

1 まえがき

海洋開発用の構造物として、各種型式の構造物が提案され、また実際に作られている。浮遊型海洋構造物は、比較的水深の深い場所においても使用しうる可能性があり、浮体の形状、安定性などについて研究が進められている。一方、海岸工学の分野では、可動式産産性防波堤などの浮遊型構造物があり、これらの構造物の消波性などについての研究がある。

浮遊型構造物の安定性に関しては、構造物のけい留システムとけい留索先端につけられるアンカーの把持力、すなわちアンカーの引抜き抵抗とが大きく関係してくる。浮遊型構造物のけい留システムと浮体の安定性については従来より若干の研究があり、また理論計算もなされている¹⁾。深海用のけい留システムについても研究がなされている²⁾。

しかし、浮遊型の海洋・海岸構造物にとって、最も重要な部分とも云えるアンカーの引抜き抵抗については、余り十分な研究がなされていない。アンカーの引抜き抵抗に関連する研究としては、沈没船などの引上げに関連して行われた、海底下の泥工中に埋没した物体を引上げるに要する力 (breakout force) について検討した、Lui³⁾、Muga⁴⁾、DeHart⁵⁾の研究があるが、わが国においてはこの種の研究成果は殆んど発表されていない。

浮遊型構造物用のアンカーには、浮体の波浪などによる動揺によって、絶えず引抜き力が作用している。この繰り返し引抜き力に抵抗し、より大きな抵抗力を確保するためには、船舶用のアンカーとは異なった形式のアンカーが開発される必要がある。

本研究は、上記のような目的をもちて開始された研究の一部である。本報では、アンカーの引抜き抵抗に関する基礎的な実験の中で、アンカーに鉛直上向きに静的な引抜き力を作用させた場合について報告する。

2. 予備的考察

海底土中に埋没している物体を鉛直に引上げる場合の引抜き力に抵抗する力としては、図-1に示されるように、(1) アンカーの水中重量 W 、(2) アンカー引抜き時に、アンカー上にある泥工の重量 W_s 、(3) アンカー下面に発生する suction force P_w 、(4) アンカー引抜き時に生ずる海底土のスベリ面に働くせん断力の鉛直成分 R_v 、(5) アンカー面に働く泥土の付着力 C_a が考えられる。

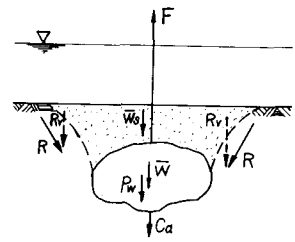


図-1

アンカー下面に生ずる suction force は、海底土の透水性などの性質、アンカーの形状と埋設深さなど以外に、アンカーの移動速度にも関係する力であるが、現在までの所 suction force を測定した例は報告されていない。

アンカー引抜き時に発生する海底土中のスベリ面とそこに働くせん断力に関しては、Ball⁶⁾、Baker⁷⁾および松尾⁸⁾の研究がある。スベリ面の発生位置とその形状に関しては、アンカーの形

状、アンカー引抜き時の埋設深さ、底質の性状に關係する。

上述のように、アンカー引抜き過程に生ずる現象は、いずれもアンカー移動時のアンカーの変位量、変位速度などに關係すると同時に、アンカーに作用させる引抜き力の大きさとその作用時間にも關係する。

アンカーに作用させる引抜き力と F_a 、アンカー引抜きに有効な力と F とすると、 $F = F_a - \bar{W}$ で表わされる。前述の様に、アンカーの引抜き抵抗力としては種々の抵抗力があるが、いまこれと近似的に式(1)のように表わすとする。すなわち、

$$F = k C A_{max} \quad (1)$$

ここに、 C は底質土の粘着力に相当するもの、 A_{max} は、アンカーの最大水平投影面積、 k はアンカーの大きさ、形状、荷重条件などに關係する定数である。 $Muga$ は、アンカーの引抜き時に生ずる諸現象は、時間の関数であることから、式(1)を変形して、

$$F / \rho_d A_{max} = Q^{-\alpha(t-t_0)} \quad (2)$$

と提案している。ここに、 ρ_d は底質の平均強度、 t は時間、 t_0 は基準時間で $t = t_0$ の時引抜き力が最小値となる。 Q はこの場合の $F / \rho_d A_{max}$ 、 α は、荷重載荷時間と $F / \rho_d A_{max}$ との關係から決定される指数である。

