

汚濁防止膜係留アンカーの把駐特性について

FIELD MEASUREMENTS OF THE HOLDING POWER OF MOORING ANCHORS FOR SILT CURTAIN

前野賀彦¹・石川元康²・熊谷裕児³・川本博文⁴

Yoshi-hiko MAENO, Motoyasu ISHIKAWA, Yuji KUMAGAI and Hirofumi KAWAMOTO

¹ 正会員 農博 日本大学教授 理工学部土木工学科 (〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台1-8-14)

² 正会員 工修 日本大学専任講師 短期大学部食物栄養学科 (〒411-8555 静岡県三島市文教町2-31-145)

³ 海洋工事汚濁防止協会 (〒153-0043 東京都目黒区東山3-22-1)

⁴ 水修 海洋工事汚濁防止協会 (〒153-0043 東京都目黒区東山3-22-1)

Field verification of the holding power of mooring anchors was conducted on a seabed composed of soft mud located in Tokyo Bay, Japan. The observed holding power of the anchors was compared with the estimates based on the current design. The holding power depends strongly on the properties of the seabed deposit, the type of anchor and the duration of service. The coefficient of holding power, which is defined as the ratio of the maximum holding power to the submerged weight of the anchor, was introduced to examine the effects of the loading rate and angle of the mooring wire of the anchors. Because of the action of the overturning moment, the effect of a loading rate was negligible for concrete block anchors with a loading angle of 45 degree or less. The coefficient of holding power was 0.6 or less for the above case. The holding power for suction anchors increased with the suction inside anchor. There was a weak correlation between the holding power and the loading rate for soft mud.

Key Words : Holding power, suction anchor, sinker, concrete block, suction, pore pressure, skin friction

1. 序論

航空機の離発着に伴う騒音の都市住民への影響や広大な用地の確保の困難から、我が国では海上空港が選択される傾向にある。その際にはメガフロートと呼ばれる大型浮体の利用も検討されているが、埋め立てによることが多いと考えられる。また、既存の空港の拡張工事は、既存空港より沖側に埋め立て造成されることが考えられる。何れにしても埋め立て造成対象海域は、より激しい波・流れの影響下にあるものと考えられる。このような工事海域では汚濁拡散の防止を目的として海洋工事汚濁防止膜が展開される。これらの汚濁防止膜の係留アンカーは、激しい波・流れに抵抗するため、従来用いられてきた日本港湾協会¹⁾や土木学会²⁾の提案式に従えば、大重量化・大型化することが想定される。これらの提案式には把駐力への影響が大きいと考えられるアンカーの引抜き角、引抜き速度、アンカー形状、土被り量等が考慮されていないので、時として非現実的

なまでに大型のアンカーの必要性を導くことが想定され、合理的な係留アンカーの把駐力の推定が求められる。そこで、前野ら³⁾は、係留アンカーの把駐力特性を把握するため、海洋工事汚濁防止膜の係留に広く用いられているコンクリートブロックアンカー、およびアンカーの大型化・重量化に対処するための係留方法としてサクシジョンの効果を取り入れたサクシジョンアンカーの2種類について実海域で把駐力試験を行い、把駐力に対する係留索の引抜き角の影響、引き抜き速度の影響、およびアンカー底面・内部圧力特性を検討した。しかしながら、これらのアンカーの把駐特性は海洋底質の特性に依存するものと考えられるため、多様な海洋底質についてアンカーの把駐特性を検証する必要性が指摘される。

そこで、本研究では前野ら³⁾の現地試験結果を踏まえ、新たに東京湾内の軟弱底質海底地盤においてコンクリートブロックアンカーとサクシジョンアンカーについて引き抜き角・引き抜き速度等を変化させて把駐力を現地測定した結果を報告する。

