については高低狂い、高低検測差ともに、区間 D と比較して大きく、構造物境界部の盛土の沈下速度が速いことが確認される。また、10m 弦と 5m 弦の高低狂いを比較した場合、5m 弦高低狂いの方が盛土の沈下をよく表している。これは、構造物境界部の盛土内部の緩み域は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る。したがって、構造物境界部の盛土の評価を行う際には、10m 弦よりも 5m 弦の高低狂いで評価した方が有効であると考えられる。

(2) 高低狂い推移

次に、構造物境界部の盛土内部の緩み域の有無による 5m 弦高低狂いの推移及び高低狂い変化率 (沈下速度) の差異について検証した。

図 4 は、表 1 に示した詳細調査によって橋台背面の盛土内部に緩み域が確認されなかった区間 D と、緩み域が確認された区間 E の 5m 弦高低狂いの標準偏差及び最大値の推移を示したものである。ここで、図中の標準偏差及び最大値は、各区間を含んだ 25m ロットにおける数値を示している。また、図中の「M」、「G」はそれぞれマルチプルタイタンバ施工 (以降、「MTT」という)、レール削正を示しており、その時期に各施工を実施したことを示している。

図 4 より、緩み域が確認されなかった区間 D では、標準偏差、最大値ともに高低狂いの推移は評価期間を通してほぼ一定であることが確認される。一方、緩み域が確認された区間 E については、標準偏差、最大値ともに高低狂いの変動は大きく、また著しく増加している状況が確認される (表 2)。また、MTT を施工すると一時的には高低狂いは良化するものの、その後は施工前の状況に戻り、明確に良化する傾向にないことが確認される。な

表 2 評価期間における高低狂い・高低狂い変化率

区間	標準偏差		最大値	
	高低狂い (mm)	高低狂い変化率 (mm/100日)	高低狂い (mm)	高低狂い変化率 (mm/100日)
区間D (緩み域無し)	0.850	0.033	2.126	0.104
区間E (緩み域有り)	2.023	0.120	5.546	0.217

* 表中の数値は評価期間における最大値を示している。

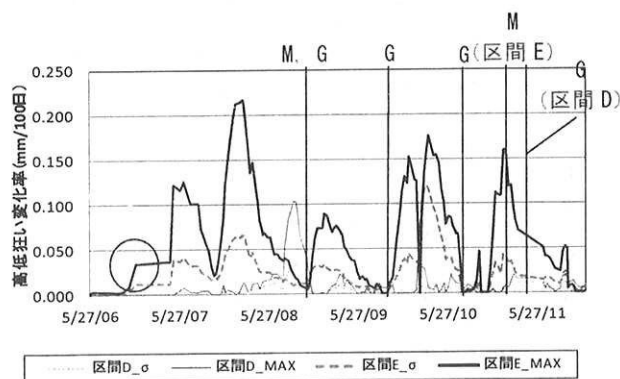


図 5 高低狂い変化率推移

お、本稿では構造物境界部における盛土内部の緩み域の有無による高低狂い推移の検証箇所として区間 D、E を用いたが、その他の区間においても同様の高低狂い推移を示す傾向にある。

図 5 は、区間 D、E における高低狂い変化率推移を 5m 弦高低狂い (標準偏差、最大値) について示したものである。図 5 より、緩み域が確認された区間 E は緩み域が確認されなかった区間 D よりも 5m 弦高低狂い (標準偏差、最大値) の変化率が評価期間を通して大きいことが確認される。

また、区間ごとの 5m 弦高低狂い (標準偏差) の変化率と 5m 弦高低狂い (最大値) の変化率を比較した場合、5m 弦高低狂い (標準偏差) の変化よりも 5m 弦高低狂い

(最大値)の変化率の方に構造物境界部における盛土内部の緩み域の有無の差が明確に表れることが確認される。

ここで、図4、5において緩み域が確認された区間Eの5m弦高低狂い(最大値)について着目すると、5m弦高低狂いの変化率が急激に変化する時期があることが確認される。また、その時期を境として5m弦高低狂いの変動が激しくなっていることも確認される。

以上のことより、5m弦高低狂い(最大値)は構造物境界部の盛土内部の緩み域状況を捉えることができることから、緩み域を検出する指標として活用できる可能性が高いと考えられる。また、高低狂い変化率が急激に変化した時期に盛土内部に緩み域が発生したのではないかと推測されるが、この点については今後さらに検証していく必要がある。

(3) 軸箱上下振動加速度

上項で、構造物境界部の盛土内部の緩み域については、5m弦高低狂い(最大値)を指標として活用することで検出できる可能性を示した。しかし、5m弦高低狂い(最大値)には構造物境界部のレールの落ち込みや、それに伴うレール癖の影響も現れるため、本指標だけでは盛土内部の緩み域の検出精度としては不十分であることが懸念される。そこで、5m弦高低狂い(最大値)を補完する指標として軸箱上下振動加速度の活用法を検討した。

