

トート係留に使用するための杭型及び平板 アンカーの試設計と適用性検討

A STUDY ON THE APPLICABILITY OF PILE AND PLATE ANCHORS EMPLOYED FOR TOUT MOORING SYSTEM AND THEIR DESIGN

関田欣治¹・大村優太²・臼井慧介²・大川豊³

Kinji SEKITA, Yuuta OHMURA, Keisuke USUI, Yutaka OHKAWA

¹正会員 工博 東海大学 海洋土木工学科 (〒424 静岡市清水区折戸3-20-1)

²学生会員 東海大学 大学院 海洋学研究科海洋工学専攻

³正会員 海上技術安全研究所 海洋開発研究領域 (〒181-0004東京都三鷹市新川9-38-1)

To evaluate the applicability of high holding anchors for the tout mooring, we have carried out some studies on two kinds of anchors. One of anchors is a pile type anchor, which is called free fall anchor and it is driven into seabed soil by dropping. The other one is a plate type anchor, namely vertical loaded anchor, which is penetrated into sea bed through dragging. First we conducted installation analyses on the free fall and penetrating simulations, as well as the dragging and penetrating ones, to obtain their penetration depth and inclination. Then, structural and soil analyses for both anchors were carried out by using the beam column theory and FEM with nonlinear soil springs, respectively. The paper presents the results of the simulations, the models for structure and soil analyses to examine stresses and deformations and the calculated holding present capacities.

Key Words : Tout mooring, FTA, VLA, free fall anchor, vertical loading anchor,

1. はじめに

「浮体上に設置した風力発電から得られる電力を用いて海水を電気分解し、水素を製造し、これと陸で回収したCO₂とを反応させメタンに改質し代替エネルギーを創出する」というシステムについて共同研究を3年間実施してきた。このような自然エネルギーを活用する施設であっても経済性は重要であり、その係留も安価なものが要求されることから、我々は係留ラインを短くできるトート係留に着目した。

トート係留は、チェーンなどを用いる従来の緩係留と異なり、水中重量の軽い合成繊維索が使用されるので張力の作用で係留ラインが強く張られ、その結果20~30°と急角度で海底から立ち上がることが特徴である。そのため、鉛直方向の引抜性能が優れる高把駐力アンカーが不可欠となり、また対象とした設置水深が100~200mと深いので施工性も重要となる。本研究では、様々なアンカーの中から、海中

を自由落下させ設置する杭型アンカー (FFA¹⁾ : Free Fall Anchor) と引摺り設置する板アンカー (VLA²⁾ : Vertical Loaded Anchor) を選択した。そしてこれら二種類のアンカーの設置や施工技術について模型実験や数値解析により解明してきた結果、貫入深さや把駐力の推定に関わる様々な知見が得られてきた。

ここでは、今までなされてきた部分的な設計に対して^{1), 2)}, 貫入解析から設置後の把駐力及びアンカー強度についての一連の設計法を提案し、これらに基づく試設計を行い両アンカーのトート係留への適用性を論じる。

2. アンカー設計法

(1) 杭アンカー設計法

a) 設計手順

落下力を利用して粘土中へ貫入設置する杭アンカーの設計法を述べる (図-1参照)。杭アンカーは、

図-2の概略図に示したように先端部が円錐形状であり、引抜き抵抗を増やすため厚肉鋼管製の円筒部に矩形板状のフィンを十文字状に配置する。杭頭にパッドアイを設けこれにラインを取付ける。また、落下中の安定性を確保するため内部に銅バラストを詰め重心を下げる。杭アンカーの設計は、図-1に示すように①～④のステップの順に行うものとした。

- ①円筒部とフィンの形状や寸法諸元を仮定し、重量、重心と慣性2次モーメントを決定する。
- ②設置海域の水深や土質に対し、落下解析により土中への貫入量を推定する。
- ③設置後の杭の横抵抗や軸抵抗特性を算定する。
- ④横抵抗及び軸抵抗の荷重変形特性を非線形ばねとしてモデル化し、これらに支持される梁・柱の構造解析により杭断面を決定する。

