

協和コンサルタンツ ○宇都木 基宏
中央大学理工学部 服 部 昌太郎

1. まえがき

水底下に沈設されるアンカーの引抜き抵抗力は、浮遊式海洋構造物の係留方式との関連において、近年研究がなされるようになった。しかし、アンカーの引抜き抵抗力には、流体系および土質系に關係する数多くの要因が複雑に關係するため、系統的な研究は未だ十分にはなされていない。このため、アンカーの設計に當っては、現地試験や模型実験などによってえられた、経験的な設計基準が使用されている。

波浪による浮遊式構造物の動揺などに起因する、沈設アンカーに作用する動的引抜き力に対するアンカーの抵抗力は、静的引抜き力の下でのアンカーのそれを基準として、評価することが通常の方法であると考えられる。静的引抜き力に対するアンカーの抵抗力に關しては、Balla¹⁾や松尾²⁾などの理論的研究をはじめ、数多くの実験的研究が発表されている。これらの研究は、陸上での不飽和土中のアンカーについてなされたものである。ColpとHerbich³⁾の実験によれば、水中の砂層内に沈設されたアンカーの引抜き抵抗力は、乾燥砂中の場合に較べて引抜き抵抗力が、アンカーの沈設深さの増大と共に低下することが認められる。したがって、前記の研究成果を沈設アンカーに直ちに適用することは出来ないと考えられる。

以上の理由より、著者らの一人はこの数年間にわたって、種々の静的引抜き荷重下での沈設プレートアンカーの抵抗力に關して実験を行い、アンカーの最大引抜き抵抗力の評価方法の提案を行った。⁴⁾ また、周期的に変動する引抜き荷重下では、アンカー周辺の砂層の流動化現象に起因すると考えられる、アンカーの変位挙動が見られることも報告した。

本研究は、上記の従来の研究結果を踏まえて、以下に述べる事項について検討を行うことを目的としたものである。

1. 荷重制御方式による静的引抜き試験結果より、アンカーの最大引抜き抵抗力の評価方式を新たに提案し、すでに報告した引抜き荷重を連続的に増加させる試験結果との比較を行う。
2. 波浪などに起因する動的引抜き荷重下でのアンカーの最大引抜き抵抗力と静的最大抵抗力との比較と、関係諸量との関係を検討する。

2. 実験装置と実験方法

断面 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 、高さ 2 m の実験水槽内に、表-1に示される諸性質を有する豊浦標準砂と模型底質とする底層を作り、実験を行った。表-1中に示される底質の内部摩擦角は直接剪断試験によって測定し、また間げき率は実験を行ったアンカー沈設深さ ($D=0 \sim 20\text{ cm}$) にわたって試料採取を行って得た平均値である。なお、沈設深さ方向の間げき率の変化は、ほとんど認められなかった。

表 - 1

平均粒径	220 μ
比重	2.63
内部摩擦角	33°42'
間げき率	39.1%
見かけの 単位重量	1.17 $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

本実験に使用した模型アンカーは、表-2に示される2種類の正三角形プレートアンカーで、その表面は平滑に仕上げた鉄製のものである。

表 - 2

形状	寸法 (cm)	水中重量
正三角形	10.7×10.7×0.8	0.64 kg
〃	5.0×5.0×0.5	0.17 kg

アンカーに作用させる引抜き荷重は、アンカーと荷重載荷装置とを結ぶ引張り荷重索 (ステンレス・ワイヤー) 途中に挿入された力計 (L) により、またアンカーの変位はポテンシオメータ (P) によって

それぞれ検出し、電磁オシロによって同時記録を行った。

周期的変動引抜き荷重は図-1に示される1/4HPの可変速モータ(M)を動力源とする回転板(直径25cm)と引張り索途中に挿入したコイルバネ(S)とによって $F = F_0 + \Delta F \sin \omega t$ で与えられるものを発生させる。ここで、 F_0 は初期引抜き荷重、 ΔF は荷重変動成分の振幅である。変動荷重の周期は、可変速モータの回転数を調節することによって、所要の回転数とする。

