

## アルミ棒積層体のすべり破壊実験

前橋工科大学 学生会員 吉村 忠久  
前橋工科大学 正会員 土倉 泰

1. まえがき：砂のような粒状体が破壊する時に、すべり線の発生することが知られているが、そのメカニズムは必ずしも明らかになっていない。そこで本研究では、土粒子をアルミ棒でモデル化した模型実験によって、意図的にすべり線を発生させ、二次元的見地から、すべり線の発生の様子を微視的に観察し考察する。

2. 実験方法：アルミ棒をできるだけ密な状態で試料設置部に積層に詰めて積層体を作る。アルミ棒の直径は、1.6mm、3.0mm の2種で、長さは、ともに50mmである。アルミ棒積層体の横の長さは、158.0cm、高さは、140.0～170.0cmである。直径1.6mmと3.0mmのアルミ棒を様々な混合比で混ぜた時の間隙比を表したものが表-1である。（表の数値は試験を3回行い、平均を取ったものである。）単一粒径からなる積層体において間隙比が小さくなるのは、図-1のように最密配列に近いものとなった

ためと考えられる。規則配列した場合の間隙比は理論上0.14であるが、試料設置部とアルミ棒のサイズの関係や端部にできる間隙のため、表-1のように若干大きめの間隙比となった。また、 $\phi 1.6\text{mm} : \phi 3.0\text{mm} = 1:9$ の間隙比が小さいのは、 $\phi 3.0\text{mm}$ の最密配列の中に、 $\phi 1.6\text{mm}$ を少量入れても、規則的な配列構造をそれほど乱さないためと考えられる。アルミ棒を詰めた後、アルミ棒の断面に1cm間隔で線を引き、下部をヒンジで固定した左の側面をアルミ棒から離れる方向に倒していく。このときに生じる断面上の線の乱れから、すべり線を引き、すべり角度を測定するとともに変形中のアルミ棒の挙動を観察する。

表-1 アルミ棒の混合割合と間隙

| $\phi 1.6\text{mm} : \phi 3.0\text{mm}$ (質量比) | 間隙比  |
|-----------------------------------------------|------|
| 10 : 0                                        | 0.19 |
| 9 : 1                                         | 0.23 |
| 8 : 2                                         | 0.24 |
| 7 : 3                                         | 0.24 |
| 6 : 4                                         | 0.26 |
| 5 : 5                                         | 0.23 |
| 4 : 6                                         | 0.25 |
| 3 : 7                                         | 0.24 |
| 2 : 8                                         | 0.24 |
| 1 : 9                                         | 0.18 |
| 0 : 10                                        | 0.15 |

3. すべり線の角度：図-1にアルミ棒混合割合に対してのすべり角度を示す。ここに、すべり角度とは、すべり線と水平面とのなす角である。10 : 0と0 : 10では $60^\circ$ になった。これは、配列の幾何学的条件から決まるものと考えられる。 $\phi 1.6\text{mm} : \phi 3.0\text{mm} = 9:1$ と1.6mmの単一粒径構造のすべり角度の差は $8.5^\circ$ と大きい。表-1に示した間隙比を参照すると、すべり角度と間隙比の間には明確な相関はないようである。すべり角度は、 $\phi 1.6\text{mm} : \phi 3.0\text{mm} = 9:1$ のとき、最小値 $51.5^\circ$ をとり、 $\phi 3.0\text{mm}$ の割合が増えると角度が大きくなる傾向がみられる。これは $\phi 1.6\text{mm}$ 一種類の粒子を詰めて出来る規則配列の中に、粒径の大きい $\phi 3.0\text{mm}$ の粒子を少量加えることによって、規則配列が大きく乱されて崩れやすい構造になったためと考えられる。

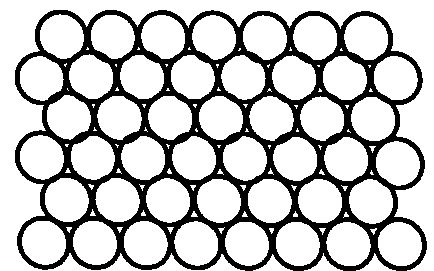


図-1 最密の配列

4. 微視的な観察：擁壁を除々に倒していくことにより、擁壁際のアルミ棒積層体上層部の間隙が大きくなり、擁壁付近に斜め方向に、すべり線があらわれ、さらに擁壁を倒すと、すべり線が何本もあらわれた。すべり線は、一本、一本あらわれるのではなく、2～3本同時にあらわれるのが観察された。すべり線は、単一粒径の

