

# 海底ヘドロ浚渫機の掘削性能実験 (第1報)

## —垂直スクリュコンベアによる浚渫の予備実験—

斎藤 二郎      羽生田 吉也  
松尾 龍之      大石 守夫

### Performance Test on Dredging Machine for Undersea Soil (Part 1) —Preliminary Experiment on Dredging Using Vertical Screw Conveyor—

Jiro Saito      Yoshinari Hanyuda  
Tatsuyuki Matsuo      Morio Oishi

#### Abstract

In recent years, development of industry has been so rapid that huge quantities of untreated wastes have been left to stir up the serious social problems of environmental pollution. Especially, in case harmful substances such as PCB and mercury are contained in the waste liquid from chemical plants and paper mills and these are accumulated at the seabottom or riverbeds, they are cycled into human bodies through consumption of fish and shellfish. A preliminary experiment was conducted as the first stage of a series of tests with the aim of developing a dredge with which these harmful bottom soils or so-called harmful Hedoro could be collected preserving high density and without diffusion. The mechanism of the dredge used in the experiment is that of a spiral screw setted in a pipe, just as a screw conveyor standing vertically. So we named this vertical screw conveyor.

#### 概 要

近年、わが国の急速な産業の発展は、その結果として膨大な廃棄物を無処理のまま放置してきており、環境汚染という大きな社会問題をひきおこしている。特に化学工場、製紙工場等からの廃液のうち、PCB、水銀などの有害物質を含んだものが海底や河底に蓄積している場合は魚貝類を通じて人体にはいつてくるので重大である。本実験は、この有害な底質土、いわゆる有害ヘドロを、拡散しないでかつ高濃度で回収できる浚渫機を開発する目的で計画された一連の実験の第一段階として行なわれたものである。機械はらせん状のスクリュがパイプの内に入っている機構で、丁度スクリュコンベアを垂直にした形状のものを使用している。そこで、これを垂直スクリュコンベアと称する。

#### 1. まえがき

従来のヘドロの除去方法として、ポンプサクシオン方式のしゅんせつ、クラムシェルによるしゅんせつが一般的であるが、底質の拡散や処分地からの有害物質の流出等による二次汚染を発生させる恐れがある為に実際の工事に着手できないのが現状である。二次公害を起こすことなく、ヘドロを高濃度でしゅんせつできる機械の開発が急がれている。

本予備実験は、このような社会的要請のもとに、新しい海底ヘドロ浚渫機を開発する目的で行なわれた。スクリュコンベアの原理は西暦201年頃アルギメデス

により発見されて以来、かんがいや、オランダの低湿地の排水に用いられているもので、日本では江戸時代に佐渡の金鉱で用いられたのが最初である。ところでこのようなスクリュコンベアはその据付角度が30°前後で使用され、回転数も低い範囲で設計製作されている。このスクリュコンベアを垂直に据付けて、スクリュ周囲のケーシングをパイプにして、200~500rpmの比較的高速でスクリュを回転させることにより、ヘドロを搬出できる機構を考えた。この浚渫機について、各種性能実験をかさねたが、本文以下はこれを中心にとまとめたものである。

## 2. 実験

### 2.1. 供試材料

実験で使用したヘドロは、東京都水道局の某浄水場の沈澱池に、浄水処理過程において堆積した沈澱汚泥である。これは真空脱水処理がされており、含水比  $w = 250 \sim 270\%$  の高含水比のものである。これを強制練ミキサにより、均一になるよう攪拌、混合して、この際に水を加えたり乾燥させたりして、 $200 \sim 400\%$  の含水比の試料に作った。

