

線路上の設置物に働く 自然風による空気力を測定する

鉄道の道床に設置される物は、台風などの自然風などによって飛散しないよう、道床面に固定されることが一般的です。しかし近年、労力の削減を目的として、固定しない状態での使用を前提とした設置物が新たに開発されています。開発の中で、風によって設置物に働く力を測定し、固定しない状態であっても設置物が飛散しないことを確認する必要があります。そこでここでは、新たに開発された道床形状保持プレートに働く力を、風洞実験によって測定しましたので紹介します¹⁾。

鉄道一般

車両

施設

電気

運転・輸送

防災

環境

人間科学

浮上式鉄道



中野 高志
Takashi Nakano
環境工学研究部
車両空気特性研究室
研究員



佐久間 豊
Yutaka Sakuma
前 環境工学研究部
車両空気特性研究室
主任研究員(上級)
(現 鉄道国際規格センター
調査)



井上 達哉
Tatsuya Inoue
環境工学研究部
車両空気特性研究室
副主任研究員

はじめに

レール、まくらぎを支えるための構造を道床といい(図1)、道床の多くはバラストとよばれる碎石で構成されます(以下では道床という表現は、バラスト道床を指すこととします)。道床に設置される物は、レールや通過する車両に近いため、台風などの自然風や、列車が通過する際に巻き起こる風(以下、列車風とします)によって設置物が移動した場合(この現象を飛散と表現します)、鉄道の運行に支障をきたすおそれがあります。これまで、風によって設置物が飛散するかどうかを判断するための知見がほとんどなかったことから、設置物が飛散しないよう、設置物を強固に固定していました。しかし近年、作業性の向上や労力の削減が望まれる中、より簡易な固定方法の模索や、そもそも固定せずに使用されることを前提とした新しい設置物の開発が行われています。固定せずに使用される新たな設置物を開発する中で、その設置物が風を受けた際に働く力(空気力とします)を測定し、飛散しないことを確認する必要があります。そこでここでは、新たに開発され

た道床形状保持プレート(以下、プレートとします)を対象とし、プレートに働く空気力を測定します。

道床形状保持プレートについて

夏にレールの温度が上がると、レールは伸びようとしていますが、レールはまくらぎに締結されていることから、レールには、レールと直角方向(以下、まくらぎ方向とします)の力が生じ、レールの移動につながります²⁾。この力に対する抵抗力(道床横抵抗力といいます)を強化することで、安全性が向上します。プレートは、道床横抵抗力を強化するために開発された設置物です(図2)。

図3にプレートの設置イメージを示します。図3(a)に示すようにプレートはまくらぎよりも外側(図中左側)の道床の表面(以下、肩部とします)、および斜めになっている面(以下、のり面とします)に、道床を押さえつける形で設置されます。図3(b)に示すようにプレート下部の20mmが凹凸形状となっていて、凹凸とバラストがかみ合うことでプレートと道床は一体化します。さらにプレートの質量は



図1 レールとまくらぎを支える道床
(JR東日本撮影協力)

