

砂が骨組構造破壊時に出す音についての一研究

ANALYSIS OF NOISE GENERATED BY SAND PARTICLES WHEN THEY SLIDE

伯野元彦*・大河原重昭**・橋爪隆***

By Motohiko Hakuno, Shigeaki Ōgarwara and Takashi Hashizume

1. はじめに

砂が完全に乾燥している場合、砂の集まりが外力を受けて持ちこたえているのは、砂粒子間の摩擦によるものであろうと想像される。その砂の集まりが壊れるのは、砂粒同志が相対的にずれたり離れたりしてマクロ的破壊すなわち変形を起こすのであろう。

つまり砂の破壊、クリープ、体積変化、その他の力学的性状は、砂粒子のすべり以外の原因はちょっと考えられない。そのような論理からすると砂の力学は、表面に現われて来る性状は種々複雑であっても、結局砂粒子のすべりあるいは、離れ具合を調べれば、解決がつくということになる。さて、その砂粒子の離れ具合、すべり具合を調べるには、どのような方法が考えられるであろうか。

岡本・伯野は砂の離れ具合を調べるため、砂粒子の表面に電導インクを塗付して、砂粒子が離れると電気抵抗が増えるということを利用して離れ具合を測定したが、本研究の実験では、砂がすべるときには、必ず音を出すであろうという仮定に立って、その音をマイクでとらえ、それを解析し、砂の骨組構造が壊れる時には、どのような音を出し、逆にその音からどのようなことがわかるかを調べた。

砂の破壊性状を調べる方法は、もちろん他にも種々あるであろう。たとえば、土圧を測定する、砂中に生じるひずみを測定する、等々、しかしこれらの測定結果は、

(i) その測定のための計器を砂中に埋設することによって、計器周辺の応力状態が攪乱される恐れがある。

(ii) 砂の集団全体としての力学的性質を測定することになる。

砂の力学的性質を研究する場合、マクロ的なとらえ方が土木技術者として終極の目的ではあるが、予備的段階として砂粒がいかなる振舞いをするのかを調べることも

一つの行き方であると思う。その考え方から、この砂の音をとらえるという方法を眺めると、

(i) 音は砂中の応力状態をほとんど変えることなく伝わり、しかも、音をとらえる計器はかなり破壊部から離して置くことができる。したがって前述の計器の埋設による砂の応力状態の攪乱という心配はない。

(ii) 砂粒のすべりあるいは離れが構造破壊時に、砂粒全部について同時に起こることは考えられないので、砂粒がすべる音の時間軸を引き伸ばして観察することにより、砂粒個々のすべり具合が測定できる可能性がある。

以上の考えから本研究を行なったが、実際への応用面は現段階では将来に残されている。

2. 実験方法

(1) 実験装置について

実験順序ならびに実験装置を図示すると図-1~2のごとくである。CBR用モールドに、粒径、単位体積重量、含水量等をいろいろ変えて、砂を入れ、上から貫入ピストンを静かに沈下させ、その時発生する音をあらか

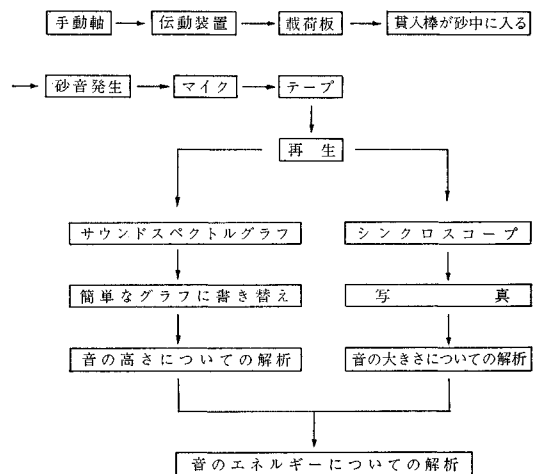


図-1 実験のブロック図

* 正会員 工博 東京工業大学助教授 工学部土木工学科
** 正会員 飛鳥建設(株) 横浜支店藤沢村岡作業所
*** 正会員 川崎重工業(株) 野田工場設計課

じめモールド底部に埋め込んでおいた防水マイクによって録音し、その音を Sound-Spectro-Graph やブラウン管から写真にとり解析した。

モールドの大きさは、内径 15.0 cm、高さ 17.5 cm である。実験はもっと大規模に行ないたかったのであるが適当な載荷装置がなかったこと、また、載荷装置を機械で動かした

場合、モーターの音を消すことが非常に困難になってくるので、このように小規模で、しかも載荷装置を人力で動かすという方法を取ったものである。

録音に使用したマイクは、砂が飽和状態の場合の使用にも耐え得るよう、薄いゴム、ハマタイト、テープ等で完全防水した(図-3 参照)。なお、解析の際に音の大きさをくらべる関係上、乾いた状態の砂についても、防水マイクを使用した。しかし、このためにマイクの精度が落ちたということはほとんど認められなかった。マイクは、常に同じ位置にあるように、あらかじめ深さを決めておいた。