キーワード：粒状体、すべり線、アルミ棒積層体、微視的観察、粒子の回転

連絡先：〒371-0816 前橋市上佐鳥町460 Tel 027(265)0111 Fax027(265)3837

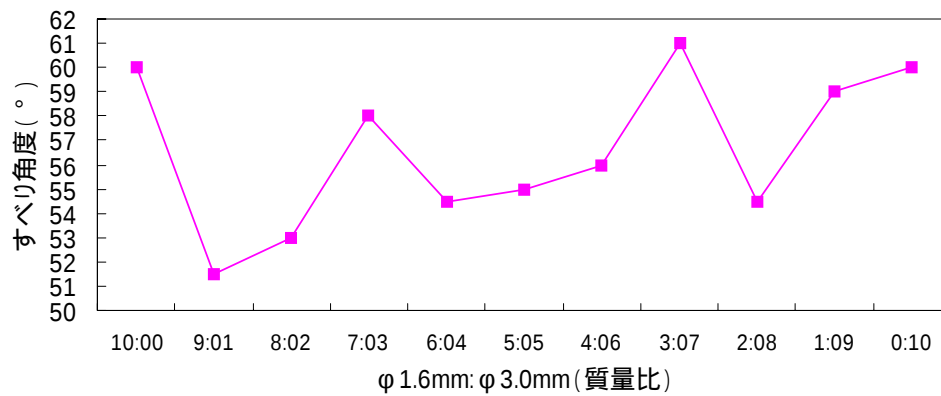


図 - 2 アルミ棒の混合割合とすべり角度との関係

場合、3 回繰り返した実験で、同じ位置に同じ順序であらわれた。φ 3.0mm の単一粒径の破壊状況を写真 - 1 に示す。2 種粒径を混合したものは、実験ごとにアルミ棒の積み重なり方が異なるため、実験中にあらわれるすべり線の位置は特定できなかったが、最終的には 1 本のすべり線を境にアルミ棒が崩れていく挙動をした。なお、2 種粒径を混合したものは、粒子配列が不規則であるため、写真 - 1 のようにすべり線が直線的ではなく、波のように、凹凸のあるすべり線が生じた。5 : 5 で混合した場合の破壊状況を写真 - 2 に示す。写真 - 2 上の黄色線は最終的なすべり線をあらわし、擁壁転倒前後のアルミ棒断面上に引いた線の乱れから、明確に確認できた。側壁は下部の一点をヒンジで固定した回転によって動かしているため、擁壁を倒す前後の変化量は、擁壁の上部にいくほど大きくなる。したがって、この変化量に比例して、積層体も上部にいくほどアルミ棒の断面に引いた線の乱れも大きくあらわれた。また、単一粒径を使った実験では図 - 3 のように、すべり線に沿った部分のアルミ棒が回転しながら崩れていき、最終的に、崩れていく部分と不動の部分との境のすべり線のアルミ棒が大きく回転することが観察できたが、混合したものは明確にとらえることはできなかった。



写真 - 1 φ 3.0mm の単一粒径のすべり破壊

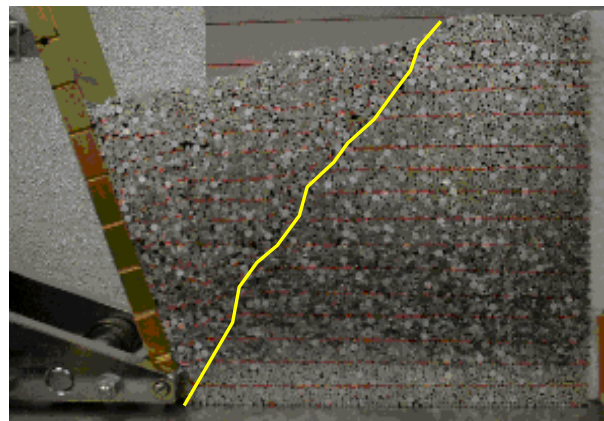


写真 - 2 φ 1.6mm: φ 3.0mm = 5:5 のすべり破壊

5 . まとめ : アルミ棒積層体が破壊する場合、最終的には一つのすべり線で崩れ落ちるが、単一粒径で規則配列を作った実験において、破壊に至る前にすべり線が何本も入ること、すべり線では粒子の回転が大きいことがわかった。なお、2 種粒径を混合した積層体の場合、単一粒径のときにみられる上記の特徴を明確にとらえることは困難であった。また、2 種粒径を混合した場合、φ 1.6mm に φ 3.0mm を少量加えたときに、最も強度が小さいことがわかった。

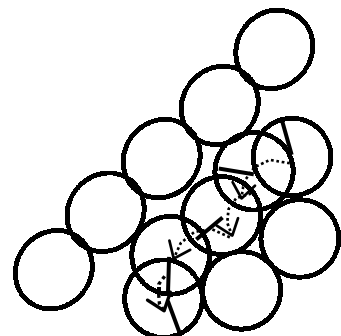


図 - 3 すべり面上の粒子の回転