

減衰が有限長スラブ軌道の分散曲線に及ぼす影響

新潟大学大学院自然科学研究科 学生会員 塚本 夢菜
新潟大学工学部 正会員 阿部 和久
新潟大学工学部 正会員 紅露 一寛

1 はじめに

文献¹⁾では、先行研究²⁾の手法に基づいた効率的な有限長スラブ軌道の分散解析法を提案し、軌道条件が分散曲線に及ぼす影響を調べた。しかし、当該解析では通常の分散解析を対象としたため軌道系を無減衰の状態に設定していた。しかし、実軌道のパッド類には減衰が存在しており、その下ではスラブ端からの反射波の影響が幾らか軽減されるものと考えられる。なお、文献¹⁾の手法では、長尺スラブであっても、まくらぎ1区間の部分構造のみの解析で分散曲線を求めることが可能であったものの、減衰導入が解法上できないものとなっていた。そこで本研究では、従来法を用いることで、減衰導入下での分散曲線を求める。その際に、波数を複素数で求める。解析例を通し、無減衰系と減衰設定時の分散曲線を比較し、減衰が波動特性に及ぼす影響を調べる。

2 軌道モデル

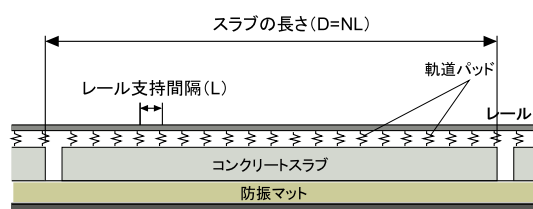


図-1 軌道モデル縦断面図

解析対象とする軌道モデルを図-1に示す。レール支持間隔を L 、コンクリートスラブの長さを $NL = D$ とする (N は整数)。コンクリートスラブが防振マットにより支持されている状態を表現するために、コンクリートスラブと剛基盤との間に一様なバネを設定する。なお、直結軌道を考える。これにより、コンクリートスラブは防振マットにより一様にバネ支持された Timoshenko ばりで、またレールはコンクリートスラブと軌道パッドによって離散的に支持された Timoshenko ばりでモデル化する。

3 解析手順

本解析では、スラブ長を1ユニットとし、Floquet 原理³⁾よりスラブ端に次の周期条件を設定する。

$$D(\tilde{x} + D) = D(\tilde{x})e^{-i\kappa D} \quad (1)$$

ここで、 κ は Floquet 波数である。これにより、本問題は波数 κ に関する非線形固有値問題となり、これを Block SS 法を用いて解く。周波数方向に走査しつつ、各周波数で非線形固有値問題を順次解くことで分散曲線を得る。

4 解析条件

有限長スラブ軌道の分散解析を行うにあたり、表-1のように軌道条件を設定した。ただし、レール1本分を対象とするため、スラブ幅は本来の半分とする。また、60kg レールを対象とした。

表-1 軌道条件

レール支持間隔長	0.6m
コンクリートスラブ長	6m
スラブのヤング率	32.4GPa
スラブのポアソン比	0.2
スラブ幅 (半分)	1.25m
スラブ厚さ	0.4m
防振マットの 単位長さ当たりのバネ定数	12.5MN/m ²
軌道パッドのバネ定数	60MN/m
スラブの単位体積質量	2400kg/m ³
パッド類のロスファクター	0.2