粒度試験結果で得た粒径加積曲線を図示した。(図-1 参照) この曲率係数1.006, 均等係数は1.727であった。またヘドロの土質工学的性状を表-1 に示す。

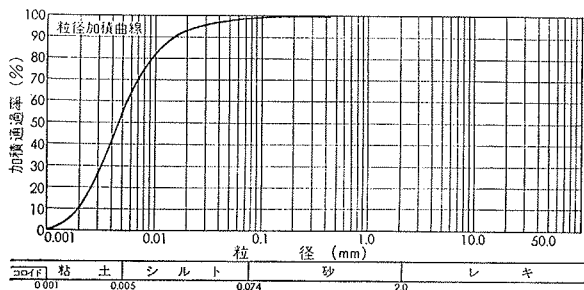


図-1 粒径加積曲線

| 土質試験項目  |          | 試験値      |       |
|---------|----------|----------|-------|
| 物理特性    | 土粒子比重    | $G_s$    | 2.58  |
|         | 粒度組成     | レキ分 (%)  | 0     |
|         |          | 砂分 (%)   | 2.1   |
|         |          | シルト分 (%) | 45.0  |
| コンシステンシ | 粘土分 (%)  | 52.9     |       |
|         | 液性限界 (%) | $w_L$    | 106.2 |
|         | 塑性限界 (%) | $w_P$    | 69.2  |
|         | 塑性指数     | $I_P$    | 37    |

表-1 土質工学的性状

試料の粘性はファンネル粘度計 (500/500) を用いて計った。2000  $\mu$  のふるいを通したものを500cc 採って、その流出時間  $t_{sec}$  を3回計り、この平均値を出して funnel 粘度計と動粘度換算表により、まず動粘性係数  $\nu$  を求めた。更に、 $\mu = \nu \cdot \rho = \gamma_t \cdot \nu / g$  の関係より粘性係数  $\mu$  を得る。

ここで  $\gamma_t$ : ヘドロの湿潤単位体積重量

$\rho$ : ヘドロの密度

$g$ : 重力加速度

他に、攪拌羽根を試料内につけて、回転トルクより粘度を計る原理のB型粘度計を使って求めた。含水比  $w$  と粘性係数の関係を図-2 にしめす。  $w = 200\%$  前後になると、ファンネル粘度計では全く計測不可能で、B型粘度計で計ったものもパラツギがひどく、ここにはプロットしていない。

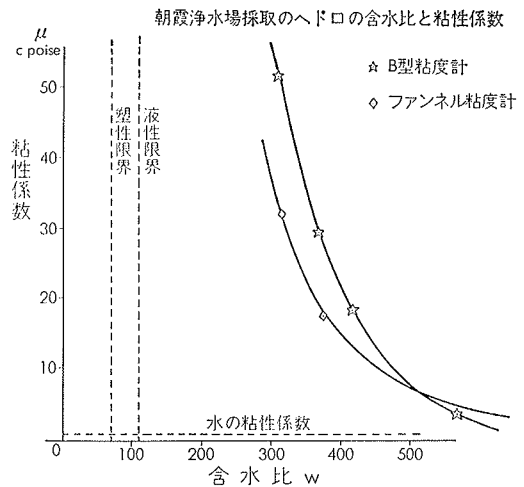


図-2 ヘドロの含水比-粘性係数

### 2.2. 測定項目と方法

実験機本体は、概ねスクリュ、ケーシングパイプ、ホッパ、シュート、回転駆動装置より成る。(図-3 参照) スクリュ外径120  $\phi$ , 長さ1844mmで、4種類の羽根角度  $\alpha$  のものを用意した。1種類の羽根角度  $\alpha$  のものについて、三段階にスクリュ回転数  $N$  を変えて、その条件におけるヘドロ吐出量  $Q'$  を量った。同一条件について3回計量して平均値をヘドロ搬出量  $Q$  (kg/min) とした。

モータを始動させてスクリュ回転数  $N$  を上昇させていくと、ある回転数を越えて初めてヘドロが吐出される。この回転数を臨界回転数  $N_{cr}$  と称する。

この  $N_{cr}$  に近い回転数で50r.p.m. の倍数になるような  $N_1 (N_1 > N_{cr})$  を決める。次に  $N_2, N_3 (N_3 > N_2 > N_1)$  をひきつづいて定めて、上述の三段階の  $N$  とした。

