

剛体ブロックのすべり摩擦係数に関する机上実験

徳島大学大学院 学生会員 ○木下勇人 徳島大学大学院 正会員 成行義文
徳島大学大学院 学生会員 岸本直人

1. はじめに 剛体ブロックのすべり摩擦係数について着目した背景には、
図1の様な土木構造物「蛇籠」¹⁾が関係している。蛇籠は自重から得る摩擦
力の作用そのものを耐力として考える構造物であるため摩擦力について積
極的に考えていく必要がある。しかし蛇籠はその力学メカニズムが未だ解明
されておらず、解明することが出来ればより安全で確かな土木資材として使
用することが出来るのではないかと考える。蛇籠は非剛体で複雑であるため、
まずは剛体構造での純粋な摩擦力の作用に着目することが必要であること
から、本研究では剛体ブロックでのすべり摩擦についての考察を行うに至っ
た。



図1 蛇籠

2. すべり摩擦²⁾に関する机上実験 物体が面上を滑る場合の摩擦力は摩擦
面の垂直抗力と摩擦係数の積として表わされると考えられる。(クーロンの
摩擦法則)つまり、水平面上を滑る物体の摩擦力に関与する要素は「摩擦係
数」と物体の「重量」の2つのみとなるが、本当に摩擦係数と重量以外に摩
擦力に影響を及ぼす要素はないのか、また摩擦力と重量は比例の関係にある
のか等の検証が必要である。図2のように平面上で直方体を引張り滑らせる
ことで物体のすべり摩擦のなかでも特に「最大静止摩擦力」と「静止摩擦係
数」に着目した実験を試行する。滑らせる物体の「重量」、滑る「方向」、物
体と床面との「接地面積」の3点について摩擦係数を調べ、使用する摩擦面
の材料は滑動体、床面ともに木、ゴム、アクリルの各3種類を使用した。

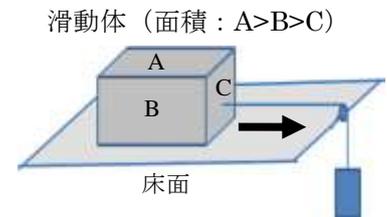


図2 実験装置

3. 実験結果 図3, 4より物体重量と最大静止摩擦力は比例関係にあり、また静止摩擦係数はほぼ一定である
といえる。物体の滑動方向に関する実験結果を表す図5からは全てのパターンで直方体の長軸方向に引張る場
合よりも短軸方向に引張る場合の方が静止摩擦係数はわずかに大きくなるという結果を得た。これは木材に関
しては木目の影響が、またゴム材に関しては床面の弾性変形が考えられるが、アクリル材に関しては要因が不明
である。物体と床面との「接地面積」

に関しては、直方体の3面A, B, C (A > B > C) に対して図6から静止摩擦係数は木材とゴム材の場合はB > A > Cとなり、アクリル材の場合はA ≒ C > Bという結果になった。以上のように、クーロンの摩擦法則に従わない現象がいくつか観察された。これらに関しては今後より詳細な実験により確認する必要がある。

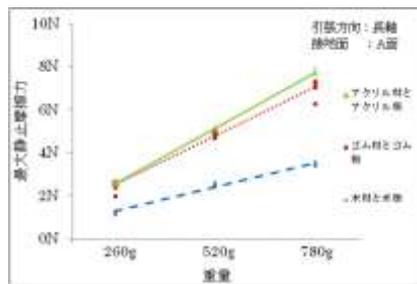


図3 摩擦力と重量の関係

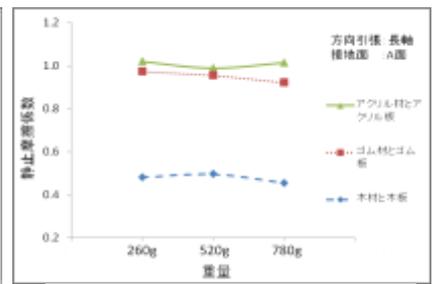


図4 重量別の静止摩擦係数

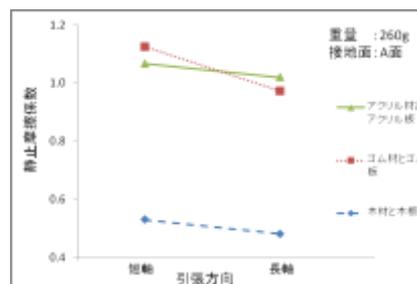


図5 引張方向別の静止摩擦係数

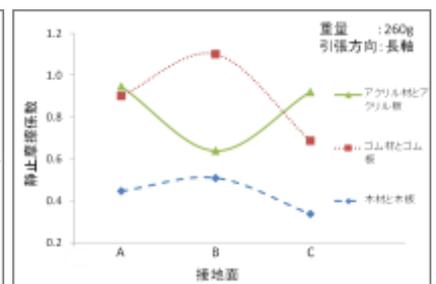


図6 接地面積別の静止摩擦係数

4. すべり摩擦発生メカニズム すべり摩擦の発生メカニズムを考察する場合、巨視的観点では静から動へのおおまかな流れは分かるが、具体的な挙動を知るには微視的観点でとらえることが重要となる³⁾。滑らかであると思われる平面であっても、より注意深くミクロに観察してみると、完全な平面ではない。そこで図7のように物体の重量をW、物体に作用する外力をPとし、床面および物体底面の表面凹凸を底面凸数N個、角度θ、のギザギザ面であるとして定性的にモデル化したものを対象に検討を行った。床面上を物体が滑り移動する場合、水平に見える床面であっても、実際には図8のようにその平面や滑ろうとする物体表面には微視的には無数の凹凸が存在しており、その小さな凹凸同士が互いにひっかかり、その機械的な抵抗が摩擦力として現れていると考える。

