

あんぱんをケーススタディとした柔らかい物質の ばねばかりによる簡易摩擦測定を試み

金舛 育実*・大村 訓史*

(令和5年11月24日受付)

An attempt at simple friction measurement using a spring scale for materials that easily change shape.

A case study of sweet red bean bun (anpan)

Ikumi KANEMASU and Satoshi OHMURA

(Received November 24, 2023)

Abstract

摩擦は理科の教科書にも出てくる基本的な現象であり、摩擦係数は車や電車のブレーキ、ねじ締結において重要な物性として多くの研究がなされている。これらに加え、摩擦は舌触りやのど越しに関連するため食品物性の評価にも使用されている。理科の授業などでよく用いられる摩擦係数の簡易的な測定方法の1つとして、ばねばかりを使用した計測方法がある。この方法は摩擦力を直接測定するので授業の中で取り扱いやすいが、食品、例えばパンなど形の変わりやすいものをこの方法で測定するのは難しいことが予想される。そこで本研究では、形が変わりやすい食品のケーススタディとしてあんぱんを測定対象とし、摩擦係数を比較的簡易的に測定できるばねばかりを用いた計測によって最大摩擦力と動摩擦力の測定を試みた。その結果、ばねばかりを用いた簡易的な測定方法でも変形しやすい食品の摩擦係数を測定することができた。しかしながら、その精度や、質量が大きいものに関する測定に関しては、いくつかの課題があることが明らかとなった。

Key Words: あんぱん, ばねばかり, 動摩擦係数, 静止摩擦係数

1. はじめに

摩擦力には、物体が静止している状態に働く静止摩擦力と物体が動いている状態に働く動摩擦力がある。これらは中学校の理科や高校の物理の教科書に記載されているほど、基本的な物性の一つである。摩擦は車や電車のブレーキ、ねじ締結¹⁾などに利用されているが、近年では食品の物性評価にも用いられている。

食品物性とは手触りや舌ざわり、風味などのことを指し、食品の特性を決める要素の一つであるため、非常に注目されている。これら进行评估する指標の一つがのど越しなどに関係する摩擦係数である。また、食品の中でもパンの

摩擦に関しては、パンがモチーフとなっている国民的アニメに登場する主人公の顔交換時にも、その成功には胴体と頭(あんぱん)との間に働く摩擦力が非常に大切な役割を果たしているとする考えもある。

このような摩擦係数の測定方法として、理科の授業などでよく用いられる簡易的な測定方法の1つに、ばねばかりを使用した計測方法がある。この方法は、難しい式を使わず摩擦力を直接測定するので授業の中で取り扱いやすい。しかしながら、引張りによって形状が変形してしまうようなパンなどをこの方法で測定するのは困難であることが予想される。

そこで、本研究ではあんぱんをケーススタディとして、

* 広島工業大学工学部環境土木工学科

食品物性の一つである摩擦係数を比較的簡易的に測定できるばねばかりを用いた計測によって最大摩擦力と動摩擦力の測定を試みた。

2. 実験方法

本研究では販売元の異なるあんぱんを3種類、各2セットずつの計6個用いた。表1に使用したあんぱんの対応表を示す。また、図1に使用したあんぱんの断面図を示す。まず各あんぱんの基本的なデータを測定するため、あんぱんの全質量 M とあんこの質量 m を電子ばかりで3回ずつ測定した。さらに、あんぱんの周長 L と短径 l_{\min} 、長径 l_{\max} をものさしでそれぞれ1回ずつ測定した。その後、引張りによってあんぱんが変形してしまうのを防ぐため、あんぱんの周りを消毒されたクリアファイルで作成した枠で囲い、この枠をばねばかりで引張ることで以下の3パターンにおいてそれぞれ5回ずつ測定を行った。

- 1) あんぱんとクリアファイルでの最大摩擦力 F_{\max}
- 2) あんぱん同士における最大摩擦力 F'_{\max}
- 3) あんぱんとクリアファイルでの動摩擦力 F

1) と 3) は消毒したクリアファイル上であんぱんを引張ることで測定した。2) は同じ種類のあんぱんを重ねて上部のあんぱんをばねばかりで引張ることで測定した。この実験の様子を図2に示す。次に、測定した摩擦力から静止摩擦係数 μ 、動摩擦係数 μ' を以下の式(1)、式(2)でそれぞれ算出した。

$$F_{\max} = \mu N = \mu Mg \quad (1)$$

$$F = \mu' N = \mu' Mg \quad (2)$$

ここで、 F_{\max} は最大摩擦力、 F は動摩擦力、 μ は静止摩擦係数、 μ' は動摩擦係数、 M はあんぱんの全質量、 g は重力加速度であり、本研究では 9.8 m/s^2 としている。

