地上側敷設物の飛散現象を再現する風洞実験手法の開発

○ [機] 井上 達哉 (鉄道総合技術研究所) [機] 中野 高志 (鉄道総合技術研究所)

井門 敦志(鉄道総合技術研究所)[機] 岩崎 誠(鉄道総合技術研究所)

Development of Wind Tunnel Experimental Method to Reproduce the Scattering

Phenomena of Objects Installed on Ground

OTatsuya Inoue, (Railway Technical Research Institute)

Takashi Nakano, (Railway Technical Research Institute) Atsushi Ido, (Railway Technical Research Institute) Makoto Iwasaki, (Railway Technical Research Institute)

To prevent scattering of the ballast on track surface when the Shinkansen passes at high speed, we put on the ballast screen or spray resin on the ground. However, considering the extension of Shinkansen running area and the speed up, we need low cost and safety ballast scattering countermeasure. Therefore, we developed a new type wind tunnel test method to research and verify the ballast scattering phenomena in advance, which can be measured only by the field tests. In this paper, we describe the first report on the new type wind tunnel test method in detail.

キーワード:新幹線,バラスト,軌道,アクションカメラ,可視化,くし型総圧管 **Key Words:** Shinkansen, Ballast, Track, Action camera, Visualization, Comb-type total pressure pipe

1. はじめに

新幹線が高速で走行する際,車両周りには空気の流れが 誘起される.特に車両床下の流れは,凹凸のある台車部や 車輪等が存在するため,車両屋根上や側面よりも複雑な流 れになる¹⁻³⁾.この車両床下流れにより発生する問題の一つ に,バラスト飛散現象が挙げられる⁴⁷⁾.バラストが飛散す ると,軌道面上だけでなく,駅のホームや沿線環境にまで 到達し,人に危害が及ぶ危険性がある.また,飛散したバ ラストが床下機器等にあたることで,動作不良や機器の損 傷を招く可能性もある⁸⁾.

現在,新幹線が高速で通過する軌道面では、車両が誘起 する風によりバラストが飛散しないように、樹脂の散布や バラストスクリーン(地上側敷設物)などの飛散防止対策 が実施されている.しかし、今後の新幹線の延伸や速度向 上を考慮すると、より低コストで安全な新しいバラスト飛 散対策方法が求められる.現状では現地試験でしか観察・ 検討できないバラスト飛散現象について,現地試験以外の 方法で研究・検証することを目的に、新たな風洞実験方法 の開発をすすめた.本論文では、風洞試験で実際のバラス トを安全に飛散させる方法を開発したので、その内容を報 告する.

2.風洞試験の方法

(1) 風洞試験の概要

本研究は,鉄道総合技術研究所が保有する大型低騒音風 洞設備(滋賀県米原市,風洞平面図は図1参照)で行った. 風洞形式は,ゲッチンゲン型水平単帰還方式であり,測定 部は,開放型測定部を用いた(図2,図3を参照).供試体 のバラスト軌道模型は,前方胴とコレクタ間の測定部に設 置した第二模型支持台車(幅 5.5m×長さ 7.0m)上に配置 する.バラスト軌道模型は,第二模型支持台車の上流側, ノズル(前方胴)との境界部が先頭になる様に設置して



図1 風洞平面図(鉄道総研,風洞技術センター)

いる.またバラスト軌道模型高さは、バラストがノズルの 底面高さと一致するようにしている.前方胴開口部の大き さは、幅5.0m×高さ3.0mであり、最大風速は300km/h、 乱れ度は0.2%以下である.

本試験の試験風速は、ノズル(前方胴)内のターンテー ブル中心に設置した制御用ピトー管(ノズル下面からの高 さ1525mm、壁面からの離れ305mm、図2参照)により算 出した.そのため、この試験風速は、バラスト軌道模型上 の風速(バラスト飛散時の風速)と異なることに注意が必 要である.



図2 開放型測定部(平面図,側面図)



(a) 飛散防止ネットと防護ネット



(b) 飛散防止ネットとバラスト軌道模型 図3 バラスト飛散防止対策(風洞写真)

バラスト軌道模型上の風速分布は、くし型総圧管により 計測した.バラスト軌道模型に流れる風速分布が、現車の 床下流れと一致する様に、ノズル(前方胴)床面にラフネ スブロックを配置し、乱流境界層の生成を促した.