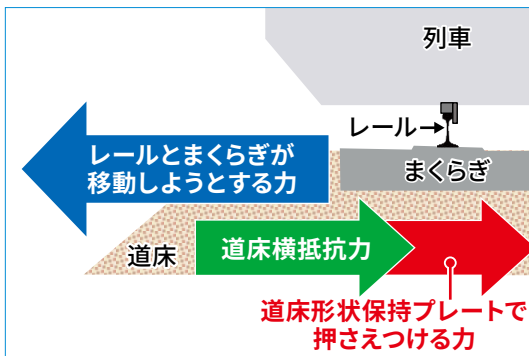


図2 道床横抵抗力と道床形状保持プレート

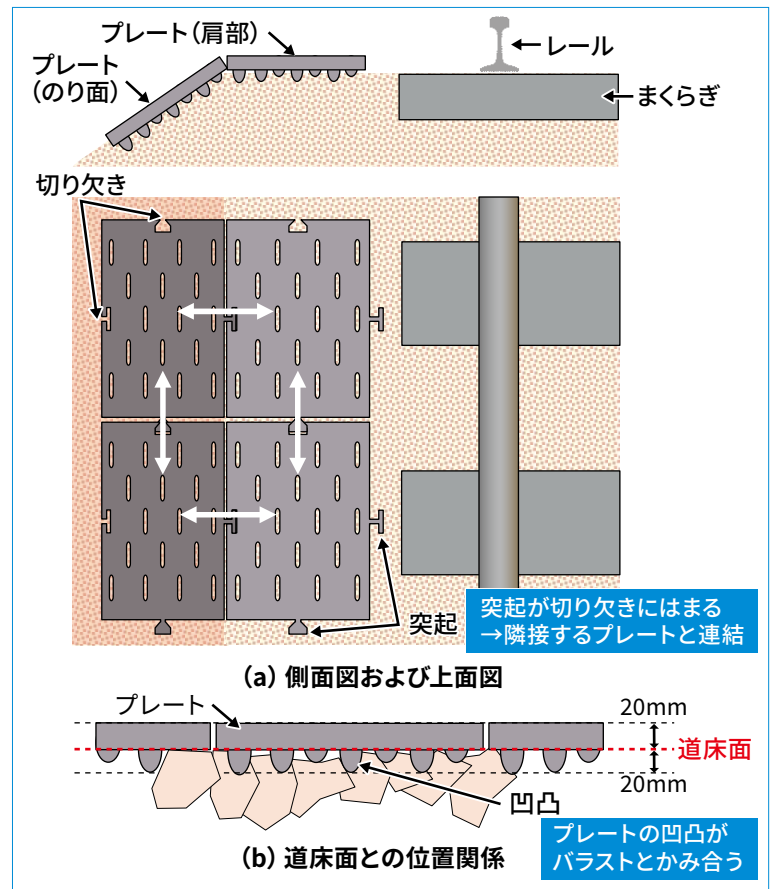


図3 プレートの設置イメージ

22kg(鋳鉄製)と重いこと、またプレート同士が連結されることから、容易には動きません。このようにプレートが道床と一体化し、道床の形状が保持されることで、道床横抵抗力が強化される仕組みとなっています。

空気力測定のための検討

まずプレートが受ける風の風速および風向を検討しました。またプレートが飛散する形態を想定することで、プレートに働く空気力の、どの成分が飛散に影響を与えるかを検討しました。

(1) プレートが受ける風

プレートが受ける風には、自然風と列車風が考えられます。まず自然風について、文献3を参考に、プレートに対して100年に一度の強風が吹くと想定すると、自然風は60m/sと推定されます。一方、プレートは在来線を対象としているため、列車風は在来線の最高速度である160km/h(44m/s)が

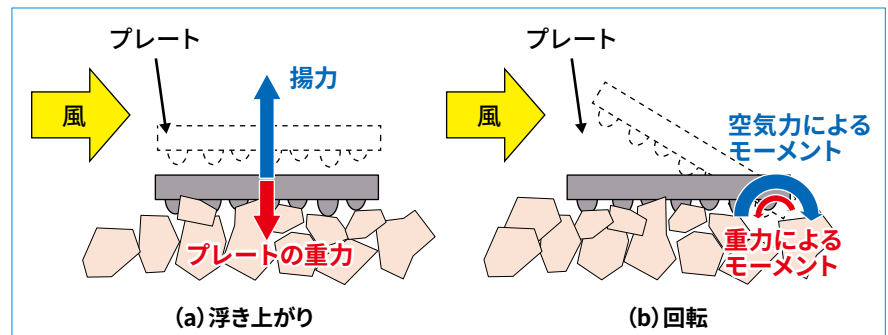


図4 プレートが飛散する形態

想定されます。よって列車風よりも自然風の方が大きいため、プレートが自然風により飛散する可能性を検討することとします。風向については事前の実験により、まくらぎ方向の風が吹いた際に、プレートに働く空気力が大きくなることがわかりました。