また、各条件における電力  $P$  (kW) を電力計によって計った。250rev/1 KWhのものを使ったので、計器内の円板回転数  $n = 10$  回転するのに要する時間  $t_{sec}$  を測って  $P$  kW 算出した。

含水比  $w$  が200%前後のヘドロについては、ホッパ内のヘドロ面が少々上下しても、搬

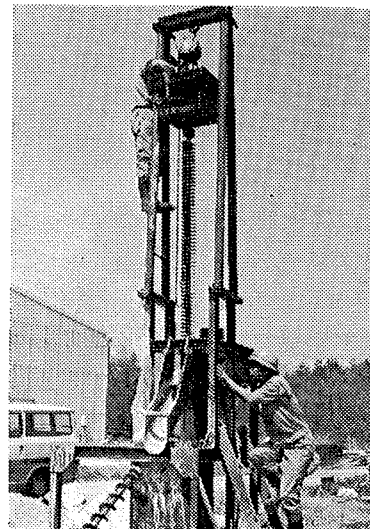


写真-1 実験機の段取換え

出量に影響しないが300%~400%になると、わずかに高さが違って出てくるヘドロ量はかなりの変化があるので、常時ヘドロ面の高さを一定に保つよう工夫し

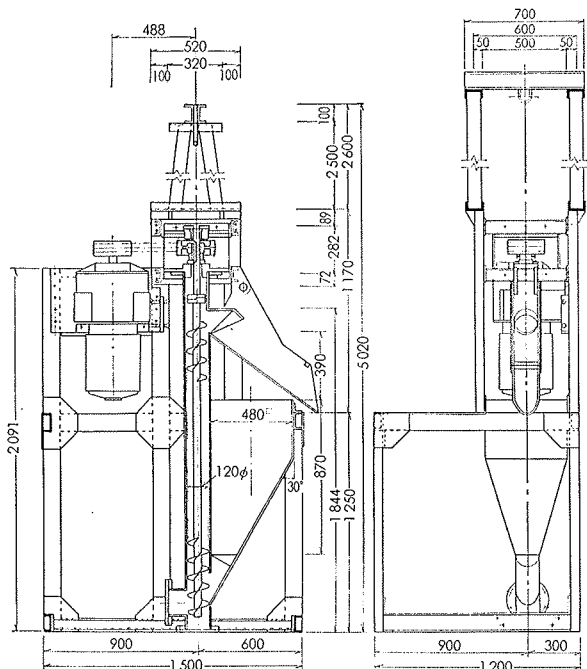


図-3 垂直スクリュコンベア全体図

た。このヘドロ面の高さの影響についても調べた。

ヘドロの含水比 $w$ は日毎に変わったが、ほぼ $w=203\%$ 、 $312\%$ 、 $378\%$ の三種類のものについて、前述の条件と組合せて実験をおこなうことができた。

