

粒度分布の異なる盛土材の繰返し平板載荷試験による沈下特性

粒度分布、繰返し載荷、クリープ

(株) 複合技術研究所 国際会員 田村 幸彦
 (独) 鉄道・運輸機構 国際会員 米澤 豊司 水嶋 浩治
 秋田 勝次
 (財) 鉄道総合技術研究所 国際会員 小島 謙一 正会員 富永 真生

1. はじめに

施工直後の鉄道盛土から粒度分布・締固め特性の異なる2種類の攪乱試料を採取し、原位置での密度・含水状態を再現して、繰返し平板載荷試験を実施した。その結果を基に、列車走行に伴う実盛土の将来的な沈下予測を行った。

2. 試験概要

2.1 盛土材の概要

異なる盛土材 (A, B) を用いて施工された鉄道盛土区間の線間排水溝部分の碎石路盤を撤去した上部盛土の天端位置において、原位置密度試験 (砂置換法) を実施し、同時に攪乱試料の採取を行った。図1は盛土材AおよびBの粒径加積曲線を示す。盛土材Aは、比較的粒度の良い礫質土であり、盛土材Bは礫分も含んでいるが比較的細粒分が多い試料である (75 μ m未滿含有率38.1%)。図2は、両盛土材の締固め試験結果に、原位置での密度をプロットしたものである。盛土材Aは最適含水比も小さく ($w_{opt}=9.5\%$)、最大乾燥密度も2.1程度と高い。一方、盛土材Bはやや含水比が高く ($w_{opt}=12.9\%$)、最大乾燥密度も1.9程度と低い。しかし、両盛土材とも平均値で締固め度 (D値) 95%以上である。

2.2 繰返し平板載荷試験の概要

現場採取試料を原位置と同じ含水比・湿潤密度に再現して、大型円筒土槽 (供試体寸法 $\phi 750 \times$ 高さ350mm) を用いて繰返し載荷試験を実施した。図3は試験装置および供試体を示したものである。供試体上面中央に、円形載荷板 ($\phi 300$ mm) を設置し、周波数20Hzで表1に示す荷重条件で繰返し載荷を実施した。ケース1およびケース2は、盛土天端の応力状態を再現して、上載死荷重 (軌道+コンクリート路盤+碎石路盤) を押え荷重として、列車荷重を繰返し荷重とした。ケース3は、深さ方向における応力分散を考慮した盛土の挙動を評価するため、盛土天端からの深さ1.5mの応力状態を再現して、死荷重と上載盛土荷重の合計を押え荷重として、盛土中の応力分散を考慮した列車荷重を繰返し荷重とした。

3. 試験結果

3.1 押え荷重によるクリープ補正

細粒分が比較的多く含まれる盛土材Bは、押え荷重 (静的荷重) による沈下が無視できない。押え荷重によるクリープ沈下量を $\log-t$ 法および双曲線法により予測し、繰返し載荷試験の実測沈下量より差し引くことにより、繰返し載荷のみによる沈下を評価することにした。図4は、ケース3において実施した初期の2時間にわたる押え荷重 (死荷重+上載盛土荷重) による時間~沈下量の関係を両対数表示して、繰返し載荷中の押え荷重によるクリープ沈下量を算定したものである。繰返し載荷回数200万回時点で0.55mm、700万回時点で0.72mmとなった。ケース2については押え荷重が小さいため、ケース3で予測したクリープ沈下量を

