

海底底質の摩擦音圧レベルと粒径分布の関係について

Relationship between frictional sound pressure and grain size distribution of seafloor soil

間庭愛信*・北村良介**・長濱正健***

Y. Maniwa, R. Kitamura, M. Nagahama

The exploration on seafloor soil is one of the first things to be carried out when the construction is planned and performed offshore. The data on the grain size distribution obtained by the exploration are important to identify the mechanical properties of seafloor soil. In this paper an acoustic method to obtain the grain size distribution of seafloor soil is shown, where the ultrasonic transducers are used to acquire the frictional sound pressure generated between soil and sledge. Then, the empirical relationship between frictional sound pressure and grain size distribution is proposed. The grain size distribution is calculated by the empirical relation based on the assumption that the grain size distribution may be the logarithmic normal distribution.

1. まえがき

海底資源開発、沿岸域での海洋土木事業の計画、施工段階において最初に行なわなければならない作業が海底地盤調査である。海洋での地盤調査は陸上と比べると作業が困難であり、高価なものとなる。間庭らは海底地盤表面を構成する底質材料の粒径分布を安価に求めるため、底質材料の音響特性を利用した手法の開発を行なってきた^{1)、2)}。本論文では、従来の研究を発展させ、海底底質材料の粒度分布が対数正規分布に従うものとし、超音波振動子を搭載した曳航体と模型地盤との間で発生する摩擦音の音圧レベルを各%通過粒径と実験的に関係づけ、音圧レベルを測定することによって海底底質材料の粒度分布を求める手法の提案を行なっている。

2. 実験装置、試料、手順

図-1は実験装置全体の概略を示している。幅41.5 cm、高さ45 cm、長さ267 cmの木製の水槽の中に幅30 cm、高さ30 cm、長さ180 cmの模型地盤をセットしている。模型地盤上を図-2に示すような超音波振動子（受波器）を搭載した曳航体をモータによって一定速度(0.12 m/sec.)で曳航する。その際に生じる特定の周波数の摩擦音の音圧レベルを超音波振動子によって測定し、パーソナル・コンピュータによって記録する。

図-2に示す超音波振動子は中心周波数がそれぞれ30 kHz、50 kHz、75 kHzの受波器であり、それらの振動子を搭載変えて、曳航することにより各周波数の音圧レベルを測定する。曳航体の底面には摩擦

