

石炭灰で構成される鉄道盛土の液状化とその影響評価

鉄道総合技術研究所 正 ○佐藤武斗 正 工藤敦弘 正 松丸貴樹
 日本貨物鉄道 星智和
 東日本旅客鉄道 長谷川弘 篠崎有司
 中央開発 川上 哲

1.はじめに 2011年の東北地方太平洋沖地震では、人工埋立地や地形改変地を中心に液状化が生じ、鉄道構造物もその被害を受けた¹⁾。土構造物においては、石炭焼却灰からなる大規模な鉄道車両基地盛土の液状化を確認しており²⁾、その上の鉄道軌道では不陸箇所が数多く見られた。鉄道軌道では運行の安全上ミリ単位で変位を制限する必要があるが、前述した不陸箇所やその程度を評価することは困難である。そのため、地盤の液状化によって生じる鉄道軌道の不陸箇所の簡易的な推定法の確立が望まれる。これまで、水平成層地盤を仮定した液状化による沈下量の推定法³⁾や、有効応力解析法による地震応答解析と圧密解析を組み合わせた手法により液状化後の過剰間隙水圧消散に伴う変形量を推定する手法⁴⁾が提案されている。本検討では、地盤条件に起因したで液状化発生時の鉄道軌道における不陸発生箇所の推定手法の構築を目的とし、上記盛土を対象として表面波探査、軌道検測および水準測量を行い、液状化層厚と軌道変位の相関性について評価を行った。

2.調査概要 2011年東北地方太平洋沖地震で液状化が発生し、その後補修が行われていない状態にある水戸貨物駅、水戸運輸区を対象に表面波探査、軌道検測および水準測量を実施した。今回の表面波探査では、線路縦断方向に10測線、線路横断方向に10測線について計測を行ったが、図-1に今回の検討対象とした表面波探査の測線について示す。表面波探査の適用範囲は、深度・20m程度であるが、深部ではその精度が悪くなるため、深度・10mまでとした。軌道検測では軌間狂い、水準狂い、高低狂い、通り狂い、平面性狂いについて検測を行った。

3.液状化が予想される層の推定方法 表面波探査は、ボーリング調査などと比べて精度や分解能が劣ることが知られている。そこで、調査地点で別途実施した標準貫入試験およびPS検層から得られた柱状図とS波速度²⁾より、表面波探査の精度確認を行った。図-2にPS検層および表面波探査から得られたS波速度と標準貫入試験結果を示す。表面波探査のS波速度はボーリング孔より少し離れた地点のものを利用している。表面波探査から得られたS波速度はボーリング位置におけるB層は表層0.6mまで礫を多く混入しており、0.6m以深では礫質土に分類される石炭焼却灰から構成される層となっており、液状化することが予想される層である。B層では表層で差異があるものの、PS検層と表面波探査のS波速度は概ね整合しており、その値は約100.0m/s以上である。一方、Ac1層ではPS検層の結果では55~70m/s、表面波探査では77m/sの範囲に分布している。