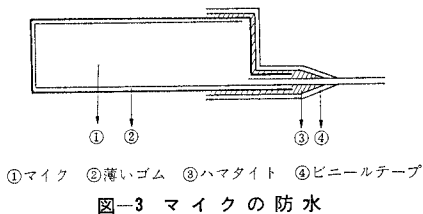
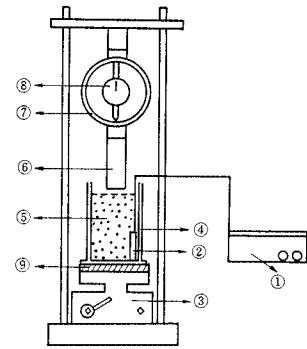


図-3 マイクの防水

また、載荷中に、載荷装置の振動を直接モールドに伝えないようにするため、モールドと載荷装置の間に、布その他を敷いた。さらに砂の含水量が多くなるにしたがい雑音(50 Hz 程度)が多くなるため、テープレコーダー、マイク、載荷装置、モールド、貫入ピストン等からアースを取った。さらにピストンを貫入した時の抵抗の大小を調べたり、貫入量を補正するため、貫入ピストンの上部に、プルーピングリングを取り付け、それに Strain-Gage をはったり、ダイヤルゲージを取り付けて貫入力と破壊音との相関関係を得たいと思ったが、プルーピングリングが 2 ton 用のものであったため、貫入力が小さすぎ Gage 出力を得ることができず、貫入力の測定に失敗したのは残念であった。



- ①テープレコーダー
- ②防水マイク
- ③載荷装置
- ④モールド
- ⑤砂
- ⑥貫入ピストン
- ⑦プルーピングリング
- ⑧ダイヤルゲージ
- ⑨消音用クッション

図-2 CBR を用いた実験装置

(2) 実験方法について

実験装置の項で述べたように、砂の粒径、単位体積重量、含水比等を変化させ、モールドに入れ、貫入ピストンを徐々に沈下、貫入させ、その時発生する音を録音しこれを音の高さ、音の大きさ、クリープの状態等について解析した(ここで、クリープと呼んでいる現象は、ピストンの貫入を止めた後も、砂の破壊音がしばらく継続することをいっている)。

a) 砂の粒径について

砂の粒径については、3種類に分類した。粒径の一番大きい砂は 1.2 mm フルイを通過し、0.6 mm に残った砂で、これを No. 2 の砂とした。同様に、0.6 mm ~ 0.3 mm の砂を No. 3、0.3 mm ~ 0.15 mm の砂を No. 4 とした。

b) 砂の単位体積重量について

実験に使用したモールドと同一のモールドで突き固め回数を決め、3種類の粒径の砂について、それぞれ突き固め回数と単位体積重量との関係をグラフにした。突き固め回数は、それぞれの砂について、5回、10回、15回、20回、25回、30回である。また、突き固めた棒は、コンクリートのスランプ試験に使用する棒である。さらに、単位体積重量との相関傾向をいっそうはっきりと調べるため、固く突き固めた場合(上から水を流しながら突き固めた)の3種類の砂について同様のことを行なった。それら突き固め実験の一例を図-4 に示す。

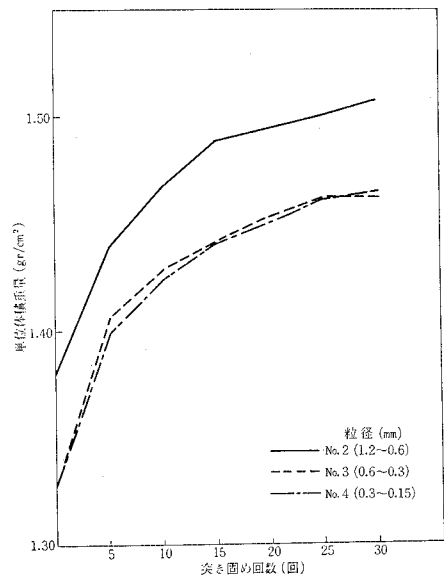


図-4 砂の単位体積重量と突き固め回数(絶乾状態)

c) 砂の含水比について

砂の含水比についても、一つの粒径の砂について、3種類に分類した。

一つは、絶乾状態の砂について、一つは、ある程度湿らせた砂について、いま一つは、完全飽和状態の砂について行なったものである。

ある程度湿った砂については、含水量をどの砂についても一様にしたかったが、一定量の砂を一定量の水分で均等に湿らすことがむずかしかったため、一様に湿らせておいてから、含水量をはかるという方法を採用した。

