

石炭焼却灰を含んだ鉄道盛土材料の液状化抵抗特性

鉄道総合技術研究所	正会員	○工藤 敦弘	正会員	松丸 貴樹
日本貨物鉄道	正会員	黒津 英一	非会員	星 智和
東日本旅客鉄道	非会員	長谷川 弘	非会員	高野 幸宏
複合技術研究所	正会員	木口 峰夫		

1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震では、古い鉄道軌道下に埋設された石炭焼却灰が堆積する地下水位の高い低盛土において液状化が発生し、軌道の沈下や噴砂痕が確認された。古くに建設された鉄道盛土では石炭焼却灰を盛土材料として使用している箇所も少なくなく、発生が懸念されている首都圏直下型地震や東海・東南海・南海地震においても同種の被害発生が予想される。しかしながら、石炭焼却灰の液状化抵抗特性の解明を目的とした研究は、対象が火力発電所での発生焼却灰等に限られている¹⁾ことから、ほとんど実施されていない。そこで本研究では、特殊土(石炭焼却灰)からなる地盤の液状化抵抗特性を解明することを目的に繰返し非排水三軸試験を行った。

2. 対象地盤

対象地盤の土質柱状図とPS検層、および密度検層の結果を図-1に示す。対象地盤は、2011年東北地方太平洋沖地震で液状化が発生した水戸貨物駅、水戸運輸区構内に位置する石炭焼却灰が堆積する地盤である。GL-3.8mまで堆積しているB(盛土)層は、表層約60cmを除き礫質土に分類される石炭焼却灰を主体としている。想定ではあるが、列車荷重の繰返し载荷に伴い軌道に恒常的な沈下が生じ、このため石炭焼却灰による嵩上げがなされていたと思われる。盛土層以深はGL-20m付近まで軟弱な沖積粘土層で構成されており、GL-20m以深にN値50以上の泥岩層が堆積している。地下水位はGL-1.0m付近と、高い位置に存在している。

現地においてトリプルサンプリングならびにブロックサンプリング(押切り式)による不攪乱試料の採取を複数点で行い、石炭焼却灰からなる盛土層の物理試験・突固めによる締固め試験(A-c法)、および三軸圧縮試験(CD試験)を行った。盛土層の土質試験結果を表-1に、累計加積曲線を図-2に示す。盛土層の土粒子密度は、石炭焼却灰を含んでいるため一般的な盛土材料に比べて比重が小さく、参考文献1)と比

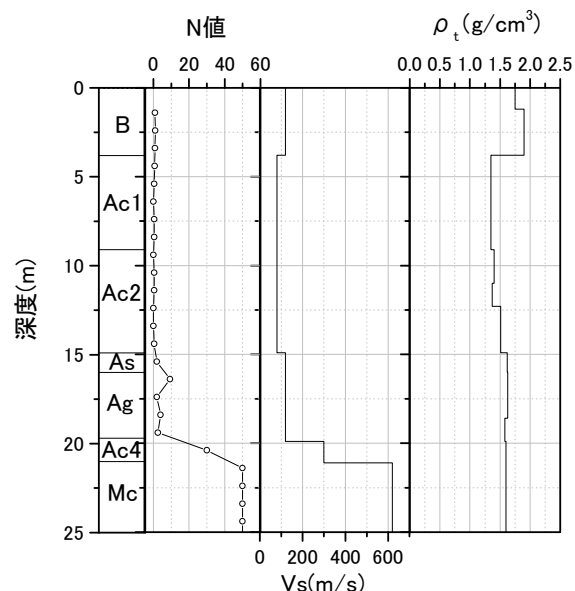


図-1 土質柱状図

表-1 盛土層の土質試験結果

土粒子密度 ρ_s	2.326~2.484 g/cm ³
湿潤密度 ρ_t	1.284~1.309 g/cm ³
乾燥密度 ρ_d	0.843~0.949 g/cm ³
間隙比 e	1.624~1.774
含水比(地下水位以下)	52.4~55.3%
細粒分含有率 F_c	9~19%
50%粒径 D_{50}	1.40~2.30 mm
10%粒径 D_{10}	0.0021~0.083 mm
最大乾燥密度 ρ_{max}	1.070~1.295 g/cm ³
最適含水比 w_{opt}	28.6~41.4%
内部摩擦角 ϕ	42.3°
粘着力 C	4.7 kN/m ²

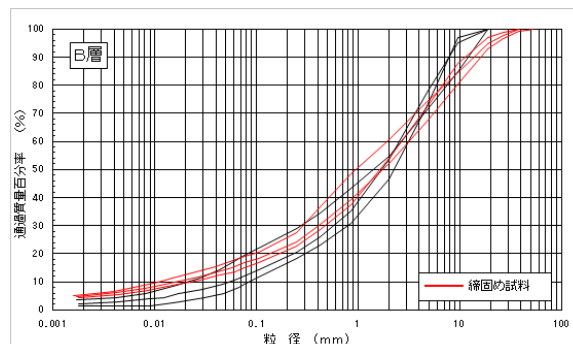


図-2 盛土層の粒径加積曲線

キーワード：石炭焼却灰，液状化抵抗特性，繰返し非排水三軸試験，液状化判定

連絡先：〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 鉄道総合技術研究所 TEL：042-573-7261

