

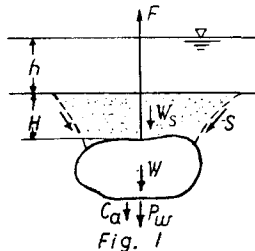
1. まえがき

海洋構造物は、接地式と浮遊式の2形式に大別することが出る。海洋土木の場合、現在よりもより大水深域に進展するにつれて、浮遊式海洋構造物の果たす役割は、接地式のものと較べてより大きくなる。この浮遊式海洋構造物は、自力または曳航によって移動し、海上・海中に固定されて、作業台・基地などとして使用される。したがって、固定時でも船舶としての機能と同時に、土木構造物としての機能も持っている。浮遊式海洋構造物の構造設計に関しては、相当程度までの研究がなされているが、構造物の安全性と確保する上で最も重要である、係留システムに関しては、ほとんど研究がなされていない。

本研究は、浮遊式海洋構造物の係留システムの中で、投設アンカーの把持力、すなわち引抜き抵抗力に関して、模型実験によって基礎的な検討を行ったものである。アンカーの引抜き抵抗力の研究としては、沈没船などの引上げ力に關するものを含めて、若干の研究成果が発表されている⁽¹⁾。また、アースアンカーなどの陸上構造物の引抜き力に關しては、Ball⁽²⁾、Bakers⁽³⁾、松尾⁽⁴⁾などの研究がある。そこで、本研究では、これらの研究を参考にして、投設アンカー引抜き抵抗力、特に、引抜き時に発生するスベリ面とそこに働く剪断力などについて検討した。

2. 予備的考察

投設アンカーを鉛直に引上げる場合、引抜き力 F は抵抗する力として、(1) アンカー水中重量 W 、(2) アンカー上の底床重量 W_s 、(3)



アンカー下面に働く吸着力 P_w 、(4) スベリ面に働く剪断力の鉛直成分 S_v 、(5) アンカー表面に働く、付着摩擦係数 C_a が考えられる。(図-1)として、これらは、それぞれ次のように表わされる。

$$W_s = W_s(A, H, \gamma_s, \gamma_w, \text{shape})$$

$$P_w = P_w(A, H, h, dF/dt, d_o, f, \text{shape}) \quad (1)$$

$$S_v = S_v(A, H, c, \sigma_t, \text{shape})$$

$$C_a = C_a(A, H, \gamma_s, \mu_s, c, \varepsilon, \text{shape})$$

ここで、 A : アンカーの最大水平投影面積、 H : 埋め込み深さ、 h : 水深、 γ_s と γ_w : 底床と水の単位重量、 c と σ_t : 底床の粘着力と引張り強度、 ε : アンカー表面粗度、 d_o : 底床の平均粒径、 t : 時刻。

アンカーの引抜き力は、アンカーの水中重量と引抜き抵抗力 R との和であるから、 R は次式で表わされる。

$$R = R(W_s, P_w, S_v, C_a) \quad (2)$$

R は、式(1)と(2)に見られるように、数多くのパラメーターに關係するので、本研究では以下に記す実験条件を設定して、現象の単純化を計った。すなわち、(1) 同じ条件の下に引抜き試験を行うため、底床の堆積状態の均一性と再現性、(2) 底床の粘着力効果の除去、(3) アンカーの水平面積を同一にする、(4) 引抜き荷重速度の効果を一に保つ、など実験を行うに当たって留意した。以上の事柄より、本研究でのアンカー引抜き最大抵抗力 R_{max} は、式(1)と(2)とより、次のように表わされる。

$$R_{max} = R(H, \text{shape})$$

3. 実験装置と実験方法

実験は、図-2に示すような、高さ2m、幅1m、長さ1mの実験水槽で行った。上記の理由より、模型底床は豊満標準砂で、実験時の密着率は39.2%、内部摩擦角 ϕ は33°42'、空中比重

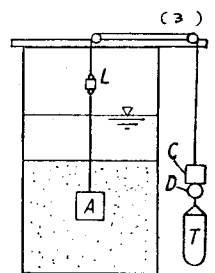


Fig. 2

は2.6である。模型アンカーは直立体と球体の2種類

で、その水平面積は等しい。(表-1)模型

アンカー形	水中重量	寸法
直立体	2.48 kg	刃長 70 cm
球体	1.72 kg	直径 8.0 cm

用水槽(T)に連結し、その底にカ計(L)、バランス用錘(C)ダイヤルゲージ(D)が挿入されている。引抜き荷重は、定水頭式水槽より水槽(T)に送らる水によって、アンカーに載荷し、カ計(L)で検出する。また、アンカーの変位は、ダイヤルゲージ(D)で読みとる。図-3は、ア