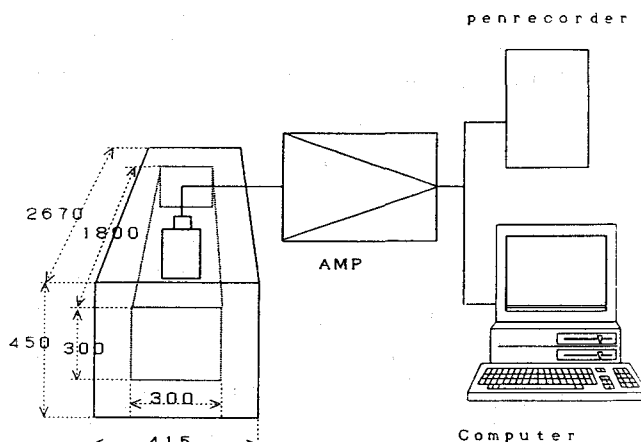


図-1 実験装置全体の概略図

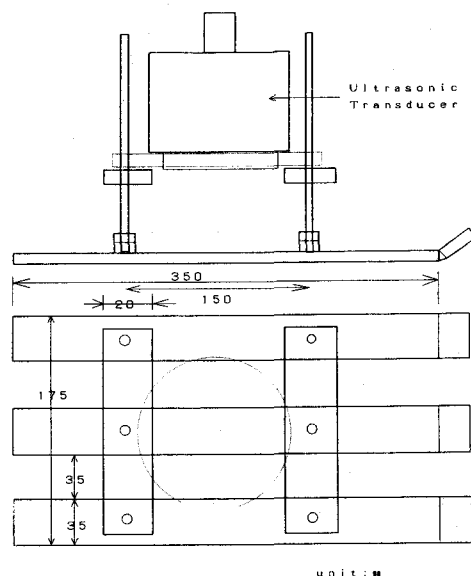


図-2 超音波振動子を搭載した曳航体

* 正会員 元鹿児島大学、

** 正会員 鹿児島大学工学部海洋土木工学科（〒890鹿児島市郡元1-21-40）、

*** 日本道路公団（元鹿児島大学大学院）

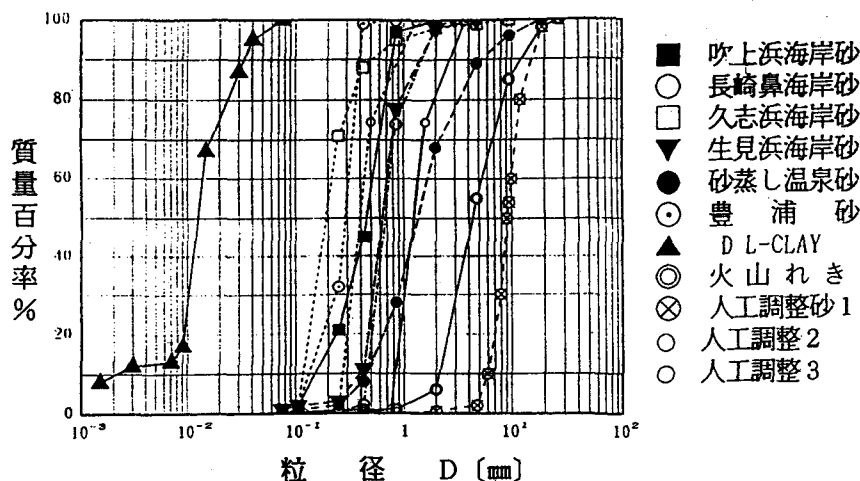


図-3 試料の粒径加積曲線

音が発生しやすいように木工用のやすりを取付けている。振動子を載せた曳航体の総重量は3700~5150 gfであり、接地圧は10~14 gf/cm²となっている。

一方、予め模型地盤に使用した試料の粒度試験を行ない、粒径分布を求めておく。図-3は実験をおこなった試料の粒径分布を示している。吹上浜砂、久志浜砂、長崎鼻砂、生見浜砂、砂蒸温泉砂は鹿児島県薩摩半島の海岸から採取した試料であり、火山れきは桜島から採取した試料である。豊浦砂、D Lクレイは市販の試料である。人工調整砂1は碎石を用い、 $D_{80}=12\text{ mm}$ 、 $D_{60}=10\text{ mm}$ 、 U_c (均等係数) = 2.4となるようにしたものである。人工調整砂2、3は図-3に示すように長崎鼻砂の粒径加積曲線をそれぞれ左右に平行移動した試料である。

図-4は実験手順を示したフローチャートである。本論文では超音波振動子を用いた実験のみを行っており、水中マイクロフォンを使用した実験は含まれていない。ここに提案する研究手法は図に示すように試料と曳航体との間で発生する摩擦音圧レベルと試料の粒径分布との関係を実験的に明らかにしようとするものである。

