

有限長スラブ軌道の効率的分散解析法

新潟大学自然科学研究科 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

既往の研究¹⁾²⁾において、防振マットを用いたフローティングスラブ軌道の振動特性を調べる際に、スラブを一様無限構造とした軌道モデルが用いられてきた。しかし、実際のスラブ長は有限であり、スラブとスラブの間には隙間が存在している。そこで本研究では、防振マットを用いた軌道の基本振動特性（分散曲線）を、実際軌道により近い、有限長スラブと無限長スラブから成る軌道モデルを用いて調べる。なお、無限長スラブ軌道ではまくらぎ区間の周期性のみに着目して解析領域をとればよかったが、本軌道モデルではスラブにも周期性が存在するため、スラブ長を解析領域にとる必要がある。しかし、スラブユニットを解析領域にとると、モデルが大きくなり計算負荷が増大する。そこで本研究では、まくらぎ一区分のみを解析領域とし、その下でまくらぎ間隔とスラブの周期性両方を考慮した効率的な波動分散解析法を構成する。

2. 軌道モデルについて

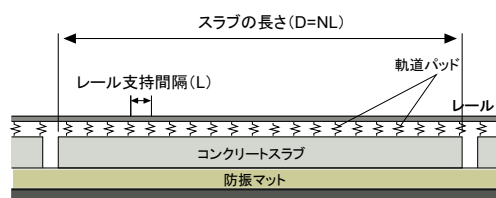


図1 本研究の軌道モデル縦断面図

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連結された Timoshenko ばりでモデル化する。

3. 有限長スラブ軌道の分散解析手法

図2のように、スラブとスラブの隙間を領域 Ω_a として、その両端境界を Γ_s とおく。そして、図3のように、隙間のないスラブで、 Ω_a に対応する領域 Ω'_a の外部の波動場が Ω'_a の

境界 Γ_s 上の加振力 F_s により、隙間 Ω_a が存在するときの波動場に一致するようにする。 Γ_s 外部領域における解の当該

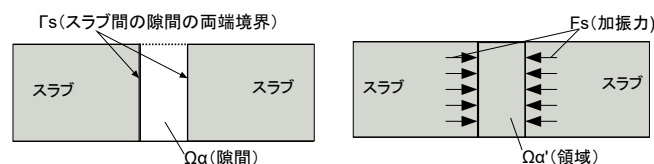


図2 有限長スラブ

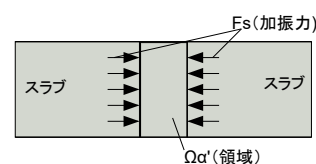


図3 無限長スラブ

境界上の内部節点力ベクトル $\{\mathbf{F}_0\}$ と加振力 $\{\mathbf{F}_s\}$ の関係が次式で与えられているものとする。

$$[\mathbf{B}]\{\mathbf{F}_s\} = \{\mathbf{F}_0\} \quad (1)$$

ここで、 Ω_a は隙間であるので、 $\{\mathbf{F}_0\} = \{\mathbf{0}\}$ である。よって、式(1)より次式を得る。

$$[\mathbf{B}]\{\mathbf{F}_s\} = \{\mathbf{0}\} \quad (2)$$

式(2)の非線形固有値問題を Block SS 方を使って解く³⁾ことで、分散曲線を求める。なお、この行列 $[\mathbf{B}]$ は、既往の研究³⁾より、周期長 L の下、Floquet 変換を介して Γ_s 上の節点を単調加振した問題を順次解き、内部節点力ベクトルから成る正方行列より得ることができる。

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、今回はレール1本分のみについて検討するため、スラブの幅は本来のスラブ幅の半分とする。また、60kg レールを対象とした。

表1 軌道条件

まくらぎ区間長	0.6m
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	$12.5 \times 10^6 \text{N/m}^2$
軌道パッドのバネ定数	$30 \times 10^6 \text{N/m}$
スラブの単位体積質量	2400kg/m^3

Key Words: スラブ軌道、防振マット、離散支持レール

連絡先：〒950-2181 新潟市西区五十嵐二の町 8050 番地 TEL: 025(262)7028, FAX: 025(262)6775

5. 解析結果

(1) 提案法の有効性の検討

提案法により得た分散曲線と従来法（スラブ周期分を解析領域とする手法）により得た分散曲線を図4に合わせ示す。ただしスラブ長は18mとし、従来法と提案法の分散曲線はそれぞれ黒色とオレンジ色で示している。