### 2.3. 実験結果と考察

ヘドロ搬出量 $Q$ と羽根角度 $\alpha$ の関係について、スク

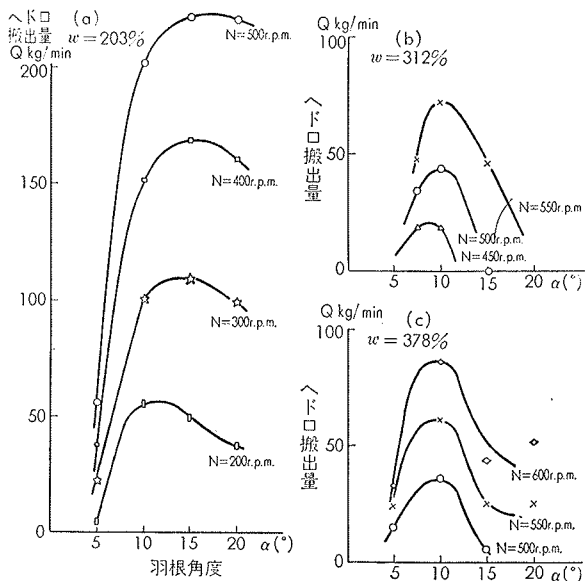


図-4 羽根角度 $\alpha$ ~ヘドロ搬出量 $Q$

|        |   |
|--------|---|
| 電動機    | 三相誘導型, 11kW×4P  |
| 減速機    | 無段変速型, 遠隔制御方式, EDM-10<br>変速範囲 120~1200 rpm, 11kW×4P                 |
| スクリュ   | 120φ×1800 L<br>羽根角度 $\alpha: 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ$ |
| 制御ボックス | 0~1500 rpm, ON-OFFスイッチ付   |
| 電力計    | 250 rev/1 kWh   |

表-2 実験機の仕様

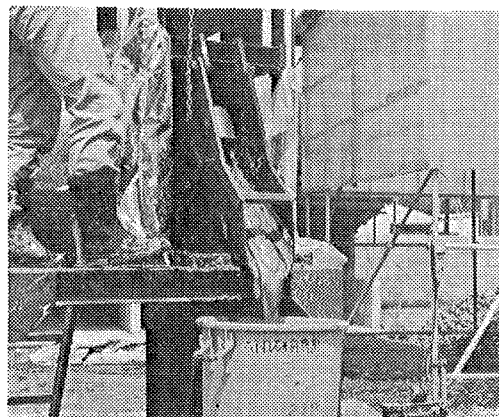


写真-2 ヘドロの搬出量を計測

リュ回転数 $N$ をパラメータとして表わした。(図-4参照)。含水比203%の試料に対して、312%、378%における搬出量 $Q$ は、 $N=500$ r.p.m.に着目してみると、約1/4~1/5であった。この差は大きく、 $\alpha=15^\circ\sim 20^\circ$ のときに $Q$ が最大となった。全般的に $N$ が大なる程、 $\alpha$ を大きくすると、最大の搬出量が得られている。 $w=203\%$ 、 $N=500$ r.p.m.、 $\alpha=15^\circ\sim 20^\circ$ における $Q$ は220 kg/min<sub>試</sub>で、この実験を通して、最大搬出量である。

図-5の(a)~(d)は $Q$ と $w$ との関係について、 $N$ をパラメータとしてプロットした図である。 $\alpha=5^\circ$ の場合他の羽根角度に較べて特異な傾向をしめしている。