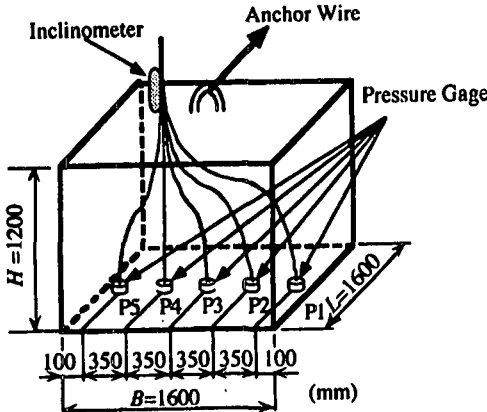
2. 現地試験の概要

アンカーの把駐力特性に関する現地試験は、図-1に示した京浜島と城南島との運河にて実施した。現地試験現場の水深は6.5m～7.6mである。海底地盤はN値が1の粘土質シルトの基盤上に3m程度のシルト混じり中砂の層があり、その上にN値が0のヘドロ層が堆積している。また、試験現場付近で採取した底質の土質特性は表-1に示すとおりである。調査日時は1999年3月12日で、試験当日の波浪の影響はほとんど認められなかった。

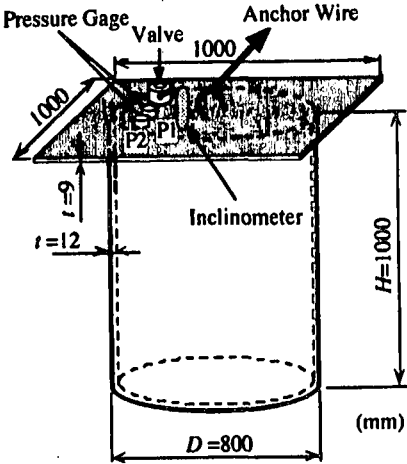
現地試験で用いたアンカーは、前野ら³⁾と同様に図-2に示すように、一般に汚濁防止膜等の浮体構造物の係留に用いられているコンクリートブロックアンカー (Type A: 幅1.6m×奥行1.6m×高さ1.2m) と、円筒形鋼管の上部を閉じ、底面のみを開いた構造のサクションアンカー (Type C: 直径0.8m×高さ1.0m) を使用した。サクションアンカーとは円筒セル内を閉じた構造とすることにより、引き抜き時にサクションが発生し易く、ブロックアンカーよりもアンカーの大きさに比して相対的に大きな把駐力を

表-1 試験地点の土質特性

地盤深度, (m)	2.00～2.30	3.00～3.30	4.00～4.88
N 値	7～8	1	1
土粒子の比重, G_s	2.669	2.614	2.672
自然含水比, w_n (%)	25.9	44.6	39.7
間隙比, e	0.995	1.195	1.092
飽和度, S_r (%)	69.5	97.6	97.1