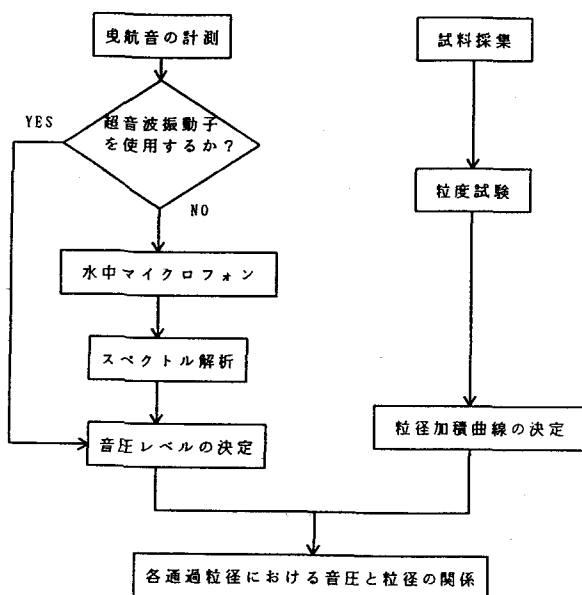


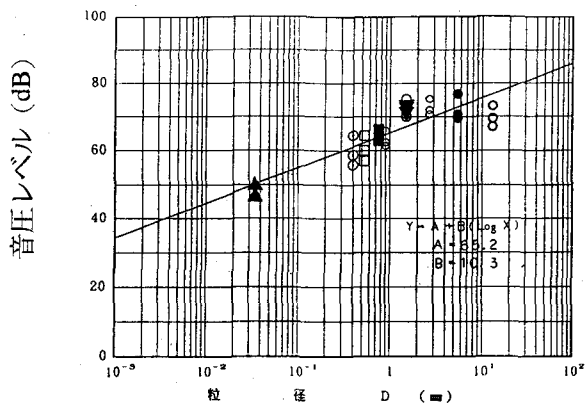
図-4 実験手法を示したフローチャート

3. 実験結果と考察

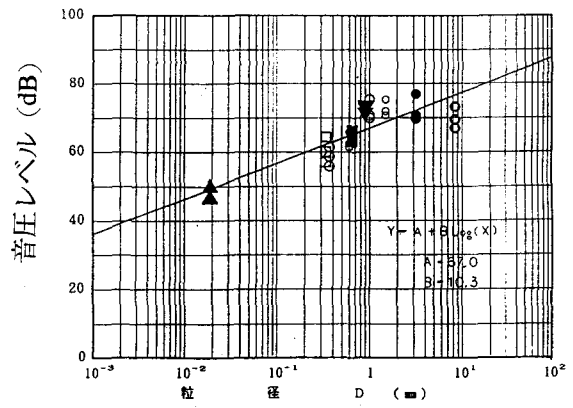
図-5は各試料における音圧レベルと各通過粒径との関係を示している。同じ粒径に対してプロットが3つあるのは3つの超音波振動子による測定結果と対応している。実験結果より音圧レベルと各通過粒径の間には片対数紙上で線形な関係が存在することがわかる。そこで、これらのデータをもとに次式で示される回帰直線の回帰係数を求めた。

$$y = A + B \log(x) \quad (1)$$

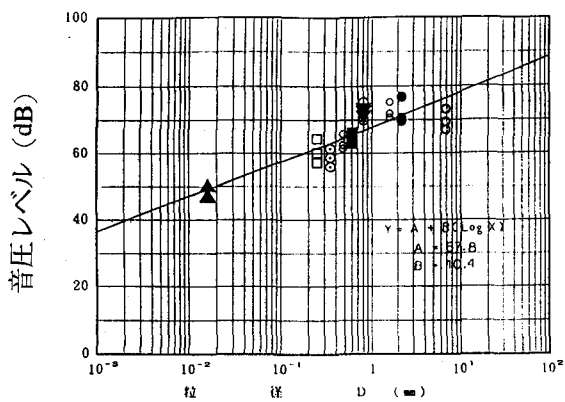
ここに、 y ; 音圧レベル (dB)、
 x ; 通過粒径 (mm)、
 A ; $x = 1\text{ mm}$ での y の値、
 B ; 回帰直線の傾き。