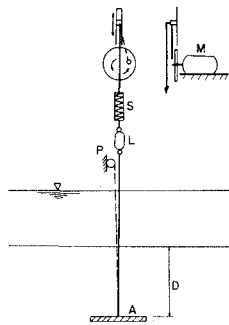


図-1

3. 静的引抜き試験結果

図-2は、荷重制御方式による試験結果の一例で、アンカー変位(δ)と載荷時間との関係を、引抜き荷重をパラメータとして示したものである。

図-2に見られるように、引抜き荷重直後アンカーは、アンカー周辺の砂層の弾性変形による変位を示す。これに続いて、砂層のクリープ変形によるアンカー変位が認められるが、荷重載荷時間の経過中に間歇的にアンカー変位が増加する現象が見られる。この現象は、アンカー周辺の砂層ならびに引抜き荷重載荷によって発生

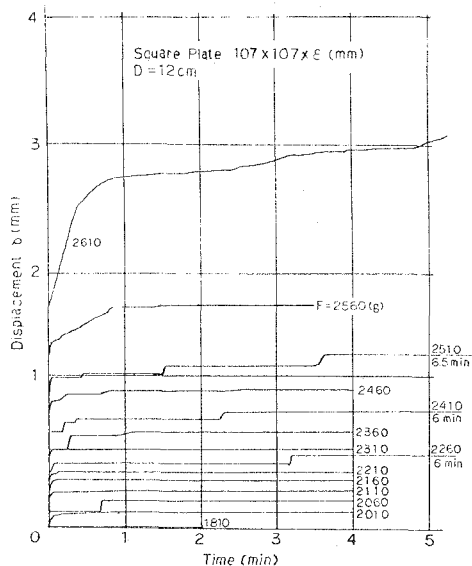


図-2 静的引抜き試験結果例

する砂中のすべり面上で、局所的な破壊が発生していることを示すものと考えられる。そして、断続的に発生するこのアンカー変位は、荷重の増加と共にその発生頻度が高まる傾向が認められる。

そこで、本研究では、荷重載荷直後に生ずるアンカー変位の90%を、砂層の弾性変形に起因するものとみなし、それ以後に生ずるアンカー変位は砂層のクリープ変形によるものと考えた。図-3は、図-2の試験結果より得られる砂層のクリープ変形によるアンカー変位の4~5分間にわたる平均変位速度と載荷荷重との関係を示したものである。

そして、本研究では、このクリープ領域でのアンカー変位速度が急激に増大する時の載荷荷重をもって、アンカーの最大引抜き抵抗カ(R_{max})と定義する。

図-4は、図-3より得られる各載荷荷重間でのアンカー変位速度勾配と、載荷荷重との関係を示したもので、図中の矢印をもって、この場合のアンカーの最大引抜き抵抗カを示してある。

以上のような定義によってえられたアンカーの最大引抜き抵抗カ

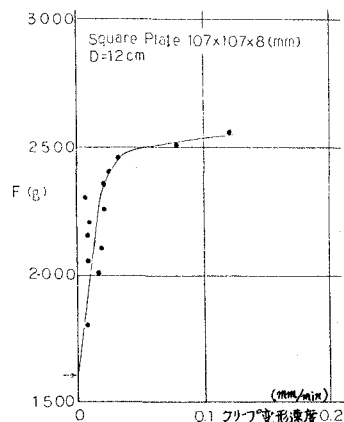


図-3 荷重とクリープ変形速度

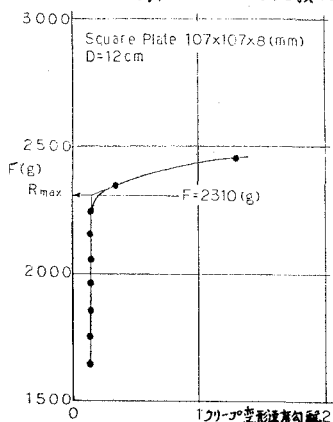


図-4 最大抵抗カの設定

カ(R_{max})とアンカー沈設深さ(D)との関係を、2種類の模型アンカーについて示したものが、図-5である。図中には、連続的に引抜き荷重を増加させ、図-6に模式的に示される方法によって決

