

# 横風によるパンタグラフの揚力増加を抑えるため、 空気の流れをさぐる



**阿部 巧**  
Takumi Abe  
鉄道力学研究部  
計算力学研究室  
研究員



**中出 孝次**  
Koji Nakade  
鉄道力学研究部  
計算力学研究室長



**光用 剛**  
Takeshi Mitsumoji  
鉄道力学研究部  
集電力学研究室  
主任研究員

## はじめに

パンタグラフは架線から車両へ電力を給電する装置で、車両の屋根上に取り付けられています(図1)。パンタグラフと架線が接触する部分にはすり板があり、舟体(図1)と呼ばれる部材で支えられています。舟体の周囲には風を遮るものではなく、走行中は外部の風の影響を強く受けます。走行方向の風に対しては、舟体に強い揚力<sup>①</sup>は生じませんが、横風が吹くと状況によっては強い揚力が生じる場合があります。過大な揚力が舟体に生じると、パンタグラフが架

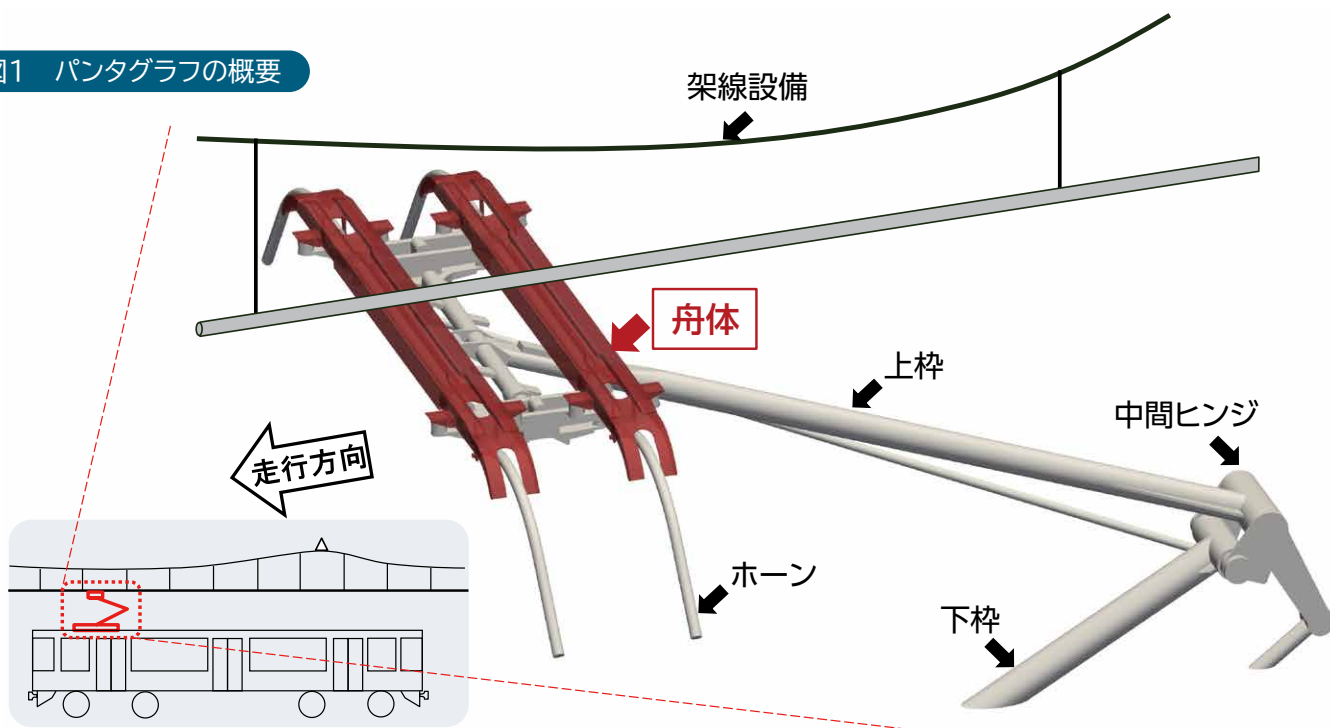
線を押す力が強まり、架線設備を損傷する可能性があるため、舟体の揚力を適正な値に維持することが重要です。

