

# 重錘落下および打音による軌道スラブ底面に 生じる隙間の検査方法

高橋 貴蔵\*      小滝 康陽\*  
桃谷 尚嗣\*      板倉 真理佳\*\*

Method of Inspecting Gap between Track Slab and CA-Mortar by Portable FWD Test and Hammering Test

Takatada TAKAHASHI      Yasuharu KOTAKI  
Yoshitsugu MOMOYA      Marika ITAKURA

In some slab tracks, gaps occurred at the boundary between the track slab and CA-mortar. If the gap widens, a risk of cracking in the track slab increases. A portable FWD test and a hammering test were performed on a full scale slab track model and the method of evaluating the gap were examined. Based on the results of the examination, we carried out a field test on a slab track of a service line. As the result, it was confirmed that the existence of the gap can be easily evaluated by the portable FWD test, and that the area of the gap can be evaluated in detail by the hammering test.

キーワード：スラブ軌道，CA モルタル，隙間，小型 FWD 試験，打音試験

## 1. はじめに

A 形スラブ軌道（以下、「スラブ軌道」とする）は、図 1 に示すようにレールを締結した軌道スラブをてん充層で支持する省力化軌道の一つである。山陽新幹線（岡山 - 博多間）以降、スラブ軌道は本格的に新幹線で採用され、てん充層にはセメントアスファルトモルタル（以下、「CA モルタル」とする）が用いられた。その後、東北新幹線（大宮 - 盛岡間）および上越新幹線（大宮 - 新潟間）の寒冷地にスラブ軌道を敷設する際には、耐凍害性を改善した消泡 AE 型 CA モルタルが用いられ、現在ではポリマーを配合することでさらなる耐凍害性の向上を図った CA モルタルが寒冷地域で使用されている<sup>1)</sup>。

消泡 AE 型 CA モルタルが使用されている新幹線の一部の区間では、凍結融解作用によると考えられる変状が確認されている<sup>2)</sup>。スラブ軌道の定期検査の一つとして軌道スラブとてん充層の隙間を側面から目視あるいは隙間ゲージを用いて測定し、目安値を超過した場合に補修を行っている。しかしながら、一部の営業線では図 2 に示すように、CA モルタルによる支持状態が変化することで軌道スラブに過大な曲げモーメントが生じたためと考えられるひび割れが確認されている<sup>3)</sup>。現在の検査方法では支持状態を評価することができていないことが原因の一つとして考えられる。

軌道スラブの支持状態を簡易的に測定する方法として、軌道スラブ上面に重錘を落下させた際の荷重と変位

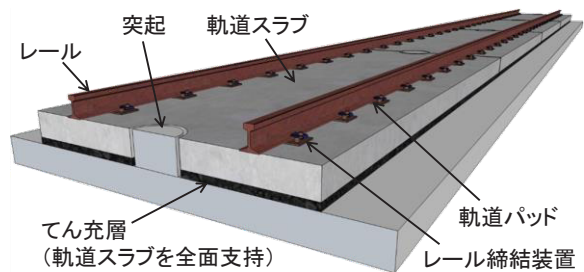
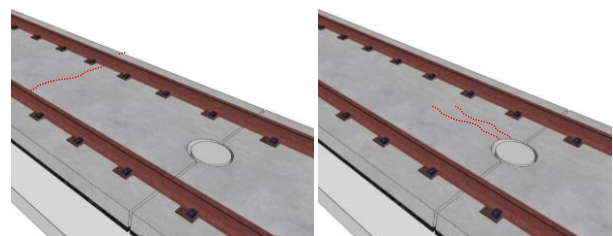
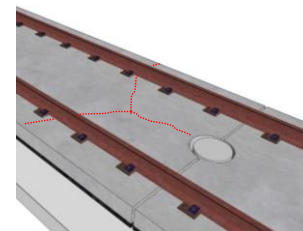