バラスト飛散状況は、アクションカメラにより撮影した. 飛散したバラストが、風洞設備を傷つけることが無いよう に、バラスト軌道模型を飛散防止ネットで囲った.また、 コレクタ内にバラストが侵入することが無いように、防護 ネットで覆った.これらのネットは、今回の風洞試験にお いて、新規に開発したものであり、詳細は3.1節で述べる.

(2) バラスト軌道模型

図4にバラスト軌道模型の寸法図を示す.バラスト軌道 模型は、レール方向に2.7m、まくらぎ方向に2.4mの長さ を有する模型であり、新幹線用のバラスト軌道を再現して いる.レール長さは約2.5m、まくらぎ間ピッチは0.58mで あり、まくらぎは4本用いている.レールとまくらぎ間の 締結部は、軌道中心のバラストの風速分布に大きな影響は 与えないと判断したため、レールを直接まくらぎに固定し ている.レール端部は下流のバラスト周りの流れを乱さな い様に、丸みをつけた形状とした.バラストは実際の軌道 に用いられている本物のバラストを採用し、まくらぎ間の 4箇所に敷設した.バラスト深さは、上流から60mm、60mm、 110mm、60mm としている.バラスト深さ 110mm の部分は、 くし型総圧管等の試験機器を設置する必要性から、他部位 より深く設計した.バラスト以外の地面は、木製の平らな 板を用いている.

(3) くし型総圧管

バラスト軌道模型上の風速分布は、くし型総圧管によっ て計測した.図5に測定時の様子を示す.くし型総圧管は、 上流から2本目のまくらぎから200mm下流の位置が、く し型総圧管の先端になるように設置した.くし型総圧管の 管数は合計で19本、軌道面上7.5mmの位置から10mmピ ッチで構成する.くし型総圧管に接続されたチューブは、 DSA (Digital Sensor Array)を経由して、制御用PCと接続 する.風速の算出は、くし型総圧管の各動圧と、レール上 に設置したピトー管の静圧との差圧より算出している.



図4 バラスト軌道模型寸法図

(4) アクションカメラ

図6にアクションカメラの設置状況を示す. アクション カメラを採用した理由は,超広角レンズを採用しており視 野角が広いこと,フレームレートを最大で約1000fps に調 整でき,詳細な挙動を把握できるからである. アクション カメラは,アクションカメラの中でも実績のある,Go-Pro 社製のアクションカメラ(Go-Pro HERO8 Black) を使用し た.アクションカメラは,レール横の小型のL型アングル に固定した.流れ方向には,バラスト飛散が最も確認しや すい,一番上流側のまくらぎ付近の位置に設置した.

3. 結果と考察

風洞試験でバラストを飛散させる様な動的な試験をする には、十分な安全性を確保した上で行うことが必要である. そこで最初に、バラスト飛散防止対策(安全対策)につい て述べた後、軌道面上の風速分布と、バラスト飛散メカニ ズムの研究結果について報告する.

3.1 バラスト飛散防止対策

バラストが飛散した際の安全性を確保するため,①飛散 防止ネット②防護ネットを作成し,その強度を確認した. 図3に設置した状態の写真を示す.

飛散防止ネットとは、バラスト軌道模型を覆う安全用ネットであり、単管と金網、ネットによって構成され、バラストが無響室内に拡散しない様に、バラスト軌道模型を覆ったネットのことである. なお、単管直径は 48.6mm、金



図5 くし型総圧管



図6 アクションカメラ

網の線径は 2.6mm で開目は 56mm, ネットの網目は 25mm, 糸の太さは 2.1mm のものを使用している.

防護ネットとは、コレクタ内部にバラストが飛散しない ようにコレクタの前面に設置したネットのことである.防 護ネットは、コレクタ上にとりつけた単管と、コレクタの 側部に取り付けた治具、第二模型支持台車上のH鋼によっ て固定する.単管とネットの仕様は、飛散防止ネットと同 様である.

試験を行った結果,本試験風速の範囲内では,飛散した バラストは全て飛散防止ネットにより停止し,防護ネット 前まで達したバラストはない.このことから,今回開発し たバラスト飛散防止対策は,十分な安全性を確保している と考える.