横風による舟体の揚力増加を抑える対策とし

## ① 揚力

本研究で注目するのは、パンタグラフが車両に対して垂直に架線を押し上げる力です。そこで、本稿では舟体が空気から力を受けて架線を押し上げる方向に働く力を揚力と定義しています。一般に、流体力学における揚力とは、流れに対して垂直な方向の力を指し、風向きにより方向が変化します。

図1 パンタグラフの概要



て、舟体の形を変えることが挙げられます。これは、飛行機の翼の形を変えることで、揚力が変化すると同様です。ただし、舟体の形を考えるには舟体まわりの空気の流れを知る必要があります。数値シミュレーションにより空気の流れを解析しました。数値シミュレーションは3次元空間の空気の流速や空気による圧力を高性能なコンピューターを用いて計算しており、実験では測定することが難しい多くの情報を得ることができるため、流れの現象を解明するのに適しています。ここでは、横風を受けてパンタグラフの揚力が増加する現象を解明し、その対策方法を検討した研究成果を紹介します。

### 流れの数値シミュレーションの概要

数値シミュレーションの解析の対象は、**図1**に示す在来線用パンタグラフ（架線設備は含みません）です。実際のパンタグラフには車体に取り付ける接続部分がありますが、今回は舟体まわりの流れに注目するため、接続部分は省略しました。

本研究は、走行中に横風を受けて舟体の揚力が増加する現象を解明するのが最初の目的です。そのため、走行中に横風が吹く場合と吹かない場合の2ケースの計算を行い、両者を比べることで、横風により舟体の揚力が増加する現象を解明しました。横風の条件には、さまざまな風速や風向きが考えられますが、**図2**に示すように、車両が60km/h（=16.7m/s）で走行した際に、横風が25m/sで吹く条件を想定しました。これは台風相当の風速であり、実際には風速規制などがかかるはずですが、局所的に強い横風が生じる可能性を想定しました。車両の側面にぶつかった横風は屋根上で斜めに吹上がるため、パンタ