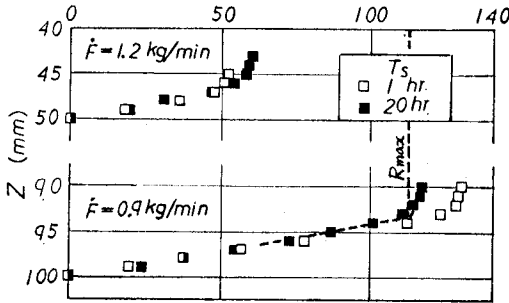


Fig. 3

ンカーの引抜き試験結果の一例で、アンカー埋設時の底質の乱れの影響を検討したものである。アンカー埋設後の放置時間 T_s は、図-3より1時間程度で十分であると認められる。また、図-4は、引抜き荷重速度と最大抵抗力との関係を示す試験結果で、荷重速度が400~600 gr/minの範囲内では、アンカーの引抜き最大抵抗力は、ほぼ一定とみなされる。以上の予備試験結果より、 $T_s=1$ hr, $\dot{F}=600$ gr/minで以下の実験を行った。

4. 実験結果

(1) 連続載荷による引抜き 引抜き力を連続的に増加して、引抜き試験を行った場合の実験結果は、図-5に示される。図-5は、アンカー埋設深さと最大引抜き抵抗力との関係を示したものである。最大引抜き抵抗力は、図-3に示すような方法で求めた。

松尾は、円形床板基礎の引揚げ抵抗力を、基礎引揚げ

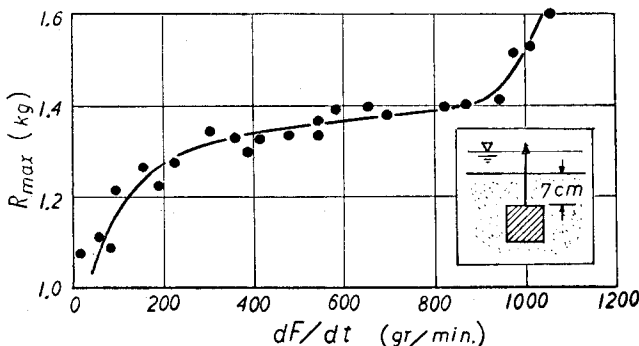


Fig. 4

時に生ずるすべり面形状で、対数曲线と直線より成るものとして、理論式を求めた。そして、理論式を簡略化した近似式を提案している。⁵⁾ 本研究での条件に合わせて、松尾の近似式を書直すと、アンカーの引抜き最大抵抗力 R_{max} は、式(4)となる。

$$R_{max} = \pi B_1^3 [\alpha_4 \lambda^3 + \alpha_5 \lambda^2 + \alpha_6 \lambda] \gamma'_s \quad (4)$$

ここに、 B_1 : 円形床板の半径、 $\gamma'_s = \gamma_s - \gamma_w$: 底質の水中での単位重量、 $\lambda = H/B_1$: 埋設深さとアンカー半径との比である。本研究で使用した模型アンカーは、直方体と球体であり、このため、アンカー埋設深さが $H=0$ の場合でも、アンカー面に作用する土圧による摩擦力とアンカー引抜き時に生ずる吸着力とによる抵抗力が存在する。この抵抗力の効果を除くため、図-5の実験結果よりえらうた、 $H=0$ の場合の R_{max} で、他の埋設深さの場合も、これとほぼ同程度であると考えて、式(4)を次式のように書き直す。

$$\frac{R_{max} - R_0}{\gamma'_s \pi B_1^2 H} = \alpha_4 \lambda^2 + \alpha_5 \lambda + \alpha_6 \quad (5)$$

