

井桁状まくらぎの固有振動応答の解析評価

新潟大学工学部

正会員 紅露 一寛

新潟大学工学部（研究当時）

非会員 谷 友誠

1. はじめに

井桁状まくらぎ¹⁾は、通常の横まくらぎをレール直下に配置した縦まくらぎ部で連結・一体化した構造を有するコンクリート製まくらぎであり、その剛性の高さや重量の大きさをゆえにレール継目部での衝撃応答の低減と軌道破壊の発生・進展抑制に対する効果が確認されている。また、著者らは、井桁状まくらぎ敷設箇所における軌道振動応答特性の評価のために、軌道振動解析法を構築・提案し、井桁状まくらぎおよびまくらぎ支持部の物理モデルの選択の影響について、数値実験を通して検討している²⁾。しかし、現状においては、井桁状まくらぎの動的応答特性、特に固有振動応答の評価が未検討となっている。そこで本研究では、支え継ぎ用、かけ継ぎ用井桁状まくらぎを対象に、固有振動特性の解析評価を試みる。

2. 解析モデル

本研究では、井桁状まくらぎの動的応答を3次元有限要素法でモデル化する。運動方程式を有限要素法で離散化すると、次の常微分方程式を得る。自由振動を仮定して、

$$[M]\{\ddot{u}\} + [K]\{u\} = \{0\} \quad (1)$$

ここで、 $[M]$ は質量行列、 $[K]$ は剛性行列、 $\{u\}$ は井桁状まくらぎの節点変位ベクトルである。

$\{u\}$ について、 i を虚数単位として次の定常応答を仮定すると、

$$\{u\} = \{\phi\}e^{i\omega t} \quad (2)$$

$\{\dot{u}\}$ 、 $\{\ddot{u}\}$ は次式で表せるため、

$$\begin{aligned} \{\dot{u}\} &= i\omega\{\phi\}e^{i\omega t} \\ \{\ddot{u}\} &= -\omega^2\{\phi\}e^{i\omega t} \end{aligned} \quad (3)$$

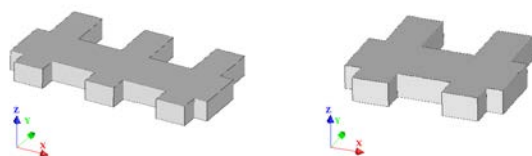
式(2)、(3)を式(1)に代入し整理すると、次の一般固有値問題を得る。

$$[K]\{\phi\} = \omega^2[M]\{\phi\} \quad (4)$$

式(4)を解くことで、固有振動数 $f_n = \omega_n/(2\pi)$ と固有モード ϕ_n が評価できる。

3. 解析条件

本研究では、図1の形状を有する2種類の井桁状まくらぎを対象に、式(4)の一般固有値問題を解き、1～6次の固



(a) 支え継ぎ用。

(b) かけ継ぎ用。

図1 井桁状まくらぎの解析領域と形状寸法

表1 井桁状まくらぎの材料物性値。

ヤング率 (GPa)	33
ポアソン比	0.16
質量密度 (kg/m ³)	2.5×10 ³
弾性床ばね定数（軌道縦断方向, MN/m ² ）	135.4
弾性床ばね定数（軌道横断方向, MN/m ² ）	135.4
弾性床ばね定数（鉛直方向, MN/m ² ）	352.0

表2 支え継ぎ用井桁状まくらぎの固有振動数

モード次数	固有振動数 (Hz)
1	91.7
2	149.3
3	149.7
4	227.7
5	238.5
6	337.6

表3 かけ継ぎ用井桁状まくらぎの固有振動数

モード次数	固有振動数 (Hz)
1	90.6
2	149.3
3	150.2
4	229.6
5	422.8
6	506.2

有振動数と振動モードを評価した。材料物性値は表1に示す値に設定し、低次側20次までの固有振動数と固有モードを計算した。なお、今回の解析領域は、軌道中心線に対して対称な位置に車輪からの荷重が作用することに留意して、軌道中心線位置で対称条件を課した。そのため、軌道横断方向の水平動に関する反対称モードは発現しないことを断っておく。