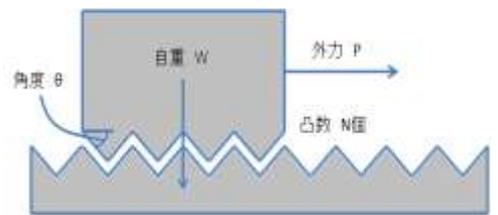


図7 すべり摩擦の対象モデル

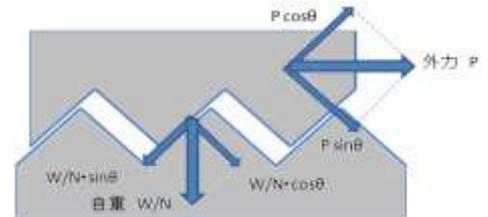


図8 微視的な接触面の力の作用

5. 静止摩擦係数 微視的にすべり摩擦係数を検討した結果、摩擦係数を決定する要素は、物体底面と床面の表面凹凸の「角度」および物体と床面の「材料抵抗係数」の2つであると考えられる。滑動体と床面の摩擦面の材料の組み合わせで決まる係数を材料抵抗係数としている。すべり摩擦係数のなかでもとくに静止摩擦係数は、凹凸の角度をθ、材料抵抗係数をαとするとき、式(1)で表わされる。より現実的なモデルとして床面および物体底面の表面凹凸を、物体底面凸数N個、物体底面凸角度θ₁~θ_N、静止時に対応する床面凸角度θ₁'~θ_N'、材料抵抗係数αの凹凸の角度が異なるギザギザ面とした場合、摩擦面は図9のように角度によりすべり面が変化するため、摩擦面で力の作用は図10のようにすべり面方向ごとに分解され、静止摩擦係数は式(2)で表わされる。これにより、より現実的に考えるならば摩擦係数を決定する要素は表面凹凸「角度」、「材料抵抗係数」および「底面凹凸数」の3つであると考えられる。

$$P = (\tan \theta + \alpha) \cdot W \quad (1)$$

$$P = \left(\frac{\sum_{i=1}^N A_i}{N} + \alpha \right) \cdot W \quad (2)$$

$$A_i = \begin{cases} \tan \theta_i & (\theta_i < \theta_i') \\ \tan \theta_i' & (\theta_i > \theta_i') \end{cases}$$

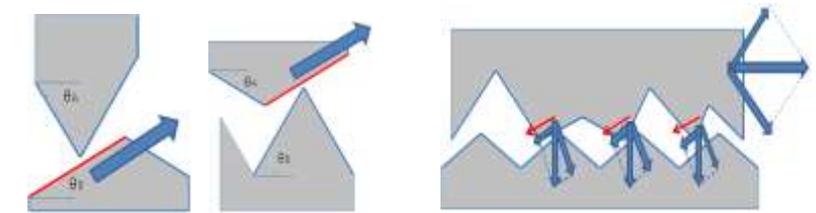


図9 θ_A > θ_B : 床面凸に沿う
θ_A < θ_B : 底面凸に沿う

図10 角度が異なる場合の
摩擦面の力の作用

6. 動摩擦係数 動摩擦係数が静止摩擦係数よりも小さくなる要因を考察する。微視的観点から滑動体の運動をとらえるとき、力のつりあった状態から表面凹凸の凸を乗り越えようと動き始めたところで運動が始まると捉えるか、表面凹凸は非常に微細な距離感であるため凸を乗り越えるまでは静止していると考え、凸を乗り越え下りに入ることで運動が始まるととらえるかによって考え方が異なる。前者の場合は極めてシビアな分析となるため微小な加速度も無視することは難しく慣性力が作用する。この慣性力が差異の要因となっていると考える。後者の場合は凸を下る所から運動が始まり、下降時は摩擦として作用する要因が材料抵抗係数のみになる。再び凸を登る際には勢いがつきその差が要因となると考えられる。

7. おわりに 本研究ではすべり摩擦のメカニズムと摩擦係数について検討し考察した。今後微視的な表面凹凸に関する机上実験を実施する必要がある。凹凸の角度をパターン化した場合の摩擦係数の変化を調べ、それによる本研究の信憑性の評価も必要である。また、摩擦力の作用そのものを耐力として考える土木構造物である「蛇籠」に対しての変形・移動メカニズムの検討を行うことが実構造物の摩擦を理解する一つのアプローチになると考えられる。

8. 参考文献 1)瀬戸内金網商工株式会社 (SETOLON) <http://setolon.jp/> 2)原島鮮：力学（三訂版），裳華房。
3)岡本純三，中山景次，佐藤昌夫：トライボロジー入門 摩擦・摩耗・潤滑の基礎，幸書房。