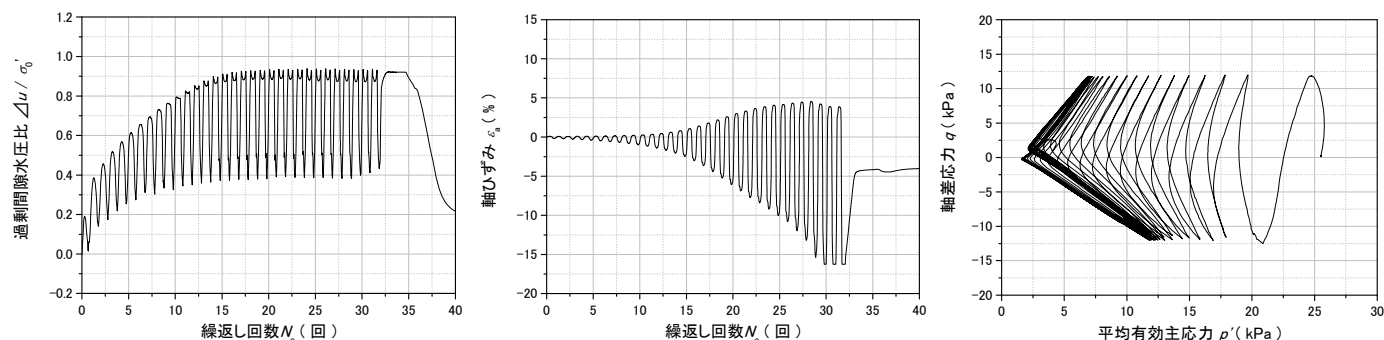


図-3 液状化試験結果(繰返し応力振幅 0.23)

較しても同等の値である。粒径加積曲線に見られるように、粒度分布の良い材料ではあるものの、細粒分含有率や $D_{50} \cdot D_{10}$ 等の値から鉄道標準²⁾における液状化の可能性のある地盤の対象層に該当する。また、現地の密度が締固め試験より得られた最大乾燥密度と比較して小さく、間隙比も大きな値であったことから、十分な締固めがされていないと考えられる。CD 試験より得られた内部摩擦角は比較的大きな値であった。

3. 液状化試験 および液状化判定

液状化試験は、ブロックサンプリングを行った複数の不攪乱試料(φ75mm, H150mm)を試験試料として使用した。有効拘束圧25kPaで等方圧密した飽和供試体に、非排水条件のもと繰返し三軸試験を行った。载荷は、繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_v$ を0.2から0.4の範囲で変化させ、繰返し周波数0.1Hzの正弦波を载荷波形として実施した。

図-3 に、繰返し応力振幅比が 0.23 における液状化試験結果を示す。軸ひずみは一気に急増するのではなく、漸増していく挙動を示している。また、両振幅軸ひずみが 1, 2, 5, 10%に到達する際の繰返し応力振幅比と繰返し回数の関係(液状化強度曲線)を図-4 に示す。両振幅軸ひずみが 5%となる液状化強度曲線から得られた液状化強度 R_{20} は概ね 0.24 と比較的小さく、石炭焼却灰が液状化を生じる材料であることが確認された。

表-2 には、当該地盤において 2011 年東北地方太平洋沖地震での近傍の地震観測波形である K-NET 水戸の EW 成分を用いて累積損傷度理論による液状化判定を実施した結果を示す。液状化判定の結果、盛土層の各深度における液状化抵抗率 FL は 1.0 未満となり、液状化が生じる地盤であることが分かった。さらに液状化指数 PL についても 20 を超え、液状化による周辺構造物への影響が大きい箇所であることが分かった。

4. まとめ

土質試験および繰返し非排水三軸試験の実施により、石炭焼却灰からなる盛土層の特徴および液状化抵抗特性を確認することができた。また、盛土層に対して強震記録を用いた累積損傷度評価による液状化判定を実施することで、盛土層が液状化が生じる地盤であること、さらに、液状化による周辺構造物への影響が大きい箇所であることが分かった。今後は石炭焼却灰からなる地盤の液状化程度と、周辺構造物への影響の関係について検討したいと考えている。

謝辞：本論文作成にあたり、防災科学技術研究所の K-NET の強震記録を使用させていただいた。

参考文献

- 1) 後藤浩一, 柴田徹：石炭灰埋立地盤の液状化対策に関する研究, 土木学会論文集 No.529, III -33, P113-123, 1995, 12
- 2) 国土交通省鉄道局監修 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計, 2012.9

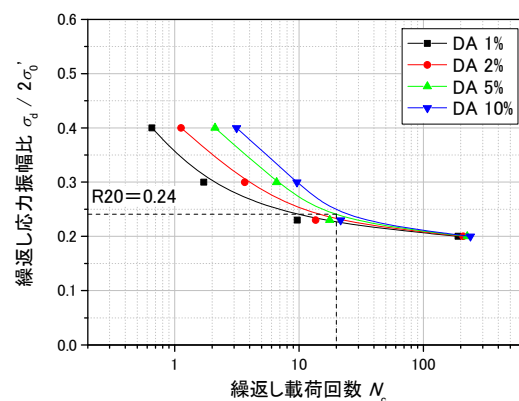


図-4 液状化強度曲線

表-2 液状化判定結果

深度 (m)	液状化抵抗率 FL	液状化指数 PL
1.00	0.25	21.09
2.00	0.18	
3.00	0.15	