4. 解析結果

支え継ぎ用・かけ継ぎ用井桁状まくらぎの固有振動応答について検討する。表2、表3は6次までの固有振動数、図2、図3は各固有振動数に対応する固有モード形状をそれ

Key Words: 井桁状まくらぎ, 固有振動数, 固有振動モード, 支え継ぎ, かけ継ぎ

連絡先: 〒950-2181 新潟市西区五十嵐二の町 8050 番地 TEL: 025(262)7274, FAX: 025(262)7274

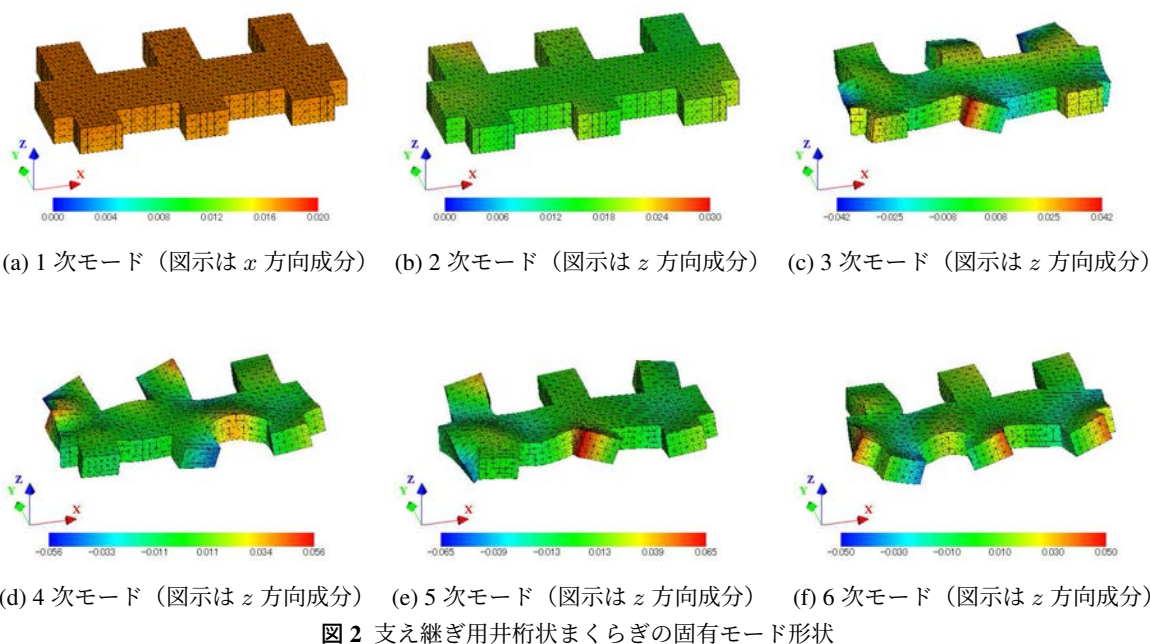


図2 支え継ぎ用井桁状まくらぎの固有モード形状

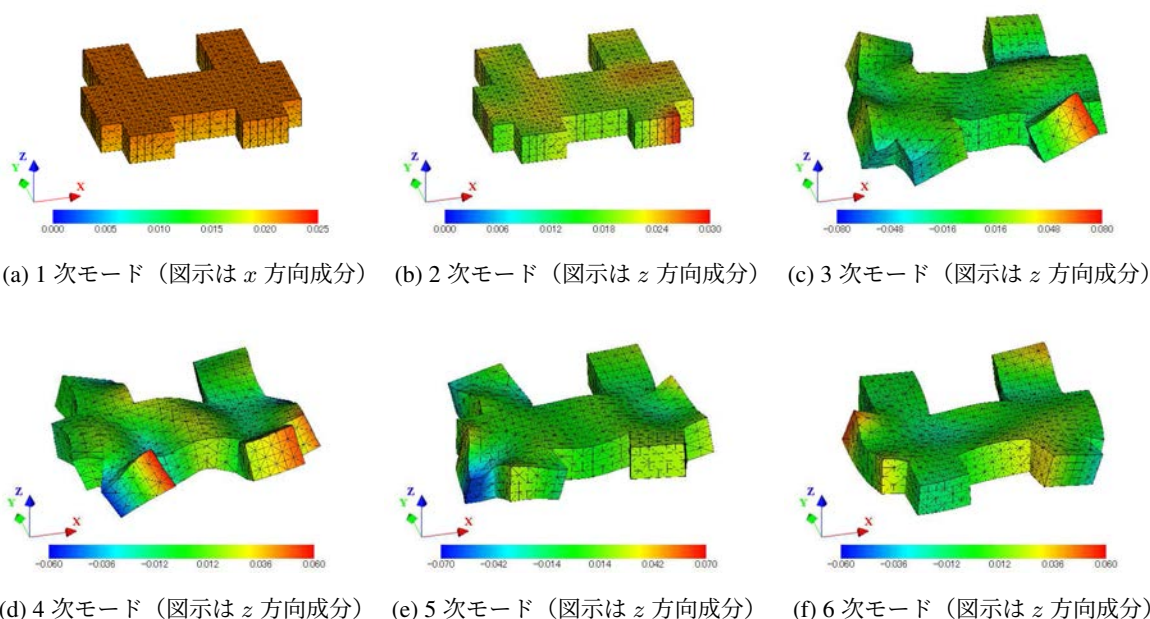


図3 かけ継ぎ用井桁状まくらぎの固有モード形状

それぞれ示したものである。支え継ぎ用・かけ継ぎ用のいずれにおいても、1次モードは x 軸方向の水平動、2次モードは z 軸方向の上下動となり、まくらぎ支持ばねの変形が卓越する応答となる。このことは、1次・2次の固有振動数がまくらぎの種類によらず概ね同等となることからわかる。なお、今回の解析では評価できていないが、 y 軸方向の水平動モードは1次の固有振動数に近接した振動数に対して発現することが予想される。一方、3次モードからは井桁状まくらぎの変形を伴う振動応答となっている。その変形は複雑で、縦・横まくらぎ部の曲げとねじり変形が複合した振動応答となっている。特に縦まくらぎ部・横まくらぎ部の張り出し部分のねじり変形が特徴的であり、振動振幅

の度合いにもよるが、縦まくらぎと横まくらぎとの連結箇所での応力集中の影響には配慮が必要である。また、3次モードでは横まくらぎ部の鉛直曲げ変形が認められる。今後は、今回の検討では3次元モデルを用いたが、骨組モデルを用いた場合の固有振動特性を評価し、モデル化の影響について検討することとしたい。

謝辞

本研究はJSPS 科研費 22K04282 の助成を受けたものです。

参考文献

- 1) 輪田朝亮, 瀬谷 誠, 原田彰久: MTT 施工可能な横圧低減継目グリッドマクラギの開発, JR EAST Technical Review, No.39, pp.63-66, 2012.
- 2) 紅露一寛・河野昭子・阿部和久: 井桁状まくらぎ敷設軌道のための車輪・軌道系連成振動解析法, 土木学会論文集 A2 (応用力学), Vol.77(2), I.239-I.249, 2022.