

模型実験によるスノープラウの排雪抵抗力評価方法

鉄道力学研究部 車両力学
研究員 中嶋 大智

1. はじめに

スノープラウとは、車両限界内の軌道上の積雪を排除するため先頭車両下部に取り付けられる雪掻き装置である。スノープラウを新たに開発するにあたっては、形状によって変化するスノープラウへの作用力、排雪性能等を検討する必要がある、これには数多くの実験や数値計算等を行わなければならない。しかし、実際の雪で実物大のプラウを用いた試験を数多く実施することは困難であり、雪の運動を表現可能な計算手法も未だ発展途上にある。そこで、実際の現象を再現した模型実験でスノープラウへの作用力(以下、排雪抵抗力)を測定し、この結果から実スケールの排雪抵抗力を推定することができれば、効率的な研究開発が可能となる。本研究では、模型実験結果から実車スノープラウの排雪抵抗力を評価する方法を新たに考案し、方法の妥当性を調べるため、縮尺の異なる模型スノープラウによる排雪試験を行い、スケール効果の確認を行った。

2. スノープラウの排雪抵抗における相似則

2.1 スノープラウの排雪抵抗力

図1に示すように、スノープラウの排雪抵抗力 R_T を2つに分けて考え、スノープラウ表面に対する雪の粘性による摩擦抵抗力 R_F とスノープラウから雪を飛ばす際の飛雪抵抗力 R_R との和と仮定して相似則の適用を試みた。この際、 R_F はレイノルズ数のみの関数、 R_R はフルード数のみの関数であると仮定した。

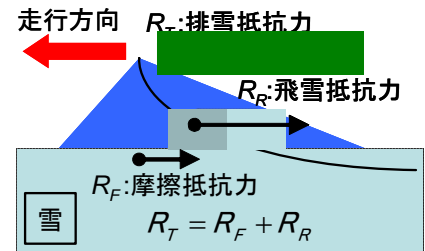


図1 スノープラウの排雪抵抗力

2.2 模型実験から実物大への換算

本研究で考案した相似則を用いて、模型実験結果から実車のスノープラウの排雪抵抗力 R_T を推定する流れを図2に、手順を以下に示す。

- ① 模型実験を行い、縮尺 $1/n$ の模型スノープラウの排雪抵抗力 R_T' を測定する。
- ② 模型スノープラウの摩擦抵抗力 R_F' は、接触部分と同じ長さと同面積をもつ平板表面の摩擦抵抗と同じと考える。本研究では、平板を用いて R_F' を測定した。平板の摩擦抵抗係数 C_F と R_F' との関係は、雪密度 ρ 、接触面積 S' 、走行速度 V' を用いて次のように定義される。

$$C_F = \frac{2R_F'}{\rho S' V'^2} \quad (1)$$

C_F と Re の関係式は平板を用いた排雪抵抗力測定実験の結果から別に求め、式(1)を変形して模

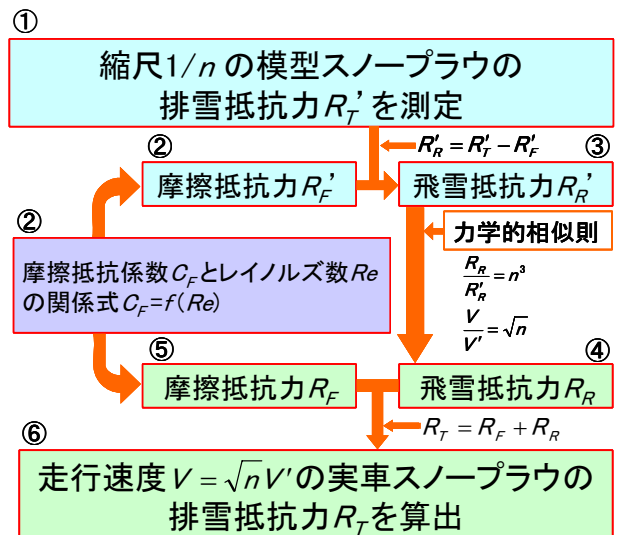


図2 模型実験から実車への換算の流れ

型スノープラウの摩擦抵抗力 R_F' を算出する。

- ③ 模型スノープラウの飛雪抵抗力 R_R' は、排雪抵抗力 R_T' と摩擦抵抗力 R_F' の差で求める。

$$R_R' = R_T' - R_F' \quad (2)$$

- ④ 飛雪抵抗力 R_R は、代表長さ L と走行速度 V により定義されるフルード数(V/\sqrt{gL})の関数と考える。飛雪抵抗係数 C_R と飛雪抵抗力 R_R' の関係は、次式のように定義される。