図 1 スラブ軌道の概要



中間付近\_横断方向

突起部\_縦断方向



突起部\_Y字方向

図 2 軌道スラブのひび割れの例<sup>3)</sup>

\* 軌道技術研究部 軌道・路盤研究室

\*\* 東日本旅客鉄道株式会社

特集：軌道技術

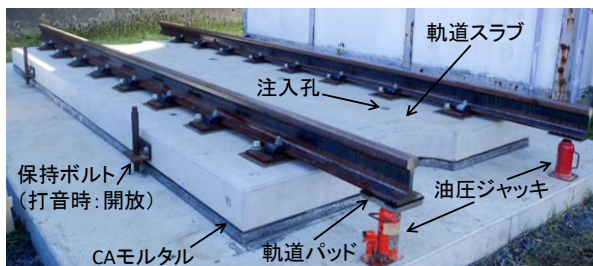


図3 スラブ軌道供試体の外観

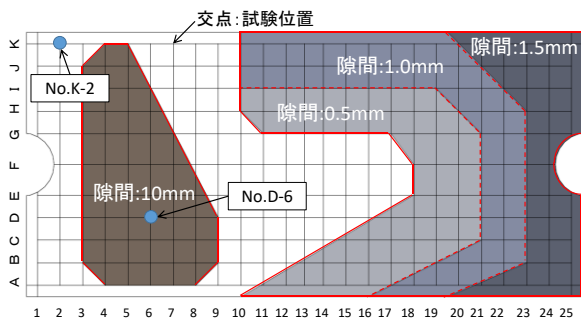


図4 打音試験の位置

を測定する重錘落下試験（以下、「小型 FWD 試験」とする）がこれまでも実施されており、隙間補修の前後で軌道スラブの隅角部における支持ばね係数が変化することが確認されている<sup>4)</sup>。また、例えばトンネル覆工の空洞検知<sup>5)</sup>等には打音試験が用いられており、スラブ軌道に対しても打音試験によって隙間を評価することができるのではないかと考えられる。

そこで、本研究では隙間を設けた実物大スラブ軌道供試体を作製し、小型 FWD 試験および打音試験を実施して隙間補修前後の支持ばね係数の違いを評価することとした。この結果を踏まえ、営業線のスラブ軌道において試験を行い、小型 FWD 試験により簡易に隙間の影響を評価できること、また打音試験により隙間の範囲を詳細に評価できることを確認した。

## 2. 実物大スラブ軌道供試体の作製

実物大スラブ軌道供試体の外観を図3に、隙間の形状および試験位置を図4に示す。実物大スラブ軌道供試体には新幹線で用いられているものと同じ軌道スラブ、60kg レール、直結8型レール締結装置、軌道パッド（ばね定数：60kN/mm）を用いた。なお、隙間を設けた側に軌道スラブが傾かないように油圧ジャッキでレールを支持した。軌道スラブはRC構造であり、長さ4.93m、幅2.34mおよび厚さ0.19mである。てん充層には消泡AE型CAモルタルを用いた。

実物大スラブ軌道供試体の隙間は、軌道スラブの底面



図5 小型 FWD 試験の状況

に貼り付けたポリ塩化ビニルシート（厚さ0.5mm）と発泡ポリエチレンシート（厚さ10mm）を用いて設定した。ポリ塩化ビニル製シートは場所によって積層する枚数を変更し、端部の隙間を最も厚い1.5mmとした。また、発泡ポリエチレンシートは、外周部に露出しない個所に設置し、CAモルタル側面100mmの範囲を補修した後に内部の既設CAモルタルが劣化した場合を想定した。以下に、実物大スラブ軌道供試体の構築手順を示す。

- ① 軌道スラブの底面にポリ塩化ビニル製シートと発泡ポリエチレンシートを両面テープで貼り付ける
- ② 軌道スラブを高さ50mmの位置に保持し、底部にCAモルタルを打込む
- ③ CAモルタルの硬化後に軌道スラブをジャッキアップし、各シートを撤去後に軌道スラブをジャッキダウンする

隙間を設けて試験を実施した後に、隙間がない状態でも試験を行うため、隙間を埋める補修を行った。補修にあたっては、軌道スラブを現状より5mm程度上方の高さに保持ボルトを用いて保持し、軌道スラブに8箇所設けられている注入孔から高流動CAミルク<sup>4)</sup>を注入することで隙間を埋めた。

## 3. 試験方法および評価方法

### 3.1 小型 FWD 試験<sup>6)</sup>

小型 FWD 試験は、図5に示す試験装置を用いて実施し、重錘15kg、落下高さ500mmとした。小型 FWD 試験は図4に示したA、F、Kの3測線の各23～25点で実施した。図4中のNo.K-2で実施した小型 FWD 試験の時刻歴波形を図6に示す。本研究では、図6に示すように最大荷重と最大変位を用いて算出した「支持ばね係数」を用いて隙間の影響を評価した。支持ばね係数は1箇所当たり3回の平均値とした。

