繰返し衝撃荷重下の砕石層の粒子挙動の観察

(財)鉄道総合技術研究所 正会員 ○ 河野 昭子 筑波大学 正会員 松島 亘志

1. はじめに

鉄道線路の中でも路盤とまくらぎの間に単粒度砕石を敷き詰めたバラスト軌道は、建 設費が安価でありながら様々な機能を有することから、我が国の鉄道線路の9割を占め ている。しかし一方で保守上の課題もあり、レール継目部などのレール表面凹凸部周辺 では、しばしばバラストの局所的な沈下が発生している。これに対し「レール表面凹凸 部を列車が通過する際の衝撃荷重が原因」と言う説もあるが、荷重の衝撃成分がバラス ト層の長期的沈下に与える影響に関しては、ほとんど検証されていない。そこで本研究 では、衝撃荷重レベルの高速載荷が可能なステッピングモータ式の載荷装置を製作し、 模型砕石層における繰返し載荷実験を行なうと同時に、実験中の砕石層の画像を撮影し、 粒子の挙動を観察した。

2. 実験概要

2-1 試験機 : 試験機は図1に示す通りで、載荷部は、ステッピングモータの回転によっ てネジ棒が上下する仕組みとなっている。ステッピングモータは、制御用ロードセルによ って設定荷重を感知し、回転・反回転する。またモータの回転速度と回転数を個別に設定 することで、荷重一波の載荷速度と繰返し載荷の載荷間隔が別々に制御可能である。

2-2 供試体 : 本試験では、実際のバラスト軌道の 1/3 のサイズを参考にして、図2に示

す粒子層を構築した。試料は実際にバラスト軌道で用いられる安山岩 砕石で、図3に示す実バラストの 1/3 の相似粒度に調整した。供試体 の間隙比は 0.615 程度であった。

2-3 載荷条件: 繰返し載荷荷重の条件として、載荷間隔は 0.5 秒 (2Hz相当)とし、載荷速度は、高速載荷と、標準載荷の2通りとした。 '高速載荷'においては、衝撃荷重レベルを考慮して、一波の荷重作用時 間が0.02s程度となる載荷速度を設定し、'標準載荷'は'高速載荷'の1/10 の載荷速度とした。図4に載荷波形の例を示す。載荷回数は10000回とし、 '標準載荷'および'高速載荷'ともに2回ずつ実験を行なった。

3. 実験結果

3-1 沈下曲線 : 繰返し載荷実験結果より、載荷回数と残留沈下量(各載荷 における除荷時の塑性沈下量)の関係を図5に示す。図中、黒色細線が ・高速載荷、の結果、灰色太線が、標準載荷、の結果である。また横軸は対数表示 としている。

まず載荷1回目においては、標準載荷では0.48mm および0.70mmの残 留沈下が、高速載荷では 0.29mm および 0.22mm の残留沈下が生じ、標準 載荷の方が高速載荷よりも残留沈下量が大きい結果となっている。

その後の繰返し載荷過程においては、標準載荷では残留沈下量の増加が小さく、載荷 10000 回終了時の残留沈 下量も 1.62mm および 2.19mm と載荷 1 回目の 3 倍程度に留まるのに対し、高速載荷では残留沈下量が増え続け、 載荷10回以内で標準載荷の残留沈下量を超え、載荷





試験機 図 1



図2 供試体



高速載荷 2

標準載荷 1

1000

標準載荷2

10000

10000回終了時の残留沈下量は、8.08mm および 11.56mm に上り、 高速載荷1回目の 40~50 倍となる。また標準載荷と高速載荷を比較 しても、最終的な残留沈下は、高速載荷が 4~9 倍の値となる。

3-2 粒子の挙動観察: 次に繰返し載荷実験中に、50pps (標準載荷) および 500pps (高速載荷)で撮影した砕石層の画像を PIV 処理して、 粒子の挙動を可視化した。 PIV では、設定した大きさのエリアの画 像情報でパターン認識を行い、複数の写真における同一エリアを追 跡する。ここでは、図 6 に示す砕石層部分の画像を用いて、パター ン認識のエリアの大きさを、砕石粒子の平均粒径である 11mm 四方 に設定した。画像を横 100×縦 20 に分割して、各格子点の動きを可 視化した結果を図 7 に示す。ここで、図 7(1)は繰返し載荷過程の載 荷 1 回目、図 7(2)は載荷 10 回目であり、また各図とも①が載荷過程、



②が除荷過程の粒子の挙動を示す。更に、左図(a)が'標準載荷'、右図(b)が'高速載荷'の結果を示している。

これより、載荷1回目の載荷過程では、標準載荷において、より著しい粒子の移動が見られ、その後の除荷過程 では、標準載荷よりも高速載荷で、砕石層全体に粒子の移動が見られる。この挙動は、3-1 で述べた「載荷1回目 は標準載荷で残留沈下が大きい」と言う結果と合致する。次に載荷10回目では、載荷および除荷過程において、 高速載荷における粒子の移動が著しく、この傾向は、載荷100回目および1000回目でも同様に見られる。

つまり、標準載荷においては、載荷1回目の載荷過程で粒子が移動した後、徐々に粒子構造が安定し、繰返し載 荷・除荷過程でも砕石層上層の載荷板との接触域周辺でのみ粒子が移動するのに対し、高速載荷では、繰返し載荷 過程全体において、載荷時および除荷時の両者において粒子の移動が著しく、それによって沈下進みも大きくなる ことが考えられる。



4. おわりに

模型砕石層を用いた繰返し載荷実験より、衝撃荷重下の砕石層の沈下特性と粒子挙動の特性が明らかとなった。 今後はDEMによる再現シミュレーションを行い、粒子挙動のメカニズムを検討したい。