(a) Type A



(b) Type C

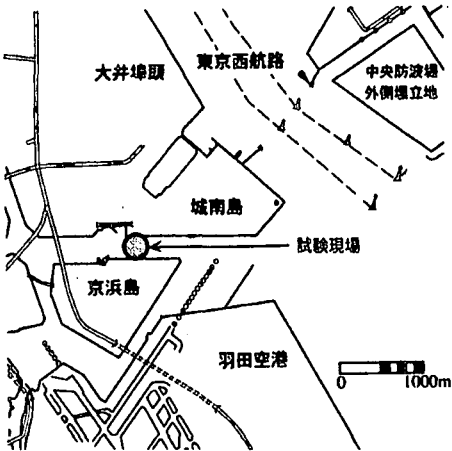


図-1 試験現場の概略図

図-2 アンカーの概略図

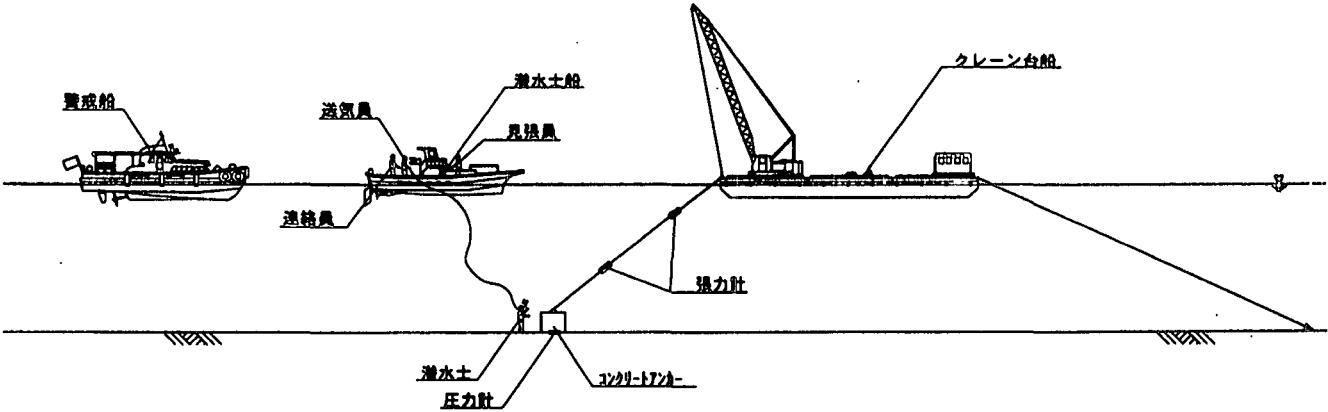
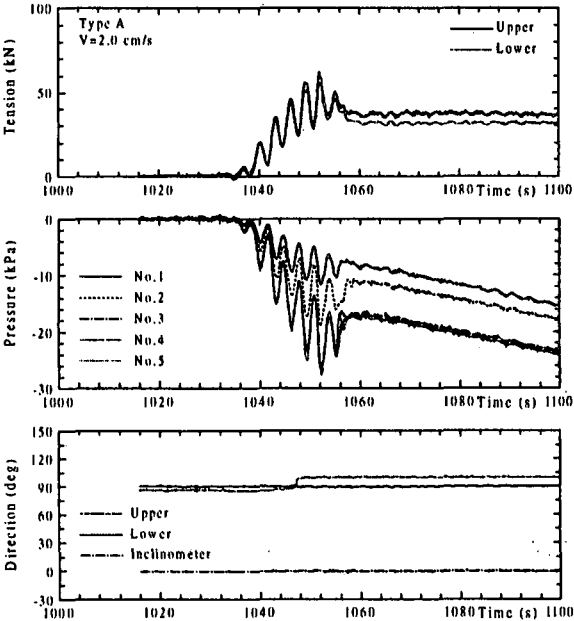


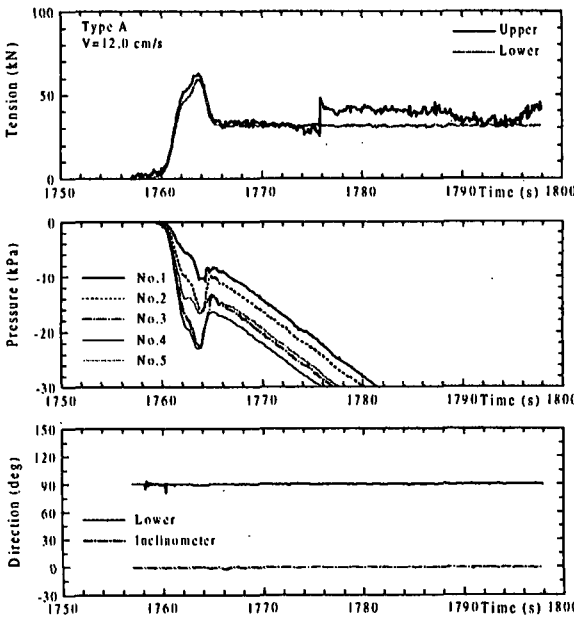
図-3 把駐力測定の概略

発揮することが期待されるものである。図-2(a), (b)に示すように底面圧力分布測定のために、Type A については底面5カ所、Type C についてはアンカー内側上端2カ所に圧力計（共和電業、BP-5KB）を設置した。

