

新幹線軌道スラブの健全度評価に関する解析的研究

東北大学 学生会員 ○村川達郎
東北大学 正会員 内藤英樹

1. はじめに

日本国内において、高度経済成長期に建設されたコンクリート構造物の老朽化が進行し、深刻な社会問題となっている。新幹線軌道スラブにおいても同様に老朽化の進行が報告されている。特に東北地方では、軌道スラブをコンクリート路盤に固定するてん充層が凍害により損傷する事例が報告されている。新幹線軌道のてん充層が空洞化することにより、設計とは異なる支持条件に変化し、軌道スラブのひび割れ発生や機能低下に繋がることが懸念される。内藤ら^{1),2)}は、これまで加振器を用いたコンクリート構造物の非破壊試験法を検討しており、特に道路橋 RC 床版の水平ひび割れの調査に有効であることを報告している。そこで、本手法を新幹線軌道スラブの健全性評価に適用することを考えた。本研究は、その解析的検討として、3次元 FEM 解析による周波数応答解析を行い、てん充層の空洞化が新幹線軌道スラブの周波数応答特性に及ぼす影響を検討した。

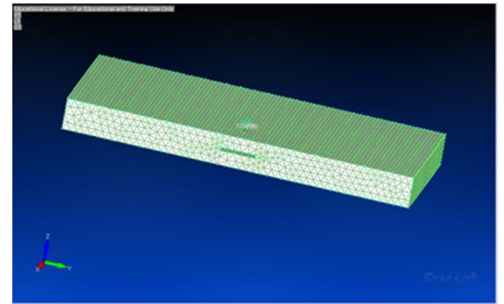


図-1 軌道スラブの FEM モデル

2. 解析モデルの概要

東北新幹線で用いられる軌道スラブを想定して、幅 2340 mm × 長さ 4930 mm を仮定した。鉛直方向は、軌道スラブ厚さ 190 mm、てん充層厚さ 50 mm、コンクリート路盤厚さ 200 mm を合わせて 440 mm とした。汎用 FEM 解析ソフト Femap with NX Nastran の 10 節点 4 面体ソリッド要素を用いて、図-1 のように軌道スラブをモデル化した。コンクリートの材料特性は、動弾性係数 35,000 MPa、質量密度 2300 kg/m³、ポアソン比 0.2 を仮定した。

解析では、軌道スラブ上面から鉛直方向に正弦波を加えることにより、スラブ上下面間の重複反射(局所振動)を励起した。周波数 1600 ~ 6000 Hz を基本として、周波数応答解析により共振周波数を求めた。

本解析では、凍害によるてん充層の劣化を空隙によりモデル化した。図-2 及び図-3 のように空隙の位置(スラブ中央と隅部)、空隙面積を変化させてパラメータ解析を行った。空隙厚さ(てん充層の厚さ)は 50 mm、空隙形状は矩形として、空隙寸法を 100N (mm) × 100M (mm) に変化した。N と M は、それぞれ 1 から 5 までの自然数である。これらの空隙中央において、軌道スラブ上面から鉛直方向に加振した。

以降では、図-2 及び図-3 に示すように、空隙上の節点において、周波数応答関数を求め、空隙寸法と共振周波数の関係を整理する。

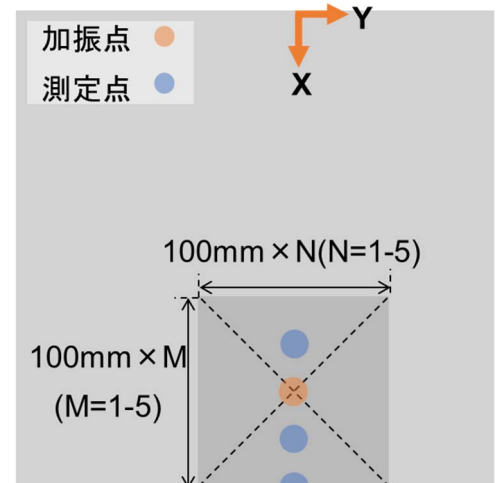


図-2 空隙に対する加振と応答位置(中央部)

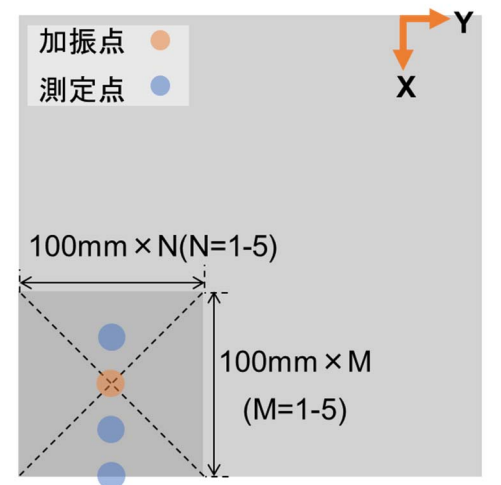


図-3 空隙に対する加振と応答位置(隅部)