$$C_R = \frac{2R_R'}{\rho S'V'^2} \quad (3)$$

フルード数によって飛雪抵抗係数 C_R が変化しないと仮定すると、実車スノープラウの飛雪抵抗力 R_R と模型スノープラウの飛雪抵抗力 R_R' の間に次式が成立し、速度は \sqrt{n} 倍に換算される。

$$\frac{R_R}{R_R'} = n^3 \quad (4)$$

- ⑤ 実車スノープラウの摩擦抵抗力 R_F は、②と同様に算出する。

- ⑥ 実車スノープラウの排雪抵抗力 R_T は、摩擦抵抗力 R_F と飛雪抵抗力 R_R の和として求める。

$$R_T = R_F + R_R \quad (5)$$

このように、現象を空間的に2つの部分に分けて換算することで、模型スノープラウの実験結果から実車スノープラウの排雪抵抗力を推定することが可能となる¹⁾。

3. 試験方法と相似則の検証方法

3. 1 試験装置

排雪力測定試験装置の概要を図3に示す。本装置は、鉄道総研の塩沢雪害防止実験所構内に設置されており、トラスビーム式のガイドレール内を走行する台車へ模型スノープラウを取り付け、スノーベッドを通過させることで、最高速度40m/sまでの排雪状況を再現することができる。

走行台車はワイヤーロープに牽引されてガイドレール上を走行する。ワイヤーロープは油圧モーターに接続されたドラムにより巻き取られる。試験速度は、油圧モーターを駆動するための油圧および流量を調整することで設定し、走行台車の制動は、油圧モーターへ油を供給する電磁弁を閉じることにより、油圧モーターと直結したドラムを停止し、ワイヤーロープを介して行う。

3. 2 模型スノープラウ

試験に使用した模型スノープラウを図4、平板を図5に示す。模型スノープラウは既存の新幹線用スノープラウを模擬したもので、タイプA、Bの2種類を用いた。縮尺は、1/10、1/6.7、1/5の3種類である。平板は雪との接触部分を平板としたもので、摩擦抵抗力 $R_F' =$ 排雪抵抗力 R_T' として平板の摩擦抵抗力 R_F' を測定することを目的としている。前後方向長さは、600mmと300mmの2種類があり、走行時の飛雪抵抗が極力小さくなるよう、先端形状は60°の鋭角とした。図6にスノープラウ形状の特徴を表す諸元を、表1に試験に使用した模型スノープラウ諸元表を示す。

3. 3 スノーベッド

模型スノープラウの縮尺に合わせた軌道スラブ模型(縮尺1/10、1/6.7、1/5)の上に雪を載せて軌道上の積雪状態を再現したスノーベッドを設置した(図7)。ここで排雪深とは、スノープラウで排雪される雪の厚さのことであり、雪面からスノープラウ下端までの長さで表される。

3. 4 測定項目および測定方法

排雪走行時にスノープラウが受ける力を測定するため、走行台車の模型スノープラウ取り付け部に3分力計(ロードセル)を設置して進行方向に対する左右力、上下力、前後力(排雪抵抗力)を測

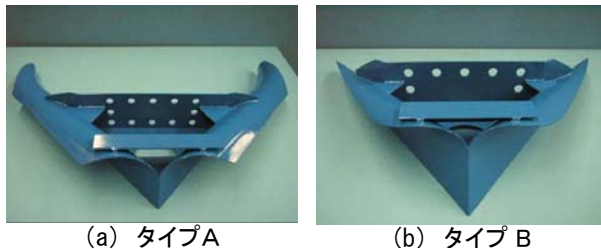
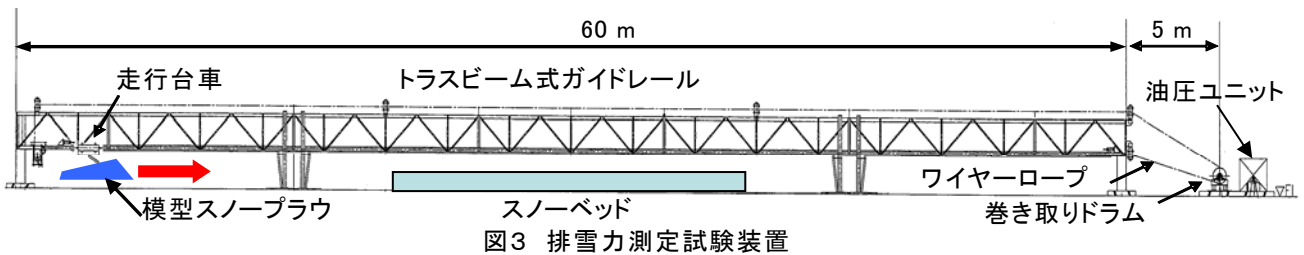
定し、走行台車に搭載された記録装置にサンプリング周波数 20kHz で記録した。また、走行台車に取り付けた近接センサがトラスビームに 50cm 間隔で設置した鉄棒近傍を通過した際の電圧を記録し、通過時間で除して台車走行速度を求めた。