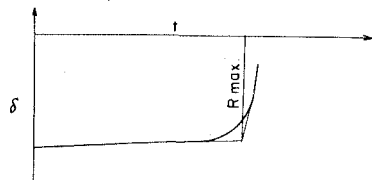


図-6 静的引抜き試験結果によるアンカーの最大引抜き抵抗カの設定法

定された試験結果(●と▲印)をあわせて示してある。本研究と同一の模型アンカーを使用した試験結果との比較より、本研究での定義によるアンカーの最大引抜き抵抗力は従来のものと較べて若干小さい値を与えているが、沈設深さとの関係はほぼ同一の傾向を示している。

アンカーの引抜き抵抗力は、アンカー上部の砂の重量とすべり面に作用する剪断力の鉛直成分との和で与えられる。本研究では3次元的な実験を水中で行っているため、アンカー周端部より発生するすべり面の形状を直接測定することは出来ない。そこで、静的引抜き試験時に発生する砂面上での変形を計測することによって、すべり面の発生範囲を推定することを試みた。

図-7は、砂面上での変形領域の直径(γ)と正六角板アンカーと等価面積の円板直径($2B$)との比 $\gamma/2B$ と、相対沈設深さ $\lambda (=D/B)$ との関係を示したものである。図中には、earth load 法の考えによるものと、Ballaの円弧すべり面による関係を、それぞれ実線と破線 γ で示してある。図-7の実験結果に見られるように、 $\lambda < 0.4$ の場合にはearth load 法による値に近く、 $\lambda > 0.4$ の場合にはBalla法の場合と同じ傾向を示している。砂面上での変形形状は、アンカー形状が正六角形であるが、ほぼ円形であることが観測された。このことは、従来の研究でも指摘されており、円板アンカーに較べて正六角板アンカーの引抜き抵抗力が大きくなることの一因であると考えられる。

図-8は、無次元化したアンカーの最大引抜き抵抗力($R_{max}-R_0$)/ $\gamma_s AD$ と λ との関係を、実験結果よりプロットしたものである。ここで、 R_0 は $D=0$ でのアンカーの最大引抜き抵抗力、 γ_s は砂の水中の見かけ単位重量、 A はアンカーの水平面積である。図中には、比較のためBallaと松尾の理論曲線を同時に示してある。本実験の範囲内では、模型アンカーの大きさに関係する縮尺効果(scale effect)は、ほとんど認められない。

4. 動的引抜き試験結果

周期的に引抜き荷重が変動する場合のアンカーの引抜き抵抗力に關係する諸量として、静的引抜きの場合の關係量に加えて、変動荷重の F_0 、 ΔF 、その周期 $T(=2\pi/\omega)$ 、およびアンカー下面に作用する吸引力などがあげられる。

動的引抜き荷重によって、アンカー下面に発生する吸引力の大きさは、荷重変動周期(1.4~2.8sec)にはほとんど関係しないことが、従来の実験結果で認められた。そこで、本研究では変動荷重として $F_0=400\sim 900\text{gr}$ 、 $\Delta F=240\text{gr}$ と450gr、変動周期を $T=1.4\sim 5.0\text{sec}$ の荷重条件下の実験を、 $5.0\times 5.0\times 0.8\text{cm}$ の模型アンカーに対して行った。

この場合の沈設深さは $D=10\text{cm}$ ($\lambda \approx 3.5$)である。

試験結果は図-9(a)~(c)に示される。図-9は最大変動荷重 $F_{peak}(F_0+\Delta F)$ と R_{max} の比 F_{peak}/R_{max} と F_0/R_{max} との関係を $\Delta F/R_{max}$ をパラメータとして示したものである。