5 解析結果

5.1 無減衰系の分散曲線

まず、無減衰系の分散曲線を求めた。分散曲線を波数実部-周波数平面に射影したものを図-2に、波数虚部-周波数平面に射影したものを図-3に示す。

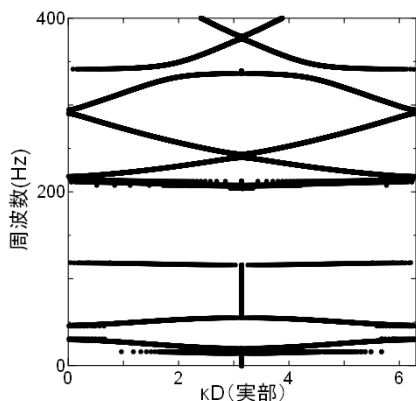


図-2 無減衰系の分散曲線（波数実部-周波数平面）

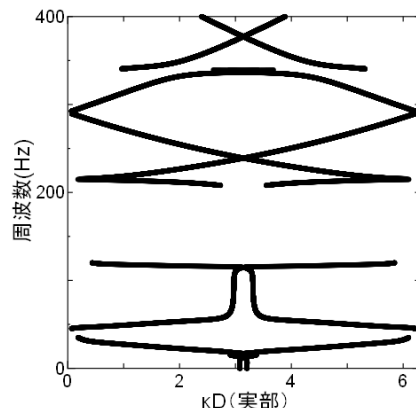


図-4 減衰設定時の分散曲線（波数実部-周波数平面）

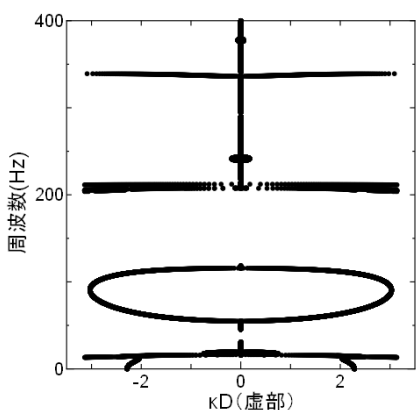


図-3 無減衰系の分散曲線（波数虚部-周波数平面）

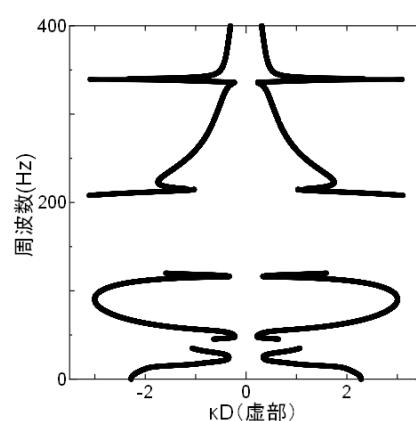


図-5 減衰設定時の分散曲線（波数虚部-周波数平面）

図-3に着目すると、50~125Hz, 240Hz, 380Hz 付近に円形の分散曲線が得られた。これは、図-2のストップバンドに対応しており、ここに波動のエネルギーが伝搬しない減衰モードが存在する様子が確認できる。また、波数実部-周波数平面と波数虚部-周波数平面共に125~200Hz付近で分散曲線が存在していない。当該周波数帯以下はスラブ振動が主体のモードが存在し、それ以上ではレール振動が主体のモードが存在しており、それらの間に何れのモードも確認できない。以上に示した無減衰系の分散曲線が、パッド類減衰の導入によりどのように変化するかを以下で調べる。

5.2 減衰導入時の分散曲線

続いて、パッド類に減衰を設定した場合の分散曲線を求めた。波数実部-周波数平面に射影したものを図-4に、波数虚部-周波数平面に射影したものを図-5に示す。両図とも、無減衰時から大きな変化が認められた。図-4では、スラブ振動が卓越する周波数帯である0~150Hzにより大きな変化がみられた。また、図-5では、200Hz以上の分散曲線に大きな変化が認められ、波数が比較的大きな虚部を持ち、大きなモード減衰を

有している。このことから、現実の減衰下では、その影響は主にレール応答に現れ、スラブへの影響は比較的軽微であることがわかる。

6 まとめ

パッド類の減衰導入により、無減衰系の分散曲線と比べ大きな変化が認められた。減衰導入の効果は主にレール振動において認められ、スラブの波動特性に関しては比較的小さいことがわかった。今後は、スラブ長が減衰系の分散曲線に及ぼす影響について調べる。

参考文献

- 1) 阿部和久, 塚本夢菜, 紅露一寛: 有限長スラブ軌道の効率的分散解析法, 計算数理工学論文集, Vol.22(2022年12月), No.09-221216
- 2) 阿部和久, 笈拓哉, 紅露一寛: 等間隔に欠陥が存在する周期場を対象とした効率的分散解析手法, 土木学会論文集A2(応用力学), Vol.73, No.2(応用力学論文集 Vol.20), I.133-I.141, 2017.
- 3) 阿部和久, 古屋卓穂, 紅露一寛: まくらぎ支持された無限長レールの波動伝搬解析, 応用力学論文集, Vol.10, pp.1029-1036, 2007.