3. 5 試験手順

模型スノープラウを低速で走行させてスノーベッドの表面をならし、ジャッキによりスノーベッド全体を昇降させて排雪深の調整を行う。走行台車をスタート位置まで戻し、測定機器の記録を開始し、排雪走行試験を行う。なお、各試験直前にスノーベッドの雪密度を測定した。

3. 6 試験条件

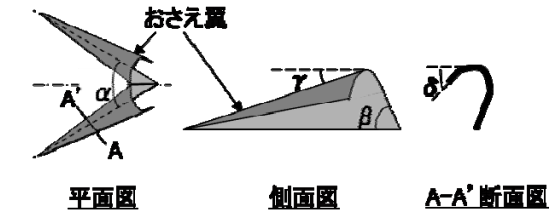
平板では、摩擦抵抗 R_F' = 排雪抵抗 R_T' として表 2 の条件で平板に働く摩擦抵抗 R_F' を測定した。模型スノープラウでは、タイプ A, B の模型スノープラウに働く排雪抵抗 R_T' を表 3 に示す条件で測定した。このとき、排雪深 h は、幾何学的相似則を満たすようにした。



(a) タイプ A (b) タイプ B
図 4 試験に使用した模型スノープラウ



図 5 平板(側面)



α : ひらき角、 β : すくい角、 γ : むかえ角、 δ : おさえ角

図 6 スノープラウ形状の特徴を表す諸元

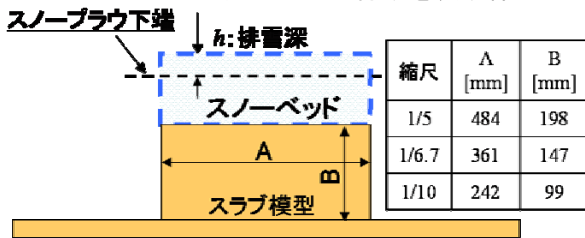


図 7 軌道スラブ模型断面

表 1 模型スノープラウの諸元表

	α	β	γ	δ
タイプ A	82°	70°	10°	29-48°
タイプ B	73°	55°	10°	-

表 2 平板の測定条件

排雪深 h	80mm
走行速度 V'	10, 20, 30, 40m/s

表 3 模型スノープラウの測定条件

縮尺	1/10	1/6.7	1/5
排雪深 h	20mm	30mm	40mm
走行速度 V'	10, 20, 30, 40m/s		

4. 試験結果と相似則の検証

4. 1 摩擦抵抗係数と飛雪抵抗係数

平板の試験結果から求めた摩擦抵抗係数 C_F とレイノルズ数 Re との関係を図 9 に示す。図 9 において累乗近似曲線を求めて C_F と Re の関係式を推定した結果は、次式のとおりであった。

$$C_F = 5.75 \times 10^{-4} \times Re^{-0.222} \quad (5)$$

本研究では、式(5)から求められる C_F を式(1)に代入し、摩擦抵抗力 R_F' を算出した。

飛雪抵抗係数 C_R とフルード数の関係を図 10 に示す。これより、フルード数によって飛雪抵抗係数 C_R が変化しないという 2.2 節の手順④の仮定は成立すると考えられる。

