

## 単粒度砕石の振動台試験における加振力の伝達に関する検討

鉄道総合技術研究所 正会員 石川 達也  
 鉄道総合技術研究所 正会員 関根 悦夫  
 鉄道総合技術研究所 正会員 室野 剛隆

### 1. 目的

鉄道車両の走行安全性の観点から線路の耐震設計を考える場合には、応答値の算定に動的解析法を採用した軌道構造の耐震性能評価手法を確立する必要がある。しかし、我が国の線路の約90%を占めるバラスト軌道（図1）は、他の鉄道構造物と比較して加振時の動的応答特性に未解明な部分が多い。例えば、路盤から伝達される地震波は、道床バラストと称される単粒度の砕石と路盤間の不連続性により、両者の材料境界で顕著な地震動の増幅・減衰あるいは位相差などが生じると予想されるが、路盤から道床への加振力の伝達特性を検討した研究はあまり例を見ない。しかし、構造物の損傷を許容する変形性能の照査を盛り込んだL2地震動に対応した耐震設計では、強地震動により道床に加えられる振動エネルギーの一部が塑性流動に転化されることから、路盤から伝達される加振力を精度よく予測することがバラスト軌道の耐震性能を評価する上で非常に重要である。そこで、本報告では、せん断力と鉛直力を同時に測定可能な2方向ロードセルを路盤面に設置し、道床バラストの1/3相似粒度の単粒度砕石の振動台試験を行い、路盤と道床間の不連続境界における水平加振力の伝達特性について検討する。

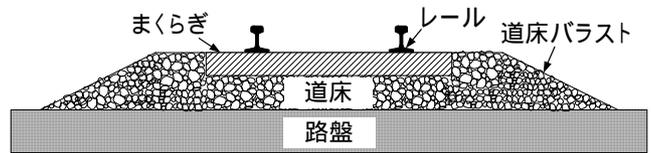


図1 バラスト軌道

### 2. 試験概要

試験は、実軌道で使用されている甲州産安山岩の道床バラスト（1/1試料）を1/3相似粒度に粒度調整した単粒度砕石（1/3試料）を用いて行った。図2に試料の粒径加積曲線を示す。供試体（模型道床）は、気乾燥状態の試料を密度1.60t/m<sup>3</sup>になるように上載荷式振動バイブレータで締め固めて土槽内の模型路盤（表面に粒径2mmの単粒度砕石を接着したセメントアスファルトモルタル、厚さ20mm）上に作製した。この際、供試体はバラスト軌道の横断面に近い形状に成形した。

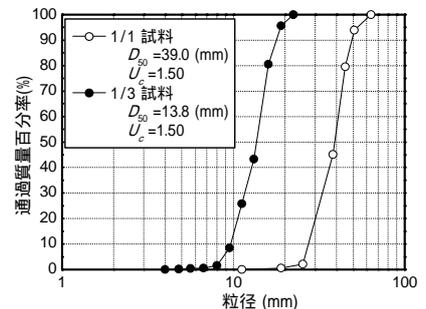


図2 試料の粒度分布

図3に供試体の概略および計測器配置図を示す。なお、模型道床は線路横断方向を想定した平面ひずみ状態であり、土層前・背面と模型道床の間はシリコングリースとモピロンフィルムで摩擦を軽減している。計測は、模型道床および振動台の水平方向の加速度、変位および2方向ロードセル（図3）の出力値（せん断力、鉛直力）をサンプリング周波数400Hzで同時収録した。この

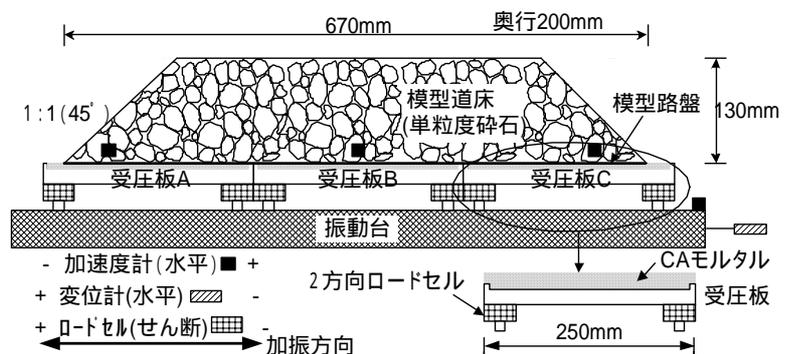


図3 振動台試験の概略

際、測定値の符号の正負は図3のように定義した。なお、2方向ロードセルは図3に示すように受圧板と供試体の慣性力の合力をせん断力として測定する構造になっている。加振方法は、加振周波数5Hzの正弦波10波毎に最大入力加速度を100gal刻みで1000galまで増加させる水平方向のステップ加振とした。

キーワード 振動台実験，粒状材料，耐震設計，有道床軌道

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 (財)鉄道総合技術研究所 TEL042-573-7276

3. 試験結果および考察

まず、2方向ロードセルによる慣性力の測定精度について検討する。図4に、模型道床の代わりに鉄製の重りを模型路盤に固定し、これを水平加振して得られた振動台の入力加速度と2方向ロードセルのせん断力の関係を示す。図から、両者は比例関係にあるものの、比例定数は重りの有無により変化することがわかる。この場合の比例定数は、慣性体の質量に相当すると考えられる。そこで、重りの質量を変化させた場合の各加振ステップの入力加速度振幅とピークせん断力の関係を図5に示す。図から、加振により生じる慣性力は重りの質量にほぼ比例することがわかる。また、重り無しの条件の回帰直線の傾きは受圧板の質量とほぼ一致した。以上のことから、供試体が受圧板と同位相で振動する場合、2方向ロードセルで測定されるせん断力は供試体と受圧板の慣性力と同値になると考えることができる。