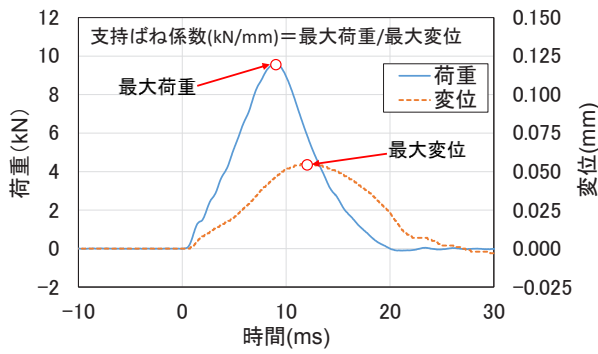


図6 小型 FWD 試験の時刻歴波形の例



図7 打音試験の状況<sup>3)</sup>

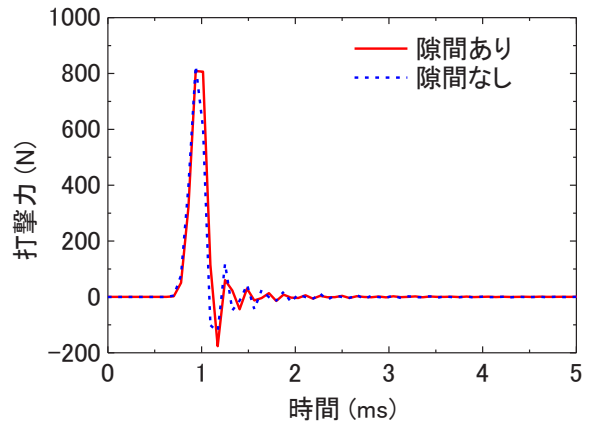
### 3.2 打音試験<sup>3)</sup>

打音試験では、図7に示すようにインパルスハンマーで軌道スラブの表面を打撃し、その際に軌道スラブのたわみ振動で生じる音圧をマイクロホンで測定した。打音試験は図4に示したA～Kの11測線の各23～25点で実施した。音圧の共振周波数は、隙間の影響を強く受けるものと考えられる<sup>7)</sup>。本研究では、打撃力のばらつきを考慮し、共振周波数の音圧の振幅を同じ周波数における打撃力の振幅で除した「共振振幅比」で隙間の範囲を評価することとした。図4中のNo.D-6で実施した打音試験で得られた打撃力と音圧の時刻歴波形を図8に示す。また、図8の時刻歴波形に対する共振振幅比を図9に示す。隙間の評価には周波数100Hz以上における共振振幅比の最大値を用い、1箇所当たり3回の平均値とした。

