

新幹線高速走行時の列車風による影響

○浅野 航平 江本 学 稲本 耕介 (東日本旅客鉄道)

Effect of train wind generated when the Shinkansen runs at high speed

○Kohei Asano, Manabu Emoto, Kosuke Inamoto, (East Japan Railway Company)

For the Shinkansen 360km/h operation, we measured the change in wind speed as the train speed increased. A running test was conducted using a test vehicle, and it was confirmed that there were no problems with the current rules.

キーワード: ALFA-X, 速度向上, 列車風, 3次元超音波風速計

Key Words: ALFA-X, Increase operating speed, Wind due to train passage, 3D Ultrasonic Anemometer

1. はじめに

当社では、新幹線の速度向上に向けた研究開発を進めるため、E956 型式「ALFA-X」10 両編成（以下、試験車）（図 1 参照）を製作し、2019 年から実施している走行試験において、走行安全性能、環境性能、地上設備への影響などの確認を実施している。

本稿では、保守作業上の安全性を確認するため以下の項目について、列車風を測定し評価した結果について述べる。
①地上作業員の施設内立入時の安全性の確認のための通路風の測定結果②バラスト軌道の碎石の飛散リスクの有無の確認のための道床表面風測定結果



図 1 E956 型式 ALFA-X

2. 作業用通路における列車風

2.1 課題認識

速度向上による風速の増加と車両改良による風速低減により得られる列車風通路各部の風速を把握し、保守作業員のさく内立入時の安全性の確認することを目的に実施した。

2.2 保守用通路の列車風に関する基準

保守用通路は東海道新幹線建設時に、ビューフォート風級 7「風に向かって歩きにくい」(13.9~17.1m/s) の上限値の風速 17m/s を設計の目安として提案され、保守用通路の位置は車両限界より 0.8m 外側とすることを決定した経緯がある。参考文献¹⁾

以降、当社では速度向上の際に、通路風速の目安を 17m/s として測定、評価を行っている。

今回、試験車の走行試験に合わせ、速度向上による風速の増加と車両改良による風速の低減効果を確認するため、現行営業車と比較して測定、評価した。

2.3 測定概要

高速走行時において、保守作業員が巡視や確認業務のため、保守用通路への立入りが安全上問題ないか検討するため、「一般区間通路（図 2 参照）、トンネル区間中央通路」で待避姿勢を模擬した位置で風速を測定し、現行営業車と比較した。

トンネルへの立入は、巡回車使用若しくは夜間立入としているが、短いトンネルなどは立入り、列車待避することがあるため、参考に測定を行った。

計測器の高さは、一般区間通路では、1400mm、800mm の高さで、トンネル中央通路では 800mm で測定した。ここで 1400mm の高さは立位で待避する際の胸の位置を、800mm の高さは座位の胸の位置を想定した。なお、測定機器の選定にあたっては、多方向成分を測定し合成することが可能な 3 次元超音波風速計を用いて測定した参考文献²⁾。風速計では、X・Y・Z 方向を線路直角・線路・上下方向成分として、通路側、列車進行方向、上方向を正とした。イメージを図 3 に示す。

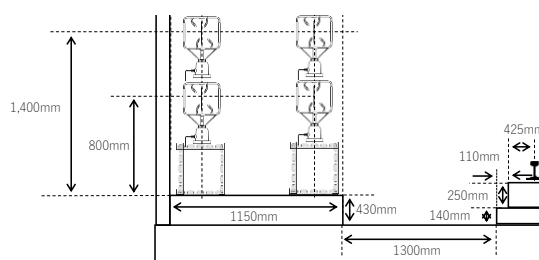


図 2 一般区間通路 設置状況

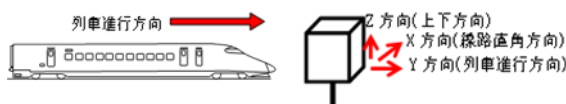


図3 風速成分のイメージ図

2.4 列車風の成分分析

（1）風向

列車通過時の通路部の風速を成分毎に確認した結果、現行営業車、試験車いずれもY方向（線路方向）の風速が主成分であり、先頭通過時及び後尾部通過時に線路直角方向成分が加わることが確認された。（図4参照）いずれの試験においても、同様の傾向を確認でき、主成分が列車進行方向への1方向への風向のため、風の振幅幅を考慮せず、風速の合成値の最大値（以下、最大瞬間風速）で比較した。