ここでは、過去に構造物境界部の盛土区間で発生した沈下事例を用いて検討した。なお、この沈下箇所では発見当夜にハンドタイタンバによって沈下箇所付近の補修を実施している。

図6は沈下箇所付近での軌道狂い(高低狂い、高低検測差)及び軸箱上下振動加速度を示したものである。ここで、図7は沈下の補修前後、及び沈下が発生した盛土区間とその付近の健全な盛土区間における軸箱上下振動加速度のパワースペクトル密度を示したものである。図7より、補修前のパワースペクトル密度は、補修後及び健全な盛土区間のものと比較して、空間周波数1.0(1/m)以下の帯域において卓越する傾向が確認されることから、図6で示した軸箱上下振動加速度は空間周波数0.2~1.0(1/m)のバンドパスフィルタ処理を行ったものである。

図6より、対象とした沈下箇所においても、3.2で示したように、10m弦高低狂いよりも5m弦高低狂いの方が盛土の沈下をよく表していることが確認される。また、軸箱上下振動加速度については沈下発生以前からの振幅が徐々に大きくなっていることが確認される。このことから、軸箱上下振動加速度は、5m弦高低狂い(最大値)と同様、盛土内部の緩み域を検出できる可能性が高いと考えられる。

4. 終わりに

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の状況を評価した結果、以下のことが確認された。

- 軸箱上下振動加速度において空間周波数4~6(1/m)の帯域のパワースペクトル密度を評価することで構造物境界部を検出できる。
- 構造物境界部の盛土内部を評価する指標としては、10m弦よりも5m弦の高低狂いの方が有効であり、特に5m弦高低狂い(最大値)及びその変化率は盛土内部の状況を精度よく捉えることができる可能性が高い。
- 構造物境界部の盛土内部を評価する指標として、軸箱上下振動加速度(バンドパスフィルタ:0.2~1.0(1/m))は有効であると考えられる。

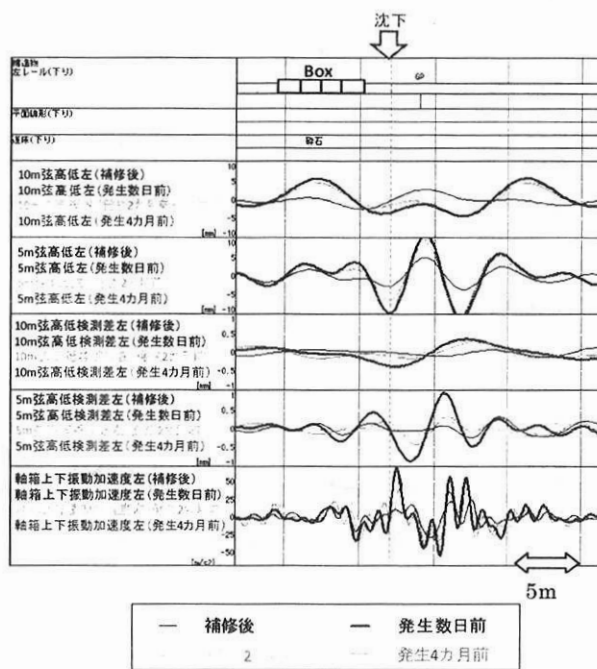


図6 各種軌道狂い及び軸箱上下振動加速度(沈下箇所)

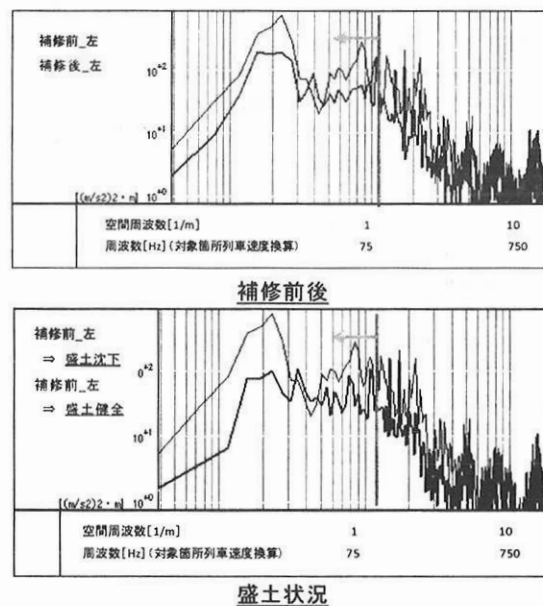


図7 パワースペクトル密度(沈下箇所付近)

今後は、これらの結果をもとに5m弦高低狂い(最大値)の変化率と軸箱上下振動加速度を組み合わせた、精度の高い構造物境界部における盛土内部の緩み域の検出法を見出していきたい。

参考文献

- 1) 三和雅史, 木村寛淳, 山中雅司: レールおよび道床状態を考慮した道床保守方法の最適選択モデルの構築, 鉄道総研報告, Vol26, No.2, pp.13-18, 2012