

## 音響計測を用いた土のせん断による粒径判別に関する基礎的研究

九州大学工学部 学○渡邊智紀  
 九州大学大学院 正 安福規之 正 大嶺 聖  
 九州大学大学院 正 小林泰三

**1. 研究背景**

土は大小さまざまな土粒子から構成されている。土粒子の粒径の違いにより、土質判別を行うことができる。土粒子の粒径の違いを判別する方法として音響を利用した。音波などの「波」の特徴を決める要素として、振幅、速度、波長、ある時間内に振動する回数である周波数がある。振幅、速度、波長については、時間を横軸にとることで概念を簡単に理解することが可能であるが、周波数の概念は時間領域では捉えることができないため、時間軸を周波数軸に変換する必要がある。この時間領域から周波数領域への変換に用いられるのが「フーリエ変換」であり、逆に周波数領域から時間領域への変換には「逆フーリエ変換」が用いられる。周波数とは、ある一点で観測した物理量が1秒間に何回振動するかを表すものであり、単位はHz（ヘルツ）が用いられる。波を周波数領域でとらえ、周波数成分の大きさ（強さ）を示したグラフを周波数スペクトル（またはスペクトル）と呼び、周波数解析に用いられる。この音響を用いて粒子の物理的・力学的特性により粒度（粒径）の違いを示すことにより、今後の地質調査だけでなく、粉体工学などの多くの分野で利用可能であると考えられる。本研究では、これらの音の性質を利用して、基本周波数を割り出し、音の高さを周波数スペクトルによって推定し、粒径との関係性を調べる。

**2. 音の発生について**

等間隔に敷き詰めた球の上を同じ種類で同じ大きさの一粒の球を転がしていき、一粒ずつ当たるときに音を計測できると考える（図-1）。このカウント数を時間当たりで考えると、周波数  $f$  と考えることができる。縦軸に速さ  $V$ 、横軸に時間あたりのカウント数（周波数  $f$ ）をとると、理論的には図-2 のようになると考えられる。

次に平面で考える。同じように一粒ずつ当たるときに音を計測できると考えると、最大4箇所接するので1~4倍の数の音が発生すると考えられる。

複数の球を転がすと考える（図-3）と、転がる球の数  $n$  が1~4倍で音が発生すると考えるので、1~4 $n$  倍の数の音が発生すると考えられる<sup>1)</sup>。

**3. 実験概要**

本研究では、試料同士の摩擦音や衝突音を計測するために、図-4、図-5 のような実験装置を作製した。(1)角度を変えることができるスロープの上に試料を敷き詰めて、スロープの表または裏に測定器を取り付け、同じ粒径の試料を一粒または複数転がしていき、そのときに発生する摩擦音や衝突音を計測できる仕組みになっている。試料はガラスビーズとアルミナボールを使用する（図-4）。(2)ベーン試験の方法を利用して、筒の中に試料を入れ、その中に一定の速さで回転し、速度を変えることのできる十字形の羽根を持った装置を入れ、先端の羽根の回転により、試料同士の摩擦音を計測できる仕組みになっている。測定器は、試料の表面や内側、回転する柄や羽根の部分など測定する場所を変えて測定する。試料はガラスビーズとアルミナボール、複数の砂を使用する。試料の敷き詰め方は、最密、最緩など変えて測定する（図-5）。

これらの条件により、速度の違いによる周波数スペクトルの変化と粒径の違いによる周波数スペクトルの変化を調べる。



図-1 一粒での音の発生

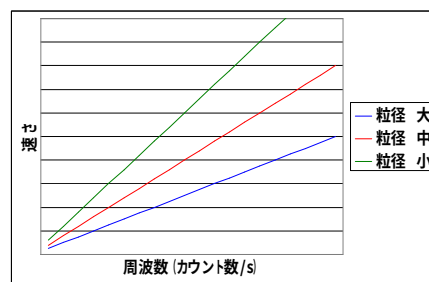


図-2 粒径の違いによる音の発生

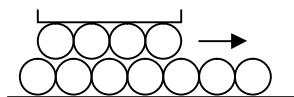
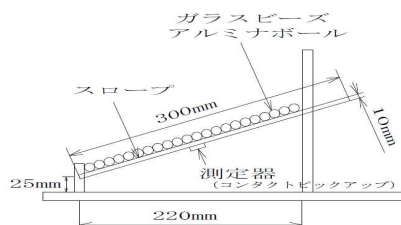
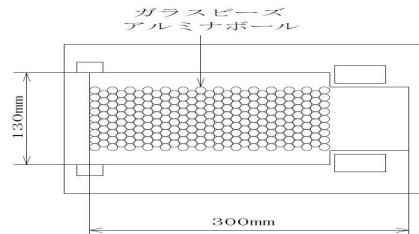