表1 使用したあんぱんの対応表

A社	1-1
	1-2
B社	2-1
	2-2
C社	3-1
	3-2

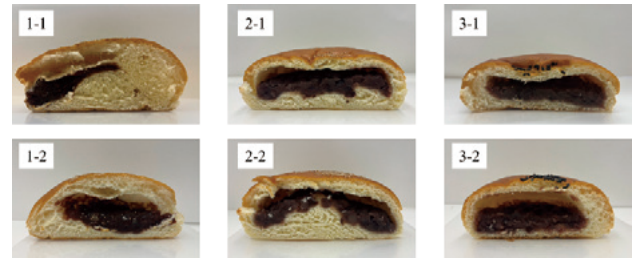


図1 使用したあんぱんの断面図。

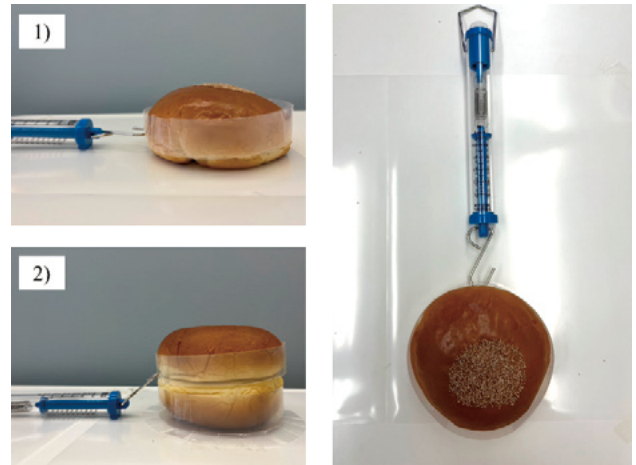


図2 実験の様子。(左上) あんぱんとクリアファイルでの摩擦力を測定する様子。(左下) あんぱん同士の摩擦力を測定する様子。(右) これらを上から見た様子。

3. 結果および考察

本研究で使用したあんぱんの基本的なデータである周長 L と短径 l_{\min} 、長径 l_{\max} を表2に示し、あんぱんの全質量 M 、あんこの質量 m をそれぞれ表3、表4に示す。

表2 あんぱんの周長 L と短径 l_{\min} 、長径 l_{\max}

	L (cm)	l_{\min} (cm)	l_{\max} (cm)
1-1	33.5	10.4	10.7
1-2	34.5	10.4	10.5
2-1	35.5	10.6	10.7
2-2	36.0	10.1	11.2
3-1	28.0	8.70	9.60
3-2	27.5	8.80	8.90

表3 あんぱんの全質量 M

	1回目 (g)	2回目 (g)	3回目 (g)	AVE (g)
M_{1-1}	118	118	118	118
M_{1-2}	122	123	123	123
M_{2-1}	141	141	142	141
M_{2-2}	137	137	137	137
M_{3-1}	82	82	82	82
M_{3-2}	80	80	80	80

表4 あんこの質量 m

	1回目 (g)	2回目 (g)	3回目 (g)	AVE (g)
$m_{1,1}$	48	48	48	48
$m_{1,2}$	49	49	49	49
$m_{2,1}$	54	54	54	54
$m_{2,2}$	47	47	47	47
$m_{3,1}$	38	38	38	38
$m_{3,2}$	37	37	37	37

クリアファイルとあんぱんの間の最大摩擦力 F_{\max} の測定結果を表5に示す。各社における最大摩擦力を比較すると、同種類のあんぱんであっても1つ目のサンプルと2つ目のサンプルで最大摩擦力に差が見られる。また、B社 > A社 > C社の順に最大摩擦力が大きいという結果が得られた。なお、全質量が大きいB社においては他2社に比べて全5回の測定で得られた値にばらつきが見られる。

表5 クリアファイルとあんぱんの最大摩擦力 F_{\max}

	1回目 (N)	2回目 (N)	3回目 (N)	4回目 (N)	5回目 (N)	AVE (N)
1-1	1.00	1.00	0.75	1.00	1.10	0.97
1-2	1.00	1.05	1.10	1.15	1.10	1.08
2-1	2.50	2.20	2.45	2.50	2.30	2.39
2-2	2.15	2.00	1.75	2.15	2.20	2.05
3-1	0.75	0.75	0.80	0.80	0.90	0.80
3-2	0.75	0.75	0.80	0.80	0.80	0.78

本研究から得られたクリアファイルとあんぱんの間の動摩擦力 F の測定結果を表6に示す。表5のクリアファイルとあんぱんの最大摩擦力と比較すると、1-1では動摩擦力に比べ最大摩擦力の方が大きい値を示すが、他のサンプルにおいては動摩擦力と最大摩擦力が等しい値となっている。つまり、1-1では物理の教科書に記載されているような引く力と摩擦力のグラフと同様な傾向が見られるが、それ以外では見られない。したがって本研究で使用したばねばかりを用いた簡易的な測定では、正確な測定が難しいことが分かる。次に表6内のクリアファイルとあんぱんの動摩擦力を同じ会社の異なるサンプルで比較すると、A社では同種類であってもサンプルによって動摩擦力が異なることが分かる。一方、C社ではサンプルによらず同種類でほとんど動摩擦力に違いがみられない。どちらにおいても5回測定した値にほとんどばらつきは見られない。なお、B社のあんぱんは他社のあんぱんに比べて質量が大きいため最大摩擦力も大きくなり、動き始めた瞬間にばねの復元力によってばねばかりが大きく振動したため、今回の測定方法では測定が困難であった。