把駐力については、図-3に示すように、係留張力の作用方向の測定も必要であることから、アンカーより1mおよび3mの位置における係留索の途中2カ所に張力傾斜計（共和電業：BLTK-30T）を取り付けて、係留索張力、およびその作用方向を測定した。



(a) Type A ($V=2.0$ cm/s)



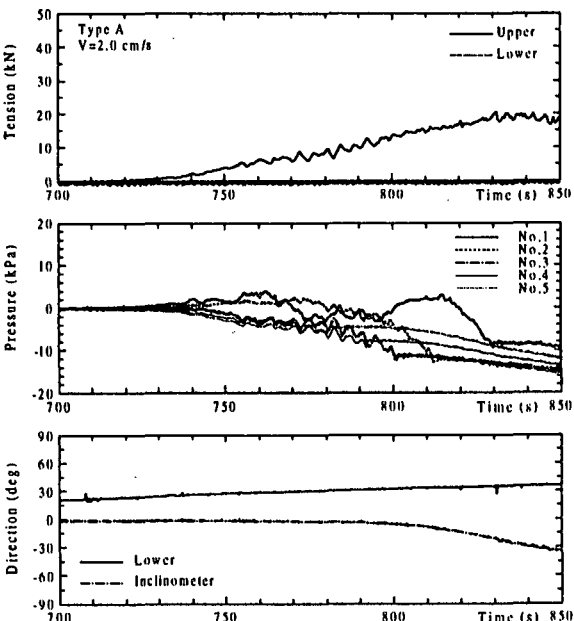
(b) Type A ($V=12.0$ cm/s)

図-4 把駐力、底面圧力、引き抜き角度およびアンカー傾斜角の時系列 (Type A: $\theta=90^\circ$)

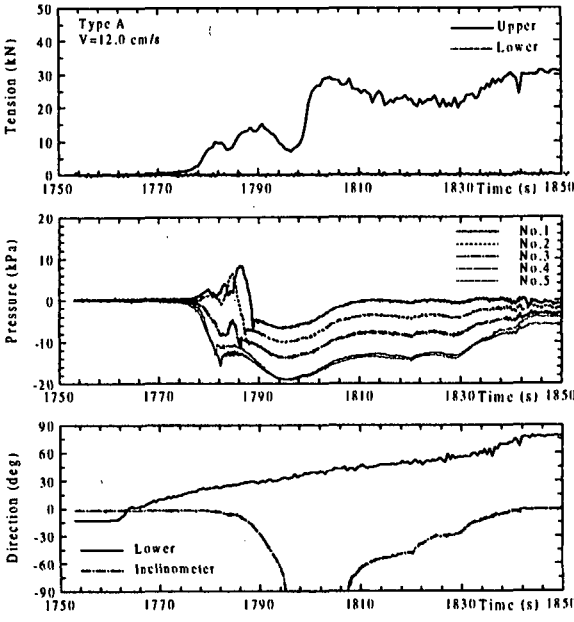
引き抜き速度は、目印を付けた係留ワイヤーを、目視およびビデオ撮影により読み取ることで得られるワイヤーの引き上げ量と時間から求めた。

アンカーの土被り量は、コンクリートブロックについては側方4面で、サクシオンアンカーでは対角の2カ所でアンカーの引き抜き開始前にダイバーがスケールにより直接測定した。

以上の測定と同時に、コンクリートブロックアンカーの底面5カ所、サクシオンアンカー内部2カ所に圧力計を設置し、アンカー底面圧力および内部圧力を



(a) Type A ($V=2.0$ cm/s)



(b) Type A ($V=12.0$ cm/s)

図-5 把駐力、底面圧力、引き抜き角度およびアンカー傾斜角の時系列 (Type A: $\theta<45^\circ$)