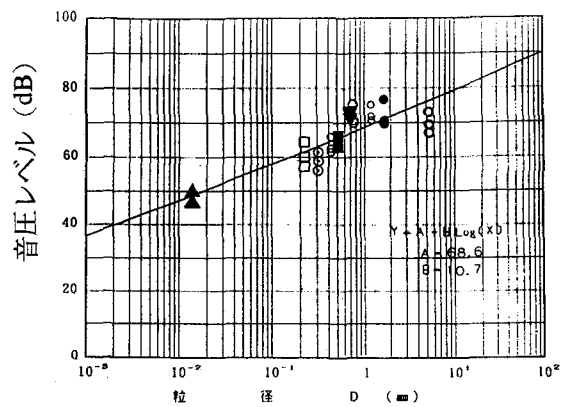
(a) D_{90}



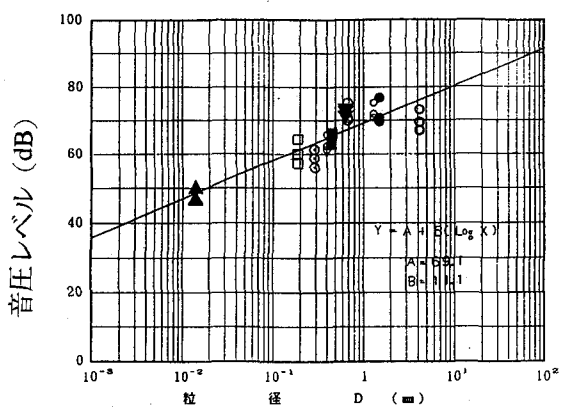
(b) D_{80}



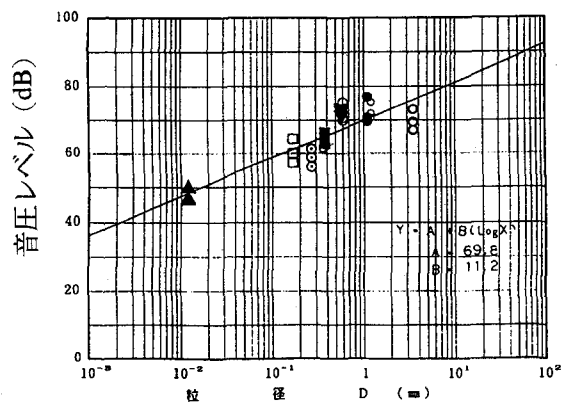
(c) D_{70}



(d) D_{60}



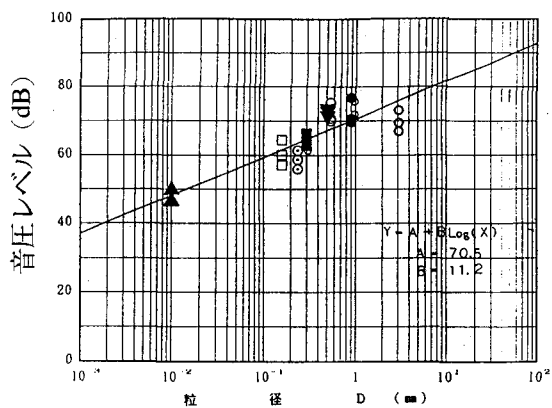
(e) D_{50}



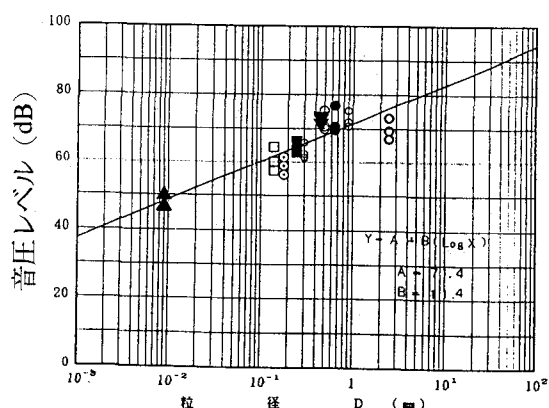
(f) D_{40}

■:吹上 □:久志 ○:長崎鼻 ▼:生見 ●:砂蒸 ◎:火山レキ
 ⊙:豊浦砂 ▲:DLクレー ○:人工調整2, 3

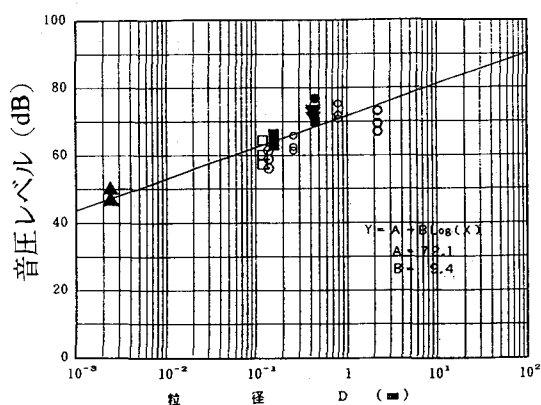
図-5 各試料の音圧レベルと通過粒径の関係



(g) D_{30}



(h) D_{20}



(i) D_{10}

■:吹上 □:久志 ○:長崎県 ▼:生見 ●:砂蒸 ◎:火山レキ
○:豊浦砂 ▲:DLクレー ○:人工調整 2, 3

図-5 各試料の音圧レベルと通過粒径の関係
(つづき)

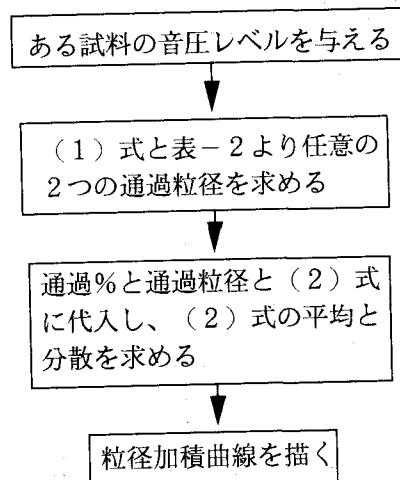


図-6 逆算の手順を示したフローチャート

図-5、および、表-1に各通過粒径に対する回帰係数A, Bの値が示されている。図-5、表-1より各通過粒径について回帰直線の傾きがほとんど一定であることより、傾きBを一定(=10.7)としたときのAの回帰値を求めた。それらの値が表-2に示されている。