

IV-285

道床部変形特性を考慮した非線形骨組構造解析

鉄道総合技術研究所 正員 石川達也

鉄道総合技術研究所 正員 名村 明

1. はじめに

有道床軌道の静的な構造解析手法としては、レールを連続梁と考えレール支承体を線形弾性ばねと仮定するモデルが一般的である。しかし、道床部の変形特性に関する最近の研究^{1) 2)}によると、レール圧力とまくらぎ上下変位量で表される道床部の荷重-変位関係は必ずしも線形関係にあるとは言えなく、軌道状態によっては強い材料非線形性を呈する場合がある。このため、本報告では、有道床軌道に対する上下方向の軌道負担力の算定手法の適正化および深度化を目的として、道床部の変形特性を模擬した非線形骨組構造解析に関して、従来の線形解析と対比させながら基礎的な検討を行った。

2. 道床部変形特性

実物大試験軌道を用いた試験結果によると、道床部の上下方向の荷重-変位関係は、軌道整備直後の初期載荷時に塑性流動を伴いながら弱い非線形性を呈するばかりでなく、荷重の繰返し載荷により徐々に材料非線形性を強める傾向にある。図1は、初期載荷時における道床部の荷重-変位関係を示したものであり、図中にべき乗回帰した場合の回帰線を併せて示した。なお、この回帰線は式(1)のようになる。

$$Pr = 70.6 \cdot y^{0.777} \quad (1)$$

ここで、 Pr : レール圧力、 y : まくらぎ上下変位量

従来の線形構造解析では、図1のような荷重-変位関係を直線近似し線形ばねを仮定して解析を行うが、ここでは式(1)で表される荷重-変位関係を用いた非線形解析を行った。

3. 解析方法

主として片レール当たりの解析を行う上下方向の構造解析では、まくらぎ以下の部材全体をばねと仮定すれば、軌道構造を平面骨組構造として扱うことが可能である。ここでは、有限要素法を用いた平面骨組構造のプログラム³⁾を式(1)で示されるような非線形ばね要素を扱えるように改良し、これにより有道床軌道に対する静的な構造解析を行った。具体的には、まくらぎ20本分(60kgレール、41本/25m)を解析範囲とし、両端をそれぞれ回転支点と移動支点にした。また、両端以外のまくらぎ位置では、弾性支持されるものとし、その支持方式により次の2つのモデルを考える。

(a) model 1: 圧縮時には式(1)に従うが、引張時には式(1)の半分の抵抗力をもつばねを有するモデル

(b) model 2: 圧縮時にのみ式(1)に従って抵抗するばねを有するモデル

なお、輪重は解析範囲の中央のまくらぎ直上に載荷することとし、死荷重は考慮しないこととした。

4. 解析結果および考察

(1) 非線形解析結果に対する傾向分析

輪重を10~100kNの間で変化させてmodel 1 およびmodel 2 により解析した結果を図2、図3に示す。図2は、輪重と輪重載荷直下のまくらぎ上下変位量の関係を示したものであるが、両者は線形解析時と異なり比例関係にないことがわかる。一方、図3は輪重と輪重載荷直下のまくらぎにおける荷重分散率(レール圧力/輪重)の関係を示したものであるが、輪重が大きくなると荷重分散効果は低下する傾向にある。また、引

