

高減衰弾性まくらぎと人工バラストの軌道沈下抑止効果に関する模型実験

鉄道総合技術研究所 フェロー会員 ○相川 明

1. はじめに

本報告では、高減衰素材を用いた弾性まくらぎ工法と、高強度人工バラスト混入工法の2つの軌道沈下抑制工法について、実物大軌道模型を用いた衝撃荷重実験によりその効果を調べた。

2. 実験装置と実験概要

実験装置と測定の概要を図1に示す。模型は、コンクリート路盤上に約30cm厚さの道床を構築し、PCまくらぎ3本と60kgレール2本で軌きょうを構成したものである。実験では、鋼製の重錘(約400kg)を落下させて、衝撃荷重を発生させる。軌道に加えた衝撃荷重の平均値は左右合計で217kNであった。

実験では、通常の軌道構造(以下「無対策」とする)、弾性まくらぎ工法、および、人工バラスト混入工法について比較した。ここに、弾性まくらぎ工法とは、まくらぎ底面とバラスト層との間に弾性材を挟むことで、列車通過時の荷重を低減する工法である。本実験では、まず、市販の弾性まくらぎ用ゴム材を用い、つぎに、この改良型として高減衰粘弾性素材を使用した。また、人工バラスト混入工法は、5~6cm角の高強度矩形材をバラストに混入するものである。本実験では、繊維補強高強度コンクリートブロック、および、アルミ合金製ブロックを用いた。ブロック混入量は、まくらぎ1本あたりで、在来線仕様で80個以上、新幹線仕様で120個以上とした。

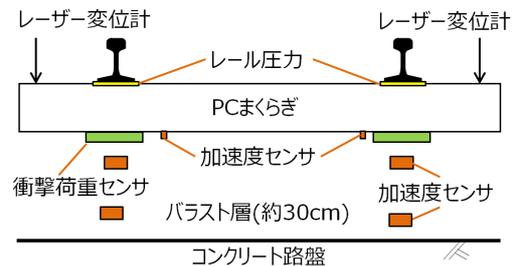
3. まくらぎの変位応答

在来線構造のバラスト軌道模型を用いて、無対策、通常素材の弾性まくらぎ工法、および、人工バラスト混入工法の3つについて衝撃荷重実験を行った。

図3は、衝撃荷重を荷重直後のまくらぎの鉛直変位である。図には、初期荷重(約千回分)を除いて、約4千回の荷重に関する平均曲線を示す。図中の下向き変位はバラスト層の圧縮挙動を、上向きの変位はバラスト層の伸張挙動(跳ね上がり)を意味する。図より、無対策の場合は、衝撃荷重が加わると、1/1000



(a) 実験装置と実物大バラスト軌道模型



(b) センサの設置状況

図1 実験装置と測定の概要

秒ほどの短時間で、バラスト層は弾性圧縮し、もとの位置に復元し、その後、まくらぎに跳ね上がりが発生した。同図には、無対策の場合以外に、通常の弾性材による弾性まくらぎ、および、人工バラストを混入した場合についても変位波形を示す。

また、表1は、荷重速度に対する跳ね上がり速度の比、跳ね上がり時の運動エネルギーの大きさ、および、1kHzまでの加速度スペクトルにおける振幅低減率を比べたものである。運動エネルギー、および、加速度振幅低減率については無対策時を1に換算した。ここに運動エネルギーは低周波域の変位抑制効

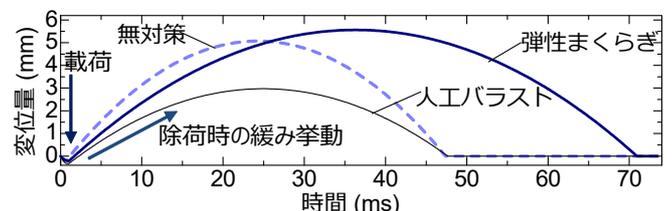


図3 まくらぎ鉛直変位の平均曲線(実験値)

表1 対策工の効果の比較

対策工	速度比 (反発係数)	跳ね上がり時の 運動エネルギー	加速度振幅 低減率
無対策	1.7	1	1
通常弾性材	1.5	0.744	0.48
人工バラスト	1.1	0.130	0.95

キーワード バラスト軌道, 軌道沈下, 実物大模型実験, 弾性まくらぎ, 人工バラスト, 短繊維補強コンクリート 連絡先 aikawa.akira.11@trti.or.jp

果を、加速度振幅の低減率は衝撃荷重の低減効果を意味する。表より、通常素材の弾性まくらぎについては、跳ね上がりの抑制効果は7割程度、衝撃荷重の低減効果は50%ほどであることがわかる。これに関しては、素材を高減衰の低反発素材への変更することでさらに効果を改善可能と思われる。また人工バラストについては、衝撃荷重の低減効果はわずかであるが、運動エネルギーが約1/8に減少しており、低周波域の変位抑制効果を有することがわかる。