ここに、 $R_0 = (R_{max})_{H=0}$ である。図-6は、実験

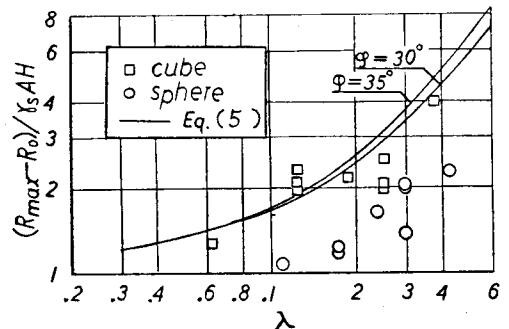


Fig. 6

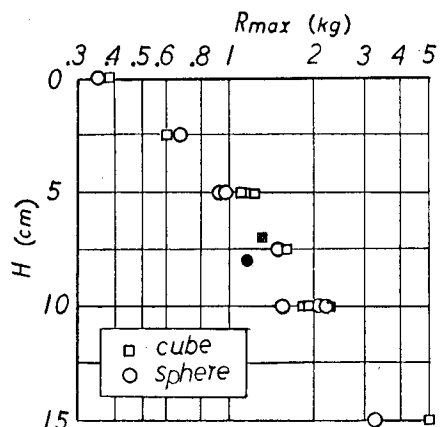
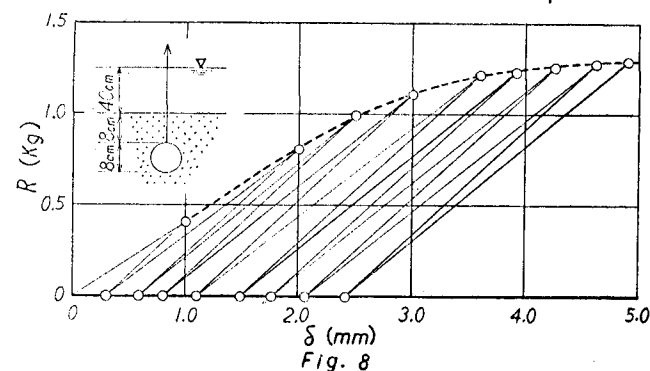
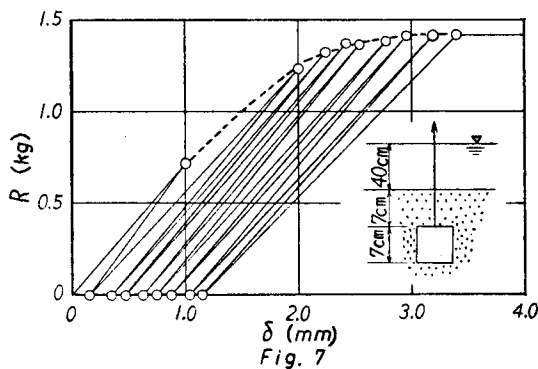


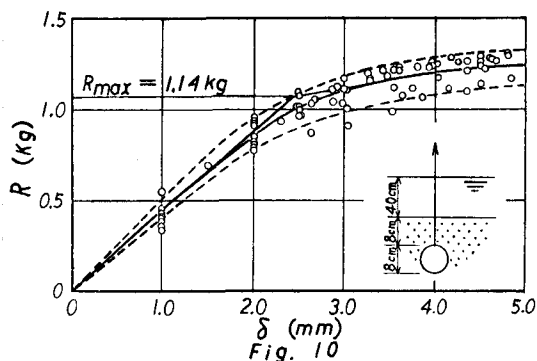
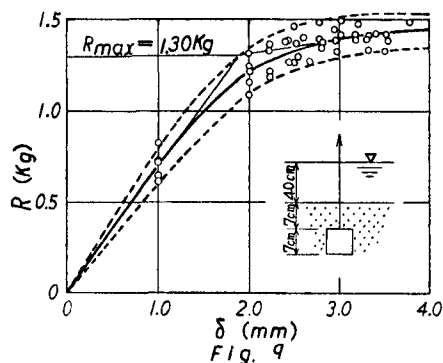
Fig. 5

結果と式(5)との比較を行ったものである。直方体アンカーは、等面積の円筒体に置き換え、また球体アンカーの場合は、アンカー埋設深さをアンカー最上端部までの深さとしていることから、アンカー上の座面の重量補正を行って、入を算定した。図-6に見られるように、実験結果は式(5)の傾向と、ほぼ同様の傾向を示すが、理論値より若干小さい R_{max} の値となっている。また、直方体アンカーは、球体アンカーより大きい最大抵抗力を示しており、これは松尾らの実験結果に見られる、正方形床板と円形床板との比較したものと、同様の結果を与えている。松尾らの場合には、正方形床板とこれに等面積の円形床板との床板周辺長の差が、抵抗力の差を生ずる1つの原因と考えられている⁶⁾。しかし、本研究では、直方体アンカーの場合には、すべり面はその上面の周縁上より発生するのに対して、球体アンカーの場合には、その最大水平周縁内部より発生するに原因があるものと考えられる。

(2) 繰り返し載荷による引抜き 海洋構造物の投設アンカーであることを考え、繰り返し引抜き荷重を加えた場合の実験を行った。繰り返し荷重の載荷方式は、



アンカーの変位位置より引抜き力を連続的に増加させ、定変位に到した後、全載荷荷重を戻さず方式を採用した。このような繰り返し引抜き力作用時の実験結果例が、図-7と8である。これらの実験結果に見られるように、引抜き力除去後のアンカー変位量は、直方体アンカーに較べて、球体アンカーの場合の方が非常に大きい。このことは、アンカー変位時に生ずる吸着力解消のため、アンカー下面に流動する座重量が、球体アンカーの方が大きいことを示すものであると思われる。図-9と10は、繰り返し載荷試験より求めた引抜き最大抵抗力で、これらの値は図-5中に、黒印で



示されている。終りに、本研究の一部は、昭和47年度文部省試験研究費（代表者本岡仁教授）によって行ったことを記す。

引用文献 1) Proc. of Conf. on Civil Eng. in the Oceans, ASCE, 1967. 2) Balla: Proc. 5th Conf. on Soil Mech. & Found. Eng., 1961. 3) Baker et al.: Highway Res. Record, 1966. 4) 松尾: 土木学会論文集, 昭和39年. 5) 松尾: 土木学会論文集, 昭和43年. 6) 松尾: 土木学会論文集, 昭和42年.