(2) プレートが飛散する形態

プレートが飛散する形態を想定します(図4)。一つ目は「浮き上がり」で、揚力(上向きの力)がプレートの重力を超えることで、上向きに飛散する形

態です。二つ目は「回転」で、風により発生するモーメントが、プレートの重力によるモーメントを超えることで、プレートが下流端を軸として反転する形態です。

以上の想定から、プレートの飛散の可能性を検討するためには、まくらぎ方向に60m/sの自然風が吹く際にプレートに働く揚力とモーメントを測定することとします。自然風は風向や風速が変化するため、ある風向、風速での空気力を求めるためには、長時間の

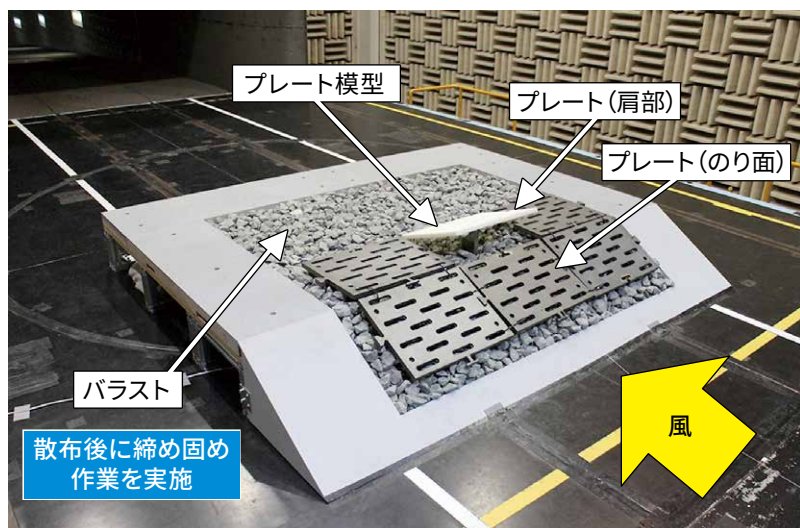


図5 軌道模型

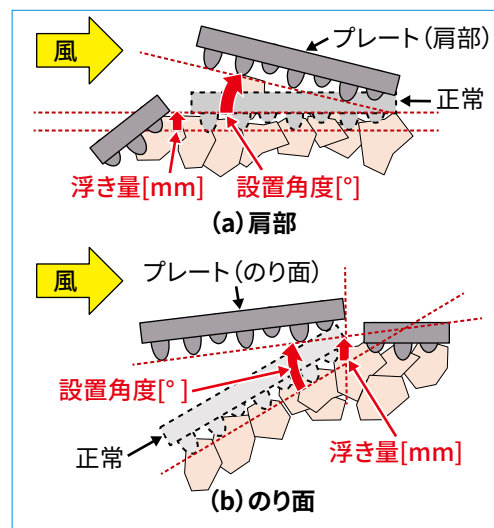


図6 プレートの設置条件

測定を行う必要があります。そこで風向，風速が安定した風を吹かせることのできる風洞を利用して，プレートに働く空気力を測定することとします。

風洞実験の概要

(1) 軌道模型

風洞実験で使用した軌道模型を図5に示します。実験には，営業線で使用されているバラストを敷設した実物大の軌道模型を使用しました。バラスト同士の間隔がバラスト上の空気の流れに影響を与えると考えられたため，バラストを散布した後，道床を数分間踏むことによって締め固め作業を行い，営業線での道床の状況を再現しました。風速は，バラストが送風中に飛散しない30m/sに設定し，測定された力を60m/s相当に換算することとします。また風向はまくらぎ方向となるように軌道模型を設置しました。