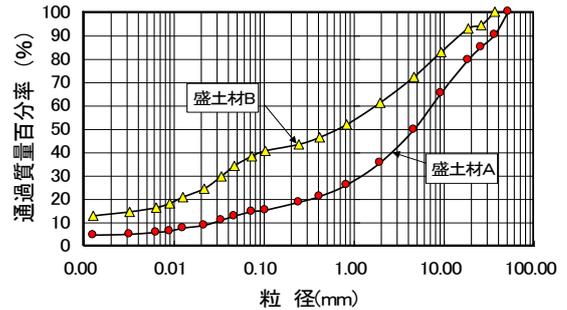


図1 盛土材の粒径加積曲線

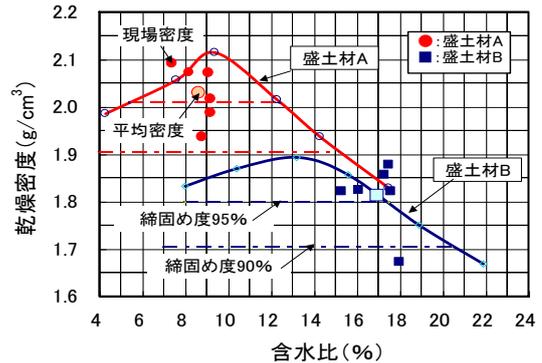


図2 現場密度および締固め曲線

表1 繰返し載荷条件

	盛土材A		盛土材B	
	ケース1	ケース2	ケース3	
実盛土で検討する応力状態	盛土天端		盛土深さ1.5m	
押え荷重 (kN/m ²)	上載死荷重	14.7		
	盛土荷重	0	0	32.0
	合計	14.7	14.7	46.7
繰返し荷重 (kN/m ²)	列車荷重 (分散後)	20.0	20.0	12.9

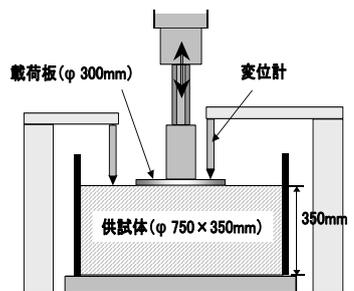


図3 一軸繰返し載荷装置の概要

押え荷重比 (14.7/46.7) で低減して評価した。ケース1については、沈下量が十分小さいためクリープによる影響は無視した。また、双曲線法によるクリープ沈下の予測も行ったが、log-t 法による予測の1/6程度であった。

3.2 繰返し载荷試験結果

各ケースの繰返し载荷試験結果を図5~7に示す。ケース1(図5)は繰返し载荷回数200万回を過ぎて沈下にやや収束傾向が見られる。沈下量は非常に小さく、盛土材Aが良質材であることがうかがえる。細粒分が多い盛土材Bを用いたケース2、3(図6、7)の沈下は繰返し回数700万回に至っても収束傾向は見られない。log-t 法により算定した押え荷重によるクリープ沈下量を差し引いた繰返し载荷のみによる沈下量は、繰返し载荷回数700万回時点で、ケース2で2.54mm、ケース3で2.07mmである。ケース2はケース3に比べて押え荷重が小さく(クリープ沈下が小さい)、繰返し荷重が大きいため、繰返し载荷のみによる予測沈下量は、2.54mmとケース3より大きな値となった。

4. 盛土の沈下量の推定

繰返し载荷試験結果を基に、列車走行による実盛土の動的沈下量を予測した。列車走行による動的荷重の大部分が厚さ3mの上部盛土で減衰されることが知られており、繰返し载荷試験における圧縮ひずみ ($\epsilon_v = \text{沈下量}/\text{供試体厚さ}$ 350mm) を上部盛土層厚(3.0m)に乗じて沈下量を算出した。ケース2とケース3の比較からもわかるように盛土の深度方向に沈下量は低減されると推定されるが、ここでは安全側の予測値として図8に示す方法で行った。盛土材Bについては、同図に示すように、盛土上部(層厚1.5m)については、ケース2の圧縮ひずみを、盛土下部(層厚1.5m)については、ケース3の値を適用した。図9にその結果を示す。盛土材Aでは繰返し回数700万回で3mm程度と小さい。盛土材Bの沈下は、繰返し回数200万回で7mm、700万回で20mmである。細粒分が多いと沈下が大きくなり盛土材の選定には十分な評価が必要である。また、一般的にlog-t法に比べて沈下が小さく予測される双曲線法により補正した場合の沈下を同図に併記したが、いずれもlog-t法によるクリープ補正の場合に比べて2~3mm程度大きい予測値となった。

5. おわりに

本研究は繰返し平板载荷試験を基に、比較的簡易に繰返し荷重による盛土の沈下量を予測したものであり、盛土の応力状態を正確に模擬したものではないことから概略の推定となる。鉄道盛土は線区に応じた繰返し回数と軌道における構造・保守の程度等により、総合的な評価が必要であると考えられる。今後、繰返し三軸試験等を実施し総合的に評価する予定である。