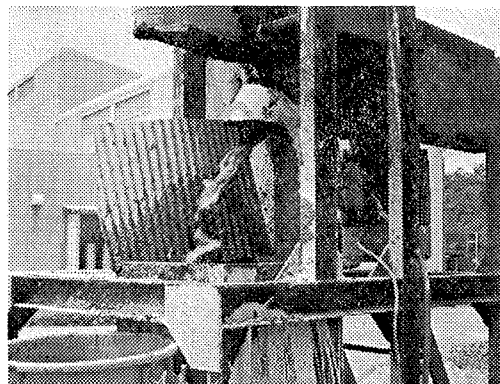


写真-3 らせん状に吐出しているヘドロ

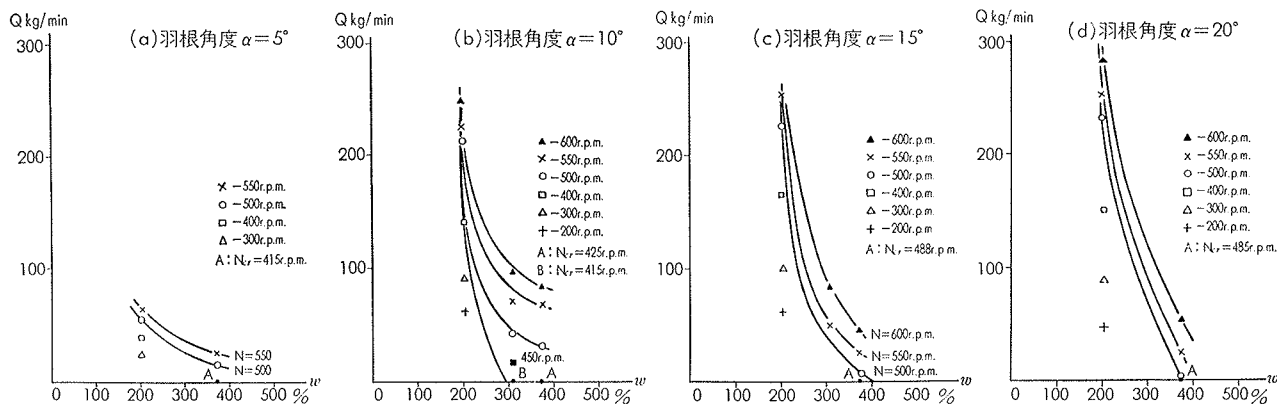


図-5 ヘドロの含水比wと搬出量Q

入力電力値Pは次式によって算出した。

$$250\text{rev}/1\text{kWh} = 25 \times 10\text{rev}/(1\text{kW} \times 3600\text{sec})$$

$$P \text{ kW} = \frac{1\text{kW} \times 3600\text{sec}}{25 \times 10\text{rev}} \times \frac{n \text{ rev}}{t \text{ sec}} = \frac{144}{t} \text{ kW} \quad (2.2.参照)$$

スクリュを空回転したときよりも、ヘドロがケーシング内に入っている時のほうが、電力値が低かった。これは、スクリュとパイプとの間隙にヘドロが入って、潤滑剤の役割をしたと考えられる。また  $\alpha = 5^\circ$  のときに、ヘドロ搬出量Qは他の角度のものに比べて少ないにもかかわらず、電力値Pは大きかった。(図-7参照) これはピッチが小さいので、重量が大きく、ヘドロとの摩擦面積も大きいため、回転トルクに余計な消費がされたものである。

一方、ヘドロをあげるのに必要な理論揚程  $H_{th}$  は、

$$H_{th} = h_{fs} + H_0 + v_d^2/2g + h_{fd} = H_0 \quad (\text{図-6参照})$$

臨界回転時には、 $Q = 0$  なので、

$$H_{th} = h_{fs} + H_0 + h_{td} \text{ になる。}$$

また理論所要動力  $L_{kw}$  は次式にて表わされる。

$$L = \frac{\gamma_t \cdot Q_v \cdot H_0}{60 \times 102 \times \eta} \quad \eta: \text{機械効率}$$

ヘドロ搬出量  $Q = Q_v \cdot \gamma_t$  で、実際にはQを計量した。

効率  $\eta$  は  $L_{kw} = P_{kw}$  (入力電力) として、

$$\eta = Q \cdot H_0 / (6120 \times P) \quad \text{となるが、便宜上、}$$

$\eta' = Q \cdot H / (6120 \times P)$  としてデータを処理した。図-

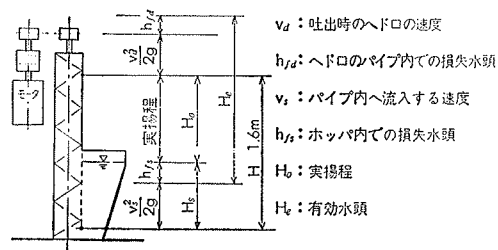


図-6 揚程の関係について

8は含水比200%

における羽根角度と効率との関係を示した図であるが、 $\alpha = 15^\circ$  のとき、他の角度のスクリュと比べて、あらゆる回転数Nにおいて優れていることがわかる。他の汎用ポンプの効率に較べたら、はるかに低いものである。

含水比 w が 300%~400%に

なると、ホップ内のヘドロ面の高さによって搬出量Qはかなり左右される。これは、サクシオンヘッドの高低によるもので、10cm 違うと約 15kg/min の相違があった。この関係について図-9にしめす。三本の曲線はほぼ平行でありこのことは、図-4、図-5の曲線も  $H_0$  の値によって平行に上下するものと推測される。参考までに図-