3. 実験装置と実験方法

模型実験は、図-2 に示されるような、高さ 2 m、幅 1 m、長さ 1 m の実験水槽を使用して

行った。この実験水槽は、アンカー引抜き時の挙動を直接観察・記録するため、水槽の上部 1 m の部分は 4 側壁をすべて透明プラスチック製とした。実験に使用した底質は豊浦標準砂で、そのせん断強度は $\tau = \sigma \tan 30^\circ$ によって計算した。

実験に使用した模型アンカーは、立方体、球、水平円柱の 3 種類で、その重量および寸法は表-1 に示される。

模型アンカーは、図-2 に示される引抜き荷重装置によって、鉛直方向に引抜きされる。引抜き力は、直径 13 cm、高さ 35 cm の円筒タンク（プラスチック製）に、小型定水頭式タンクより導かれる水を注入した鐘りによって、アンカーに載荷させた。本実験での引抜き力の載荷速度は、すべての実験に対して 50 gr/min とした。

引抜き力による模型アンカーの移動量は、荷重載荷用ワイヤーに取付けられた指標の変位量と、スケールを使用して読みとった。

実験は、すべての実験に対して水深は 80 cm とし、アンカーの埋設深さ（アンカー上面より海底面までの鉛直距離）と $h = 0, 5.0 \text{ cm}, 10.0 \text{ cm}$ の 3 種類に変化させて行った。

アンカー埋設時には、アンカー周囲の底質が乱れ、このためアンカーの引抜き抵抗力が著しく減少する。そこで、本実験ではアンカー埋設後実験開始まで 1 時間または 20 時間の放置時間を経過さ

表-1 模型アンカーの形状と寸法

アンカー形状	空中重量	水中重量	寸法
立方体	2885 gr	2542 gr	辺長 $l = 7.0 \text{ cm}$
球	1985 gr	1717 gr	直径 $D = 8.0 \text{ cm}$
水平円柱	1275 gr	1118 gr	$D = 4.0 \text{ cm}, l = 12.5 \text{ cm}$

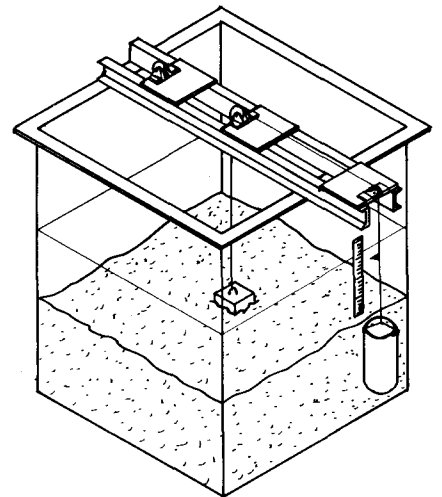


図-2 実験装置

せた後、模型アンカーの水中重量と同等の大きさの引抜き荷重を載荷させ、アンカーの引抜き実験を開始した。

4. 実験結果

図-3は、立方形アンカーに対する、引抜き実験結果の一例である。図-3は、アンカー下面の引抜き移動時の位置と表わす z/l (z : アンカー下面と海底面までの距離)

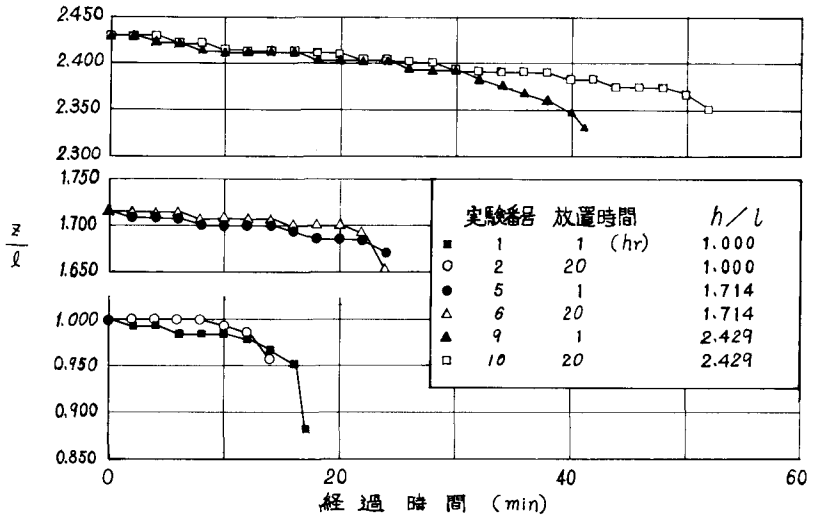


図-3 立方形アンカーの引抜き変位-時間曲線

とアンカーに有効引抜き力 F が載荷されたからの時間経過との関係を示したものである。図-3中の実験番号6に見られるように、引抜き力 50 gr/min の速度で増加させると、実験開始後約24分の所で、アンカーの変位量が急激に増大することが認められる。この様にアンカーの変位が急増する時点での引抜き載荷力を、アンカーの最大引抜き抵抗力とみなした。

