

## 人間の動作を模擬した装置によるすべり抵抗の測定

藤原基芳\*, 村川 悟\*, 丸林良嗣\*, 松岡敏生\*\*

## Measurement of slip resistance with a device that simulates human foot motions

Motoyoshi FUJIWARA, Satoru MURAKAWA, Ryoji MARUBAYASHI  
and Toshio MATSUOKA

## 1. はじめに

既存の規格化された試験機として小野式すべり試験機, DF テスター, 振り子式試験機等がある<sup>1)</sup>. これらの試験機は, 単純な動きでゴム片を試験片に接触させて滑らせ, すべり抵抗(摩擦係数等)を計測する.

これらの試験機に対して, 過去に歩行時の足の動きを再現したすべり試験機が提案されている<sup>2)</sup>. 人間の足の動きを再現してすべりの評価を行うことにより, 既存の規格化された試験機より優れたすべり試験機を開発できる可能性がある.

当研究室ではパラレルメカニズムを用いて歩行時の足の動きを再現し, 各種マンホール蓋を模擬した試験片のすべりを計測した<sup>3)</sup>.

本稿では, 歩行時の足の動きを再現した装置を用いたすべり評価の方法, 計測結果について報告する.

## 2. 実験方法

## 2.1 試験片の準備

試験片は, 丸林ら<sup>4)</sup>が歩道用のマンホール蓋のすべり性などを評価した際に準備した試験片の一部を採用した. 丸林らは表1のように滑りやすいかどうかを各被験者に5段階の言葉で答えさせ, これにより得られたデータから平均値を算出し, 試験片のすべり性を評価した. この値を官能試験結果とした. 本報告では, これらの試験片からすべり評価値が1~5に満遍なく散らばるよう, 試験

表1 すべり性評価の基準

非常にすべりにくい	5
ややすべりにくい	4
どちらでもない	3
ややすべりやすい	2
非常にすべりやすい	1

片を抽出して用いた. 試験片表面には一様に水を散布した. 用いた試験片を図1~図3に示す. 図1は滑りやすい試験片, 図2は滑りやすさが中程度の試験片, 図3は滑りやすい試験片である.

## 2.2 ロボットを用いた実験の方法

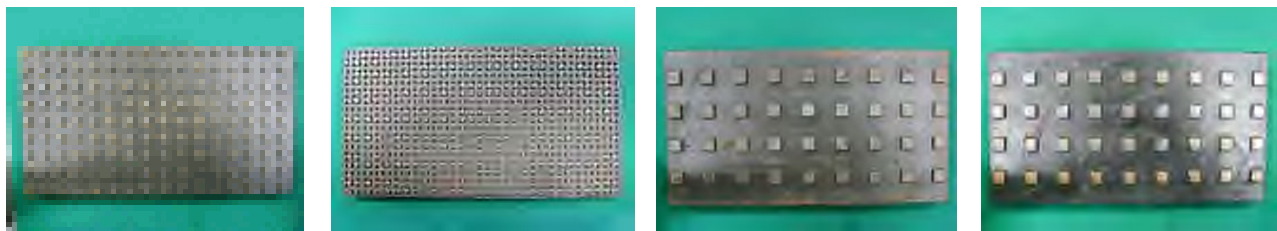
当研究室所有のロボット(パラレルメカニズム<sup>5)</sup>)を用いた試験を行った(図4). 実験条件はGRONQVIST<sup>2)</sup>を参考に表2のとおり決定した. パラレルメカニズムのエンドエフェクタに力覚センサと足形をとりつけ, 官能試験と同じ靴を装着し, 試験片表面を滑らせてすべり抵抗(動摩擦係数)を計測した(図5). 水平方向には一定の速度で足形を動かした. 垂直方向へは, 押しつけ力が目標押しつけ力×0.96に達するまでは速度指令,

表2 実験条件

実験条件	値	GRONQVIST <sup>2)</sup> との比較
垂直方向の押しつけ力 [N]	300 200 50	最大値は力覚センサの定格の制約. GRONQVIST <sup>2)</sup> では700N.
水平方向の動作速度 [mm/s]	430	ロボットの性能の限界. GRONQVIST <sup>2)</sup> では400mm/s
足の角度 [deg]	6	最も危険な角度は6° <sup>2)</sup> . ただし, GRONQVIST <sup>2)</sup> の実験は5°で行われている.