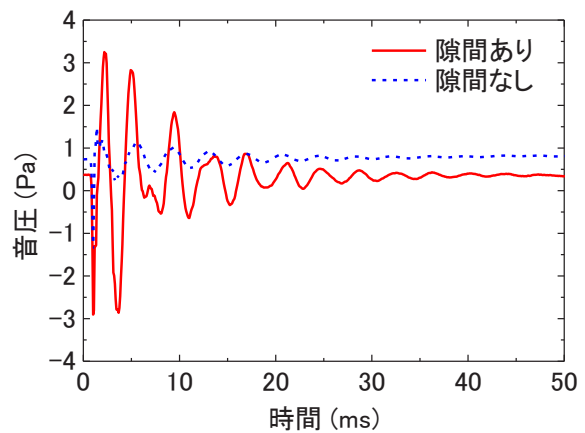
## 4. 実物大スラブ軌道供試体に対する試験結果

### 4.1 支持ばね係数<sup>6)</sup>

小型 FWD 試験の結果を図10に示す。隙間補修前は、A測線およびK測線ともに測定位置[25]に近づくに伴い支持ばね係数が低下し、測定位置[25]では支持ばね



(a) 打撃力



(b) 音圧

図8 打音試験による時刻歴波形の例<sup>3)</sup>

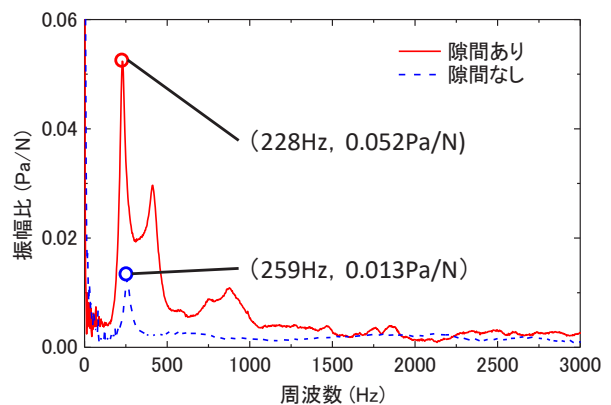


図9 時刻歴波形に対する共振振幅比の例

係数は10～20kN/mmとなった。一方、軌道スラブ中央のF測線では、測定位置[24]に近づくに伴い支持ばね係数が低下しているものの、10mmの隙間を設けた測定位置[3～8]では支持ばね係数の明確な低下は確認できず、内部の隙間を特定するには至らなかった。隙間補修後については、どの測定位置でも130kN/mm以上の高い支持ばね係数を示した。

隙間がある場合、軌道スラブの隅角部は支点距離が長

特集：軌道技術

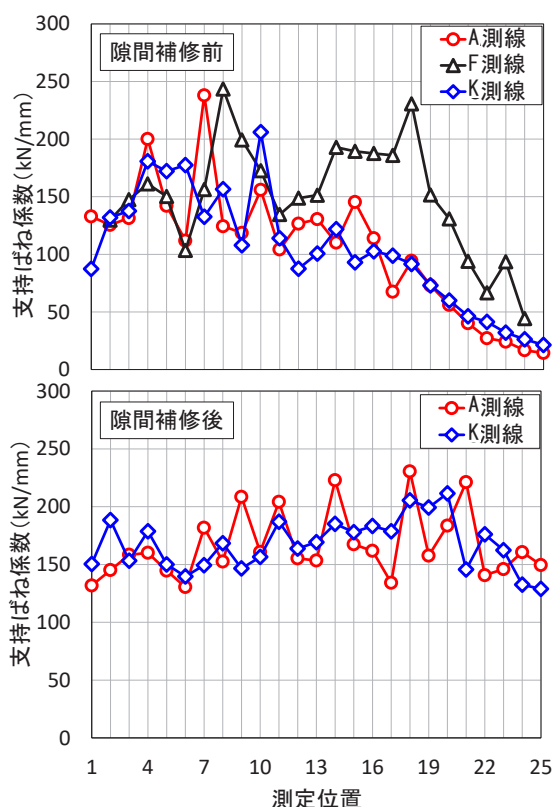


図 10 隙間補修前後の支持ばね係数<sup>6)</sup>

く曲げモーメントの増大によりたわみやすくなるため、支持ばね係数が顕著に低下したと考えられる。一方、軌道スラブの中央部は内部に隙間があってもたわみにくいいため、支持ばね係数の低下として現れにくかったと考えられる。

4.2 共振振幅比<sup>3)</sup>

共振振幅比 0.010, 0.015 および 0.020Pa/N で 2 値化したマップ図を隙間の範囲とともに図 11 に示す。図中に示した隙間の範囲とマップ図を比較すると、共振振幅比 0.010 ~ 0.020Pa/N が隙間を判定する上での境界になるものと考えられる。なお、本試験の結果では、隙間を設けていない範囲でも、隙間が生じていると判定された箇所がある。実物大スラブ軌道供試体は、軌道スラブをジャッキアップした後にシートをはがし、その後ジャッキダウンすることで製作したが、この際に隙間を設けない範囲にもわずかな隙間が生じたことが原因の一つとして考えられる。