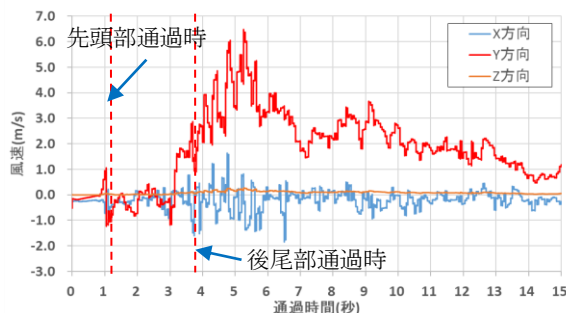


図4 一般区間試験車・現行営業車の風速比較

（2）測定位置別の最大瞬間風速

高速域での最も安全な待避位置の確認のため、試験車で観測された最大瞬間風速値を列車からの離れ、高さの異なる4点に分類し得られた結果を示す。（図5参照）

一般的には物体からの離れが大きくなるにつれ、風速値が小さくなるが、測定の結果測定位置による明確な風速の違いは見られなかった。これは、列車から距離の離れる防音壁側においても、壁の影響で風速が減衰していないことが推測される。風向毎の比較では、線路直角方向の風速において線路側で大きいことを確認したが、列車進行方向への風が主成分であるため、瞬間最大風速としては差が出なかったことが考えられる。本稿では、通路内風速は位置によらず一定とした。

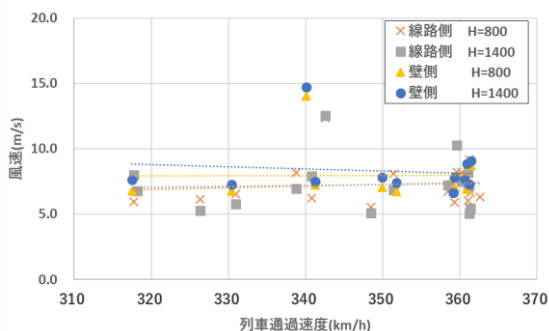


図5 測定位置別風速値比較

2.5 結果

（1）一般区間通路

試験車と現行営業車の最大瞬間風速と列車通過速度との関係を示す。（図6参照）

風速の列車通過速度との比例関係は、試験車・現行車ともに小さく、測定値にばらつきが見られるが、試験車の360km/hまでの測定値は、現行営業車（320km/h）と同等以下であり、通路設計時の目安とした17m/sを下回った。

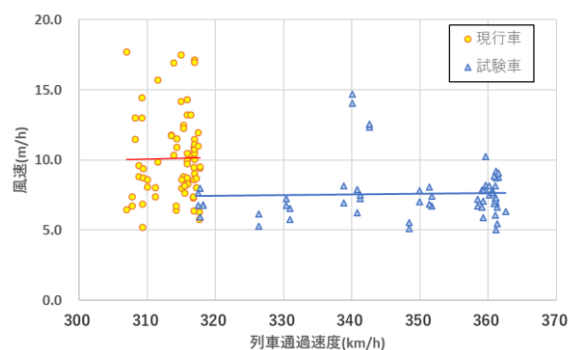


図6 一般区間 試験車・現行営業車の最大瞬間風速比較

（2）トンネル区間中央通路

試験車と現行営業車の最大瞬間風速と列車通過速度との関係を示す（図7参照）

試験車の風速は一般部に比べ速度との比例関係が高く、現行営業車はばらつきが大きく明確な速度依存性は確認できなかった。測定値は、試験車、営業車共にばらつきが大きいが、17m/sを超過するものが見られた。

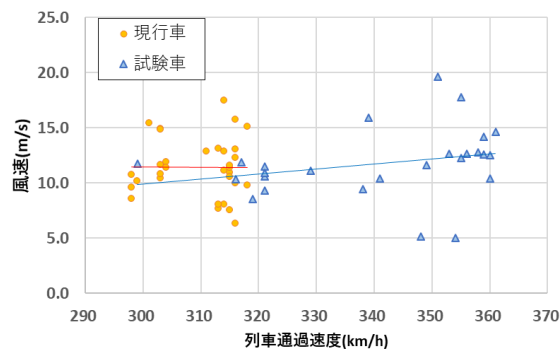


図7 トンネル区間 試験車・現行車の最大瞬間風速

（3）車両形状の違いによる影響確認

現行営業車と試験車で最大瞬間風速値に違いが見られた要因を検討した。これまでの知見から列車走行時の列車風は、列車先頭部で押しのけられる風、列車中間部では列車に沿って流れる風、列車後尾部の通過直後には列車側に引き込まれる風が吹くことがわかっており、それぞれ湧出流、境界層流、伴流と呼ばれている。