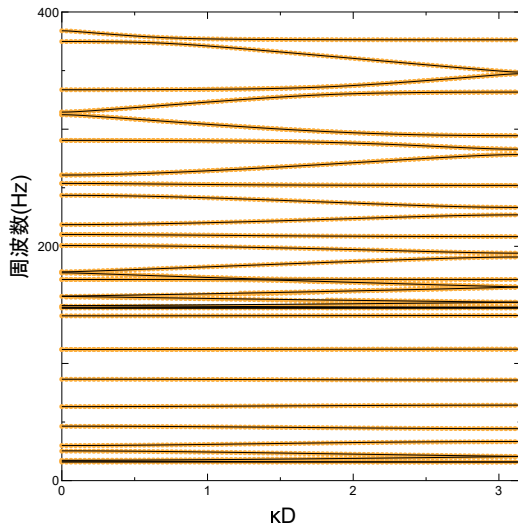


図4 分散曲線（提案法と従来法）

図4より、提案法の分散曲線と従来法の分散曲線はほぼ一致する。これより、本論文で提案する手法の妥当性が確認できる。

(2) 提案法の計算効率に関する検討

提案法と従来法において、スラブ長を6m~30mまで6mずつ伸ばしながら分散解析に費やした時間を計測した。図5は、横軸にスラブ長、縦軸に解析時間をとったもので、赤線が従来法、青線が提案法を示している。

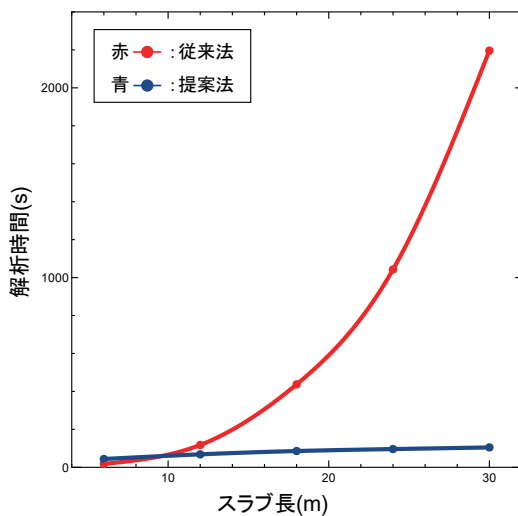


図5 提案法と従来法の解析時間の比較

図5より、スラブ長が長くなるほど従来法と提案法の解析時間の差が広がり、本提案法はスラブ長が長くなるほどより効率的な分散解析法であることが分かる。

(3) 防振マットのバネ定数と軌道パッドのバネ定数が分散曲線へ及ぼす影響

図4の分散曲線の解析条件から軌道パッドのバネ定数を $60 \times 10^6 \text{N/m}$ 、スラブ長を6mに変更して求めた分散曲線を黒線で図6に示す。また、この解析条件から防振マットの単位長さ当たりのバネ定数を $16.7 \times 10^6 \text{N/m}^2$ に変更した分散曲線と軌道パッドのバネ定数を $90 \times 10^6 \text{N/m}$ に変更した分散曲線も、それぞれオレンジ色と青色で図6に合わせて示す。

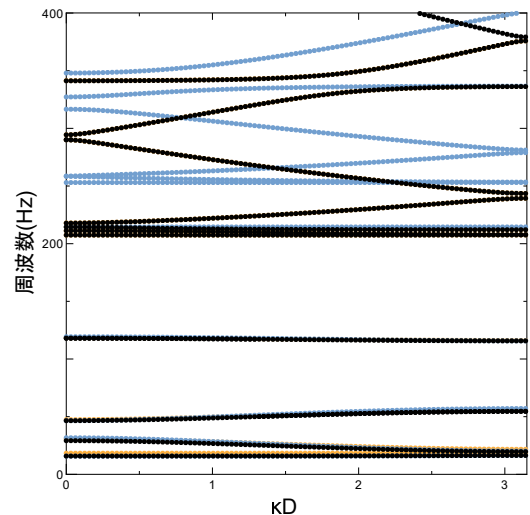


図6 軌道構造が分散曲線に及ぼす影響

防振マットのバネ定数を増加させることで、低周波数域（20~50Hz）の分散曲線がわずかに高周波数側に移動するものの、全体的にほとんど影響は認められない。一方、軌道パッドのバネ定数を増加させると、低周波数域への影響はほとんど認められないが、レール振動が主体となる高い周波数域の分散曲線では高周波数側に移動する様子が認められる。

6. まとめ

解析結果より、本研究の提案法が有限長スラブ軌道の分散解析に対して有効な手法であることを確認した。さらに本手法が、スラブ長が長い問題において特に効率的な手法となることも分かった。また、防振マットのバネ定数は、本研究で対象とした範囲内において、分散特性にほとんど影響しないことが分かった。

参考文献

- 1) 阿部和久, 山田高也, 古田勝, 末原美智子, 紅露一寛: 地下鉄トンネル・地盤連成系の三次元加振応答解析, 土木学会論文集 A2 (応用力学), Vol.74, No.2 (応用力学論文集 Vol.21), I.523-I.534, 2018.
- 2) S.Gupta&G.Degrande : Modelling of continuous and discontinuous floating slab tracks in a tunnel using a periodic approach, Journal of Sound and Vibration, Vol.329, pp.1101-1125, 2010.
- 3) 阿部和久, 寛拓哉, 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.