

横圧に対する軌道の座屈安定性評価

（財）鉄道総合技術研究所 正会員 ○岩佐 裕一
 （財）鉄道総合技術研究所 正会員 片岡 宏夫
 （財）鉄道総合技術研究所 正会員 柳川 秀明

1. はじめに

ロングレールの動的座屈強さの評価法を確立するためには、列車荷重の影響を理論的、実験的に検証する必要がある。本研究では、車両横圧が軌道の座屈安定性に及ぼす影響を明らかにするため、輪重に対応する鉛直荷重および横圧に対応する水平荷重を載荷した模型軌道座屈試験を実施した。また、有限要素法を用いた座屈安定性解析法を開発し、従来のエネルギー法¹⁾を拡張した座屈安定性解析法と比較し、その検証を行った。

2. 模型軌道座屈試験

ゴムマット上に模型レール/まくらぎで構成される軌きょうを敷設した簡易型の模型座屈試験装置²⁾を用いて、曲線半径 200m の模型軌道に波長 1m、波高 2mm の初期通り変位を設定した（図 1）。初期通り変位の中央のまくらぎ 5 本に鉛直荷重を加え、さらに一定の水平荷重を負荷した状態で温度上昇させる試験を実施した（図 2、表 1）。

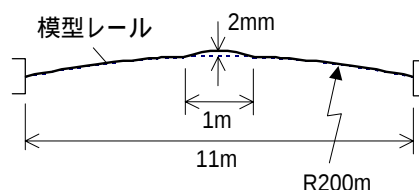


図 1 模型軌道の概略

試験の結果、水平荷重が 150N のケースでは鉛直荷重による横抵抗力の増加と水平荷重の効果が相殺されて座屈発生軸圧力は無載荷時と同等であったが、水平荷重を増加させることにより座屈発生軸圧力が低下することが確認された（表 2）。

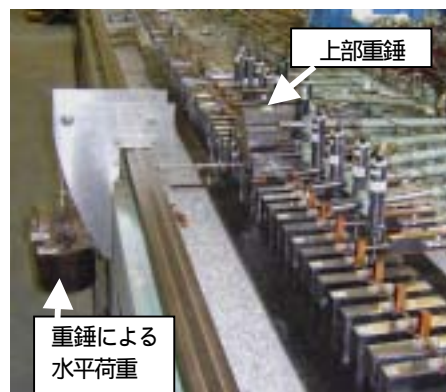


図 2 模型軌道座屈試験の状況

3. 有限要素法（FEM）による座屈安定性解析法

従来のエネルギー法による解析法は、座屈後の波形を仮定した近似解法であり、初期通り変位に対し非対称な横抵抗分布を持つ場合や非対称な荷重を受ける場合にはその適用は難しい。そこで、有限要素法を用いた座屈安定性解析プログラムを構築し、よりきめ細かい座屈安定性を評価できるようにした。解析モデルを図 3 に示す。座屈発生点以降の解析ができるように、非線形計算の収束法には弧長法を採用した。

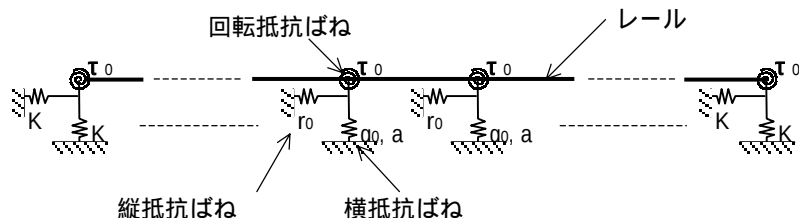


図 3 有限要素法の解析モデル

表 1 測定条件

ケース	鉛直荷重	水平荷重
1	なし	なし
2	250N	150N
3	250N	200N

表 2 試験結果

ケース	座屈発生軸圧力 (kN)	座屈直前通り変位 (mm)	座屈直後通り変位 (mm)
1	6.0	2.4	38.6
2	5.6	3.2	43.7
3	4.0	3.3	40.3

注) 表中の数値は試験結果の平均値

4. 座屈安定性解析法の検証

2 章の模型軌道座屈試験の結果を用いて、従来のエネルギー法を拡張した解析法と有限要素法による解析法の検証を行った。解析条件

キーワード 座屈、横圧、ロングレール、エネルギー法、有限要素法

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 TEL042-573-7275 FAX042-573-7432

を表3に示す。鉛直荷重載荷の場合の横抵抗力特性は、表1の条件のケース2と3の座屈試験終了後に行った模型まくらぎの横抵抗力試験の結果を用い、係数は一定とした。

試験結果と解析結果の比較を図4に示す。座屈発生軸圧力の試験値は、無載荷の場合にはエネルギー法を用いた座屈発生軸圧力と最低座屈強さの解析値の間に入っていた。一方、鉛直荷重と水平荷重を載荷した場合の座屈発生軸圧力試験値は、ケース2ではエネルギー法の解析値と同程度であり、ケース3では同解析値を上回っていた。有限要素法による座屈発生軸圧力の解析値はエネルギー法による解析値より低く、無載荷の場合には座屈発生軸圧力の試験値と同程度であるが、鉛直荷重と水平荷重を載荷した場合には試験値を大きく下回る結果となり、かなり安全側の評価となっていることがわかった。