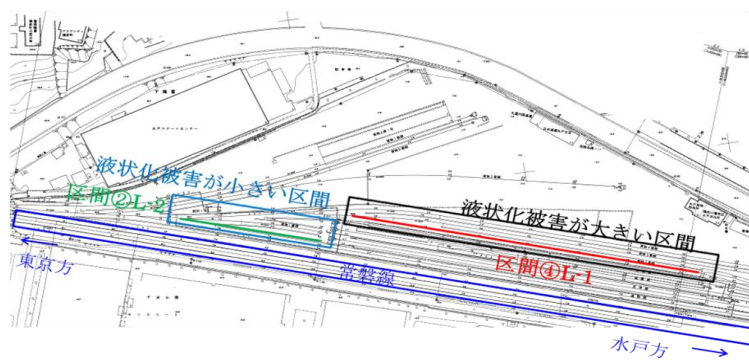


図-1 調査概況と表面波探査の測線

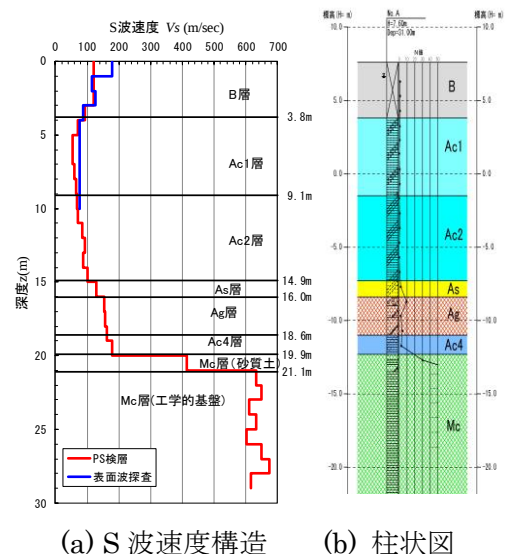


図-2 現地試験結果

キーワード 液状化, 物理探査, 特殊土

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町2丁目8番地38号 (公財)鉄道総合技術研究所 TEL042-573-7261

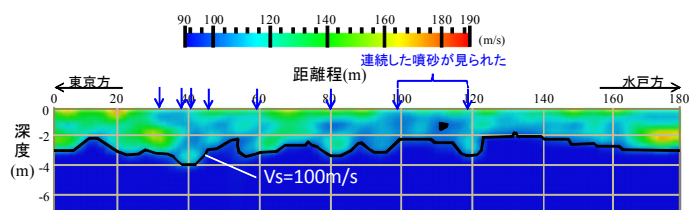


図-3 S波速度構造 (区間④L-1)

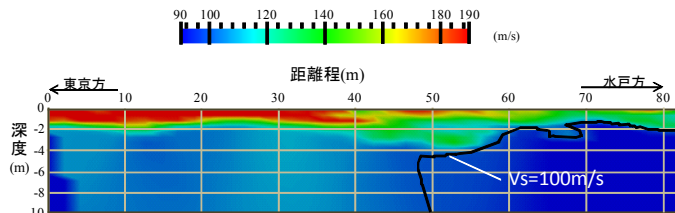


図-5 S波速度構造 (区間②L-2)

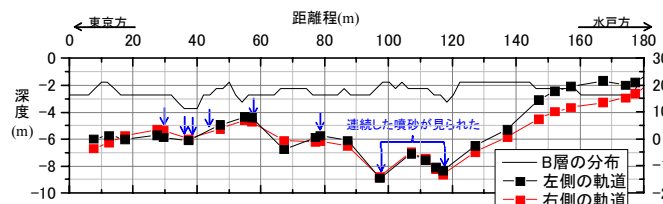


図-4 距離程-軌道高さ関係 (区間④L-1)

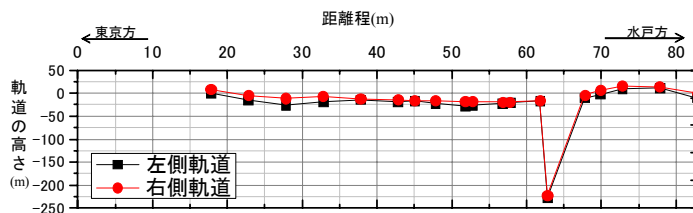


図-6 距離程-軌道高さ関係 (区間②L-2)