また、完全飽和状態の砂については、数日間水中につけておいた砂を使い、砂の表面をすこしさわると水がしみ出てくるくらいに水を入れた。

d) 貫入速度について

予備実験として、種々の貫入速度で行なってみたが、貫入速度があまり速い場合、載荷装置から発生する音が非常に大きくモールドに伝わるため、砂の音の録音が困難になり、また、あまり遅い場合も録音できにくい（音が小さいのか、低いのかは残念ながら不明である）状態であったので、結局、2秒間に1回転(0.104 mm/回)で、20秒間に10回転し、その後20秒間静置し、2秒間1回転し、また20秒間静置するという課程を1サイクルとした。途中に1回転や20秒静置という状態を設けたのは、砂のクリープを調べるためである。

また、ピストンの貫入は、本来ならば、機械によって正確に貫入したかったのだが、機械で貫入する場合、その機械の発生する音をどうしても防ぎ得ないため、手回しによって貫入したもので実験が進むにつれて慣れてきたものの、貫入速度に不正確なところがあるのはやむを得なかった。

e) 実験記号について

以下のように実験記号を定め用いている。

砂 粒 度	密 度	含水状態	速 度
2. (1.2~0.6 mm)	1. 突き固めなし	1. 乾燥	1. 半回転/sec
3. (0.6~0.3 mm)	2. 突き固め10回	2. 湿潤	2. 1回転/sec
4. (0.3~0.15mm)	3. 突き固め30回	3. 飽和	3. 2回転/sec
	4. できるだけ固めた砂		

上記のようにナンバーをつけたが、密度および含水量はそのつど実験ナンバーにそえる。たとえば、No. 2121というナンバーがあれば、0.6~1.2 mmの砂の突き固めなしで、湿潤状態で速度は半回転/secということである。もっとも、貫入速度はすべて半回転/secで行なったため最後の数字はすべて1である。

3. 実験結果とその解析

貫入試験の際、発生する砂の音をマイクに録音したがその音は

- (i) 直接、耳による聴取
- (ii) ブラウン管オシロ グラフによる観察

- (iii) 音の大きさの解析
- (iv) サウンド・スペクトロ グラフによる解析等によって考察した。

(1) 録音テープより砂の破壊時の音を耳で直接聞いた時の考察

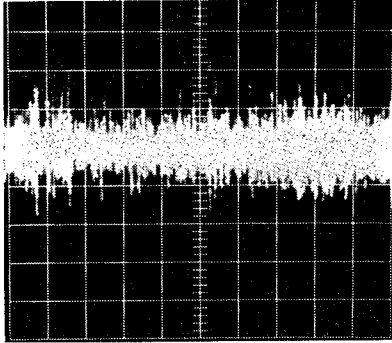
われわれが砂構造の破壊音を耳で直接きくことは、その音はどのような物体がどのような動きをする時に出す音であるかを、われわれの経験から判断することができて非常に有用であった。その結果からは、以下述べる他の種々の解析方法より、多くの知識が得られたと思うが、その内容を明解に記述することは困難である。

貫入棒が砂中に入っていく時は、砂粒と砂粒同志がすべりあう音の重なりのようなザーザーという音が聞こえる。砂によっては、貫入量により、明らかに振動数が高くなっていくのがわかる。また、砂の粒径および密度、含水量によっても、音が変わるのがわかる。粒径が大きい方がいくぶん音のエネルギーが大きくなるのではないかと思われる。逆に粒径の非常に小さい砂では破壊音を記録することが不可能なほど、音が発生しにくかった。また、密度が高くなり、含水量が少なくなる方が、音のエネルギーが大きくなるのではないか。これらのことは、すべて耳で聞いたことより感じたことなので、数量的には表わすことはできないが、非常に興味深いことと思う。実際、数量的に解析した時も、このような傾向が出てくる。貫入棒の貫入を止めた後も砂のすべる音が、ポツリ、ポツリと聞こえる。この音は10秒から15秒、長い時には、20秒間ぐらい続くことがある。これは、砂のクリープの音であろう。この音を聞くと、貫入棒を貫入している時のザーという音は、クリープの音の集まりのように聞える。このことから、砂のクリープとすべり破壊という現象は、酷似した音を出し、同じ性質のものではないかと考えられる。また、定常貫入の場合のザーという音もよく聞くと不連続音の集まりであって、砂の「すべり」は連続的に起こるものではなく、すべり、停止の繰り返しではないかということが感じられた。その繰り返しの間隔は、本実験では1/10秒オーダーの非常に短いものであった。また、砂粒がすべるといっても、音から判断すると粒はすべるより瞬間的にはじけ飛ぶ感じの動きをしているのではないかと想像される場合も多い。