現行車と試験車の風速発生時の経時変化を比較した。（図8参照）。現行車は試験車と比べ、伴流発生時での風速の増加割合が大きく、列車風の発生は車両の後方形状による違いがあると推定されたため、流体シミュレーションにより確認、比較した。（図9参照）。

確認した結果、試験車に比べ、現行車のモデル車両にか

かる圧力が後尾部で大きくなっており、これが、風の巻き込みによる伴流発生の影響と考えられ、車両形状による風速の変化の一因となることがわかった。



図8 列車風発生時系列図 現行車・試験車比較

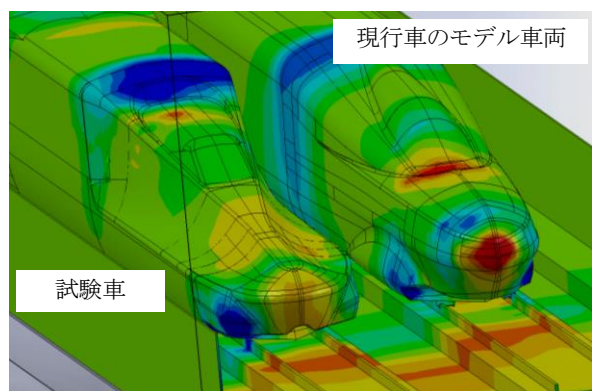


図9 流体シミュレーション図

2.6 評価

(1) 一般区間通路

車両形状による風速の違いが生じることから、現在の試験車から形状を変更する場合には、再度、確認のための測定が必要となるが、現在の試験車形状であれば360km/h走行時にも目安値を下回っており、一般区間における保守通路上の安全性は確保していると言える。

(2) トンネル区間中央通路

トンネル内でも、一般区間同様、伴流により発生した風速の区間で風速が大きくなることは確認ができたが、測定結果毎のばらつきが大きく車両形状による明確な違いは見られず、評価には至らなかった。これは、通過時の風速に加え、列車侵入によるトンネル内の気圧変動で発生する風の影響と考えられた。測定結果は、試験車においても、目安値の17m/sを超過する値が見られたため、トンネル内は現行通り待避を避け、トンネル巡回車による立入が必要であることを確認した。

3. 道床表面の列車風の影響

3.1 課題認識と目標

現在、冬季の車両からの落雪によるバラスト飛散対策として、バラスト区間にゴム製のバラストスクリーンが設置され冬季間は被覆されている。その一方で、バラストスクリーンはMTTによる総突き固めなどの軌道整備に支障する

ため、冬季以外に道床作業等を実施する際は必要な区間撤去して線路外に仮置きし、冬前までに復旧することとしている。

速度向上に伴う道床表面風の増大により、バラストの巻き上がりが発生する場合は、年間を通じて作業当日内に復旧作業を行う必要が生じるため、軌道整備の効率低下が懸念される。上記の理由から高速走行時にバラストの挙動を確認し、巻き上げが発生する可能性の有無や速度を確認した。

3.2 道床表面の列車風の基準・基礎検討

道床表面風に関してはこれまで飛散のリスクは低く、明確に定められた基準がなく、速度向上に伴いバラストの挙動を確認し判断してきている。

当社では、2005年6月～8月に東北新幹線で実施したE954系試験車の高速試験において、カメラにより道床表面状態の撮影を行っている。その結果、340km/hを超える速度域で道床の挙動が確認されたことから、今回の360km/h走行試験時に同様の試験を行い、試験車の床下形状の変更を加味し段階的に速度向上しながら確認を行った。

3.3 測定概要

バラスト軌道のレールからの離れを変えた道床表面の風速測定及び、通過時の碎石の挙動や飛散の有無を確認するため動画撮影による確認を実施した。

風速測定は、線路方向1次元の熱線式のセンサを、軌間中心線上に、まくらぎ表面から20mm、同50mmの高さ位置に配置し、センサ本体部をバラスト内に埋めて、その受感部をバラスト表面上に突き出して設置した。

列車通過時の碎石の挙動確認は、現行断面（まくらぎ表面から20mm）で実施し、軌道中心線とまくらぎ端部に小型CCDカメラと小型照明を道床内に埋設したアングルに固定して並列に設置した。また、碎石には挙動が明確に確認できるように、表面を白色に塗色して線路外のモニターによる記録及びリアルタイム監視とした（図10参照）。