測定した。さらに、得られた現地観測データに基づき、係留アンカーをモデル化し把駐力について逆解析を行った。

3. 結果と考察

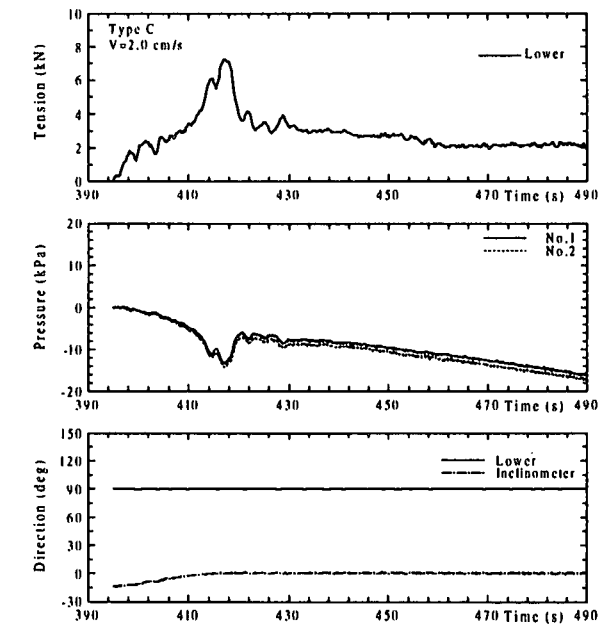
(1) 測定結果

把駐力試験における把駐力、アンカー底面圧力（コンクリートブロックアンカー）または内部圧力（サクシオンアンカー）、アンカー引き抜き角度およびアンカー本体の傾き角度の測定結果を図-4から図-6に

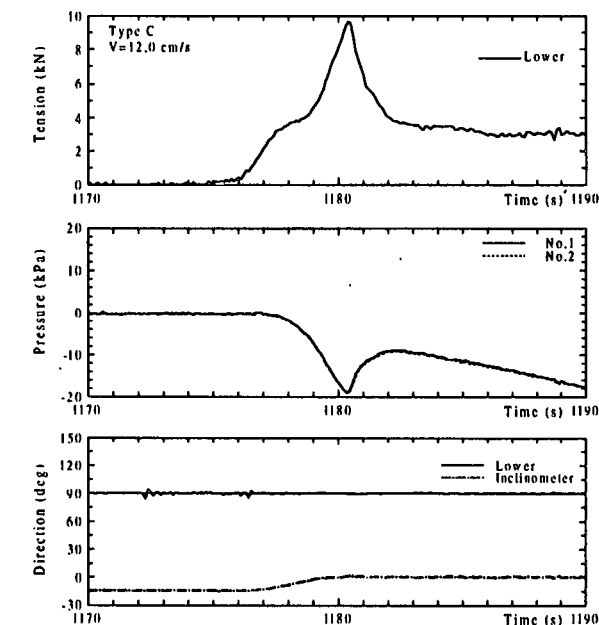
示した。なお、圧力の値はアンカーが着底したときの値を初期値零として示しており、アンカー本体の傾き角は水平方向に設置されているときに0°を示している。Type Aの引き抜き角90°の場合については、図-4に示されるように引き抜き速度の大きさに関わらず最大把駐力のピークが認められる。前野ら³⁾の京都府舞鶴市千歳地区で行った現地測定では、引き抜き速度が4.5cm/s程度では最大把駐力のピークは認められず、14.5cm/s程度で認められている。このことは、アンカーの土被り量が千歳地区では0.3m程度であったのに対して、京浜島地区では0.5mであり、土被り量の違いによることが考えられる。Type Aの斜めに引き抜いた場合については、引き抜き速度が小さいときには把駐力の増加割合が顕著でないことが図-5より読み取れる。Type Cの引き抜き角90°の場合については、引き抜き速度に関わらず顕著な最大把駐力のピークが認められ、把駐力に対応してアンカー内部圧力が変化していることが図-6より読み取れる。これは、前野ら³⁾と同様の傾向を示している。

