

新幹線走行に伴う振動レベル上昇の原因調査結果

Results of investigation into the cause of the increase in vibration level due to Shinkansen running

天野 直哉 大熊 一也 菊地 英男*1 三沢 松子
Naoya AMANO, Kazunari OOKUMA, Hideo KIKUCHI, Matsuko MISAWA

宮城県内の東北新幹線鉄道の沿線地域について、振動レベルの経年変化を調べたところ、大河原町金ヶ瀬地点において、2014年度に上昇し、その後は横ばい傾向にあることが確認された。要因として、列車速度280km/h以上のE5系、E6系の走行に起因している可能性が高く、走行時に発生した振動とレール等の軌道構造や高架橋との共振、又は地上伝搬過程での共振の関与が示唆された¹⁾ことを受け、更なる原因を究明するため、追加調査を行った。

追加調査結果から、近年の列車速度の上昇により、地盤条件によっては、3.15Hz付近の低い周波数帯域の振動が卓越することがわかった。2014年度以降の新幹線鉄道振動調査でみられた大河原における振動レベル上昇の原因は、地盤の影響である可能性が高いものと推察された。

キーワード：新幹線；振動レベル

Key words : Shinkansen ; Vibration level

1 はじめに

本県では、東北新幹線鉄道の沿線地域について、振動レベルの暫定指針値の達成状況を把握するため、表1に示す11地点（仙台市を除く。）を選定し、年に1回測定を行っている。経年変化を調べたところ、大河原町金ヶ瀬地点（以下、「大河原」）において、2014年度に前年度と比較して12dB上昇の66dBを示し、その後は65～67dB（減速運転の影響のあった2017年を除く。）で推移し、横ばい傾向にあることが確認された。要因として、列車速度280km/h以上のE5系、E6系の走行に起因している可能性が高く、走行時に発生した振動とレール等の軌道構造や高架橋との共振、又は地上伝搬過程での共振の関与が示唆された¹⁾ことを受け、更なる原因を究明するため、追加調査を行った。

表1 測定地点

No	住所	測線側軌道	管理キロ程	環境基準類型
1	白石市旭町	上り側	285.8	I 類型
2	大河原町金ヶ瀬	上り側	295.9	II 類型
3	村田町沼辺	上り側	298.4	I 類型
4	柴田町成田	下り側	301.7	I 類型
5	名取市高館	上り側	315.2	II 類型
6	名取市田高	下り側	316.4	I 類型
7	大和町落合	下り側	347.9	I 類型
8	大崎市古川	下り側	367.8	I 類型
9	栗原市高清水	下り側	374.4	I 類型
10	栗原市志波姫	上り側	387.6	I 類型
11	栗原市金成	下り側	397.3	I 類型

2 測定・評価方法

調査地点は、大河原のほか、軌道構造が同じで地盤構造のみが異なる村田町沼辺地点（以下、「村田」）及び軌道の種類等が異なる栗原市金成地点（以下、「金成」とし（表2）、近接側軌道中心から6.25m、12.5m、25m、50m地点における鉛直方向の振動レベルを測定した。測定データについて、時定数は630ms、分析値は列車通過時のバンドマックス値として、1/3オクターブバンド分析を行った。評価については、各地点の近接側（以下、「測定側」）の振動レベルを採用した。

表2 調査地点

地点	大河原	村田	金成
構造物の種類	PC桁高架橋	PC桁高架橋	PC桁高架橋
軌道の種類	バラスト	バラスト	スラブ
ピックアップの設置場所	土	土	舗装道路
表層地盤 ²⁾	腐植土を主とする地盤	腐植土を主とする地盤と岩盤の境界付近	—

3 結果・考察

大河原、村田及び金成の測定側軌道中心から6.25m、12.5m、25m、50mにおける走行時の振動レベル平均値を表3に示す。軌道中心からの距離ごとに、振動レベルの傾向を見ると、25m地点を除き、金成が最も大きい値を示している。次いで50m地点を除いて大河原が大きい値を示している。