3.2 風速分布

開発したバラスト軌道模型で、列車通過時の地上側敷設 物の飛散現象を再現するためには、この模型の軌道面上に、 現実の新幹線車両が通過する際の軌道面上の風速分布を再 現する必要がある.再現する現車試験での風速分布は,8 両編成新幹線(列車速度: 277km/h), 16 両編成新幹線(列 車速度: 279km/h)を用いた.現車試験の風速分布を再現 するために, 軌道模型上流にあるノズルの底面にラフネス ブロックを敷設し、風速分布を再現した. ラフネスブロッ クの有無条件と現車試験での風速分布結果を図7に示す. この時の風洞実験風速(ノズルでの主流風速)は50m/s で あった. ラフネスブロックがない場合には、境界層の厚み が 130mm 程度,境界層外の風速が 50m/s を超える(飛散 防止ネットの影響で主流風速が増速している)風速分布と なる. ラフネスブロックを設置することで、全体的に風速 が低下し、測定範囲(高さ190mm)では主流領域がなく、 概ね、現車試験の風速分布と一致する風速分布を得ること ができた. すなわち, 上流側のノズル底面にラフネスブロ ックを敷設することで, 軌道模型上に新幹線が通過する際 の風速分布を再現することができた.現車試験を再現した 風速では、バラスト飛散現象は見られなかった.

3.3 バラスト飛散メカニズム

バラストが飛散するまで試験風速を上げて、バラスト飛 散の様子をアクションカメラで撮影した. 図8に、バラス ト飛散の代表的なものを、Go-Pro 動画から抽出し、画像(静 止画)として示す. 図8(a)では試験風速により、バラス トが浮き上がっている様子を確認できる. その後、浮き上 がったバラストは、図8(b)に示すように、少し下流に移 動し、他のバラストやまくらぎ上に着地する. 着地したバ ラストは、再度跳ね上がり(跳ね上がるバラストは、着地 したバラストと同じバラストである)、図8(c)に示すよ うに、より高速で下流に流される.

他のバラスト飛散の挙動としては、①バラストが浮き上 がった後、他のバラスト上に着地せずそのまま下流へ流さ れたもの②回転しながら下流へ移動するが、すぐに他のバ ラストによりせき止められ,停止したもの③カタカタと揺 れるが,下流には流されず,その場所に停滞するもの等が 存在した.



図7 バラスト軌道模型上の風速分布



(a) バラスト飛散現象 (1/3)



(b) バラスト飛散現象 (2/3)



(c) バラスト飛散現象 (3/3)

図8 バラストの飛散状況

4. おわりに

本研究では、風洞試験において、実寸大のバラスト軌道 模型を設置し、バラスト飛散現象について再現・検証を行った.その結果、わかったことを以下に述べる.

(1) 飛散防止ネットと防護ネットを用いると、地上敷設物 を飛散させた風洞試験を安全に行えることがわかった.

(2)前方胴にラフネスブロックを設置し,バラスト軌道模型上の風速分布をくし型総圧管により計測した.その結果,現車の床下風速分布を風洞試験で再現することができた.

今後は、①バラスト軌道模型を振動させる②バラスト以外 の飛来物によりバラストが飛散する現象等についての研 究・検証をすすめる.

参考文献

- 井門敦志,小濱泰昭:鉄道車両の床下形状平滑化による 空気抵抗低減に関する研究,日本機械学会論文集(B編), Vol. 71, No. 703, pp. 817-824, 2005.
- 2) 井門敦志:車両側および地上側からの計測による車両床 下流れの評価,鉄道総研報告, Vol. 23, No. 7, pp. 39-44, 2009.
- 3) 岩崎誠,井門敦志,山崎展博,宇田東樹,若林雄介:新 幹線車両の床下流れの特性,鉄道総研報告, Vol. 29, No.
 5, pp. 11-16, 2015.
- 吉田真,内田雅夫,矢口直幸,御船直人:高速走行時の バラスト飛散防止対策,鉄道総研報告, Vol. 6, No. 6, pp. 27-36, 1992.
- 5) 河島克久, 飯倉茂弘, 遠藤徹, 藤井俊茂: 列車からの落 氷雪によるバラスト飛散現象に関する実験的研究, 鉄道 総研報告, Vol. 17, No. 8, pp. 31-36, 2003.
- 6) Premoli, A., et al.: Ballast flight under high-speed trains: Wind tunnel full-scale experimental tests, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., Vol. 145, pp. 351-361, 2015.
- Jing, G., et al.: High-speed railway ballast flight mechanism analysis and risk management – A literature review, Construction and Building Materials., Vol. 223, pp.629-642, 2019.
- 8) 高木言芳:新幹線高速化に向けた地上設備の研究開発 (Interpretive article), JR EAST Technical Review, No. 15, 2006.