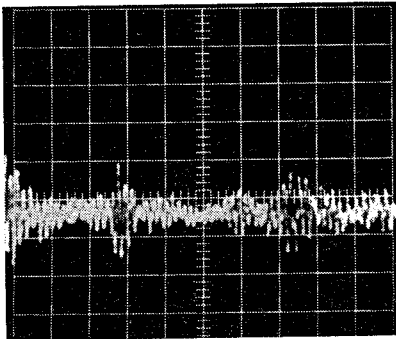
(2) ブラウン管オシログラフによる観察

写真1~4は破壊音をブラウン管オシログラフ上に記録させ撮影したものである。したがって、横軸は時間、縦軸は音の強さを示している。

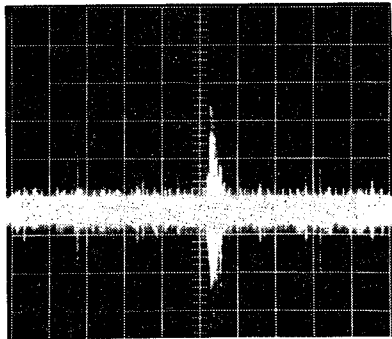
写真1は定常的に貫入棒を砂中に押し込んで行な



写真一 定常貫入時の破壊音
縦軸：音の強さ
横軸：時間，1目盛 1/10 秒



写真二 定常貫入時の破壊音
縦軸：音の強さ
横軸：時間，1目盛 1/100 秒

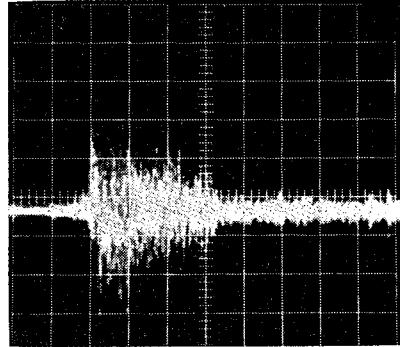


写真三 定常貫入時に時々生じる大きいすべり
縦軸：音の強さ
横軸：時間，1目盛 1 秒

た場合、音もほぼ定常的に出ている。しかし、くわしく見ると針のような音のピークが連らなっているのがわかる。これは砂のすべりが不連続、つまりザザッ、ザザッとすべっていくことを示している。

写真二は写真一と同様な定常貫入の場合であるが、時間軸をのばして針の山をくわしく見たのが本写真である。

写真三は定常的に貫入して行く場合にも、写真一に見られるような細かな不連続性と異なり、本写真に見られるような局所的に大きい「すべり」も見受けられた。



写真四 非常貫入後のクリープによる音
縦軸：音の強さ
横軸：時間，1目盛 1/10 秒

写真四は貫入停止後、クリープが生じている間の音を示している。写真が不鮮明であるため詳細にはわからないが、一回転貫入後時間とともに、砂がすべる針の山の間隔が長くなっていくように思われる。このことから、クリープも結局は砂の構造が破壊して砂粒子がすべっている現象であることがわかる。

(3) 音の大きさの解析

テープレコーダーに録音した音をシンクロスコープに入れて写真を取り、写真の波高により、音の大きさを解析した。500 Hz の発振音を検定用として、あらかじめ録音しておき、この発振音が常に一定の波高（6 mV）になるようテープレコーダー、シンクロスコープをセットした。写真から波高を判別するについては、一つ一つの波について波高を測ることは非常に困難なので、写真を6等分（写真1枚は1秒間）し、その1区間の最大波高を取り、その結果、1枚の写真から6個の最大波高が得られるが、そのうち最大と最小を除き、残り4個の平均値をその写真の波高とした。

また、音の大きさは高さの場合と違って、雑音による影響が非常に大きいこともあり、音の高さの場合ほど、まとまった結果は得にくいと思われる。これは、実験室のまわりの雑音の振動数はほとんど砂の音と関係ないぐらいに低いが、ときたま振幅が大きいものが入るためである。このため実験は全部深夜、雑音の少ない時を選んでやった。また、写真を取る際に、この雑音（50 Hz）の音を消すため、テープレコーダーとブラウン管の間にフィルターを入れ、低周波数の部分をカットした。

(4) サウンド・スペクトロ グラフによる解析（振動数の分析）

音は振動現象であるから、音に含まれている振動数、波形等を調べるのが普通に用いられる方法であろう。そのためには、周知のようにサウンド・スペクトログラフ

(ソノグラフともいう)を用いる。これは人間の音声进行分析するのによく使われ「声紋」といって、「指紋」同様個人に特有なものであるが、これを作るのに必要な分析器である。

砂の破壊音の「声紋」を作り、破壊の形式によってその「声紋」が異なっていれば、砂の破壊が複雑な場合にも、その複雑な破壊音の「声紋」を作って、それぞれの典型的破壊形式の「声紋」とくらべることでより複雑な破壊の性状が明らかになると思った。結果的にいって現在のところ、貫入破壊による「声紋」もクリープによるそれも、大して異なっているようには見えず、前述の破壊形式による声紋の分類の試みは行き詰っている。しかしながら、このことは逆にいえば、貫入破壊もクリープ破壊もミクロ的に見た砂粒子の挙動は全く同様の事柄すなわち、「すべり」であって、したがってそこから出て来る音も同一なのではなかろうか。