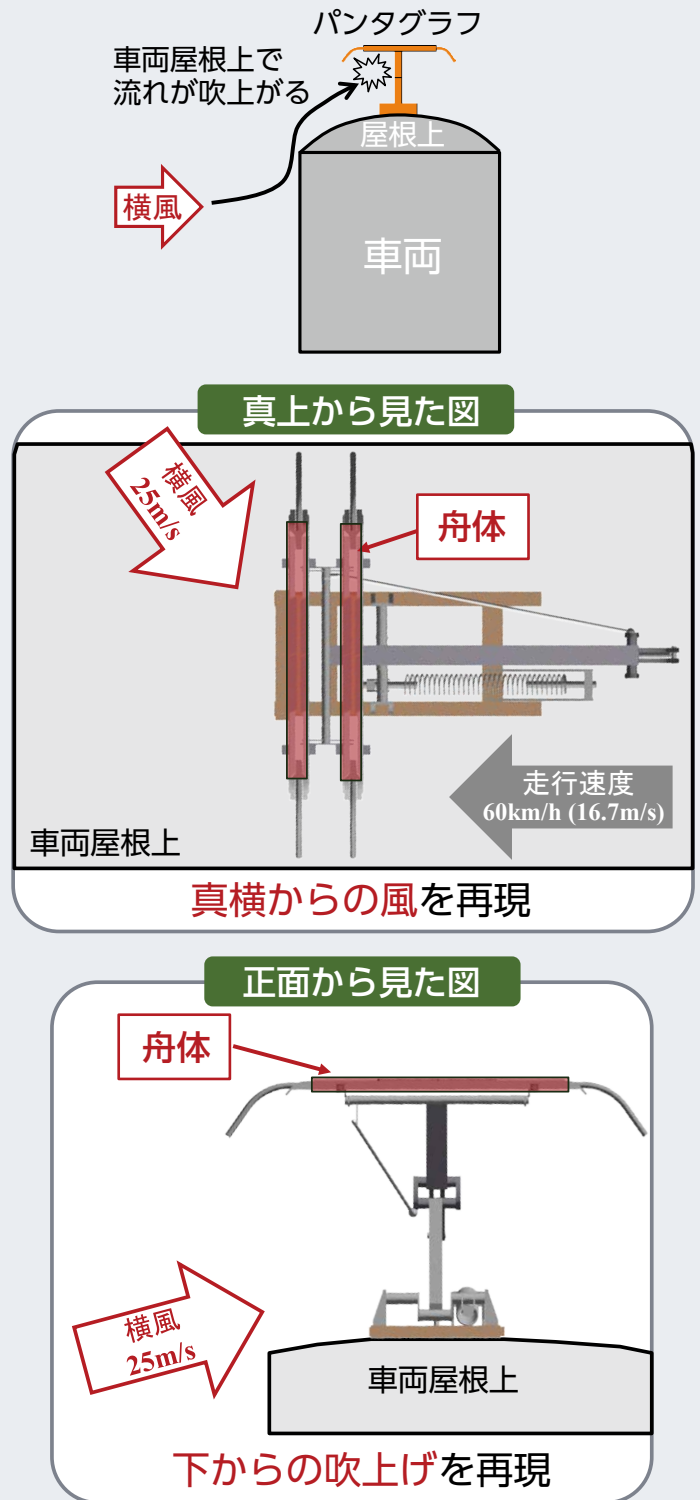


図2 パンタグラフが受ける横風

グラフに吹く横風では吹上げを再現しました。この横風の条件は、風洞実験で舟体の揚力が特に増加した条件を参考に決定しました<sup>1)</sup>。なお、計算で得られた揚力の結果は風洞実験で検証を行い、よく一致することを確認しています<sup>2)</sup>。