(2) 引き抜き速度と引き抜き角度の効果

前野ら³⁾は京都府舞鶴市千歳地区で行った現地測定に基づいて把駐力に及ぼす引き抜き速度と引き抜き角

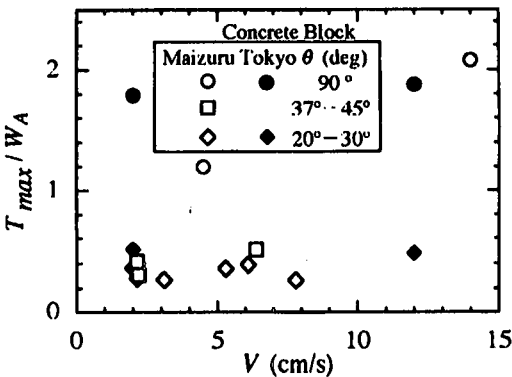


(a) Type C (V=2.0 cm/s)

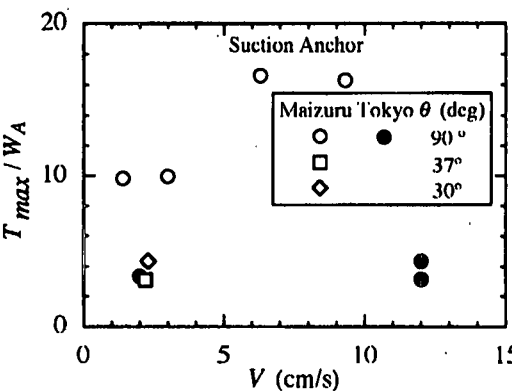


(b) Type C (V=12.0 cm/s)

図-6 把駐力、底面圧力、引き抜き角度およびアンカー傾斜角の時系列 (Type C: $\theta=90^\circ$)



(a) Type A



(b) Type C

図-7 無次元把駐力と引き抜き速度との関係

度の影響について考察している。今回、東京湾の軟弱底質について現場測定を行った結果を加えて改めて考察を行った。それらの結果を図-7に示した。それによれば、アンカーの水中重量で無次元化した把駐力 T_{max}/W_A は、最も測定値が多いType Aの結果を見る限り引き抜き速度との相関はさほど大きくなく、ほぼ引き抜き速度に無関係で一定と見なせる。また、垂直に引き抜いた場合に、つまり引き抜き角度 90° の時最も大きな把駐力の値を示している。断定はできないが引き抜き角度が大きくなるに従い把駐力が増加する傾向が図-7(a)より読み取れる。

さらに、サクシオンアンカーについては、シルト質砂であった舞鶴湾千歳地区での測定結果では引き抜き速度の増加により把駐力が増加する傾向が認められたが、より軟弱な東京湾京浜島地区での測定結果においては引き抜き速度との明確な相関が認められない。このことは底質の透水性に強く関連しているものと考えられる。舞鶴湾千歳地区、東京湾京浜島地区共に比較的透水係数の値が大きいことから、より難透水性地盤における測定が求められる。また、東京湾京浜島地区では軟弱であるため底質自体の流動性が高いことから、把駐力の引き抜き速度への依存性が発揮されないものと考えられる。

(3) アンカー底面の圧力分布

最も把駐力が発揮される真上に引き上げた時の引き抜き角 90° の場合については図-8に示した。それによれば、舞鶴湾千歳地区における前野ら³⁾の結

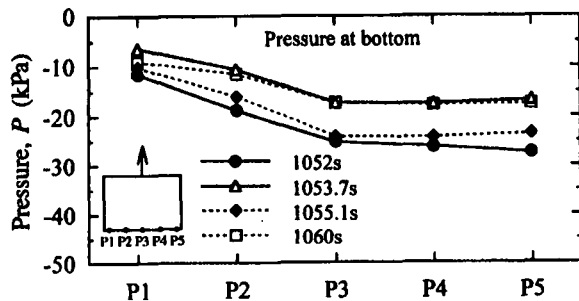
果と同様に中央部で大きなサクシオンが働いているのが図-8(b)において認められる。それは、コンクリートブロック底面の端部の方が圧力が消散しやすいことによる。一方、図-8(a)によればP5で大きなサクシオンである負圧が発生しているのに対して、P1では小さな負圧となっている。これは、引き抜き時にコンクリートブロックが若干傾斜していたかコンクリートブロックのP5側が底質中により多く沈み込んでいたためと考えられる。また、引き抜き速度の影響については、これらの2つの図面からは明確に読み取ることができなかった。