サウンド・スペクトロ グラフにより二種類のグラフを得ることができた。一つはパターンと呼ばれるもので、いま一つはセクションと呼ばれるものである。

前者は縦軸が振動数、横軸が時間となっており、1枚のグラフに採取できる時間は数秒間である。これは、音の振動数分布が時間とともにどのように変化するかを示すものであって、振動数成分の強弱はグラフ上には濃淡として表わされる。図-5 はパターンの一例で定期的貫入の際の破壊音であるが、時間とともに濃淡が変化しており、これまた砂が不連続的にすべっていることを示すものであろう。

セクションは、パターンの時間軸上の数点における一瞬間の音の振動数分布をグラフ化したものであって、この場合は振動数成分の強弱は濃淡ではなく、横方向への長さで与えられる。つまり、縦軸が振動数、横軸が振動数成分の強さである(図-6 参照)。

パターンは、一瞬間の音でなく、数秒間の音をグラフ上に表わせるので、全体的な傾向を見るのには都合が良

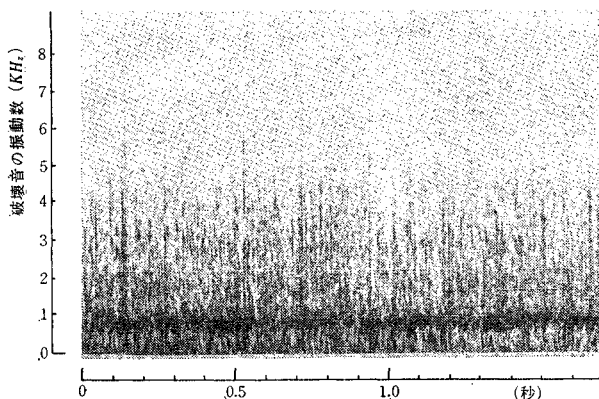


図-5 破壊音スペクトル (パターン) の例

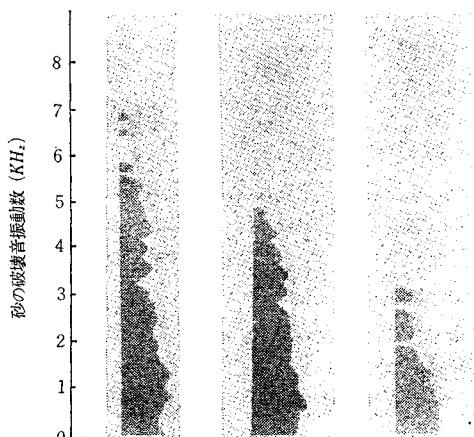


図-6 破壊音スペクトル (セクション) の例

いが、数値的解析にははなはだ不便である。よって、以下の数値的解析はすべてセクションのグラフによったものである。ただセクションは、パターンの全く任意のクー断面を取ったもの(1枚のパターンから4~5個のセクショングラフが得られる)であるから、同じパターングラフから取ったセクショングラフでも、その一つ一つは相当異なった場合があり、ある程度、データの取捨選択はしたものの全体の実験結果に何らかの支障を与えていることはあり得ることであろう。

つぎにセクショングラフからの数値的解析をどのように行なったか説明する。セクショングラフが数値解析に便利だとはいうものの、それはパターンのグラフとくらべた場合であって、セクショングラフも相当に凹凸が激しく、定量的解析にははなはだ困難であった。それで、つぎのような方法で解析を行なった。図-7 に示すようにグラフの大体の包絡線を描き、その包絡線の下から1cmごとに横軸の目盛を計り、それを折れ線グラフに表わした。また一番密度の高い周波数の位置でも別にそれははかりグラフ上に書き入れた。

またグラフの上部において音がなくなる付近はつぎのようにした。グラフの傾きが滑らかな場合は、問題はないが、音が急に切れている場合、その頂点が目盛(1cmごと)の中間以上に頭を出している場合は上の目盛において0としそれより小さい場合は下

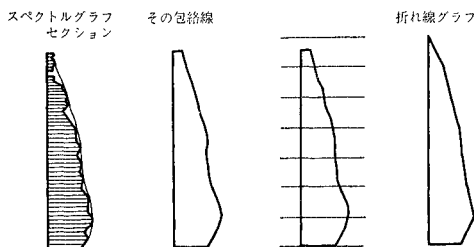


図-7 スペクトル曲線の簡単化

の目盛において0とした。

以上のようにしてセクション グラフを解析に便利なグラフに書きかえた。

そして、スペクトル グラフ から各実験ごとの最高周波数を砂の粒径、密度、貫入量および含水率について比較した。また最高周波数だけでは全体的な音の傾向の変化を求めることが困難なので、同様に、各実験ごとのスペクトル グラフを簡略化したグラフから、重心点をとり、その振動を比較した。