\* 金属研究室研究担当

\*\* 医薬品・食品研究課



P8(高さ 3mm)  
突起 6×6mm 間隔 10mm

P4(高さ 3mm)  
突起 2×2mm 間隔 4mm

P83(高さ 3mm)  
突起 10×10mm, 間隔 20mm

P83'(高さ 3mm)  
突起 10×10mm, 間隔 20mm  
(P83 の突起表面を研磨)

図 1 すべりにくい試験片

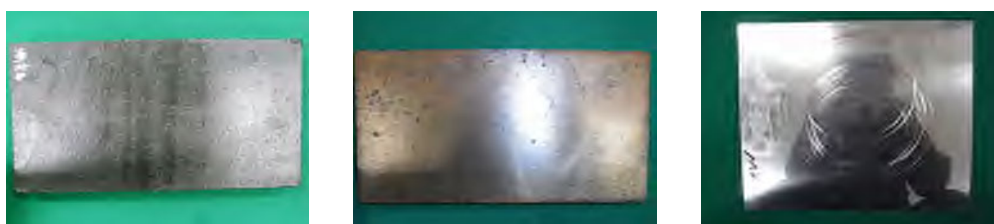


P5(高さ 3mm)  
突起 6×6mm, 間隔 4mm

P83'' (高さ 0.5mm)  
突起 10×10mm, 間隔 20mm

P6(高さ 3mm)  
突起 10×10mm, 間隔 4mm

図 2 すべりやすさが中程度の試験片



鋳鉄板

鋳鉄板磨き

ステンレス板

図 3 すべりやすい試験片

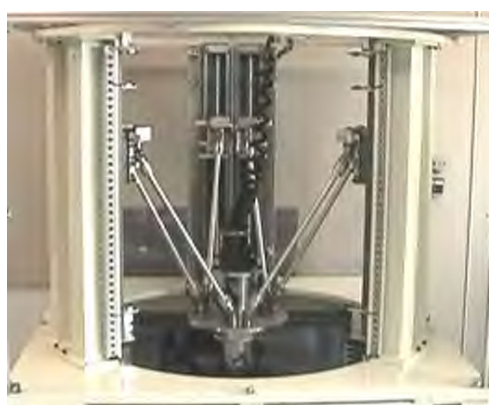


図 4 パラレルメカニズム



図 5 力覚センサと足形

それ以降は押しつけ力を安定させるために力指令とした。

押しつけ力が目標押しつけ力に達して 0.1sec 後から 0.1sec 間(サンプリング時間 0.01sec)のすべり抵抗の平均を取った。

### 3. 結果と考察

実験の結果を図 6～図 8 に示す。押しつけ力 300N の試験の結果、すべり抵抗の最小値はステンレス板で 0.4, 最大値は試験片 P4 の値で 1.1 となった。