表6 クリアファイルとあんぱんの動摩擦力 F

	1回目 (N)	2回目 (N)	3回目 (N)	4回目 (N)	5回目 (N)	AVE (N)
1-1	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
1-2	1.00	1.05	1.10	1.15	1.10	1.08
2-1	測定不能					
2-2						
3-1	0.75	0.75	0.80	0.80	0.90	0.80
3-2	0.75	0.75	0.80	0.80	0.80	0.78

パン同士の最大摩擦力 F'_{\max} の測定結果を表7に示す。表中の1列目は測定したパターンを示している。最大摩擦力 F'_{\max} は、上部/下部のうち上部のあんぱんを引張ることで測定した。この表から、B社 > A社 > C社の順にパン同士における最大摩擦力が大きいという結果が得られた。この関係性は表5で示したクリアファイルとあんぱんの最大摩擦力と同様である。全質量が最も大きいB社では、表5で示したクリアファイルとあんぱんの最大摩擦力と同様に他社に比べて全5回の測定で得られた値にばらつきが見られる。

表7 パン同士の最大摩擦力 F'_{\max}

	1回目 (N)	2回目 (N)	3回目 (N)	4回目 (N)	5回目 (N)	AVE (N)
1-1/1-2	1.00	1.00	0.90	0.90	1.00	0.96
1-2/1-1	0.90	1.00	0.85	0.90	0.90	0.91
2-1/2-2	1.75	1.65	1.50	1.30	1.65	1.57
2-2/2-1	1.60	1.60	1.45	1.75	1.75	1.63
3-1/3-2	1.00	0.80	0.85	0.70	0.90	0.85
3-2/3-1	0.90	0.90	0.65	0.75	0.90	0.82

表8にクリアファイルとあんぱん、パン同士の静止摩擦係数 μ と動摩擦係数 μ' を示す。表8より、静止摩擦係数に着目するとA社、B社はクリアファイルとの静止摩擦係数 > パン同士の静止摩擦係数であるが、C社においてはクリアファイルとの静止摩擦係数 < パン同士の静止摩擦係数であることが分かる。次にクリアファイルとの静止摩擦係数とクリアファイルとの動摩擦係数を比較する。A社においては物理の教科書に記載されている静止摩擦係数 > 動摩擦係数の関係と一致するが、C社においては静止摩擦係数 = 動摩擦係数である。

表8 静止摩擦係数 μ と動摩擦係数 μ'

	クリアファイルとの静止摩擦係数 μ	クリアファイルとの動摩擦係数 μ'	パン同士の静止摩擦係数 μ
1-1	2.1	1.6	2.0
1-2	2.2	2.2	1.9
2-1	4.5	測定不能	3.0
2-2	4.5		3.5
3-1	2.1	2.1	2.3
3-2	2.2	2.2	2.3

4. まとめ

本研究では食品物性の一つである摩擦係数を比較的簡易的に測定できるばねばかりを用いた計測によって異なるあんぱんにおける最大摩擦力と動摩擦力を測定し、比較を行った。得られた結果は以下の通りである。ばねばかりを用いた簡易的な測定方法でも変形しやすい食品の摩擦係数を測定することが可能であると分かった。しかしながら、質量が大きいものに関しては短距離では一定の力で引張ることが難しく、またばねの復元力によって測定が困難であった。したがって測定方法に関しては今後の課題である。さらに、物理の教科書に記載されている静止摩擦係数 $>$ 動摩擦係数の関係と同様な傾向が得られるものがある

が、本研究で使用した簡易的な測定方法では、サンプルによっては測定が難しい場合もあり、その精度には課題が残る。

あんぱんのような食品物性を評価する指標として、一般に今回行った摩擦係数測定のような物性評価と人の五感を用いて評価する官能評価があり、これらを併用して調べられることが多い^{2) 3, 4)}。今回の測定方法では絶対値の精度には課題が残るが、今回行った測定に加え、実際に食べた際の舌触りやのど越しなどに関する官能評価を併用することで、摩擦係数の相対値に対して意味を持たせることができる可能性があると考ええる。

参考文献

- 1) 福岡 俊道：ボルト締め付けの力学と実際（その1）、マリンエンジニアリング, vol. 46, pp.406-412（2011）
- 2) 奥西 智哉：炊飯米を生地に添加したパンの官能評価、日本食品科学工学会誌, vol. 56, pp.424-428（2009）
- 3) 四宮 陽子：破断試験によるゆで麺のテクスチャーの特徴と官能評価との関係、日本調理科学会誌, vol. 33, pp.198-203（2000）
- 4) 柳本 正勝：食べ物のおいしさに対する各感覚特性の貢献度、日本調理科学会誌, vol. 35, pp.32-36（2002）