表3 解析条件

項目		値
レール種別		模型レール
モデル長さ		11 m
横抵抗力	最終値	1.45 N/cm
	係数*	0.001 cm
縦抵抗力	最終値	1.45 N/cm
	係数*	0.001 cm
回転抵抗モーメント		6.89 Ncm/cm
初期軌道変位	波高	2 mm
	波長	100 cm

*係数...抵抗力が最終値の1/2となる
ときの横変位

5. 横圧を考慮した軌道の座屈解析

有限要素法による座屈安定性解析法を用いて、実軌道を想定した座屈解析を実施した。解析は、まず輪重と温度上昇を与えて一定の温度で保持し、続いて横圧を徐々に増加させていく手順で行い、片側レールの軌道について輪重による横抵抗力の変化³⁾を考慮した。その結果、横変位は横圧40kN程度まで著大な横変位は発生しなかった(図5)。大きな横圧が片側レールに作用することを考慮すると、本解析の横圧30kNは実際の軌道では横圧60kNに相当し、輪重が作用している直下の座屈安定性は相当高いといえる。

6. おわりに

本研究において、横圧が軌道の座屈強さに与える影響を明らかにした。所定の道床横抵抗力が確保されている軌道においては、現実的な横圧の範囲では著大な横変位は生じないことがわかった。今後、有限要素法による座屈安定性解析法については、モデルの改良を進め、さらに精度を向上させていく予定である。

参考文献

- 1) 宮井徹：エネルギー法による軌道座屈の数値解析、鉄道技術研究報告、No.1271、1984.7
- 2) 片岡宏夫他：模型軌道座屈試験に関する一考察、第58回年次学術講演会講演概要集、-057、2003.9
- 3) 片岡宏夫他：振動を考慮したロングレールの座屈安定性評価、日本鉄道施設協会誌、第42巻第2号、2004.2

	エネルギー法	FEM	試験値	
			座屈直前	座屈直後
ケース1(無載荷)	—+	—○	●	●
ケース2(Q=150N)	—*	—	▲	▲
ケース3(Q=200N)	—×	—◇	◆	◆

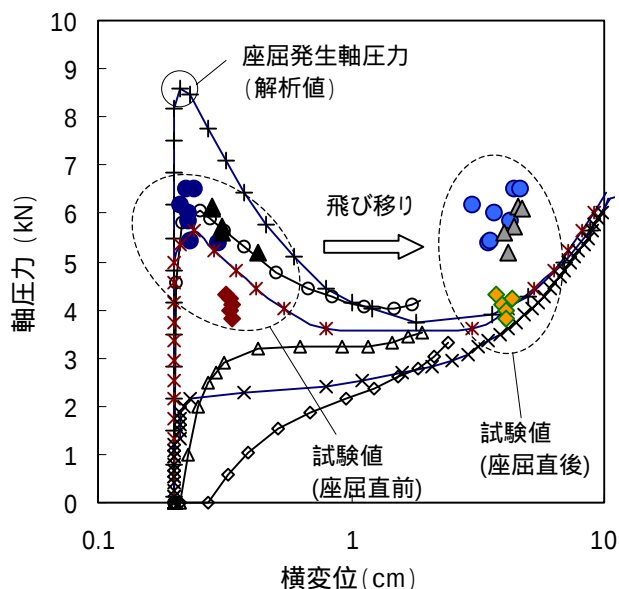


図4 模型軌道座屈試験結果と解析結果

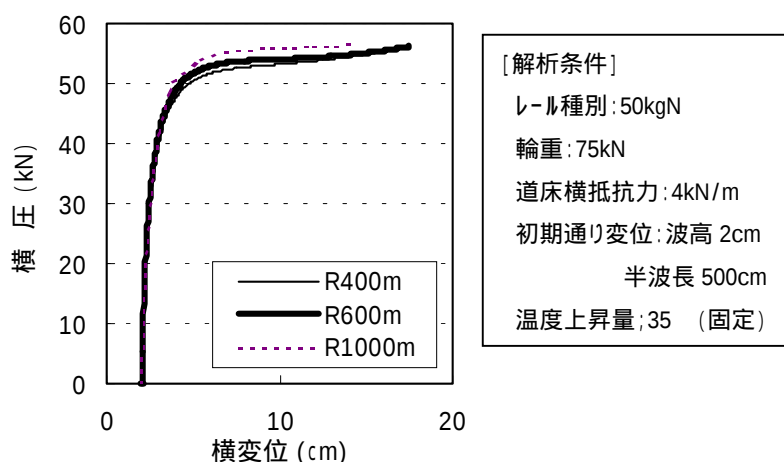


図5 有限要素法による横変位と横圧の関係