

バラスト軌道を支持する高架橋の地震応答に関する基礎的検討

鉄道総合技術研究所

正会員 ○上半 文昭

東京大学生産技術研究所

正会員 目黒 公郎

1. はじめに

バラスト軌道を支持する高架橋は、粒状体と連続体の連成系であると捉えることができる（図1）．大地震時の列車の走行安全性や高架橋等構造物の地震被害の検討を目的とした数値シミュレーションを行う場合、バラスト軌道部分は質量を持った連続体として取り扱うのが通例であるが、もし粒状体と連続体の挙動の連成によって高架橋や軌道面の地震応答に顕著な変化が生じるのであれば、その数値シミュレーション手法を確立し、詳細な評価を行う必要がある．そこで本研究では、そのための基礎的な検討として、簡単な模型実験を行って粒状体を支持する連続体の応答特性を調査するとともに、粒状体－連続体連成系の数値シミュレーション手法を検討した．

2. 粒状体と連続体からなる小型模型の加振実験

バラスト軌道と高架橋のように、粒状体と連続体からなる系において、両者の連成効果が地震応答に及ぼす影響を調べるための基礎的な検討として、小型模型の振動台加振実験を実施した．高架橋を模した連続体模型の上に軌道模型をのせた小型模型（図2,3）を作成し、振動台によるスイープ加振実験を実施した．その結果、軌道模型を連続体とした場合に比べて、バラスト軌道を模したガラス製の粒状体（粒状体群の質量は連続体の軌道模型と同一）にした場合、模型基部に対する桁部の応答倍率が低減されることを確認した（図4）．模型の共振点付近では、粒状体が摩擦音を出しながら激しく運動することが確認されており、この挙動が連続体模型に対して減衰を与える方向に作用したものと推測される．また粒状体として、球形（直径 5mm）とバラスト状の不規則形状（サイズ 4.75～5.0mm 程度）の2種類のガラスビーズを使用した．応答倍率の低減はどちらの粒状体を用いた模型にも見られたが、粒状体群としての流動性が高い球形の粒状体の方が低減効果がやや大きかった．

3. 粒状体と連続体の連成挙動の数値シミュレーション

（1）数値シミュレーション手法

先の実験で確認された、粒状体（バラスト軌道）を支持する連続体（高架橋）の地震応答の低減効果の評価に応用できる数値シミュレーション手法を検討した．著者らは、これまで粒状体群の挙動の解析に適した個別要素法¹⁾やRC構造物の破壊現象の解析に適した応用要素法²⁾を用いて構造物の地震時の動的な大変形挙動のシミュレーションに取り組んでおり、バラスト軌道と高架橋の連成系の挙動についても、解析する問題に応じて両解析手法の

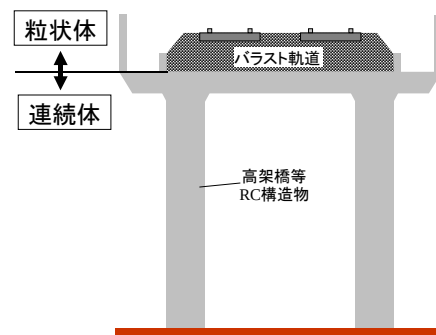


図1 バラスト軌道を支持する高架橋

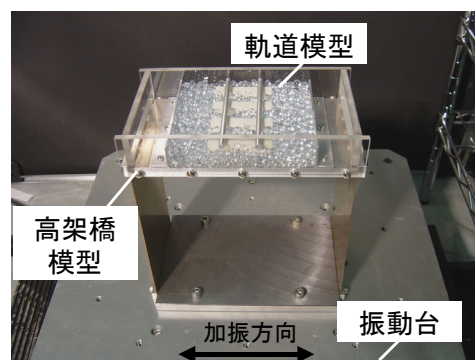


図2 実験に用いた小型模型

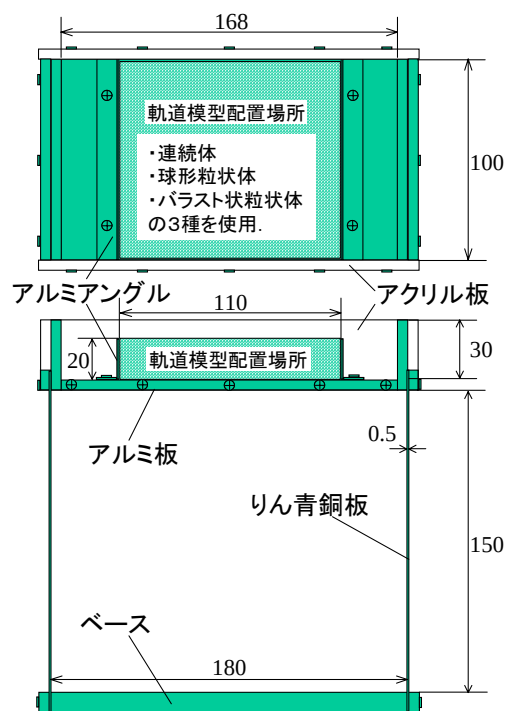


図3 小型模型の形状
（上：上面図，下：正面図）

一方または両方を用いた検討を実施している．ここでは，高架橋の破壊現象が主たる解析対象ではなく，また粒状体群の挙動の影響が大きい問題を取り扱うため，個別要素法によるシミュレーションを実施した．連続体のモデル化には，コンクリートの骨材を結合するモルタルのような間隙物質を模擬したばね（間隙ばね）で個別要素間を結合することによって，個別要素法で連続体を取り扱えるようにした拡張個別要素法³⁾（図5）の考えを導入した．