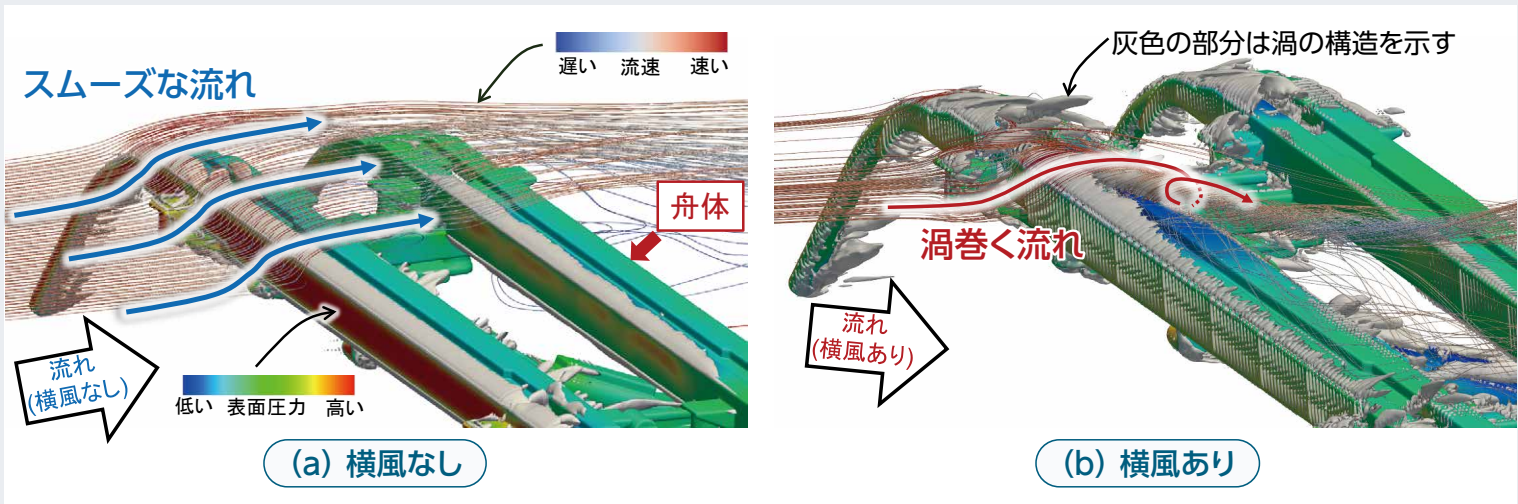


図3 舟体のまわりの3次元的な流れ

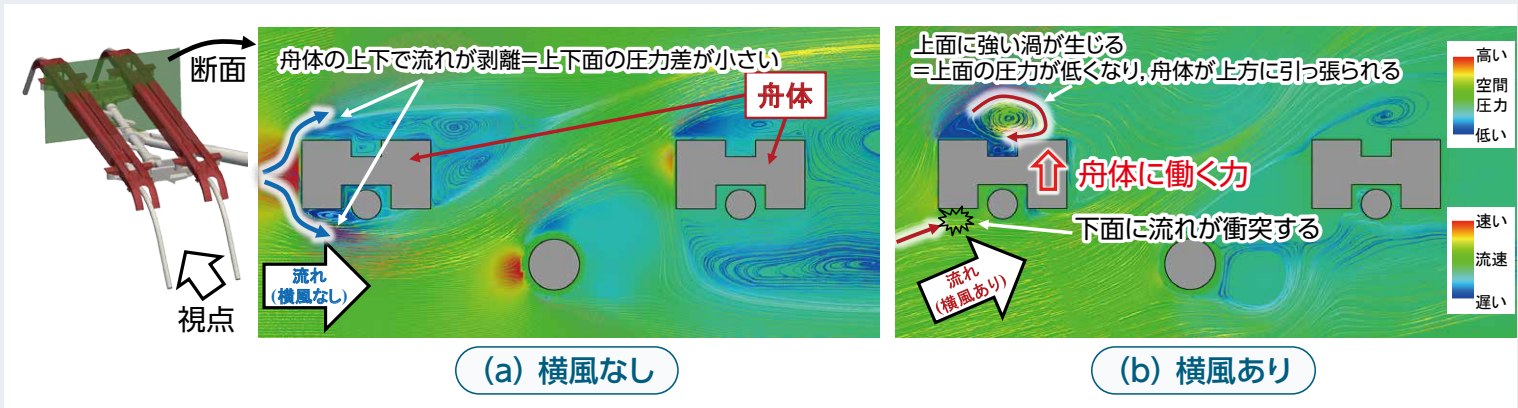


図4 舟体のまわりの2次元的な流れ

### 舟体まわりの流れ

数値シミュレーションにより舟体まわりの流れを可視化した結果を図3に示します。舟体の上を通る多数の線は流線と呼ばれ、空気は流線に沿って流れます。図中には流線に沿って矢印を描き、流れの様子をイメージしやすくしました。図中の灰色の部分は渦の構造を示し、流れが変化します。横風なしでは、空気は舟体の上をスムーズに流れますが、横風ありでは渦を巻きながら流れています。台風が低気圧を伴うことをイメージするとわかりやすいですが、図中の渦巻く流れの周辺は低圧となります。空気から受ける力は揚力も含めて圧力の差で生じるので、この渦は後述する舟体の揚力が増加する現象を解明する上で重要です。

### 横風により舟体揚力が増加する現象の解明

舟体を真横から見た断面内の流れを図4に示します。横風なしの場合は舟体に対して正面(紙面左側)からの流れが舟体に垂直にぶつかります。舟体にぶつかった流れは上下に分かれ、舟体表面に沿うことができず離れていきます。これを流れの剥離と呼び、流れが剥離した周辺は低圧となります。横風なしでは、流れは舟体の上面と下面で同じように剥離するため、上下面で圧力が同程度になり、大きな揚力は生じません。一方で、横風ありの場合は、横風が吹上げるので舟体から下から流れがぶつかります。流れが舟体の下面にぶつくと圧力が高まり、舟体は下面から押し上げられる力を受けます。さら