(2) プレート模型

軌道模型の肩部およびのり面に，プレートをそれぞれ3枚，計6枚設置し，そのうちの1枚を空気力測定のためのプレート模型としました。

プレートは，正常な状態では道床面とかみ合うように設置されます。しかし，何らかの原因でバラスト面とかみ合わず，バラスト面から浮いてい

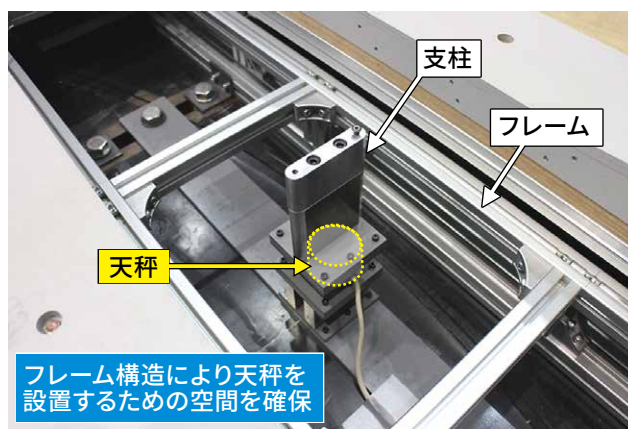


図7 軌道模型の内部

るような状態になる可能性もあります。よって正常な状態に加えて，高さや角度が異なる条件も再現するため，図6のように，プレートの高さ（浮き量）や設置角度を変更できるようにしました。なお浮き量，設置角度の基準は，道床面とかみ合った正常な状態のプレートとします。

(3) 空気力の測定法

プレート模型に働く空気力を測定するためには，プレート模型に天秤（てんびん 参照）とよばれる力を測定するための機器を接続します。天秤自体が流れに与える影響をなくすため，天秤を軌道模型の内部に設置し，天秤から支柱を上へ伸ばし，支柱を介して天秤とプレートを接続することとしました（図7）。軌道模型の内部に天秤を設置

する空間を設けるため，模型内部をフレーム構造としました。

なお，プレートが浮いた状態での測定においては，支柱に流れが当たってしまい，天秤で測定される空気力には，プレートに働く空気力に加えて支柱に働く空気力も含むことになります（図8）。そこで，支柱の断面形状を工夫することで支柱に働く空気力を小さくしました。具体的に支柱の断面形状は，流れの剥離を抑えるために流れ方向に長くし，また角部を丸くしました。

天秤

流れの中にある物体に働く力を測定するための測定機器です。天秤は力を受けるとわずかに変形し，その変形量を天秤内のセンサーで検知することによって力を測定します。

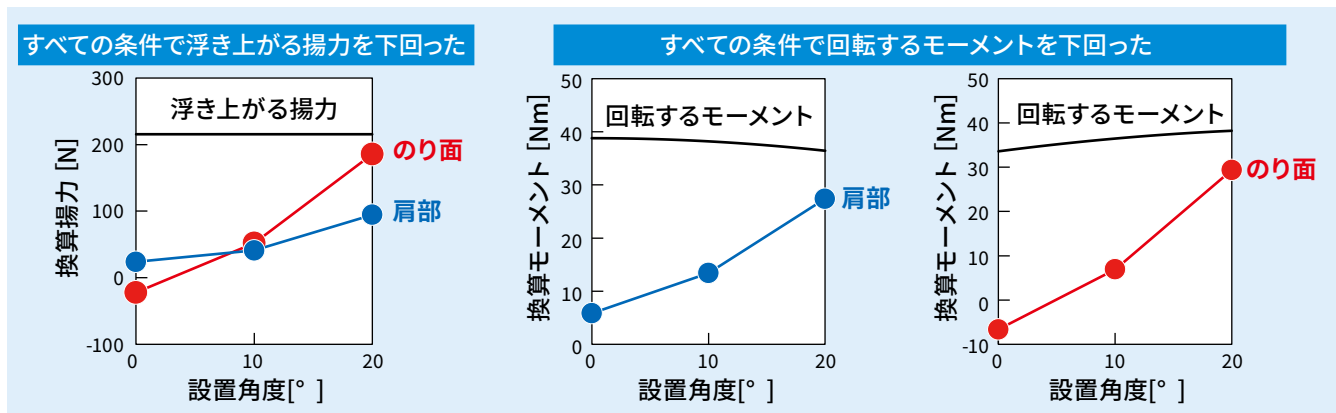


図9 設置条件と空気力の関係(浮き量20mmの結果)