ここに、 R_{max} は静的引抜き試験より得られた最大引抜き抵抗力で $R_{max}=680\text{gr}$ である。

図-9には、変動周期を3区分してそれぞれの実験条件下で、アンカーの変位量が $\delta \leq 0.5\text{mm}$ の場合を○印、

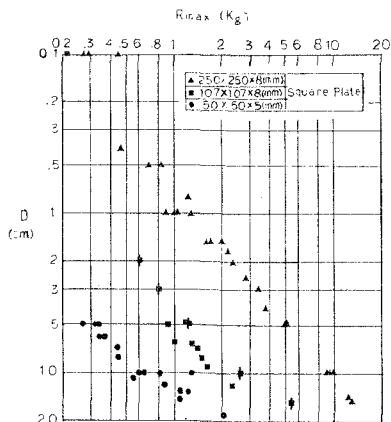


図-5

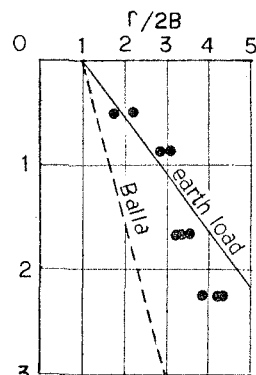


図-7

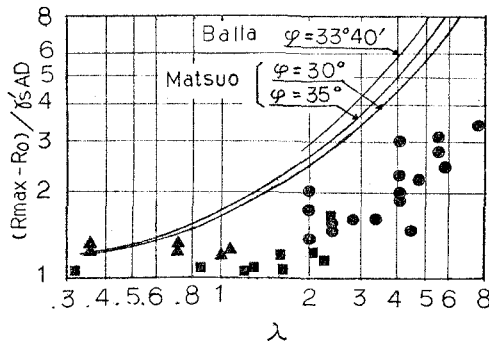
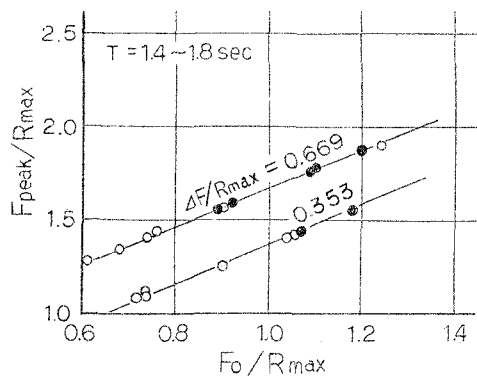
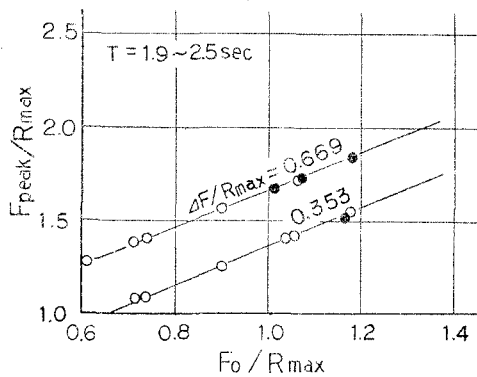


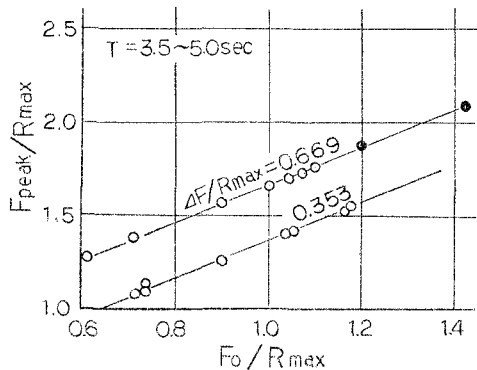
図-8



(a)



(b)



(c)

図-9 動的引抜き試験結果

$\delta > 5$ mm の場合を ●印で表わしてある。試験記録によると $\delta < 5$ mm の場合には、5~20分間でアンカー変位が変化しなくなり、 $\delta > 5$ mm の場合にはフリーポ変形によってアンカーの引抜きがわずかながらも進行することが認められた。

また静的引抜き試験より決められる R_{max} の値でのアンカー変位量は $\delta = 0.5 \sim 0.8$ mm である。以上の事から動的引抜き荷重作用下でのアンカーの引抜き限界を $\delta < 5$ mm として考えると、荷重変動周期が短くなると引抜きも限界が低下する傾向が認められる。

5. まとめ

本研究では、荷重制御方式による静的引抜き試験により、沈設アンカーの最大引抜き抵抗力の決定法に対する一提案を行った。また、周期的に引抜き荷重が変動する場合の沈設アンカーの引抜き限界に対して、静的試験結果との関連の基にその決定に対する一判定方法を得ることが出来た。

引用文献

1. Balla, Proc. of 5th Inter. Conf. Soil Mech. Found. Engrg. 1962.
2. 松尾, 土木学会論文集, No.105, 昭和39.
3. Colp & Herbach, Proc. of 7th Conf. OTC, 1975.
4. 服部, 土木学会第5回海洋開発シンポジウム, 昭和49.
5. 服部, 土木学会第2回南東支部年講, 昭和50.