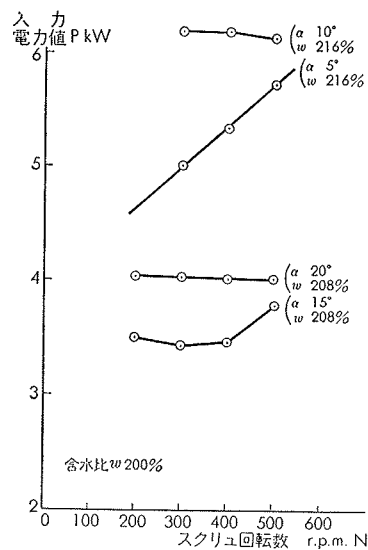


図-7 羽根角度  $\alpha$  と入力電力 P

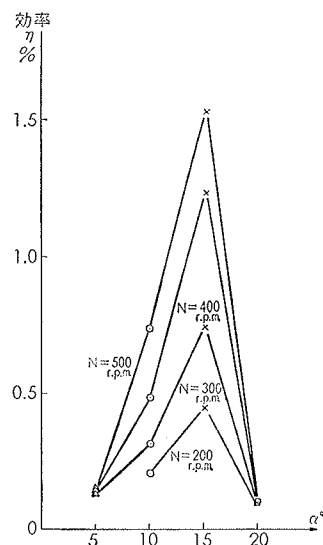


図-8 羽根角度  $\alpha$  と効率  $\eta'$

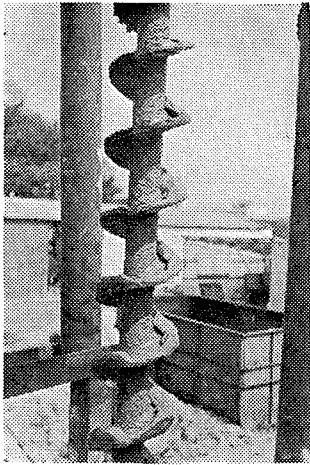


写真-4 スクリュー

4, 図-5 の曲線は  $H_0=49\text{cm}$  の条件で得られたものである。  
 ヘドロ搬出量  $Q$  と スクリュー回転数  $N$  の関係をグラフにしてみるとほぼ直線で近似できるが、その勾配は、同じ羽根角度  $\alpha$  についてみると、含水比によらず概ね、一定となる。羽根角度  $\alpha$  が  $5^\circ \sim 20^\circ$  と大きくなる程、直線の勾配が大きくなる傾向にあった。言い換えれば同じ回転数の増分に対して、 $\alpha$  の大きい方がヘドロ搬出量の増分も大であった。(図-10参照)

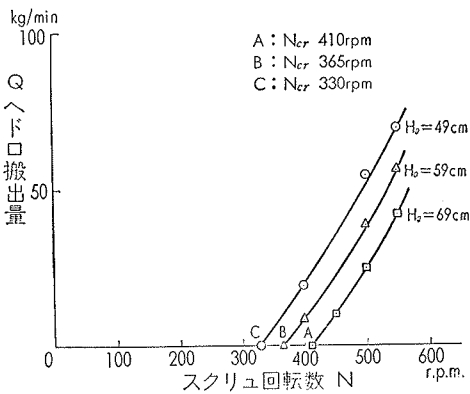


図-9  $H_0$ へのヘドロ搬出量  $Q$  に及ぼす影響

#### 4. まとめ

この実験をおこなう前には、本浚渫機が性能的な面

からみて、水中サンドポンプなどの領域をおおう万能ポンプであるという考え方が支配していた。しかし含水比  $w$  300%~400% と高くなると、スクリュー回転数を限界まで上昇させなければならず、経済的、機械構造の面から考えて不利な点が多く出てきた。