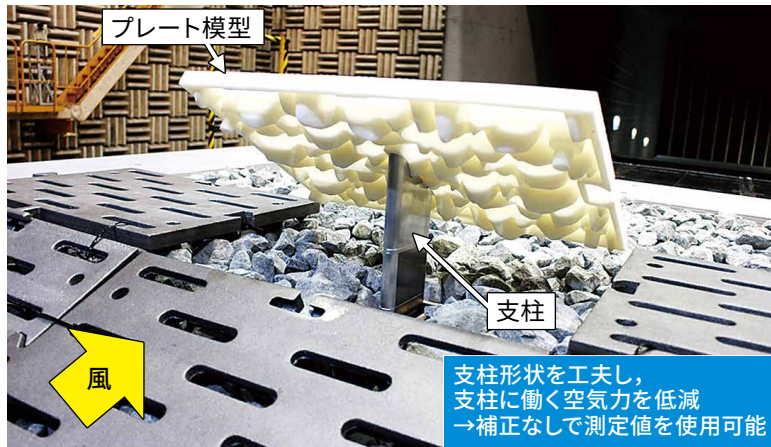


図8 支柱とプレート模型の接続

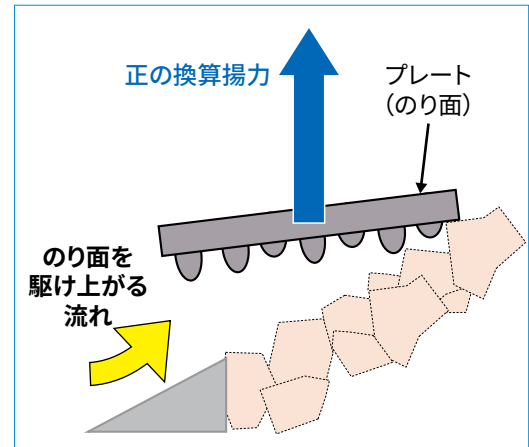


図10 のり面のプレート上流の流れ

結果として支柱に働く空気力は、測定値に対しておおむね1%未満に抑えることができたため、適切に測定が可能であると判断しました。

風洞実験の結果

図9に浮き量20mmにおける、各設置角度においてプレートに働く空気力を示します。空気力は60m/sの風が吹いた際に、プレートに働く空気力に換算されています(換算揚力, 換算モーメントとします)。のり面の場合、設置角度が30°未満においては、プレートの上流側が下流側よりも下がる姿勢となり(のり面の角度は水平面を基準として30°のため)、風によってプレートが下に押し下げられることで換算揚力は負になると予想していました。しかし結果的には、設置角度10°、20°では正の換算揚力が働くことがわかりました。のり面を駆け上がる流れに

よって、プレートを上に押し上げる力が働いたものと推測されます(図10)。

またグラフ上部の黒い線は、プレートが浮き上がる揚力の下限(図4におけるプレートの重力に相当)および回転するモーメント(図4における重力によるモーメントに相当)の下限を示し、この黒い線を超える条件ではプレートは飛散します。結果としてすべての条件は黒い線より下であったため、今回設定した条件においてはプレートが飛散することはないと考えられます。

今回の実験結果を受けてプレートは営業線に設置されることとなり、労力の削減に役立っています。

おわりに

風洞実験によってプレートに働く空気力を測定する方法を紹介しました。ここで示した風洞実験の方法は、今後、新たな設置物に対して、固定方法や飛

散の可能性を検討する上で、役立つと考えられます。

なお、本研究の実施にあたり、東日本旅客鉄道株式会社より道床形状保持プレートを提供いただきました。ここに記して謝意を表します。[RRR]

文 献

- 1) 中野高志, 佐久間豊, 井上達哉, 湊卓也, 小林裕太郎, 小俣茂: 軌道面付近に敷設された平板状設置物の風洞試験による風荷重評価, 鉄道総研報告, Vol.35, No.6, pp.35-40, 2021
- 2) 片岡宏夫: ロングレールの座屈防止, RRR, Vol.65, No.9, pp.8-11, 2008
- 3) 国土交通省国土技術政策総合研究所, 国立研究開発法人建築研究所: 令和元年台風第15号に伴う強風による建築物等被害現地調査報告(速報), pp.4-5, <https://www.kenken.go.jp/japanese/contents/topics/2019/typhoon15.pdf> (入手日: 2022年2月1日)