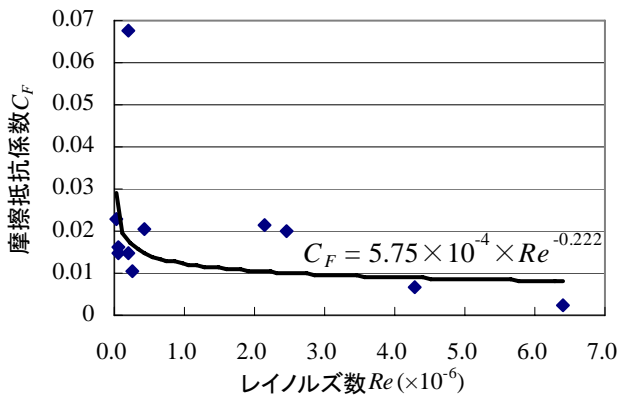


図9 平板の摩擦係数とレイノルズ数の関係

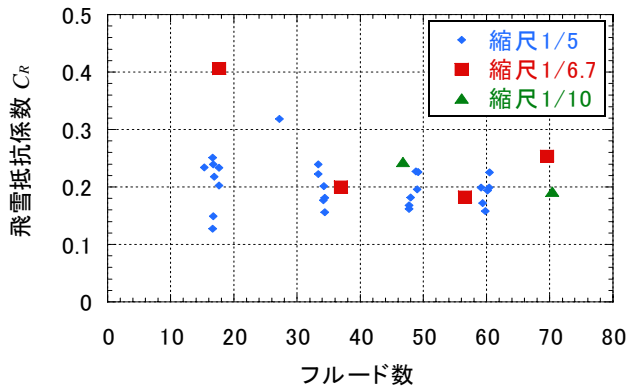


図 10 飛雪抵抗係数とフルード数の関係

4. 2 相似則の検証結果

相似則を用いて縮尺 1/10, 1/6.7 の排雪抵抗力 R_T' の測定結果を縮尺 1/5 へ換算した結果と縮尺 1/5 の排雪抵抗力 R_T' の実測結果の比較を図 11, 12 に示す。換算値は縮尺 1/5 の試験結果の 2 次近似曲線上または近傍にプロットされており、本研究で考案した相似則の妥当性が確認できる。

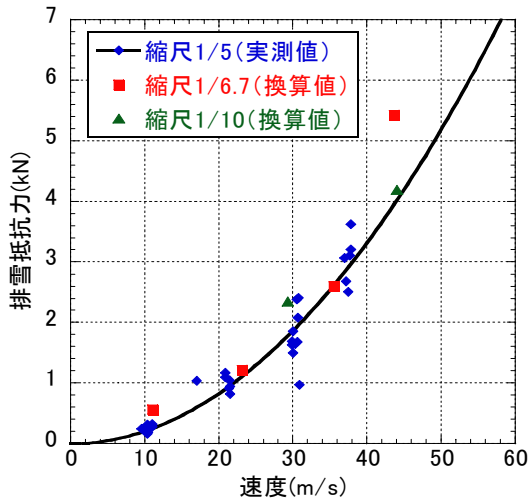


図 11 排雪抵抗力の縮尺 1/5 への換算結果(タイプ A)

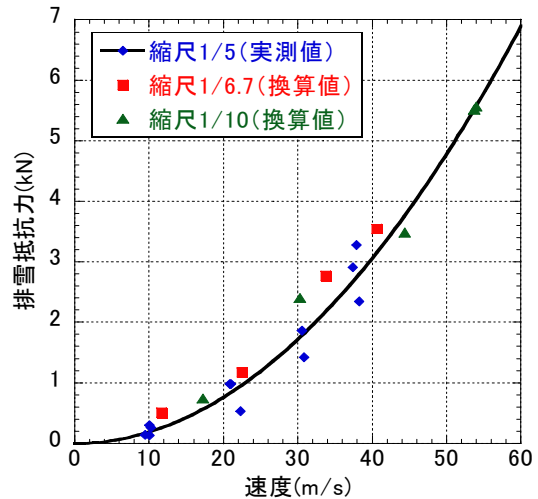


図 12 排雪抵抗力の縮尺 1/5 への換算結果(タイプ B)

5. まとめ

模型実験結果から実車スノープラウの排雪抵抗力を評価する方法について検討した。縮尺 1/10, 1/6.7 の模型スノープラウの排雪抵抗力を縮尺 1/5 の排雪抵抗力に換算した結果は、縮尺 1/5 の模型スノープラウ排雪試験結果に近く、考案した相似則の妥当性が確認された。本研究で考案した相似則を用いた換算手法により、高速域まで高い精度で推定することが可能となった。スノープラウの開発にあたって実施する排雪走行時の車両運動シミュレーション解析やプラウ強度の検討などに本手法が活用できるものと考えている。

参考文献

- 1) 江守一郎：模型実験の理論と応用，技報堂出版，pp.114-117，1985