実験結果を概略まとめると、

- (1) 含水比  $w$  が 203% で垂直スクリュー回転数  $N$  が 500 r.p.m.,  $\alpha$   $15^\circ \sim 20^\circ$  でヘドロ搬出量  $Q$  は最大の 220 kg/min であった。
  - (2)  $w$  が 203% のとき、 $N$  を(1)より下げて 400r.p.m. とするとき、 $Q_{\max}=170\text{kg/min}$  で、そのときの  $\alpha$  は下がって  $15^\circ$  前後となった。
  - (3) 以下、 $N$  を 300r.p.m., 200r.p.m. とすると、 $Q_{\max}$  は 110kg/min, 55kg/min と下がり、そのときの  $\alpha$  も  $12.5^\circ, 10^\circ$  と下がった。
  - (4)  $N$  は 500r.p.m. のとき、 $\alpha$  が  $312\%$  で  $Q_{\max}$  は 45 kg/min となり、 $w$  が 203% のさいの  $Q_{\max}$  の  $1/5$  に減った。更に  $w$  が  $378\%$  になると  $Q_{\max}$  は  $1/6$  以下に減少した。
  - (5) ヘドロ搬出量でみると、 $w$  が高いほど  $\alpha$  は小さいほうが良いし、 $N$  が上昇する程、 $\alpha$  は大きいほうが良かった。
  - (6) 含水比  $w$  が 300~400% と高くなると吸込揚程の影響が顕著であった。10cm の上下でヘドロ搬出量に 15kg/min 前後の増減があった。
- 引きつづいて、4種類のスクリュー径  $D$  が異なるものについての実験を計画している。この浚渫機は垂直スクリュー直下に水平スクリューを逆T字形に取付け、水平部によって掘削され、中央部にかきよせられたヘドロを垂直方向に搬出できる機構を備えている。

おわりに実験に御協力、御指導いただいた方々、特に東京大学外尾教授、三和機材の設計担当者の方に深く感謝の意を表します。

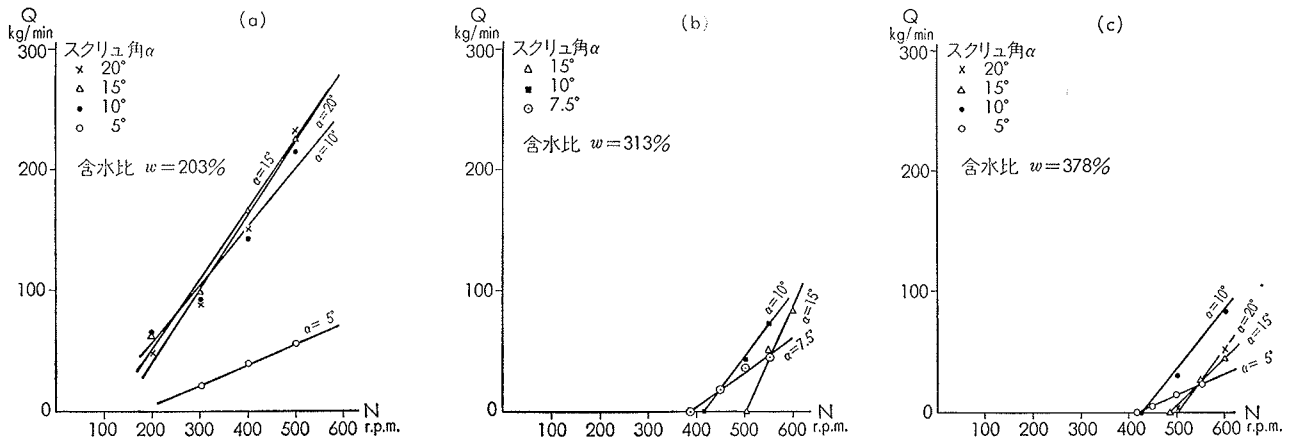


図-10 スクリュー回転数  $N$  とヘドロ搬出量