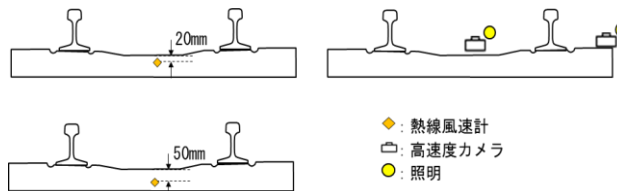


図10 バラスト表面風速測定器設置状況

3.4 結果

(1) 試験車と現行営業車の最大瞬間風速

試験車と現行営業車のまくらぎ表面20mm位置での最大瞬間風速を測定毎に読み取り、各測点における列車通過速度との関係を示す（図11参照）。

試験車の360km/hまでの走行した際の最大瞬間風速は、現行車（320km/h）と同等以下であった。

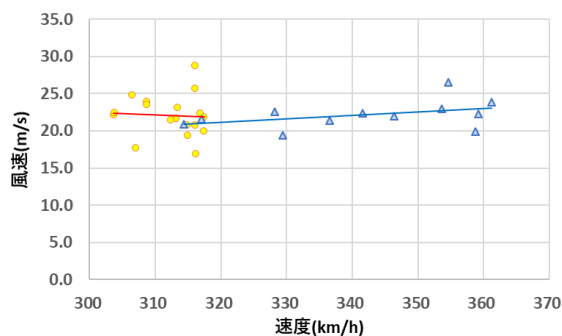


図 11 まくらぎ表面-20mm 試験車・現行車風速比較

(2) 砕石の挙動確認

CCD カメラで現行営業車の最高速度 320km/h から 10km/h ずつ段階的に速度向上して走行し、監視（撮影）・確認を行った。その際のキャプチャ画像の例を示す（図 12 参照）。

撮影による挙動確認の結果、軌間内外の砕石は、いずれも、360km/h 走行にもゆれや転がりなどの挙動や飛散などは確認されなかった。



図 12 砕石挙動確認キャプチャ画像

(3) まくらぎ表面高さの違いによる風速への影響

軌道中心上の高さの異なる風速を比較すると、レールレベルから-259mm（まくらぎ表面から-50mm）の最大瞬間風速 11.8m/s に対し、-229mm（-20mm）は 22.1m/s と半分程度の大きさになっていることが確認され、なかすかし量を大きくすると道床表面風の低減効果が高いことを確認した（図 13 参照）。

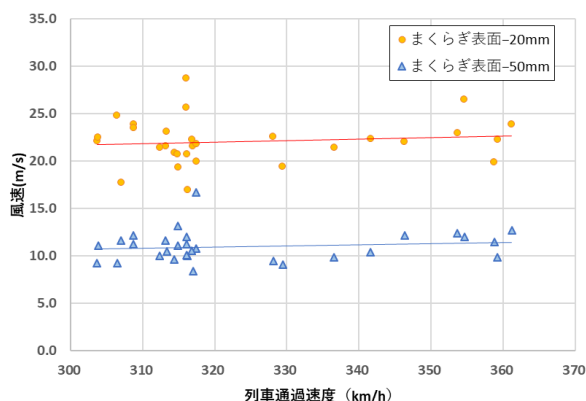


図 13 まくらぎ表面高さの違いによる風速比較

3.5 評価

試験車が 360km/h 超まで走行してもバラストの挙動は確認されなかったことから、今後の量産車の床下形状連結部など形状が試験車と変更がなければ、バラストスクリーンの取扱いは現行の取扱いでよい見通しが得られた。

現行車より道床表面風速が低減した要因として、連結部や床下面の円滑化により、車両床部の摩擦が低減され、風の発生を抑制したことと推定された。

今後更なる速度向上や車両形状変更、バラスト細粒化などのバラスト飛散のリスクが想定される場合は、中すかし量の変更と合わせて検討し、現行の取扱いについての見直しの要否を確認すればよいことを確認した。

4. 総括

今回の試験結果より、360km/h 走行時の設備従事員の立入などの安全が確保されていること、通常期の砕石の飛散リスクはなく、バラストスクリーンの取扱いも従来通りでよい見通しが得られた。取扱いの決定に際しては、営業量産車の仕様決定時などに車両形状の変更など空力特性に影響する測定断面の変化が生じる場合には、再度、測定を実施し確認する。

参 考 文 献

- 1) 福地合一：高速鉄道の研究，日本国有鉄道，pp.387-393，1967
- 2) 小美濃幸司他：列車風の保守作業員への影響に関する研究，財団法人鉄道総合研究所，指定課題報告，pp.2-6，2008
- 3) 吉田眞，橋本渉一：新幹線高速走行による飛石挙動試験，財団法人鉄道総合研究所，指定課題報告，pp.2-6，2008