

回転するV字型の溝をもつタイヤ周りの流れ Simulation of a flow around a rotating tire with V-shaped grooves

○橋本駿介¹, 小紫誠子²Shunsuke Hashimoto¹, Satoko Komurasaki²

Abstract: In order to investigate the draining performance of bicycle tires, flows around the rotating tires with different kinds of tread grooves are simulated. In the computational domain which consists of a part of a rotating tire and a moving ground, the incompressible Navier-Stokes equations are solved by a finite difference method. As a result of the computation, it is shown that the flow depends on the tread grooves. That is, when the tire has V-shaped grooves opened in the moving direction, the fluid is effectively drained just before the tread surface touching the ground compared to the case when the grooves are opened in the opposite direction.

1. 緒論

自動車のタイヤのトレッド面に付けられている溝は、排水効果を高め、ウェットな路面でのグリップの確保や、ハイドロプレーニング現象を防ぐことなどを目的に設計されている^[4]。過去の車のタイヤに関する数値シミュレーションを用いた解析ではV字型の溝の向きによっての効果の違いなどが認められている^{[2][3]}。

一方で自転車など比較的低速で走行する場合には、通常高速走行時に発生するハイドロプレーニング現象が起こる可能性は低いが、トレッド面と路面の間の水を適切に排水しなければ、タイヤのグリップが弱まり、極めて危険な状態に陥る。

本研究では、比較的低速で走行する自転車のタイヤの理想的な溝の形状を追求することを目的とする。そして、タイヤの強度や摩耗などは考慮せず、回転するタイヤの溝とそれに伴う周囲の流れのみに着目して解析を進める。ここでは、まず、自転車のタイヤの溝による基本的な排水特性を調べるため、シンプルなV字型形状の溝をもった、回転するタイヤの周りの流れ場について、数値シミュレーションにより解析を行う。

2. 計算方法

(1) 支配方程式

本研究では、3次元非圧縮性 Navier-Stokes 方程式を支配方程式として、数値シミュレーションを行う。タイヤ周りの流れを可視化するために、ある移流拡散物質 S を導入する。式(1)~(2)は非圧縮性 Navier-Stokes 方程式、式(3)は S の移流拡散方程式である。 Sc はシュミット数(流体の動粘性係数と S の拡散係数の比)である。

$$\nabla \cdot \mathbf{v} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} = -\nabla p + \frac{1}{Re} \Delta \mathbf{v} \quad (2)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) S = \frac{1}{Re \cdot Sc} \Delta S \quad (3)$$

(2) 初期条件・境界条件

本計算では、タイヤが地面に接する付近での流れ場を解析することが目的であることと、計算コストの軽減のため、Figure 1 のようにタイヤの下半分のみを含め、タイヤ表面部分を境界に配した計算領域を用いる。溝が付いたタイヤを図のように回転させて、進行方向を左向きにとる。また、計算領域内に速度 0 のマスク領域を下部に配置して地面とする。 Figures 2 のように、溝の付いたタイヤの周囲の流れをできるだけ精度よく捉えるために、タイヤの表面付近で格子をより細かく分割した $200 \times 100 \times 100$ の不等間隔格子を用いる。進行方向に速さ π で移動するとして、タイヤの回転を止めた状態で、流れが定常に近い状態に落ち着くまで計算を行い、その流れ場を初期条件とする。

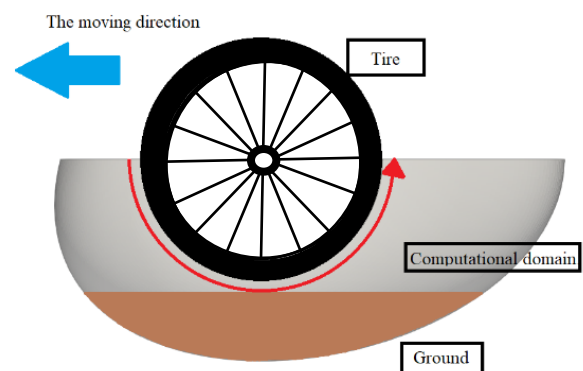


Figure 1 Computational domain.

Case A として、Figure 2(a)のような進行方向に対して逆に開いたV字の溝、Case BとしてFigure 2(b)のような進行方向に開いたV字の溝を、それぞれ付したタイヤ周りの流れを考える。

速度の境界条件は, Figure 2 のように外側の境界面では x 方向速度 $u = \pi$ で固定, タイヤ表面ではタイヤの面に平行な方向の速度 π を与え, 上方の流出側境界面はゾンマーフェルトの渦放出条件を課す.