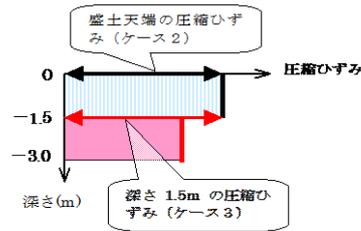


図8 盛土の沈下量の算定方法(盛土材B)

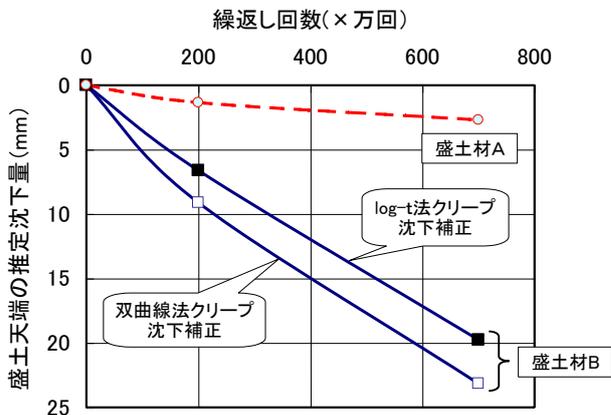


図9 列車荷重による盛土の予測沈下

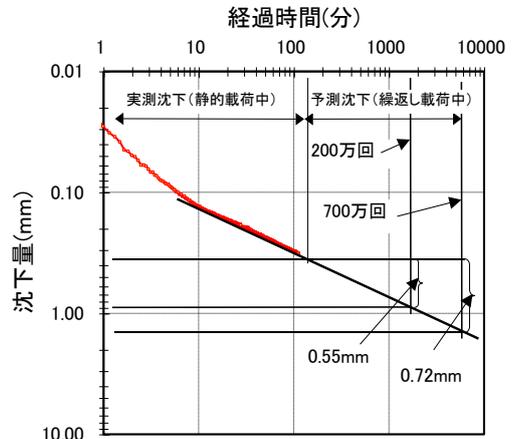


図4 押え荷重によるクリープ沈下の予測

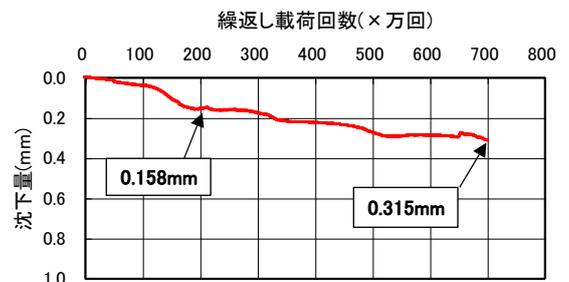


図5 ケース1(盛土材A)の試験結果

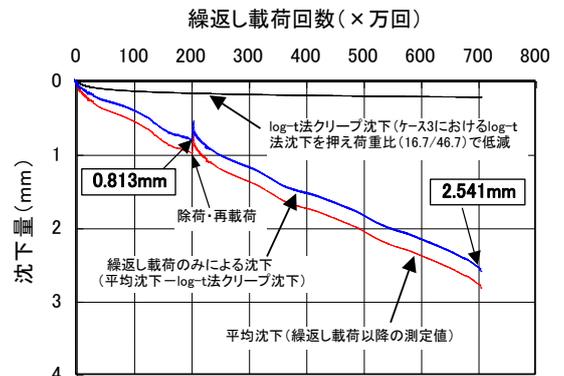


図6 ケース2(盛土材B)の試験結果

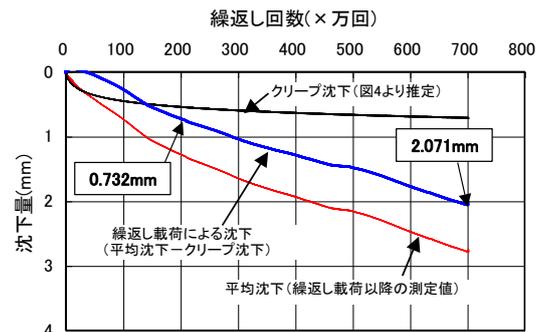


図7 ケース3(盛土材B)の試験結果