キーワード：軌道スラブ、健全度評価、FEM 解析、振動試験

連絡先：〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 TEL：022-795-7449 FAX：022-795-7448

3. 解析結果

3.1 健全状態での共振周波数

健全状態については、10 測点にて、局所振動による軌道スラブの共振周波数を求めた。これらの解析結果は、数値が大きく異なる 1 個を除いて、9 個の共振周波数のばらつきは小さかった。そこで、これら 9 個の共振周波数の平均により、健全状態での共振周波数 $f_0 = 4478$ Hz を求めた。簡易な評価式として、1 次元棒の縦振動を仮定すると、共振周波数は次式によって与えられる。

$$f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{E_d}{\rho}} \quad (1)$$

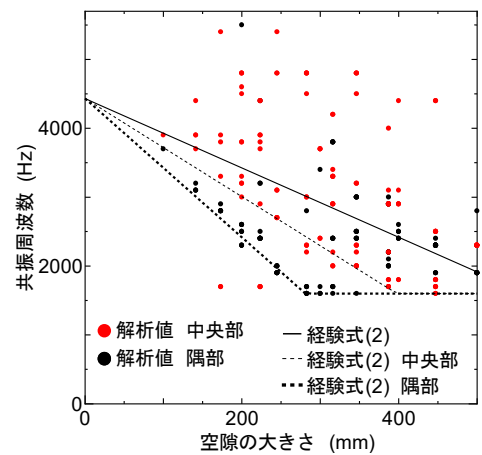


図-4 共振周波数と空隙寸法の関係

ここで、 f は共振周波数、 L は振動長さ、 E_d は動弾性係数、 ρ は質量密度である。 $L = 440$ mm を代入すると、 $f = 4433$ Hz が得られ、式 (1) と FEM 解析の結果 (4478 Hz) が良好に対応した。

3.2 空隙箇所での共振周波数

共振周波数と空隙寸法の関係を図-4 に示す。図の縦軸は、共振周波数 f を示した。図の横軸は、空隙面積 A の平方根であり、空隙寸法を表している。図の解析結果より、空隙寸法の増加に伴って、共振周波数が低下する傾向が見出せた。

道路橋 RC 床版を対象とした既往の研究¹⁾では、共振周波数と空隙寸法の関係として、次の経験式が提案されている。

$$\frac{f}{f_0} = 1 - \frac{\sqrt{A}}{2L} \quad (2)$$

ここで、 f は共振周波数、 f_0 は健全状態での共振周波数、 A は空隙面積、 L は床版厚さであり、ここでは $L = 440$ mm を与えた。また、図-2 で示した位置に設けた空隙の境界条件は 1 辺自由-3 辺固定であり、図-3 で示した位置に設けた空隙の境界条件は 2 辺自由-2 辺固定である。このことから、空隙の境界条件の違いにより、同じ大きさの空隙を設けたモデル間において、共振周波数に差異が生じたと考えられる。また、経験式 (2) に各境界条件に応じて、空隙面積を 2 倍もしくは 4 倍し、改良後の経験式をプロットしたところ、解析値と各改良後の理論値に良好な相関関係がみられた。本研究では、簡便な評価方法として、最大振幅に対応する周波数を共振周波数と定義したが、複雑な構造諸元や空隙形状などに対して、より適切な共振周波数の定義や求め方を検討する必要がある。

4. まとめ

3 次元 FEM 解析により、軌道スラブに鉛直方向の加振をすることで局所振動を励起し、てん充層の劣化 (空洞化) を推定できる可能性が示された。特に、空隙寸法と共振周波数比には相関関係が見出せた。その一方で、共振周波数の定義や求め方の改善が必要であることが示された。今後は軌道スラブの供試体実験や現場試験を予定しており、これらの実験結果も併せて本手法の高度化を図り、新幹線軌道スラブの健全性評価への適用に取り組む。

参考文献：

- 1) Hideki Naito, Ryosuke Sugiyama, John E. Bolander: Local Vibration Testing and Damage Evaluation for RC Bridge Decks, *Journal of Structural Engineering*, 2020. (in printing)
- 2) Hideki Naito, John E. Bolander: Damage detection method for RC members using local vibration testing, *Engineering Structures*, Vol.178, pp.361-374, 2019.