破壊音スペクトルに明瞭に卓越した振動数成分のピークが認められれば、それがこの砂粒子系のその応力状態における固有振動数であるとしてその固有振動数を一つの目安として検討できたと思われるが、図-6の例からもわかるように際立ったピークというものは残念ながら見受けられなかった。したがって、本研究では、最高周波数とスペクトル重心を音の振動数の高低をはかる尺度とした。

4. 解析結果とその考察

以上述べた種々の方法によって、砂の骨組破壊時の音を解析したわけであるが、その結果を考察して行きたい。

(1) 音の大きさと砂の密度の関係

図-8に示したのが、砂密度と音の振幅の関係であるがデータのバラツキが激しいにしても砂の密度が大きくなると破壊音も大きくなることが認められる。これは砂粒子のすべるに要するエネルギーと関係のあることであるが、砂の密度が大きくなって粒子間の接触が密になれば、粒がすべるために必要な力ないしはエネルギーは高くなるのが当然であるから、図-8の結果はうなづけるところであろう。しかしながら、音のエネルギーは振幅と振動数の両者によって定まることは周知の事柄であり砂粒をすべらせるに要するエネルギーを高めるためには音の振幅が大きくなるのか、振動数が高くなるのかを知

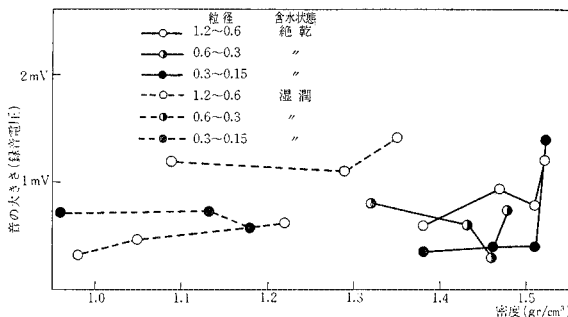


図-8 砂密度と音の大きさの関係

ることは興味のあることである。

(2) 音の大きさと砂の含水率の関係

図-9は音の大きさと含水率の関係を示したものであるが、この場合には、データのバラツキがひどすぎて何とも結論は出せなかった。ただ、同じ粒径の砂について絶乾、湿潤および飽和の含水状態が違うというだけでなく、密度がかなり違っていることが、実験結果に影響していると思われる。このことは、ある粒径の砂を一様に湿らした状態でモールドに収めるということがむずかしく、また、モールドに入れてから密度を増すために、突き固めるのであるが、見かけの粘着力が大きいので、突き固めた穴がそのまま残るというようなことになるために、密度を合わせるができなかったものである。

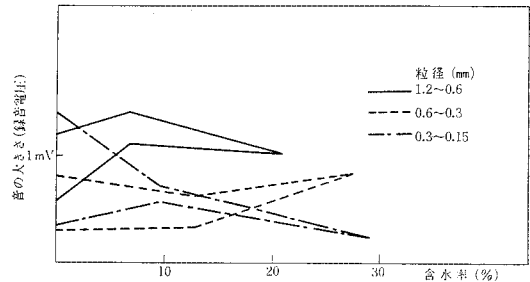


図-9 砂の含水率と音の大きさの関係

(3) 音の振動数と砂の密度の関係

図-10は砂の密度のみを変えた場合のスペクトルの変化の様態を示しているが、密度が大となるにしたがい破壊音の高周波数成分の増えることがわかる。破壊音の最高振動数と砂密度の関係を図示したのが、図-11である。破壊音は砂の粒径、含水率にはほとんど無関係に密度が大きくなると振動数が高くなることが知られる。これは、砂の密度と破壊音の振幅との関係の項でも述べたように、はなはだ常識的な結果であって、砂密度が大きくなれば、砂粒子のすべるに要するエネルギーが大きくなるという結果にすぎない。ただ、音のエネルギーを

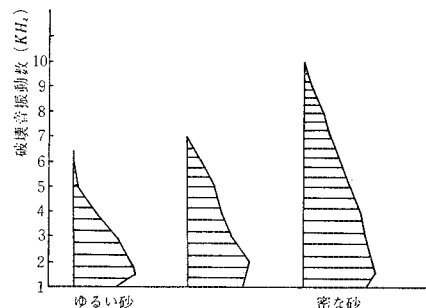


図-10 砂密度を変えた場合の破壊音スペクトルの変化

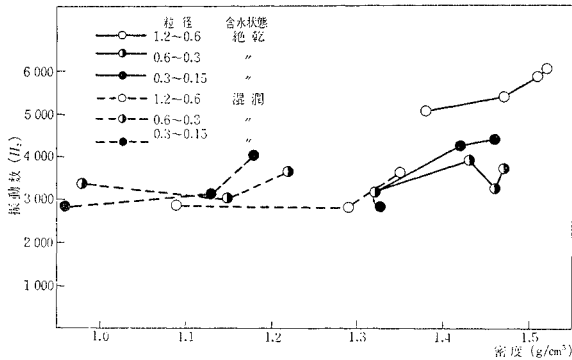


図-11 砂の密度と破壊音の最高振動数の関係

定める二種の量，振幅と振動数のうちどちらが，砂の破壊音の場合エネルギー増大に，より大きく寄与しているかは，図-8，図-11を比較して見ればわかるように振動数の方がより関係しているのではなからうか。