表-2よりAの値は通過の割合(%)が大きくなるほど小さくなっていることがわかる。Aの値は粒径が1 mmに対応する音圧レベルであり、例えば、同じ粒径が10%通過粒径の場合(粗い)は、90%通過粒径に対応する試料(細かい)より音圧レベルが高いことを表-1、2の結果は意味している。

ところで、粒径分布が次式で示す対数正規分布に従うものとする、粒径分布の具体的な形は平均と分散という2つのパラメータによって決まることがわかる。

表-1 音圧レベルと通過粒径の回帰係数の値

通過粒径	D ₉₀	D ₈₀	D ₇₀	D ₆₀	D ₅₀	D ₄₀	D ₃₀	D ₂₀	D ₁₀
A	65.2	67.0	67.8	68.6	69.1	69.8	70.5	71.4	72.1
B	10.3	10.3	10.4	10.7	11.1	11.2	11.2	11.4	9.4

表-2 回帰直線の傾きを一定としたときの回帰係数の値

通過粒径	D ₉₀	D ₈₀	D ₇₀	D ₆₀	D ₅₀	D ₄₀	D ₃₀	D ₂₀	D ₁₀
A	65.1	67.0	67.8	68.6	69.0	69.6	70.3	71.1	72.5
B	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7

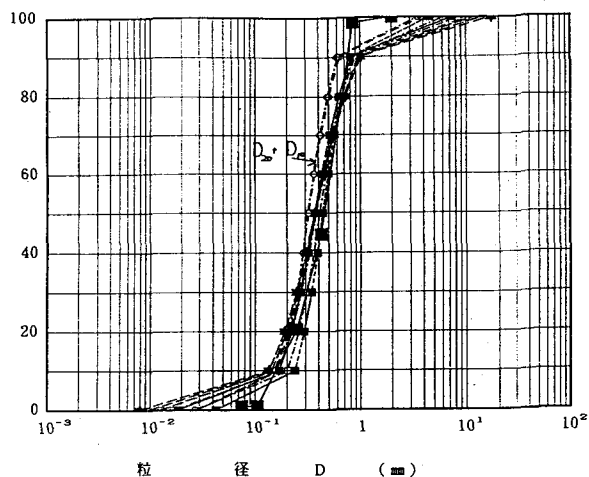
$$f(x) = \frac{1}{\xi x \sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left[-\frac{(\log x - \lambda)^2}{2\xi^2} \right] \quad (2)$$