*1 前 保健環境センター

表3 各地点における測定側軌道中心からの距離ごとの振動レベル平均値

測定点	項目	軌道中心からの距離(m)				列車速度(km/h)
		6.25	12.5	25	50	
大河原	振動レベル(dB)	61	57	57	46	284
	データ数	13	13	13	13	13
村田	振動レベル(dB)	56	55	53	48	283
	データ数	16	16	16	16	16
金成	振動レベル(dB)	63	58	56	51	291
	データ数	14	14	14	14	14

各地点の車両形式ごとの振動レベルの平均値と測定側軌道中心からの距離の関係を図1に示す。

村田と金成では、距離の対数と振動レベルはほぼ直線的な減衰関係であったが、大河原では、車両形式の違いにより減衰関係が異なっていた。特に、列車速度の速いE5系+E6系では、6.25~25mまでの減衰はほとんどなく、25mから50m間の減衰が17dBと大きかった。

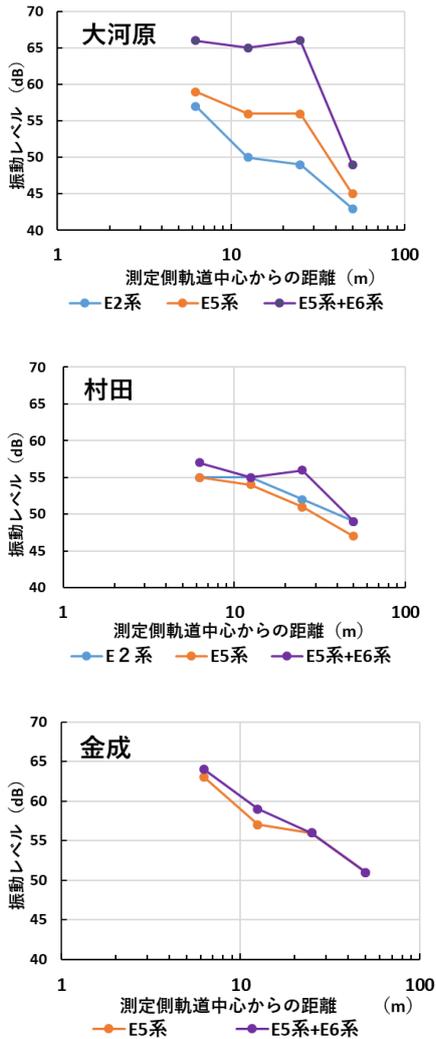


図1 各地点の車両形式毎の振動レベル距離減衰

次に、各地点において、車両形式ごとに1/3オクターブバンド周波数分析をした。車両形式のE5系は、列車速度の違いにより周波数構成が異なると考えられたことから、280km/h未満と280km/h以上に2区分し、E5系280km/h以上の25mにおける各地点の結果を図2に示す。

大河原での主要な周波数は、3.15Hz、10Hz、25Hzであり、10Hzと25Hz付近は村田と金成においても観測されたことから、列車の走行(車両長25m及び軸距2.5mの繰り返し)に伴うものと推察される³⁾。

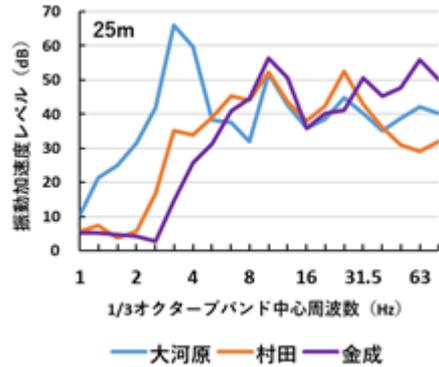


図2 E5系の280km/h以上25mでの各地点の結果

3.15Hzの卓越周波数は、軌道構造等が同じである村田では生じていないため、大河原特有の現象と思われる。村田と大きく異なるのは地盤であることから、地盤の固有振動数が大きく関与していると考えられた²⁾。そこで、大河原の地盤について調べたところ、新幹線鉄道建設時における軌道直下の地質図によると、地表から約10mは有機質土、その下部約4mは粘土・シルト、更にその下部約4mは礫で、最下部は岩盤であることが判明した。これらの層のうち軟弱地盤である有機質土と粘土・シルトを一体の層(約14m)として考え、下式⁴⁾を用いて、大河原の固有振動数を計算した。

$$f_0 = V/4H$$

f_0 : 固有振動数 (Hz)