押しつけ力 200N の試験の結果、最小値はステン

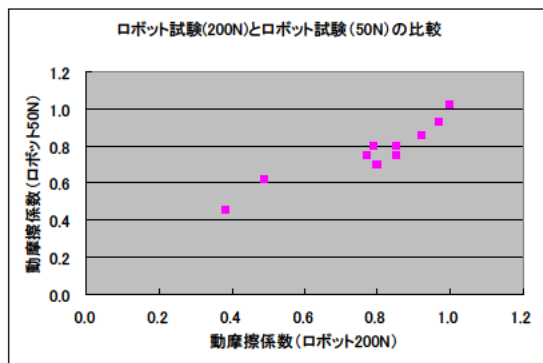


図 6 ロボット試験(200N)とロボット試験(50N)の比較

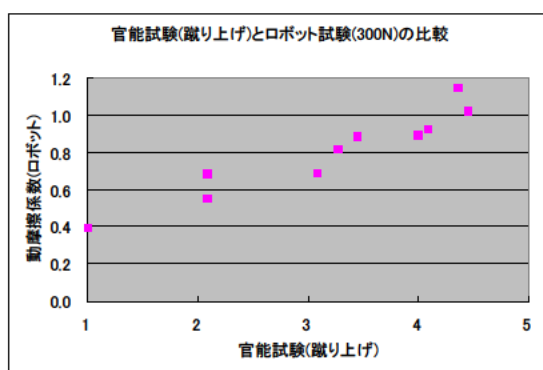


図 7 官能試験(蹴り上げ)とロボット試験(300N)の比較

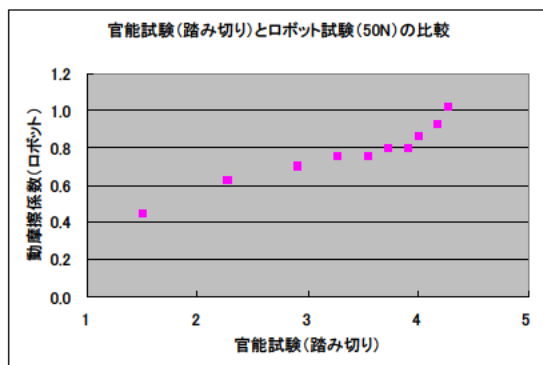


図 8 官能試験(踏み切り)とロボット試験(50N)の比較

レス板で 0.4, 最大値は試験片 P4 で 1.0 となった。押しつけ力 50N の試験の結果, すべり抵抗の最小値はステンレス板で 0.5, 最大値は試験片 P4 の値で 1.0 となった。

それぞれの試験間の相関を調べるために, スピアマンの順位相関係数とケンドールの順位相関係数を求めた。通常相関係数(ピアソンの積率相関係数)は「変数間の関係は線形である」と仮定する必要があるが, 本稿で行った試験結果をグラフにしてみたところ線形関係ではないので, この

ような場合に適したスピアマンの順位相関係数とケンドールの順位相関係数を採用した。

スピアマンの順位相関係数を求めたところ, すべての試験間で高い相関が見られた。最小値は 0.90(ロボット試験 200N とロボット試験 50N)であった(図 6)。同様にケンドールの順位相関係数を求めたところすべての試験間で高い相関が見られた。最小値は 0.84(ロボット試験 200N とロボット試験 50N)であった。

官能試験(蹴り上げ)に対してはロボット試験(300N)が最も順位相関係数が高かった(スピアマン 0.98, ケンドール 0.94)。図 7 にこれらの試験の計測値を示す。

官能試験(踏み切り)に対してはロボット試験(50N)が最も順位相関係数が高かった(スピアマン 0.99, ケンドール 0.98)。図 8 にこれらの試験の計測値を示す。

#### 4. まとめ

10 種類の試験片に対して, 官能試験(蹴り上げ), ロボットを用いた試験(押しつけ力 300N, 200N, 50N)を行い, 結果を比較した。すべての試験に対してスピアマンの順位相関係数とケンドールの順位相関係数を取り官能試験の結果と比較したところ, 官能試験(蹴り上げ)に対してはロボット試験(300N)が高い相関を示し, 官能試験(踏み切り)に対してはロボット試験(50N)が高い相関を示した。

今回のロボット試験では押しつけ力を変えたのみであるが, ロボット試験は試験条件の変更が容易に出来, 様々な状況を想定したすべり試験に適用できると考えられる。

#### 参考文献

- 1) 丸林ほか：“床・舗装路面におけるすべり防止技術および測定機器に関する調査”。三重県科学技術振興センター工業研究部研究報告, 31, p 98-101(2007)
- 2) GRONQVIST et al：“An apparatus and a method for determining the slip resistance of shoes and floors by simulation of human foot motions”。ERGONOMICS, 32, 8, p 979-995(1989)
- 3) 藤原ほか：“ロボットを用いたすべり試験機の

- 開発”．日本機械学会東海支部第 58 期総会講演会 講演論文集，093-1，p 171-172(2009)
- 4) 丸林ほか：“歩道用マンホール蓋におけるすべり性と安全性の評価”．三重県工業研究所研究報告，32，p 未定(2008)
- 5) 増田ほか：“脊椎の力学的特性を測定するための 6 軸材料試験機の改良”．ロボティクス・メカトロニクス講演会'06，1A1-A16 (2006)  
(本研究は法人県民税の超過課税を財源としています)