つまり，砂が密につまると，すべる時には大きな音を出すというよりむしろ高い音を出すといえる。

4. 音の振動数と含水率の関係

図-12に含水率と破壊音スペクトルにおける最高振動数の関係を示してあるが，6個の実験結果のうち，4個までが含水量が多くなると周波数が低くなり，残る2個も絶対乾状態よりはる程度湿らした方が低くなっている。

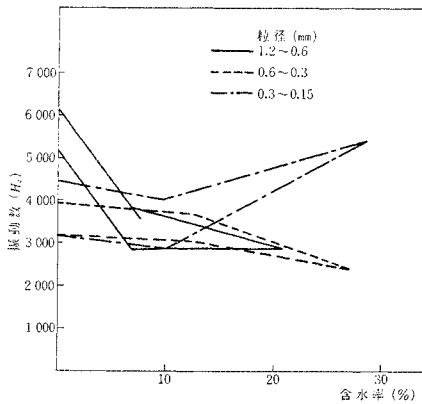


図-12 砂の含水率と破壊音の最高振動数の関係

実験データも少なくバラツキも大きい，水分を含んだ砂の破壊音は完全乾燥の砂のそれよりも周波数が低くなるとはいえそうである。これは，砂の粒子が湿っている場合，すべるに要するエネルギーが少なくすべりやすいという結論を導く。

本実験の場合，問げき水圧の影響は考えなくともよいため，砂粒の表面が濡れると摩擦係数が小さくなるという簡単なことが起こるのではなからうか。

5. 貫入量と音の大きさの関係

今まで考察してきた音の大きさまたは振動数と砂の密度の関係から，貫入試験を行なって行くと貫入棒先端付近の砂の密度が大きくなり，したがって破壊音も高く大きくなるのではないかと想像される。それをたしかめるため，1個の貫入実験を通じて貫入量とその時の破壊音を記録しておき，その関係を図示したものが図-13~14である。これらの図によると，貫入量と音の大きさに何の関係の無い場合と貫入量が増すにつれて音が大きくなる場合とがあることがわかる。ただ貫入して行くと明らかに音が小さくなるという例はなかった。もともと前にも述べたように砂の密度と音の大きさの間には大した相関が認められなかったのであるから(図-8参照)貫入量と音の大きさの間にも大した相関は認められなくて当然であろう。

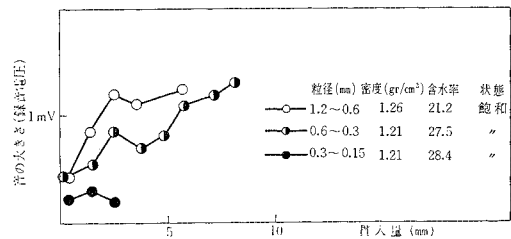


図-13 貫入量と音の大きさの関係

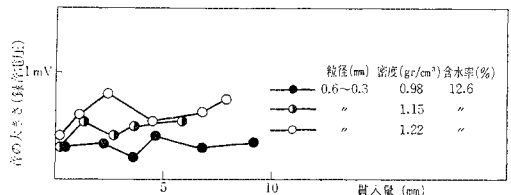


図-14 貫入量と音の大きさの関係

6. 貫入量と音の振動数の関係

図-15~16に示してあるように，貫入がすすむと，ゆる詰めめの砂では破壊音の振動数が徐々に高くなり，密な砂では乾燥砂の場合一度振動数が下がり，後に上がるといった傾向を見せている。湿潤砂の場合は，振動数が徐々に上がりながら最高点に達し，後に下がるという傾向である。この傾向は，音の大きさが貫入量と余りたいた相関を示していない現在，破壊音エネルギーがこのような傾向を持っているともいえる。