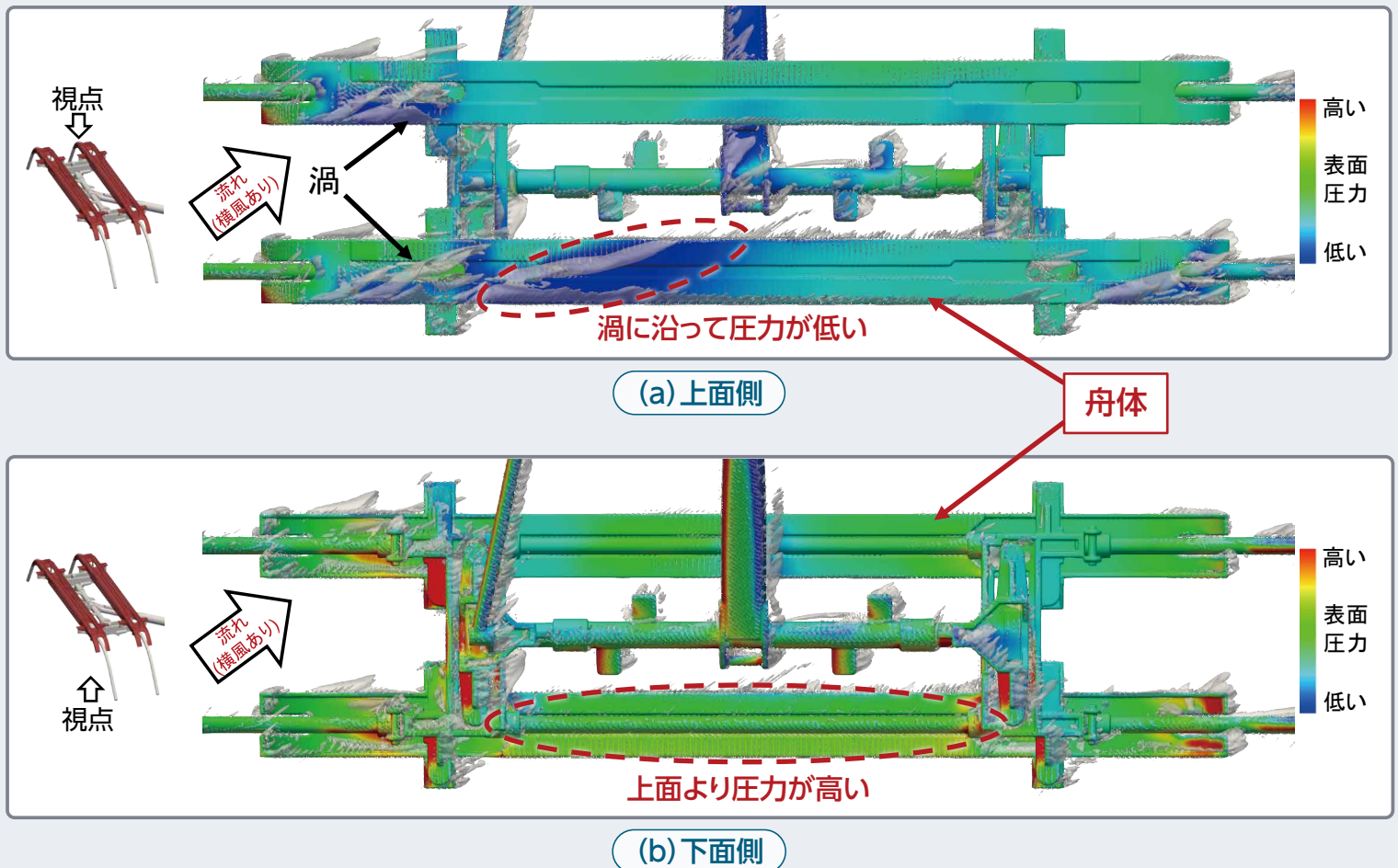


図5 舟体表面の圧力

に、舟体の上面は強く渦巻いていて、これは図3の渦に対応します。渦の周囲は低圧となるため、舟体の上面は低圧となり、舟体は引っ張り上げられる力を受けます。その結果、横風により舟体に上向きの力が働き、舟体の揚力が増加します。

断面内の流れを用いて、横風により舟体の揚力が増加する原因は、上下面の圧力に差が生じるためであると説明しました。ただし、舟体は横方向に幅を持つため、舟体の揚力を考えるには上下面の幅方向の圧力分布を知る必要があります。そこで、横風ありの場合の舟体の上下面の圧力の分布を図5に示します。考え方は図4と同じで、上面の圧力が低く、下面の圧力が高いほど揚力が増加します。また、図3で見られ