5. 営業線における CA モルタル支持状態の評価

5.1 薄板による隙間の測定

小型 FWD 試験および打音試験を実施するスラブ軌道に対して、厚さ 0.5mm のステンレス製の薄板を側面

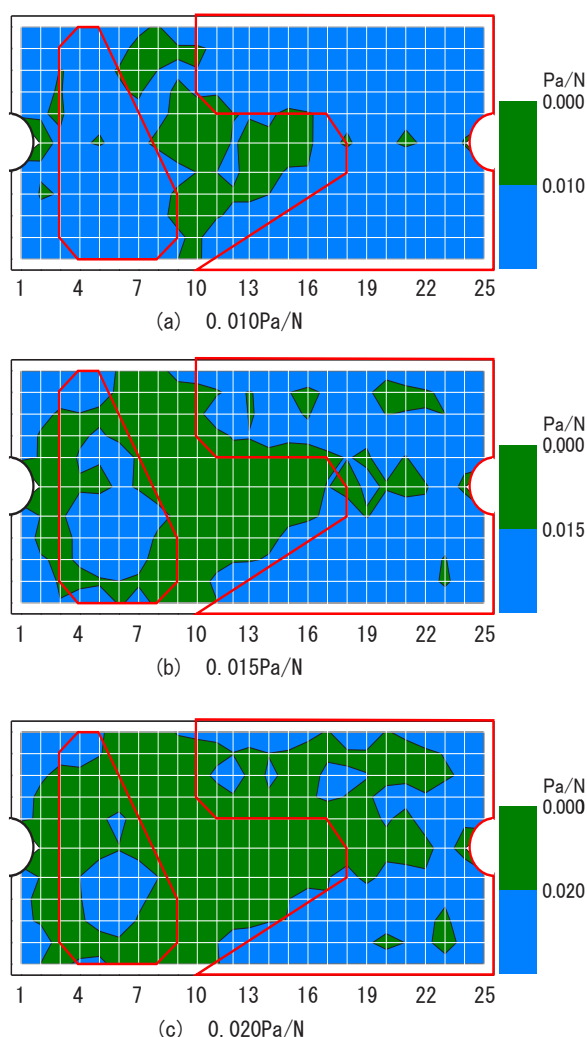


図 11 2 値化した共振振幅比のマップ図<sup>3)</sup>

から挿入することで 0.5mm 以上の隙間（以下、「隙間 (0.5mm)」とする）が生じている範囲を測定した。なお、軌道スラブは PRC 構造であり、長さ 4.93m、幅 2.34m および厚さ 0.19m である。隙間 (0.5mm) の範囲を小型 FWD 試験の位置とともに図 12 に示す。軌道スラブ I の隙間 (0.5mm) は線間側の終点方の隅角部 (R1) が深く、軌道スラブ側面からの隙間 (0.5mm) の深さ（薄板が入った長さ）は 930mm であり突起周囲にまで達した。軌道スラブ II は通路側の終点方に位置する隅角部 (L3) が大きく、側面からの隙間 (0.5mm) の深さは 880mm であった。

5.2 小型 FWD 試験による隙間の評価<sup>6)</sup>

図 12 に示した軌道スラブ隅角部で実施した小型 FWD 試験の結果として、支持ばね係数と隙間 (0.5mm) の深さの関係を図 13 に示す。側面からの隙間 (0.5mm) の深さが 200mm 以内における支持ばね係数は 16 ~ 25kN/mm 程度であった。一方、隙間 (0.5mm) の深さが 900mm 程度の R1 や L3 の支持ばね係数は 12 ~