（2）解析例

個別要素法による粒状体－連続体連成系解析モデルを用いて，バラスト軌道－高架橋モデルのスweep加振シミュレーションを実施した．数値解析モデルは，直径5.0cm，密度2.5ton/m³の円形要素で構成した2次元モデルである（図6）．高架橋モデルは，各個別要素を間隙ばねで結合して連続体化した．バラストモデルについては，間隙ばねで結合して連続体化したものと粒状体としたものの2ケースを作成した．高架橋基部に正弦波を入力してスweep加振シミュレーションを実施し，両モデルの桁部の応答特性を調べた（図7）．先の実験結果と同様にバラスト軌道部分を連続体にするよりも粒状体とした方が，高架橋の応答倍率が低減されることを確認できた．バラストモデルを粒状体としたモデルについては，大小2種類の加振振幅に対する応答を調べた．バラストモデルが粒状体群としての形状を保ちうる程度の加振振幅（加振振幅小）の場合には応答倍率の低減が生じるだけであったが，粒状体群が破壊されて加振時にバラスト止めに激しく衝突する程度の加振振幅（加振振幅大）の場合には最大応答を与える振動数も変化することを確認した．

4. まとめ

小型模型実験の結果から，粒状体を支持する連続体模型の地震応答は，同質量の連続体を支持する場合に比べて低減されることを確認した．また，粒状体－連続体連成系の数値シミュレーション手法を提案し，同様に地震応答が低減することを数値シミュレーション結果からも確認した．これらの結果は，バラスト軌道を支持する高架橋の大地震時の応答が，バラスト軌道を連続体化して求めた地震応答の解析解よりも小さくなる可能性があることを示している．本検討では限られた条件下で極めて定性的な知見が得られたに過ぎないが，バラスト軌道を支持する高架橋の地震応答について，今後より詳細に検討していきたい．

参考文献

- 1) Cundall, P. A.: A computer model for simulating progressive, Large-scale movement in blocky rock systems., Symp. ISRM, Nancy, France, Proc., Vol. 2, pp.129-136, 1971.
- 2) Meguro, K. and Tagel-Din, H.: A new efficient technique for fracture analysis of structures, *Bulletin of Earthquake Resistant Structure Research Center*, IIS, Univ. of Tokyo, No.30, pp.103-116, 1997.
- 3) 伯野元彦：破壊のシミュレーション－拡張個別要素法で破壊を追う－，森北出版，1997．

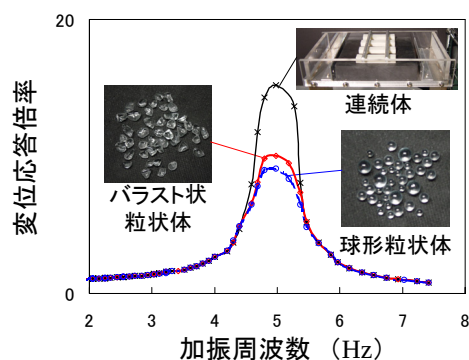


図4 高架橋模型の応答特性

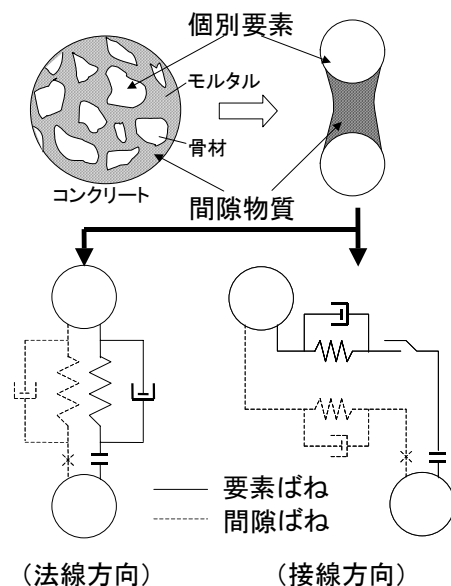


図5 個別要素法の拡張

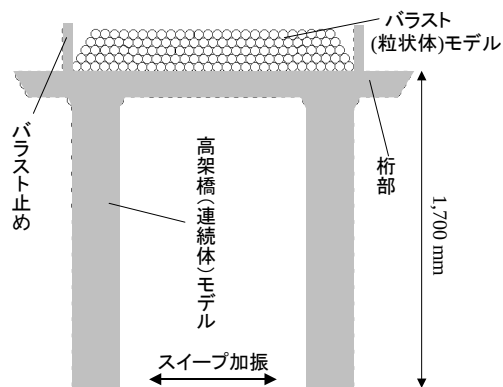


図6 バラスト軌道－高架橋モデル

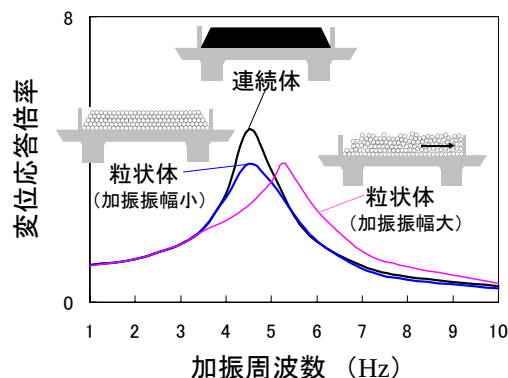


図7 高架橋モデルの応答特性