た渦を図中に半透明の灰色で示します。図5から、舟体の上面には渦が生じ、周辺の圧力が低くなります。また、下面には吹上げる流れがぶつかるため、下面の圧力は上面よりも高くなっています。以上から、舟体の揚力が横風により増加する現象は、一つ目に舟体上面の渦、二つ目に下面にぶつかる流れによるものであると説明できました。

### 舟体揚力の増加を抑える対策

舟体まわりの流れを知ることで、舟体の揚力が増加する2つの原因がわかりました。ここでは、その原因を考慮して、舟体の形を工夫することで揚力の増加を抑える方法を検討しました。まず、舟体下面に吹上げる流れが直接ぶつかる

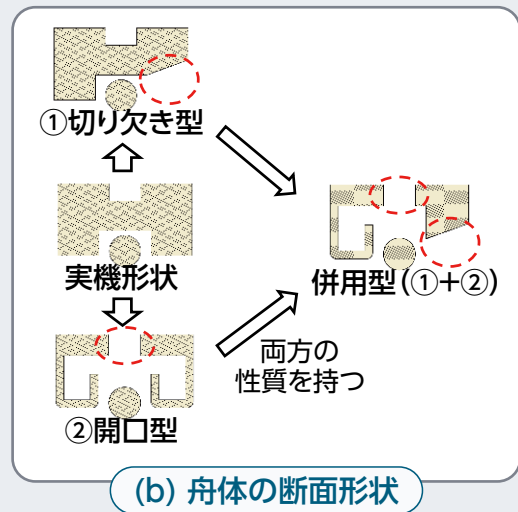
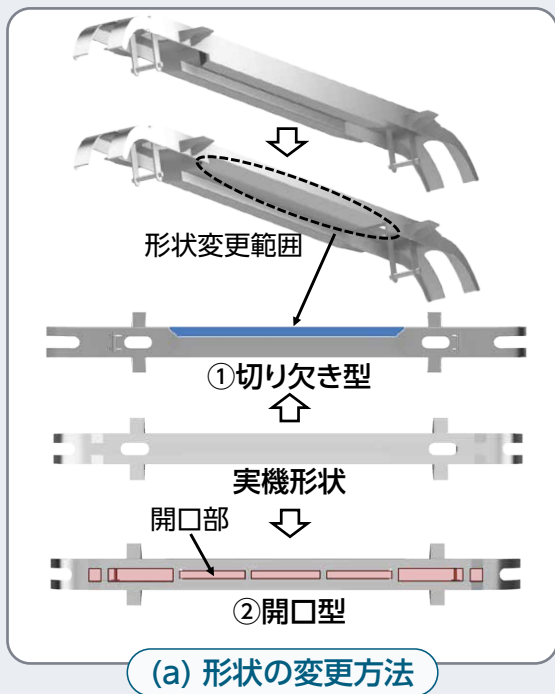
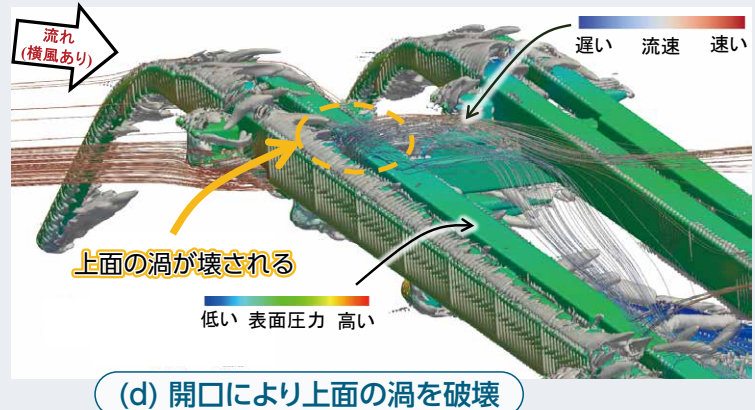
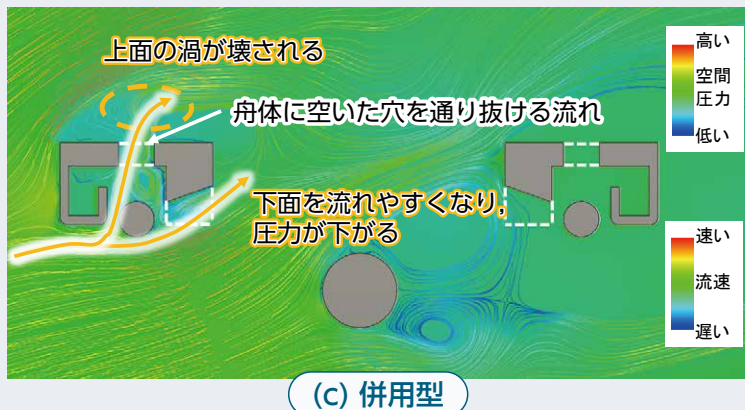
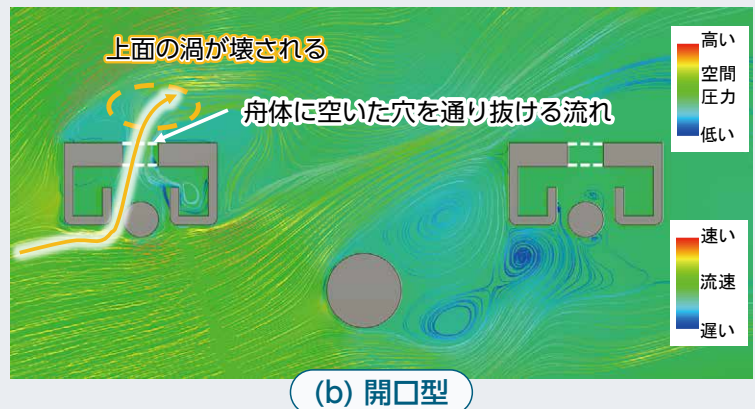
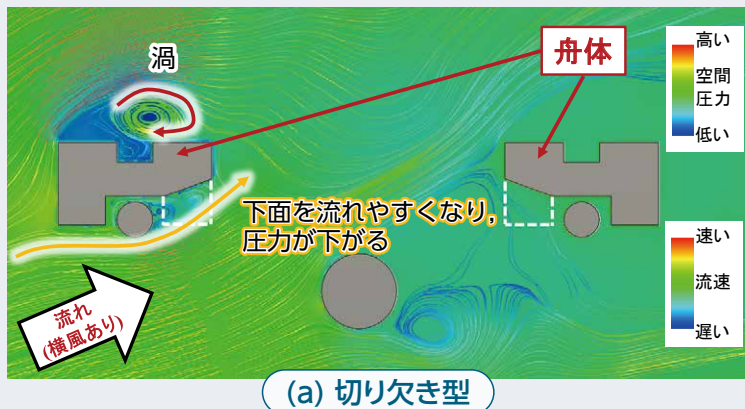