図-4は、実験に使用した3種類の模型アンカーに対する実験結果を、式(2)に対応するよう図示したものである。図-4の横軸はアンカーの最大引抜き抵抗力を表わす量 $F/(\rho_d A_{max})$ 、また縦軸は最大引抜き力が作用していた時間とったものである。

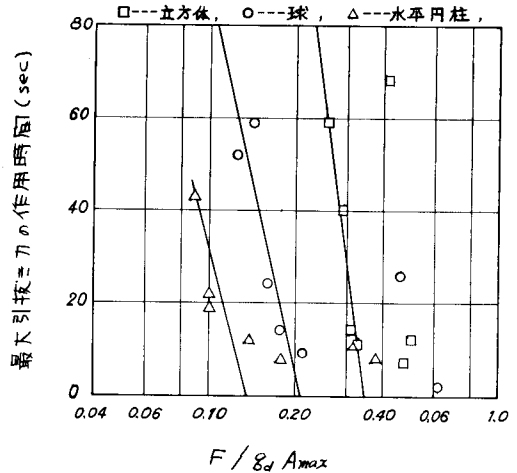


図-4

図-4の実験結果に見られるように、アンカーに作用する引抜き力の作用時間が増大すると、アンカーの引抜き抵抗力は減少することが認められる。また、アンカーの形状に際しては、立方形形状のアンカーの引抜き抵抗力が、他の形状のアンカーより大きいことが判った。

このようなアンカーの引抜き抵抗力に対する傾向は、U.S. Naval Civil Engineering Laboratory³⁾、San Francisco 湾で行った現場実験結果とも一致している。

以上の実験より、浮遊型構造物用のアンカーとしては、アンカー形状が立方形の様に鋭角部を有するものが、アンカーとして有利であることが認められた。

5. おわりに

本研究では、浮遊型構造物用のアンカーとして、その形状が立方形、球、水平円柱の3種類のアンカーに、静的な引抜き力を作用させた場合に対する実験を行い、上記のようなアンカーの引抜き抵抗力

力に関する実験結果を述べた。

本報に報告した実験は、現在も継続しているが、今後の実験としては、(1) 動的な引抜き力が作用する場合のアニカーの引抜き抵抗力、(2) アニカー下面に発生する suction force の測定、(3) 斜め引抜き力が作用する場合の引抜き抵抗力の変化 などについて行う必要がある。また、本実験では予備的実験と言うこともあって、模型底質として豊浦標準砂を使用したか、今後の実験においてはシルト質の底質についても検討を行う必要がある。

終りに、本研究の一部は昭和 46 年度文部省試験研究費(研究代表者 東洋大学 本間 仁教授)によって行ったことと付記して謝意を表す。

引用文献

- 1) 井島 武士 他 : 有限水深の波による矩形断面物体の運動と波の変形, 土木学会論文報告集, No. 202, 1972, pp. 33 ~ 48.
- 2) 例えば, Brahtz, J.F. ed : Ocean Engineering, John Wiley & Son, 1968.
- 3) Liu, C.L. : Ocean sediment holding strength against breakout of embedded objects, U.S. Naval Civil Engineering Lab., Tech. Rpt. R-635, 1969.
- 4) Muga, B.J. : Bottom breakout forces, Proc. of Conference on Civil Engineering in the Oceans, A.S.C.E., 1967, pp. 596 ~ 600.
- 5) DeHart, R.C. & C.R. Ursell : Force required to extract objects from deep ocean bottom, Southwest Research Institute, NOnr-3363(00)FBM, 1967.
- 6) Balla, A. : La résistance à l'arrachage des fondations de pylones électriques du type champignon, Proc. 5th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., Vol. 1, 1961, pp. 569 ~ 576.
- 7) Baker, W.H. & R.L. Kondner : Pullout load capacity of a circular earth anchor buried in sand, Highway Research Record, No. 108, 1966, pp. 1 ~ 10.
- 8) 松尾 稔, 新城 俊也 : 粘性土中の基礎の引揚抵抗力に関する研究, 土木学会論文集, No. 137, 1967, pp. 1 ~ 12.