4. 対策工の改善効果

新幹線軌道に関するバラスト軌道模型を用いて、高減衰素材を用いた弾性まくらぎと、アルミ合金を用いた人工バラスト混入工法に関する衝撃荷重実験を実施した。図4はその沈下曲線である。本実験の千回の荷重が、実軌道での約1ヶ月分(通トンで約2~3百万トン)に相当する。図より、高減衰素材および人工バラストともに、沈下抑制効果が認められる。また、両対策工を併用した場合は、荷重回数約2千回以降では沈下が殆ど発生しなくなった。

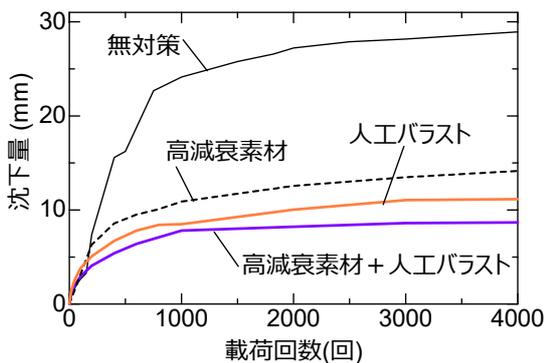


図4 バラスト沈下量の比較(実験値)

5. 高減衰素材の効果に関する大規模解析

図5に示すような、高減衰素材の弾性まくらぎ工法に関する大規模有限要素法モデルを構築し、構造解析ソフト Advance/FrontSTR により¹⁾、まくらぎ上面の左右レール位置にそれぞれ50kNのインパルス衝撃荷重を加える過渡応答解析を実施した。モデルの構築手順については参考文献(2)に譲る。また、粘弾性特性については Prony シリーズで級数展開しモデル化した³⁾。図6は、深さ約10cmのバラストに関するミーゼス応力のリニアスペクトルである。図には、粘弾性素材を挟んだ場合と、無対策時の結果を示す。図より、高減衰素材を用いることで、広範囲の周波数領域で振幅を大幅に低減できることが解る。しかしながら、高減衰素材を用いた場合、200 Hz 以

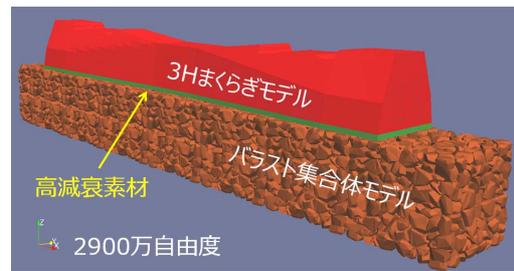


図5 高減衰素材による弾性まくらぎモデル

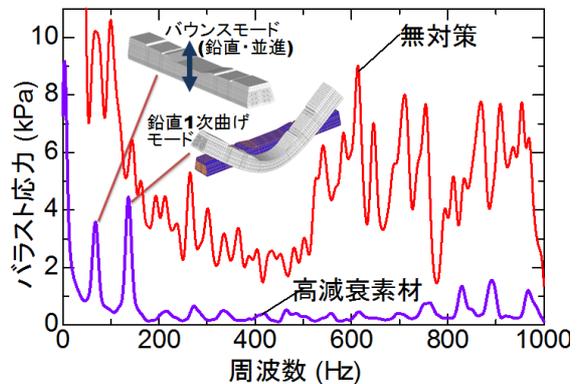


図6 高減衰弾性まくらぎの効果(解析値)

下の低周波領域において、2カ所の応答ピークが確認できる。これは、PCまくらぎの質量が、高減衰素材の弾性ばねにより上下振動する固有振動(バウンスモードと鉛直1次曲げモード)である。すなわち、減衰素材はゴムとしての弾性的特性を有するため、まくらぎの質量と減衰素材のバネで1自由度の振動系を形成することが原因して、低周波域の固有振動を抑制できないことがわかる。一方、人工バラストは、上述の実験結果より低周波域の変位低減効果を有する。すなわち、図4に示した人工バラストと高減衰素材を併用した場合に認められる高い沈下低減効果は、高減衰素材のみでは抑制できない低周波域の上下動が、人工バラストの変位低減効果により低減したことによって実現したものと推察される

7. まとめ

本稿では、高減衰素材を用いた弾性まくらぎ工法と人工バラスト混入工法について、実物大模型を用いた落錘衝撃荷重実験を実施した。その結果、両工法を併用することで、実験室レベルではあるが、沈下を効果的に抑制できることが明らかになった。

参考文献

- 1) 構造解析ソフトウェア Advance/FrontSTR, アドバンスシミュレーション, Vol.20, 2014
- 2) 相川 明: まくらぎ・バラスト系の鉛直方向固有振動特性に関する有限要素過渡応答解析, 土木学会論文集 A2 (応用力学), Vol. 71, No. 2, pp.I_125-I_136, 2015
- 3) 藤井 茂: 二輪車タイヤの衝突特性解析, 技報, ヤマハ発動機株式会社, No.35, 2003