また、引き抜き角 45° 以下の場合については、同じく図-9に示した。それによれば、引き抜かれる方向の圧力計P1は小さなサクシオンもしくは正圧を示しており、逆の方向であるP5はサクシオンである負圧を示している。コンクリートブロックの設置状況も影響するので断定することはできないが、この場合には引き抜き速度が速い程サクシオンが引き抜き方向と逆側の底面で発生している。

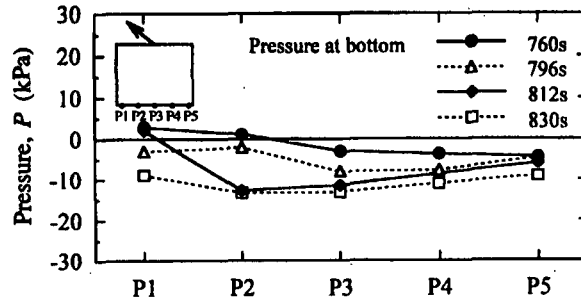
(4) サクシオンアンカーの把駐力の試算

山崎ら⁴⁾に基づき前野ら³⁾が示した式(1)により予測される値は、図-10(a)に示すとおり実測値よりも全体的に上まわっている。

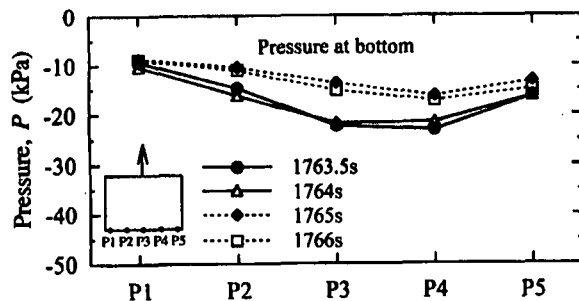
$$T = \frac{\pi D^2}{4} p_s + \pi D c d + \pi D K \left(\gamma' + \frac{p_s}{d} \right) \frac{d^2}{2} \tan \delta + W' + \frac{\pi D^2}{4} d \gamma' \quad (1)$$



(a) Type A (V=2.0 cm/s)

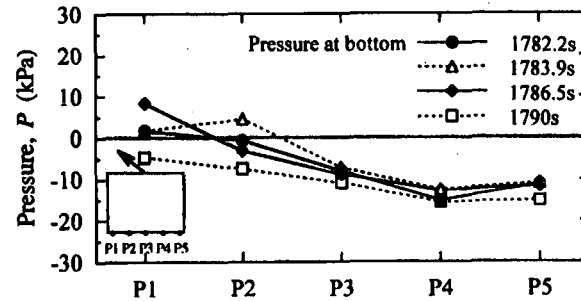


(a) Type A (V=2.0 cm/s)



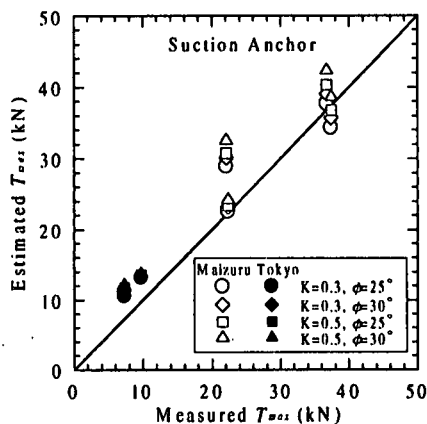
(b) Type A (V=12.0 cm/s)

図-8 底面圧力分布 (Type A: $\theta = 90^\circ$)