モールドに砂をつめて貫入棒を砂中に貫入させるということは，砂と貫入棒の間では，せん断が起こるが，貫入棒の真下は，砂の圧縮が起こる。実験は，貫入棒の

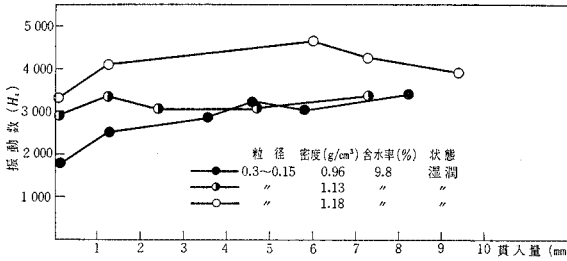


図-15 貫入量と破壊音の振動数の関係

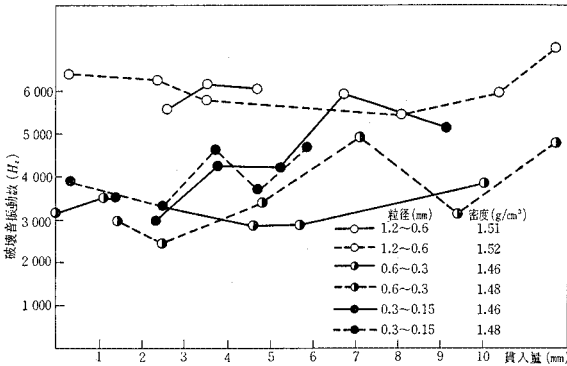
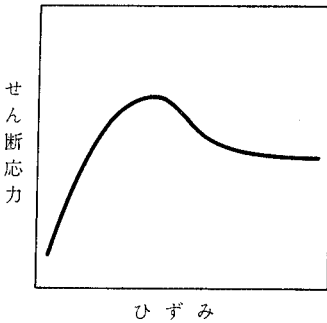
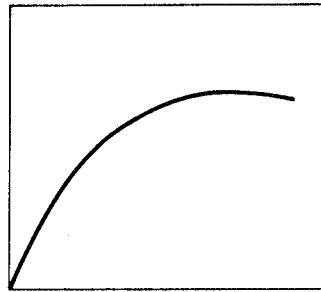


図-16 貫入量と破壊音の振動数の関係



ひずみ

図-17 砂のせん断応力～ひずみ関係モデル曲線 (密度大な場合)



ひずみ

図-18 砂のせん断応力～ひずみ関係モデル曲線 (密度小な場合)

応力が、前に述べたようにはかれなかったために、実際には応力と砂のくずれる音の大きさおよび振動数の関係が、全然、わからなかった。土のせん断による資料²⁾によると、応力ひずみ曲線が、密な砂では図-17のようになり、比較的小さいひずみにおいて最大せん断応力が現われ、またゆるい砂では図-18のようになり、比較的大きいひずみにおいて、最大せん断応力が現われる。

このことを考えると貫入棒の貫入量(ひずみ)を増すにつれて、音の振動数および大きさが密な砂では、図-15のように変化し、ゆるい砂では、図-16のように変化するのではないかと考えられる。このことを実験結果に照らし合わせて見たが、実験のパラツキが

多く、はっきりとは把握できなかった。ただ全体として、ゆるい砂は貫入量とともに、振動数および大きさは徐々に増大する傾向にあり、密な砂では、絶乾砂の場合、一応振動数が下がり後に上がるというような傾向を見せている。湿潤砂の場合は、振動数が徐々に上がりながら、最高点に達した後下がるという傾向を見せている。これは砂のダイラタンシーのせいではないかと思われる。

5. む す び

本研究は砂の骨組構造のミクロ的破壊機構を知るための一手段として、破壊時に発生する音を利用できないか調査したものであるが、その結果、つぎのような破壊音の性質がわかった。

実用の面に関しては、今後に残された課題であると思っている。

(i) すべての砂とも、粒径、絶乾、湿潤、飽和状態にかかわらず、密度が大きくなると振動数は高くなる。砂によっては、最高 6000 Hz 出ている。また、音の大きさも大きくなる。

このことを考えると、結局、密度が増すと砂の出す音のエネルギーが高くなるということであるから、密度の高い砂は、密度の低い砂より、砂粒子と砂粒子がすべりにくく、ゆるい砂にくらべ、より大きな力でなければすべらないので、音のエネルギーが高くなって来るのであると考えられる。

(ii) 砂の粒径が小さいほど、破壊音は小さくなり、ついにはとらえ得なくなってしまう。

(iii) 砂の含水率が大きくなると破壊音の振動数は低くなる傾向にある。

(iv) 砂の構造破壊時に出す音を耳で聴くことにより、砂のすべり破壊は一瞬間に完了するものではなく、不連続なすべりが継続して生じるものであると思われた。

(v) 砂のすべりであれクリープであれ砂粒が相互にずれるという現象は同程度に起こるのではなからうか。

本研究は、東京工業大学精密工学研究所 奥島助教授ならびに同研究室の諸兄に負うところが大きい。ここに謝意を表したい。

なお、文部省科学研究費の援助を受けたことを付記して感謝する。

参 考 文 献

1) 土質工学会：土質工学ハンドブック，p. 174.