図-3 複数での音の発生



(a) 側面図



(b) 上面図

図-4 スロープ実験装置

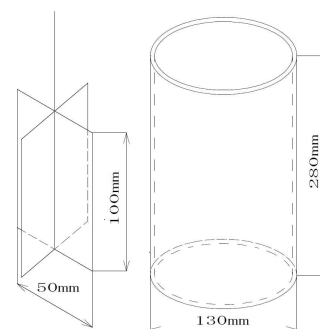


図-5 ペーン試験装置

#### 4. 波形と周波数スペクトル

私達が日常耳にする音は、単調な波ではなく、複雑な形をしている。複雑な形は色々な周波数の正弦波（サイン波）が重なっていると考えることができる。しかし、いかに複雑な波形であっても、それが周期的なものであれば、いくつかの純音に分解することができる。音波にどの周波数の正弦波がどのくらいの強さで含まれているかを高速フーリエ変換（FFT）を用いて、グラフ化したものが周波数スペクトル（周波数スペクトラム）である<sup>2)</sup>。

#### 5. 実験結果と考察

図-6~8 は、実験(2)のペーン試験の周波数スペクトルである。図-6、7 では、試料にガラスビーズ 3mm、5mm を使用し、その違いを調べた。横軸の周波数を見ると、周波数のピーク値が粒径の小さな 3mm の方が大きくなっている。周波数は 1 秒間に何回振動するかを表すものであり、3mm の方がより多く試料同士が当たっていることがわかる。条件として、同じ速度で回転しているので、図-2 に示したように粒径の小さなものほど周波数が大きくなる。このことから、周波数スペクトルによって、同じ種類の試料での粒径の大小を判別することができると考えられる。

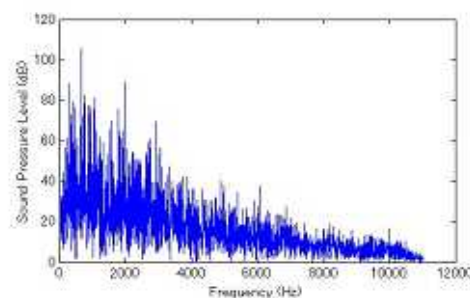
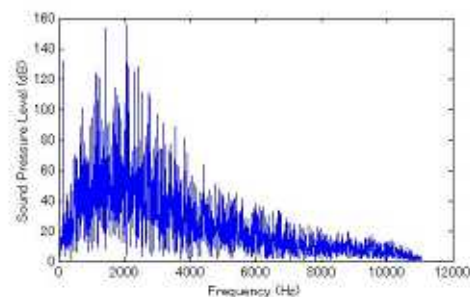
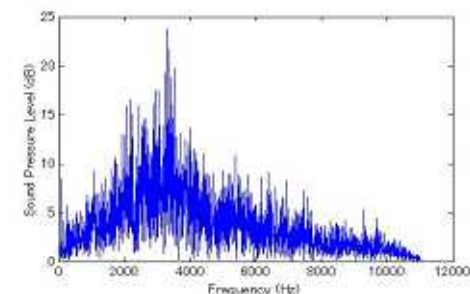
図-8 を見ても、周波数のピーク値が 2 つに比べて、明らかに大きくなっている。粒径が一定でない砂であっても、粒径の大小を判別すること、同じ種類の試料でなくても、粒径の大小を判別することができると考えられる。

#### 6. まとめと今後の展開

今回は、限られた実験結果であるが、音響を利用して、周波数スペクトルによって、基本周波数を割り出し、粒径の大小を判別することができると考えられる。

今後は、二つの実験を繰り返し行い、データを蓄積させ、速度の違いや粒径の違いによる周波数スペクトルの変化によって、粒度や粒径との関係性を更に検討する予定である。その結果として、粒径による違いを同定できるよう更に検討する予定である。

【参考文献】1) 日高重助、米窪信男、下坂厚子、三輪茂雄：傾斜平板上を流れる粒子群流動音の周波数スペクトル「化学工学論文集」Vol.14, pp.71-78 1988 2) 水澤富作、近藤八重、滝沢宣人、河原田豊：球体の衝突を受ける平板から発生する衝撃音に関する基礎的研究「土木学会論文集」No.766/I-68, pp.47-57, 2004

図-6 周波数スペクトル  
(ガラスビーズ 5mm)図-7 周波数スペクトル  
(ガラスビーズ 3mm)図-8 周波数スペクトル  
(豊浦砂 D<sub>50</sub>=0.25mm)