図6 揚力増加を抑える舟体形状

部分を減らし、圧力が増加するのを緩和するため、図6の①切り欠き型を考案しました。この効果は図7(a)に示すとおりで、舟体の下側流れがスムーズに流れるようになり、下面の圧

力を下げることができました。次に、舟体上面の渦を弱めるには、渦に対して別の流れをぶつけばよいというアイデアから、図6の②開口型を考案しました。その結果、図7(b)に示

図7 形状を変更した舟体まわりの流れ



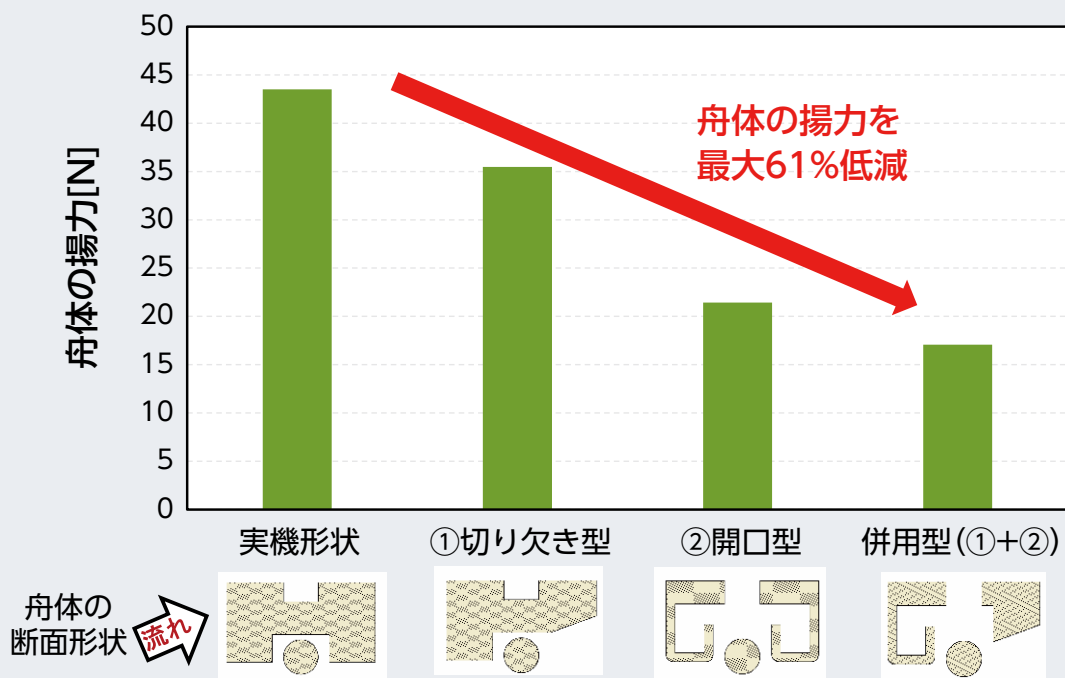


図8 舟体形状の変更による揚力の低減効果

すように開口部を流れが通り抜けるようになり、上面の渦を壊すことができました。これにより、渦の周辺の低圧な部分が消え、揚力が増加する原因を取り除きました。最後に、①と②の両方の性質を兼ね備える形状として、図6の併用型を考案した結果、図7(c)に示すように①と②の両方の効果を両立することができました。

舟体の形状を変更したことによる揚力の低減効果を図8にまとめます。全ての形状で舟体の揚力を下げることができ、切り欠き型よりも開口型の方が効果的でした。さらに、切り欠き型と開口型の両方の性質をもつ併用型が最も効果的で、実機形状と比べて約61%舟体の揚力を低減することができました。数値シミュレーションで効果の得られた形状は、風洞実験においても効果が得られることを確認しています<sup>3)</sup>。

これらの結果は、横風に強いパンタグラフを開発するための重要な知見を示しています。

### おわりに

本稿では流れの数値シミュレーションを用いて、横風によりパンタグラフの揚力が増加する現象を解明し、その対策法を検討した結果について紹介しました。今回得られた知見は列車走行時のパンタグラフ揚力の安定化にとって重要なものであり、列車の安全性向上に役立つことが期待されます。本稿で紹介したように、数値シミュレーションや風洞実験を効果的に活用することで、鉄道の空気力学的な現象の解明が進み、より高度な車両の開発ができるようになると考えています。RRR

### 文献

- 磯野達志, 光用剛, 平川裕雅, 白田隆之: 舟体の外形寸法が横風環境下における在来線用パンタグラフの揚力特性に及ぼす影響評価, 第28回交通・物流部門大会 (TRANSLOG2019), Vol.28, No.19, DOI:10.1299/jsmetld.2019.28.1102, 2019
- 阿部巧, 中出孝次, 光用剛: 横風を受ける在来線パンタグラフの揚力増加メカニズムと抑制手法に関する数値流体解析, 日本機械学会論文集, Vol.89, No.926, DOI:10.1299/transjsme.23-00121, 2023
- 光用剛, 天野佑基, 阿部巧, 小林樹幸, 中出孝次, 野口雄平: 在来線パンタグラフの横風揚力特性に基づいた割り込み事故防止策, 鉄道総研報告, Vol.38, No.4, pp.1-7, 2024