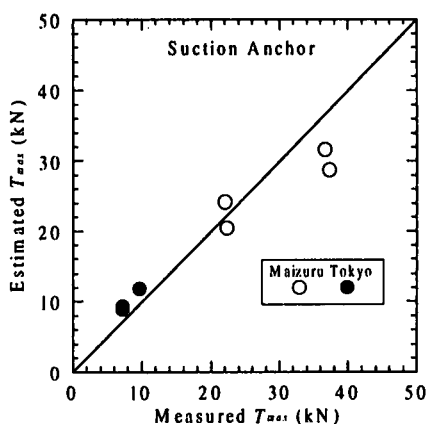


(b) Type A (V=12.0 cm/s)

図-9 底面圧力分布 (Type A: $\theta < 45^\circ$)



(a) 測定値と式(1)に基づく計算値との比較



(b) 測定値と底面圧力+アンカー水中重量の計算値との比較

図一10 把駐力の測定値と計算値との比較

そこで、図一10(b)に式(1)で考慮したアンカー内部土塊重量とアンカー周面摩擦力の各項の効果をみるためそれらの全てを取り除いた予測値と実測値との比較を示した。それによれば、予測値と実測値との良い一致を示している。東京湾京浜島地区における軟弱粘性土地盤では、自然含水比が大きく周面摩擦力の効果が低いと考えられるので、底面におけるサクシオンとアンカーの水中重量のみを考慮すれば良いと考えられる。また、舞鶴湾千歳地区における結果も、土被り量が小さく周面摩擦力が発揮されないものと考えられる。比較的低い把駐力の範囲では、東京湾京浜島地区と同様の傾向が認められるが、土被りが大きくなりサクシオンの発生が大きくなるに従って周面摩擦力の効果が大きくなることから、把駐力の予測に際しては、周面摩擦力やサクシオンアンカー内部に取り込まれた土塊重量を考慮する必要がある。

このように、軟弱な粘性土地盤や表層のシルト質砂では、アンカー周面摩擦力の算定に用いる正確な

土質定数を得ることには多くの困難が伴う。今回は、周辺地盤で採取された底質の土質分析結果を用いたが、これらの値については一定の不確実性を伴うものとして解釈を行う必要がある。実際の把駐力の算定に際しては、安全側を考えて、周面摩擦力やサクシオンアンカーに取り込まれた土塊の重量は考慮しない方が妥当と考えられる。

4. 結論

本研究により得られた結論を以下に示す。

1. コンクリートブロックアンカーの把駐力については、引抜き角が 45° 以下の場合、最大把駐力 T_{max} をアンカー水中重量 W_A で除した無次元把駐力が0.6以下であり、転倒モーメントの作用によって引き抜き速度による影響はほとんど認められない。
2. 引き抜き速度が $V=2(\text{cm/s})$ 程度であっても、土被り量が大きく、アンカー底面に作用する負圧(サクシオン)が作用する場合には、把駐力の増加が認められる。
3. サクシオンアンカーの把駐力については、アンカー内部圧力の大きさ(サクシオン)に対応して変化することが確かめられ、引抜き角が 90° であってもサクシオン効果が小さい場合(流動化した軟弱粘性土では、アンカー内部の土塊が抜け落ちることにより大きなサクシオンの効果が得られないものと考えられる)には、引き抜き速度の増加に伴う無次元把駐力の増加は顕著には認められない。
4. サクシオンアンカーの把駐力の推定に際して、土被り量が小さい場合には、周面摩擦力やアンカー内に取り込まれた土塊重量を考慮する必要はなく、アンカーの水中重量と底面のサクシオンのみを考慮すれば良いと考えられる。

参考文献

- 1) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，1989。
- 2) 土木学会：海洋鋼構造物設計指針（案），1973。
- 3) 前野賀彦・石川元康・熊谷裕児・村川博：係留アンカーの把駐力特性の検討，海洋開発論文集，第15巻，pp. 255-260，1999。
- 4) 山崎浩之・善 功企・館下 徹：サクシオン基礎の引き抜き抵抗のメカニズムに関する研究，第39回土質工学シンポジウム，pp. 73-80，1994。