4.液状化層厚と鉄道軌道の被害状況の関係 図-3に特に液状化被害の大きかった区間④L-1のS波速度構造、図-4に水準測量から得られた距離程に対する軌道頭面の高さおよび推測されるB層とAc1層の地層境界の深度分布を示す。図-3の図中にはB層とAc1層との境界位置の目安として、 $V_s=100\text{m/s}$ の等値線を示している。また、青矢印で示す箇所では噴砂が見られた。軌道の高さ分布では起点位置での水戸方に向かって左側軌道の高さを0.0mとして整理している。図-4において、左右の軌道の高さは、概ね同じ挙動を示しているが、距離程140m～180mにおいて最大で100mm程度の差が生じている。この要因としては、軌道横断方向の地盤傾斜の影響などが考えられるが、今後詳細に検討していく予定である。B層の層厚と合わせて見てみると、距離程30～50mのように推定した地層境界の形状と軌道の高さに相関が見られた。しかしながら、全ての箇所でそのような傾向があてはまるわけではなく、距離程138～180mにかけてはB層の層厚が厚くなっているのも関わらず、軌道の高さは比較的高くなっている。この箇所では噴砂が見られず、また距離程175～180mの深度-2mにかけて $V_s=170\text{m/s}$ 程度の固い箇所があるため、液状化しなかったものと考えられる。距離程100～120mの軌道高さは地層境界の凹凸に影響されているものの、周辺のB層の層厚に比べて大きな沈下量を示している。距離程100～120mでは、大量の噴砂が確認されたため、周囲に比べて大きく沈下したものと見られるが、その要因としては図-3に示すように周辺に比べてS波速度が小さく緩い状態であったためと考えられる。ただし、中澤ら³⁾は発破による現地液状化実験を行っており、実験前後でのS波速度構造の比較から噴砂箇所では地盤が緩くなる可能性を示唆しており、地震以前は周辺と同程度のS波速度構造であった可能性もあるため、今後詳細に検討していく予定である。

一方、図-5に区間②L-2におけるS波速度構造を、図-6には距離程に対する軌道高さを示す。図-6に示す区間②L-2では、距離程17mの左側軌道の高さを0mmとして整理した。軌道の高さは距離程が63m地点を除くと $\pm 50\text{mm}$ に収まる範囲の高さを維持しており、区間④と比べると軌道に生じる不陸は小さくなっている。図-5に示すS波速度構造において、深度-2mまでの表層をS波速度構造が 170m/s を越える比較的固い層が分布しており、なおかつ、距離程0～50mの区間で-10mの深度までが $V_s=100\text{m/s}$ よりも大きいなどの地層構造に起因するものと考えられ、液状化の規模は区間④よりも小さかったことが示唆される。

5.まとめと今後の展望 液状化が発生した鉄道車両基地盛土において表面波探査と軌道検測および水準測量を実施し、地層境界の形状と軌道高さ分布に相関があることを確認した。しかしながら、大量の噴砂箇所ではその軌道変位の大きさは噴砂量が支配的で、層厚よりも地震前のS波速度が周囲に比べて小さかったことに起因している可能性がある。また、表層および内部に良く締まった層がある場合は液状化の規模が小さいことに起因して軌道変位が生じにくいことを確認した。今後は他の検討断面の結果を考慮して不陸箇所の発生条件をまとめるとともに、簡易予測法の作成を行う。

参考文献 1)野沢伸一郎, 白崎広和, 和田旭弘, 友利方彦: 東北地方太平洋沖地震における鉄道の被災状況およびその復旧について, 地盤工学ジャーナル Vol.7, No.1, pp127-137, 2012. 2)工藤敦弘, 松丸貴樹, 黒津英一, 星智和, 長谷川弘, 高野幸宏, 木口峰夫: 石炭焼却灰を含んだ鉄道盛土材料の液状化抵抗特性, 第68回土木学会年次学術講演会講演概要集, 2013. 3)中澤博志, 菅野高弘, 村上弘行: 物理探査による滑走路地盤の液状化被害予測のための調査事例, 土木学会論文集 A1, Vol.66, No.1, pp288-301, 2010. 4)善功企ほか: 空港基本施設の液状化対策工範囲について(その2)数値解析による基礎的検討, 土木学会第62回年次学術講演会, pp729-730, 2007.