V : 横波の伝搬速度 (m/s)

H : 地盤の厚さ (m)

ここで、横波の伝搬速度を150m、地盤の厚さ14mとすると、固有振動数が約3Hzと算出され、大河原の卓越周波数3.15Hzとおおむね一致した結果が得られた。地盤の厚さ等が異なる可能性があるため、周波数に若干の変動はあると思われることを考慮しても、地盤が大きく関与していることが裏付けられた。

したがって、列車速度の上昇により、3.15Hz付近の振動が大きく発生し、地盤の固有振動数付近の周波数と共振することによって、振動レベルが上昇しているものと考えられる。

次に、走行する列車の速度と振動レベルの関係をみるため、大河原の6.25mにおける車両形式ごとの結果を図3に示す。大河原で卓越している3.15Hz付近は、列車速度280km/h以上では280km/h未満と比較して、約20dB上昇しており、280km/h以上の速い速度での走行が3.15Hzの卓越に大きく影響していることが判明した。

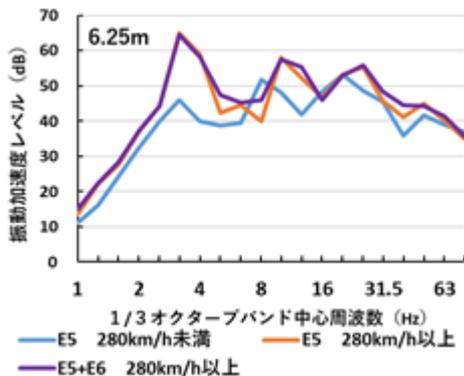


図3 大河原の6.25mにおける車両形式毎の結果

ここで、測定点ごとに、列車速度を280km/h未満と280km/h以上の2区分とし、6.25mから50m地点までの推計式を作成した。なお、作成に当たっては、列車速度が280km/h未満のデータについては列車速度を270km/h、また280km/h以上については300km/hとし、振動レベルについては列車速度区分ごとに軌道中心からの距離ごとに得られたデータの平均値を用いて基準化した。作成した推計式を基に、25mにおける大河原と村田について、列車速度と振動レベルの関係を図4に示す。図中280km/h付近で直線が途切れているが、これは推計式が280km/h未満と280km/h以上で異なることを意味している。

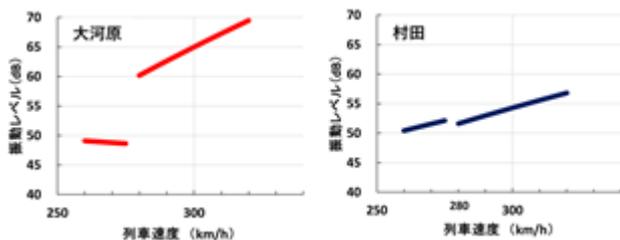


図4 推計式に基づく25mにおける列車速度と振動レベルの関係（左：大河原 右：村田）

大河原については、280km/h以上になると急激に振動レベルが上昇しており、今後、列車速度が上昇した場合に、振動レベルも大きく影響を受ける可能性がある。一方、村田では、ほぼ直線的に増加しており、列車速度上昇の影響は限定的であると考えられる。

4 まとめ

今回の追加調査結果から、近年の列車速度の上昇により、地盤条件によっては、3.15Hz付近の低い周波数帯域の振動が卓越することがわかった。2014年度以降の新幹線鉄道振動調査で見られた大河原における振動レベル上昇の原因は、地盤の影響である可能性が高いものと推察された。

5 参考文献

- 1) 天野ら,第36回宮城県保健環境センター研究発表会要旨集,2021,p.8.
- 2) 宮城県地震地盤図作成調査報告書(昭和60年3月宮城県)
- 3) 横山ら,新幹線高速走行時の地盤振動特性と速度依存性評価法,2006,p.25.
- 4) 新・公害防止の技術と法規2018,p.543.