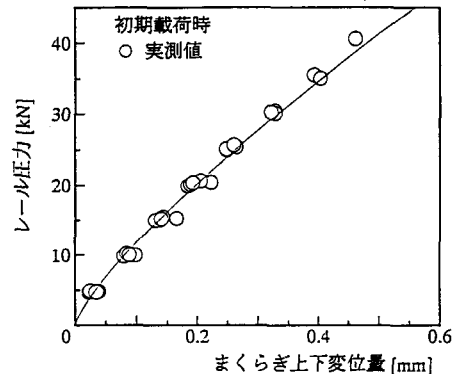


図1 道床部の荷重-変位関係

張に抵抗しないmodel 2の方が、荷重分散効果が低く荷重－変位関係にも非線形性の影響が現れている。

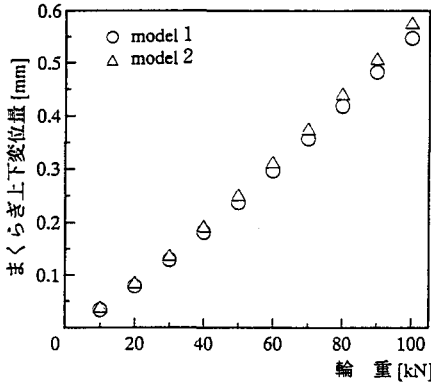


図2 輪重とまぐらぎ上下変位量の関係

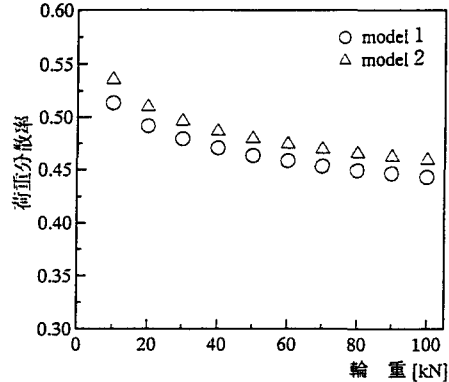


図3 輪重と荷重分散率の関係

(2) 線形解析の有意性に関する検討

非線形解析による輪重載荷直下のまぐらぎでのレール圧力とまぐらぎ上下変位量から得られる割線ばね係数は、図4に示すように輪重の増加に伴い減少する傾向にある。一方、線形解析におけるばね係数は荷重強度によらず一定となるため、荷重強度によりばね係数を変化させる必要がある。表1は3連モーメント法に基づく従来型モデルを用いて、ばね係数以外の解析条件を非線形解析と同じにし、輪重50kNを載荷した場合の解析結果である。なお、ばね係数としては、計算されるレール圧力（表1中の「仮定Pr」）を仮定した場合に、式(1)を用いて算定される割線係数を用いている。表から線形・非線形解析により算定されるレール圧力は、ばね係数の設定によっては20%近くも差異が現れることがわかる。

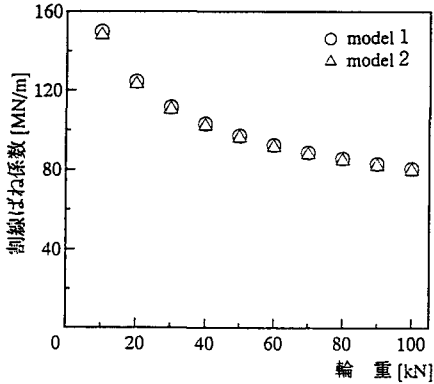


図4 輪重と割線ばね係数の関係

表1 線形・非線形解析結果の差異

仮定 Pr [kN]	割線係数 [MN/m]	計算 Pr [kN]	計算結果の差 [%]	
			model 1	model 2
10	123.9	25.7	-11.8	7.2
15	110.3	25.0	-3.4	4.3
20	101.5	24.5	0.9	2.2
25	95.2	24.1	5.1	0.6
30	90.3	23.8	9.3	-0.7
35	86.4	23.5	13.5	-1.9
40	83.2	23.3	17.7	-2.8
45	80.4	23.1	21.9	-3.6
50	78.0	23.0	21.9	-4.0

5. まとめ

本報告では、道床部の変形挙動を模擬した非線形ばねを用いた軌道の構造解析を行い、その解析結果の傾向について基礎的な検討を行うとともに、線形解析との比較検討を行った。この結果、今回のような弱い非線形性を有する荷重－変位関係に線形解析を適用する場合にも、その線形ばね係数の選択が解析結果に重要な影響を及ぼすことが明らかになった。今後、繰返し効果に起因する道床部の強非線形性や死荷重を考慮した解析を行って解析手法自体の深度化を図るとともに、実物大試験軌道による載荷試験結果との整合性を検証してパラメータの同定手法の開発を行う考えである。

【参考文献】

- 1) 石川達也, 名村明: 鉄道線路における道床部変形特性の基礎的検討, 粒状体の力学シンポジウム発表論文集, 1993. 12.
- 2) 名村明, 石川達也: 粗粒材の材料特性からみた道床部変形挙動 (その1), 第29回土質工学研究発表会発表講演集, 1994. 6.
- 3) 藤谷義信: パソコンで解く骨組の力学, 丸善, 1993. 3.