ここに、x；粒径（mm）、
λ；log xの平均、
ξ；log xの分散。

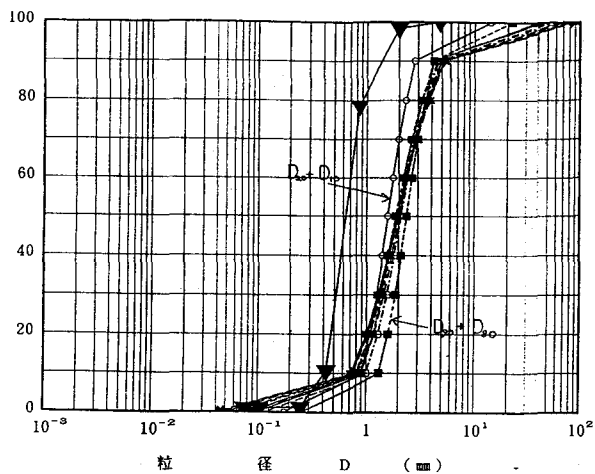
すなわち、表-2の中から2つの通過粒径に対する回帰式を抽出し、対数正規分布を表す式（2）を使えばある試料の音圧レベルから粒径分布を決定することができる。図-6はその手順を示したフローチャートである。図-7はそのような手順で粒径分布を逆算した結果の例を示している。図-5に示した回帰直線上にある吹上浜砂の逆算結果は実際の粒径加積曲線とよい一致を示しているが、回帰直線から離れている生見浜砂の場合は実測の粒径加積曲線から離れている。このことは回帰直線が本手法においては重要な関係式となっていることを意味している。また、各試料についてD₉₀とD₈₀の組み合わせ、D₁₀とD₂₀の組み合わせ以外はほぼ同様の粒径加積曲線が描かれており、10、20、80、90%通過粒径を除く2つの通過粒径の組み合わせを採用すればよいことを示している。間庭ら^{1)、2)}は音圧レベルの特性を示す指標として従来からD₈₀とD₆₀を用いてきており、図-7の結果はこのことが妥当であったことを示している。

3. あとがき

海底底質の音響特性を利用して底質材料の粒径分布を同定する手法の提案を行ない、室内模型地盤での若干の実験よりその妥当性の検討を加えた。そして、提案した手法が見込のあることを明らかにしたが、本手法の精度を左右するのは（1）式で示した回帰式であ



(a) 吹上浜砂



(b) 生見浜砂

- D₉₀とD₈₀、D₈₀とD₇₀、D₇₀とD₆₀の組み合わせ
- D₆₀とD₅₀、D₅₀とD₄₀、D₄₀とD₃₀の組み合わせ
- × D₃₀とD₂₀、D₂₀とD₁₀の組み合わせ
- ▲ D₉₀とD₈₀、D₈₀とD₇₀の組み合わせ
- ▼ D₆₀とD₅₀、D₅₀とD₄₀の組み合わせ
- D₃₀とD₂₀の組み合わせ
- D₉₀とD₈₀、D₈₀とD₇₀の組み合わせ

図-7 実測の粒径加積曲線と逆算によって求めた粒径加積曲線の比較

る。この関係を演繹的（理論的）手法、帰納的（実験的）手法、両手法から根拠のあるものとしなければならない。また、実用化のためには船を利用した実際の海底地盤での現地実験が必要である。

ところで、海底底質の音響特性と間隙比の関係も興味のある研究対象であるが、海底底質表面は波浪による繰り返し载荷を受けており、間隙比はある粒径分布を有する底質材料に対してはかなり密な状態で、固有な値となっているものと推定される。このことを明らかにするためには超低応力状態での繰り返し载荷試験を今後行なわなければならない。

参考文献

- 1) 間庭愛信、金丸和生；音響による海底底質判別法の研究、電子情報通信学会、US88-22, pp.23-30, 1988.
- 2) 間庭愛信、北村良介、長濱正健；音響による海底底質判別法に関する一考察、第18回海洋開発シンポジウム論文集、Vol.9, pp.107-110, 1993.