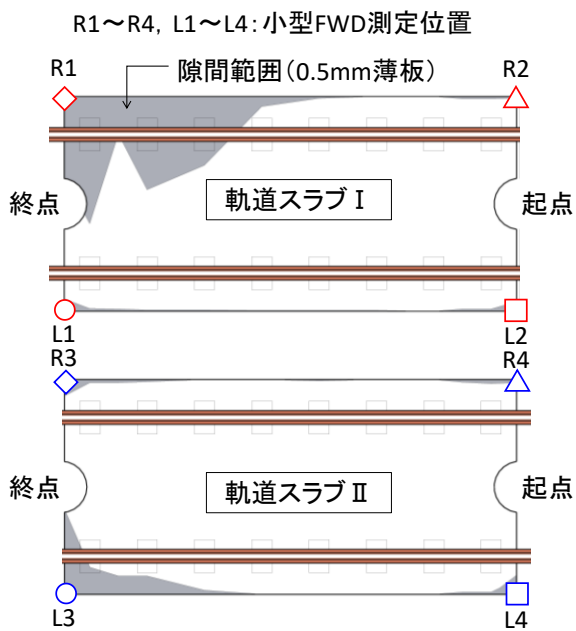


図 12 隙間範囲と小型 FWD 測定位置

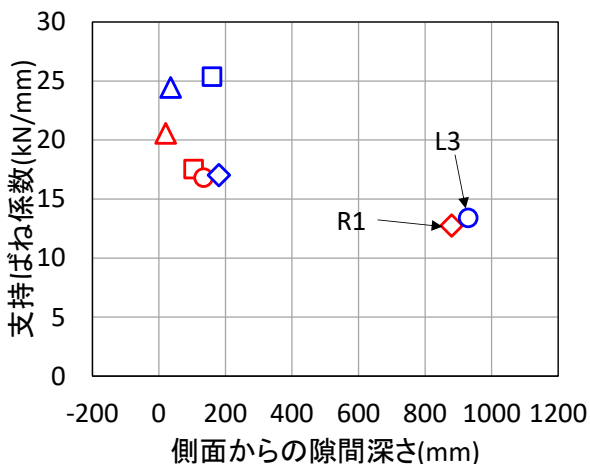


図 13 支持ばね係数と隙間 (0.5mm) の深さ<sup>6)</sup>

13kN/mm となり、他と比較して小さな値となった。これらの結果より、側面からの隙間 (0.5mm) が深いほど軌道スラブ隅角部の支持ばね係数が低下することを確認できた。

営業線で測定した全ての支持ばね係数は、隙間補修後の実物大スラブ軌道供試体の 1/6 程度と小さな値であり、隙間を設けた実物大スラブ軌道供試体の支持ばね係数である 25kN/mm と同程度以下であった。この結果から考察すると、薄板の厚さである 0.5mm 以下の小さな隙間がより広範囲に広がっているものと考えられる。

### 5.3 打音試験による隙間の評価<sup>3)</sup>

図 12 に示した軌道スラブ II に対して打音試験を実施し、隙間の範囲を評価した。打音試験は新幹線が運行さ

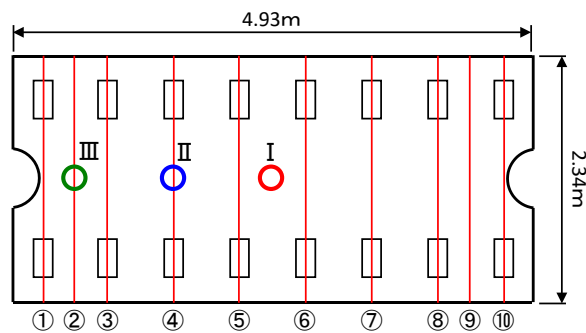


図 14 打音試験を実施する測線<sup>3)</sup>

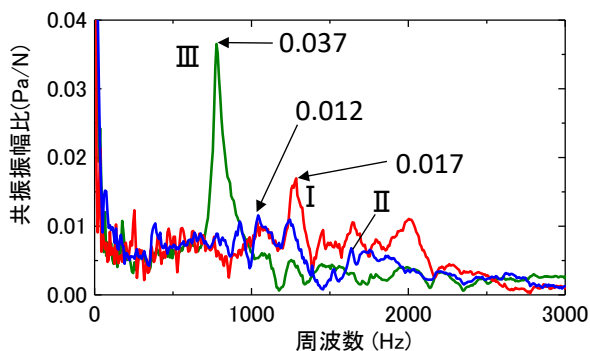


図 15 共振振幅比と周波数の関係

表 1 注水試験と共振振幅比の結果

	I	II	III
水位の低下	なし	なし	あり
共振振幅比	0.017	0.012	0.037

れていない夜間の限られた時間で実施する必要があるため、図 14 に示した①～⑩の測線上で打音試験を実施した。1 測線における打音試験は 5 箇所程度で実施し、1 箇所当たり 1 回の値を用いて隙間を判定した。なお、図 14 に示す I～III の 3 点については軌道スラブ上面から CA モルタルとの境界部までコアを削孔し、注水による水位の低下によって隙間の有無を確認した個所であり、これらの 3 点でも打音試験を実施した。

I～III に対する打音試験で得られた共振振幅比と周波数の関係を図 15 に、注水試験と共振振幅比の結果を表 1 に示す。III の共振振幅比は 0.037Pa/N であり、水位が低下していることから隙間があるものと判定される。一方、I および II の共振振幅比は、それぞれ 0.017 および 0.012Pa/N であり、これら 2 個所の水位は低下しなかった。