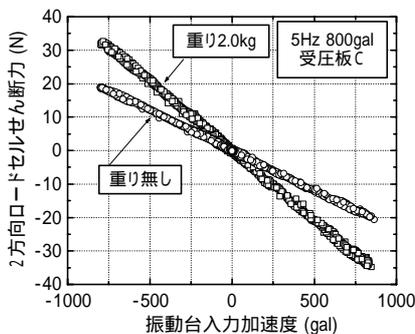


図4 ロードセルの検定例

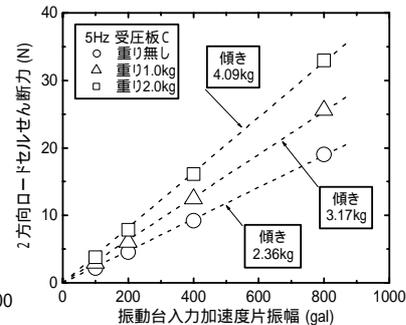


図5 慣性質量と慣性力

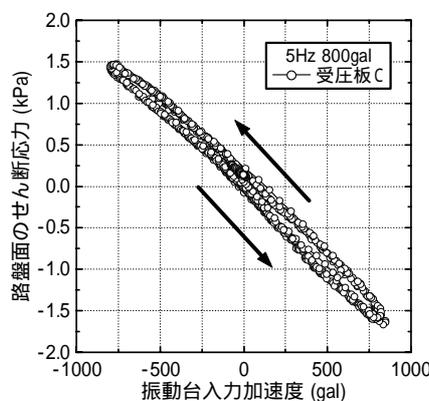
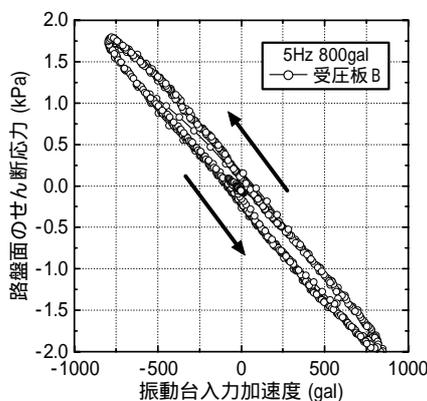
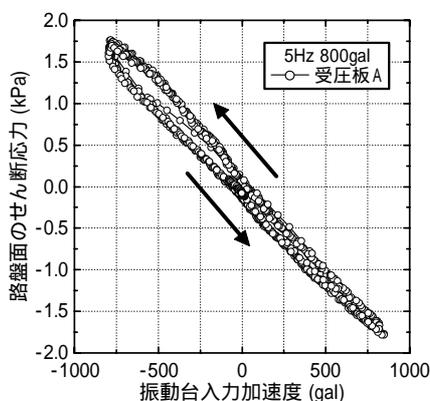


図6 路盤面のせん断応力と入力加速度

次に、路盤と道床間における水平加振力の伝達特性について検討する。図6に、路盤面のせん断応力（2方向ロードセルのせん断力から受圧板の慣性力相当分を差し引いた値を受圧板面積で除して算出）と振動台の入力加速度の関係を受圧板別に示す。同図のせん断応力と入力加速度の関係は、図4と異なり履歴ループに膨らみを有している。また、その形状は受圧板の設置位置で変化し、両端部の受圧板ではほぼ対称形になる。これは、剛結された重りの場合と異なり、粒状体である模型道床の応答では路盤からの入力に位相差が生じることを示すものである。特に、両端部の履歴ループで膨らみの大きい箇所が土層外方向の加振時に出現することを考慮すると、碎石粒子の移動が境界面でのエネルギー損失をもたらし、位相遅れの原因になると推定される。一方、振幅に関しては、路盤面のせん断力の合計値を供試体全体が路盤面に剛結されていると仮定した場合の推定慣性力で正規化して図7に示す。両者の比は、入力加速度振幅が大きくなると1.0に近づくものの、400gal以下の加速度では加振力の5割近くが路盤・道床間の不連続境界で減衰する傾向にある。このため、路盤・道床間の加振力の伝達を推定する場合には、境界面での減衰や位相遅れを十分に考慮する必要がある。

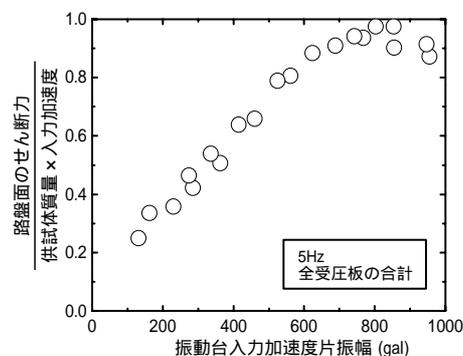


図7 慣性力の伝達特性

4. まとめ

今回の試験により、連続体と仮定できる構造物に比較して、粒状体である道床バラストでは路盤・道床間の不連続境界面で加振力がかなり減衰し、顕著な位相差を生じることが明らかとなった。今後、道床内部での波動の伝播特性に関する検討を進め、L2地震動に対する単粒度碎石の変形性能を明らかにする予定である。