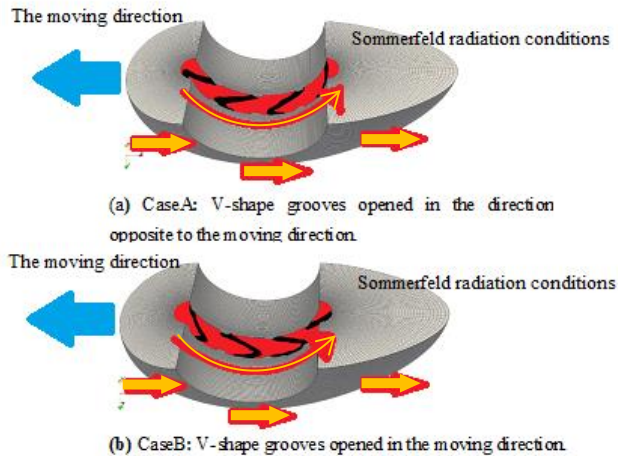


Figure 2 Two cases of flows around tires with different kind of tread grooves. (red: tread surface, black: grooves)

(3) 数値解析法

支配方程式は差分法を用いて離散化し, フラクショナルステップ法によって解く. 空間微分は 2 次精度中心差分を用い, 移流項は 3 次精度上流差分により近似する. またオイラー陽解法により時間積分を行う.

3. 計算結果

回転するタイヤの溝の形状によって変化する流れ場の様子を示す. 通常, 排水性能が良いとされるのは, タイヤが水を踏まないようタイヤが接地する手前でタイヤを除けるような流れが起こることである. Figure 3 は Case A と Case B の各ステップにおける, 進行方向に対して直交する速度成分 w の絶対値の全領域内の平均値を, 横軸に時間ステップをとってグラフ化したものである. また Figure 4 は, 速度 w について全ステップで平均をとった平均 w を複数の等値面で表現したものである. 上図は地面の下からタイヤを見上げる方向で表示したものの, 下図は同じ平均 w の等値面を, 全領域内での分布が分かるよう示した図である.

4. まとめ

異なる形状の溝を与えたタイヤの周りの流れについて, 進行方向に開いた V 字型の溝を付した Case B の方が, Case A よりもタイヤが接地する手前でより強く進行方向に直交する流れが発生する様子が観察された.

V 字の溝の場合は, Case B のように進行方向に開く方向にタイヤに付す方が, 平均的にタイヤと地面の接地面から水を遠ざけるような流れが発生しやすいことが分かった.

5. 参考文献

- [1]河村哲也:「数値シミュレーション入門」, サイエンス社, 2006
- [2]多田修平, 佐竹正俊, 茂田正哉, 伊澤精一郎, 福西祐:「濡れた路面を走行するタイヤの 3 次元 SPH シミュレーション」, 日本機械学会 年次大会 2011 巻, 2011.
- [3]中島幸雄:「タイヤの hidroプレーニングについて」, 混相流 27 巻 2 号, 2013
- [4]DUNLOP:「ダンロップ公式サイト <https://tyre.dunlop.co.jp/tyre/products/base/> など」 2021-9-20

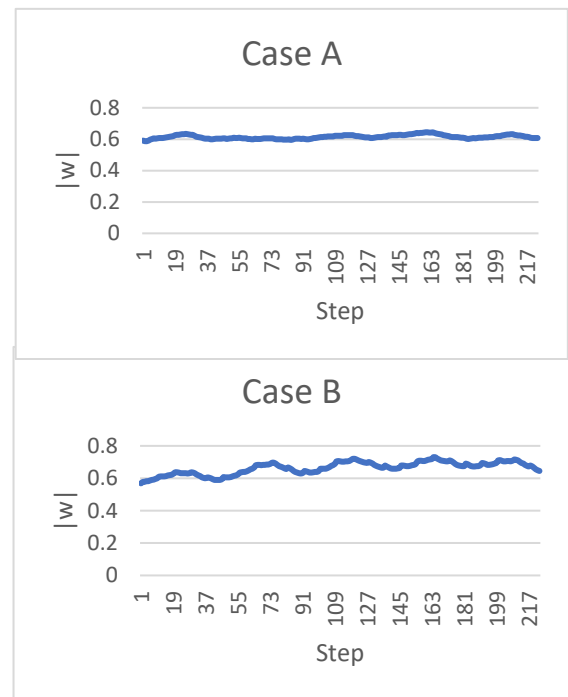


Figure 3 Temporal change of the averaged value of $|w|$.

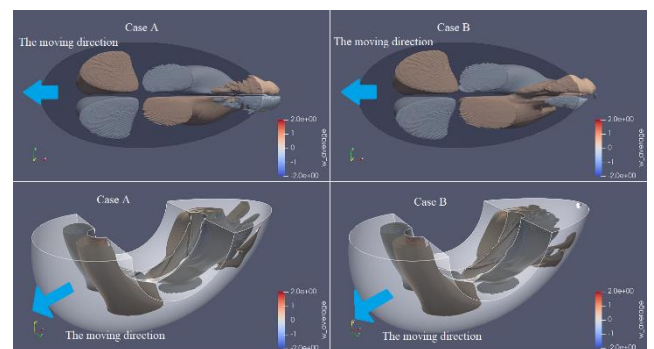


Figure 4 Contour surfaces of the time average of w .