以上および 4.2 節より、スラブ軌道供試体および営業線のスラブ軌道に対する打音試験の結果を考慮して、共振振幅比が 0.020Pa/N よりも大きい箇所に隙間が発生していると判定した。なお、調査した軌道スラブにおける共振周波数は 780Hz 以上であり、スラブ軌道供試体で

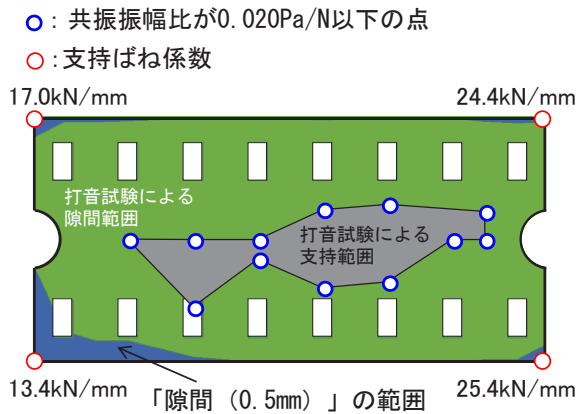


図 16 隙間の形状と支持ばね係数

得られた 250Hz 程度よりも高かった。隙間の範囲によって軌道スラブのたわみ振動が異なることが原因の一つとして考えられる。

共振振幅比 0.020Pa/N を用いて判定した隙間の範囲と「隙間 (0.5mm)」の範囲を図 16 に示す。同図には支持ばね係数の結果も併せて示した。共振振幅比を用いることで、0.5mm 厚さの薄板で測定したよりも広範囲に隙間が生じていると推定された。この結果は、5.2 節に示した支持ばね係数による評価と整合するものである。

## 6. まとめ

スラブ軌道におけるてん充層と軌道スラブの境界部に生じている隙間の範囲を小型 FWD 試験および打音試験により評価するための検討を行い、得られた結果について以下にまとめる。

- 1) 実物大スラブ軌道供試体に対する小型 FWD 試験の結果、隙間によって軌道スラブ側面の支持ばね係数が小さくなることを確認した。
- 2) 実物大スラブ軌道供試体に対する打音試験の結果か

ら、共振振幅比により、隙間の範囲を評価する方法を提案した。

- 3) 営業線のスラブ軌道で小型 FWD 試験を実施し、軌道スラブ隅角部の支持ばね係数を用いることで、隙間が広範囲に生じていることを簡易に評価できることを確認した。
- 4) 営業線のスラブ軌道で打音試験を実施し、共振振幅比により隙間の範囲を推定した。

## 文献

- 1) 宮田尚彦, 上野眞, 板井則之: 改良型寒冷地用 CA モルタルの開発試験, 鉄道技術研究所速報, No.A-86-4, 1986
- 2) 佐藤靖紀, 原口征人, 赤川敏: スラブ軌道における CA モルタルの経年劣化, 土木学会第 56 回年次学術講演会, pp.548-549, 2001
- 3) 高橋貴蔵, 小滝康陽, 桃谷尚嗣, 板倉真理佳: 打音試験による鉄道用軌道スラブ底面の隙間の評価に関する基礎的研究, コンクリート構造物の非破壊検査シンポジウム論文集, Vol.6, pp.217-222, 2018
- 4) 洲上翔太, 高橋貴蔵, 吉川秀平, 桃谷尚嗣: 高流動ミルクを適用したスラブ軌道てん充層隙間注入補修に関する研究, 鉄道工学シンポジウム論文集, Vol.20, pp.119-125, 2016
- 5) 榎本秀明, 稲川敏春, 横山秀史: トンネル覆工コンクリートを対象とした打音検査装置の最適使用の検討, 土木学会論文集, 784 巻, 6-66 号, pp.87-98, 2005
- 6) 小滝康陽, 高橋貴蔵, 桃谷尚嗣: 小型 FWD を用いた軌道スラブの支持状態評価に関する研究, 土木学会第 73 回年次学術講演会, pp.1811-1812, 2018
- 7) 榎本秀明, 稲川敏春, 横山秀史: トンネル覆工コンクリートを対象とした打音検査装置の最適使用の検討, 土木学会論文集, 784 巻, 6-66 号, pp.87-98, 2005