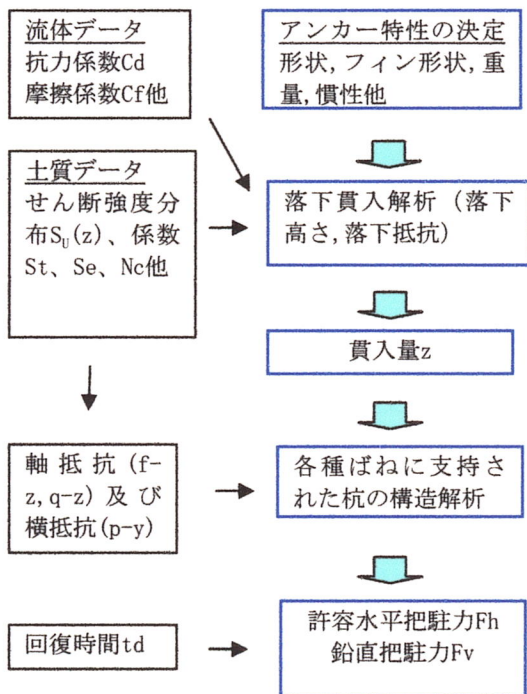


図-1 落下杭アンカーの設計手順

b) 落下貫入及び把駐力解析

杭の落下貫入解析³⁾については既に詳細に報告してあるので、ここでは説明を概略述べるに留める。海中での落下挙動は、水平、鉛直、回転の3自由度の運動方程式を時間領域で解いて求める。その際、杭先端の抗力係数Cdとフィンや円筒部の摩擦係数Cf、付加質量係数Caを与え、水平方向の流れも考慮する。土中については、海底衝突時の運動を初期条件とし、土中部分にある杭要素への貫入抵抗を評価しながら貫入量を刻々解析する。貫入時の土の動的特性や攪乱の影響は、J. T. Lieng¹⁾に倣い式(1)と(2)で与える貫入深さzに応じた周面摩擦 $f(z)$ と先端抵抗 $q(z)$ により考慮する。

$$f(z) = S_e \alpha S_U(z) / S_t \quad (1)$$

$$q(z) = S_e S_U(z) N_c \quad (2)$$

ここで、 S_e は歪速度係数、 α は付着力係数、

$S_U(z)$ はせん断強度、 S_t は鋭敏比、 N_c は先端支持力係数である。力への換算には、両式にそれぞれフィンと円筒の周面積及び円錐部の投影断面積をかける。

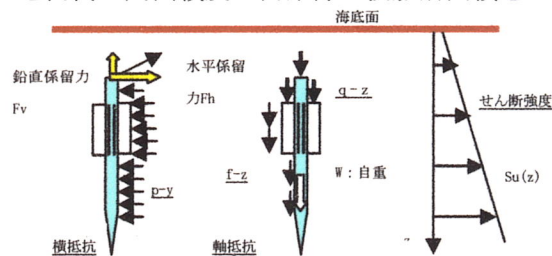


図-2 杭アンカー地盤間の抵抗落下

一方、設置後十分時間が経過すれば杭頭とフィン上端が埋没されるという条件で、引抜きに対する周面摩擦は式(1)により S_e 及び S_t を1.0とし算定する。また杭頭やフィン上端面に生じる引抜きに対する支持力は S_e を1.0とおき式(2)で算定する。 α はフィンの有無に関わらず貫入時は0.4、設置後は0.8とし、 N_c は貫入時（押込）も設置後（引抜）とも押込み杭と同様9.0とする⁴⁾。なお、引抜き最終強度に達するまでの時間（図-1中における回復時間 t_d ）は粘土の間隙水圧の逸散時間、即ち水平方向の圧密係数 c_h と排水経路の長さから推定でき、 c_h が $5\text{m}^2/\text{yr}$ 程度の海底では概ね施工後約2週間で限界引抜き耐力の約75%に半年で約95%に戻ると予測される¹⁾。

(2) 平板アンカー設計法

a) 設計手順

現在メーカーが製作しているVLAは多少複雑な形状であるが⁵⁾、我々は単純な長方形板とした。平板アンカーについても杭アンカーと同様の設計手順とする（図-3参照）。

- ①平板のサイズ、結束ワイヤーや曳きラインの諸元を決定する。
- ②海底土質が粘土の場合は鋭敏比をまた砂の場合は低減係数を考慮し、引摺り貫入解析により平板の貫入深さと傾斜角を推定する。
- ③平板の最終姿勢に対し、平板の先端支持抵抗、周面摩擦、法線方向の土圧抵抗を算定する。
- ④先端支持抵抗、周面摩擦、法線方向土圧抵抗に対応する非線形ばねを板要素に取付けた有限要素解析により、平板に発生する応力が許容応力度内に収まる条件での係留力を算定する。

b) 平板の貫入及び把駐力解析

貫入解析と把駐力解析についての詳細は文献⁶⁾を参照されたいが、ここでは簡単に述べておく。図-4に図示するように矩形平板には、水平及び鉛直荷重 F_h, F_v と自重 W_f により、周面摩擦 Q_f 及び先端部には支持力 Q_t が生じる。粘土の場合は、Heyerdahl⁷⁾により接線方向の抵抗 Q が次式で与えられる。

$$Q = Q_f + Q_t = A_f \alpha S_U(z) / S_t + A_t N_c S_U(z_t) \quad (3)$$

ここで、 A_f, A_t は平板アンカーの摩擦面積及び先端部の断面積、 α は付着力係数、 $S_U(z), S_U(z_t)$

はそれぞれ平板係留点及び先端部におけるせん断強度である。

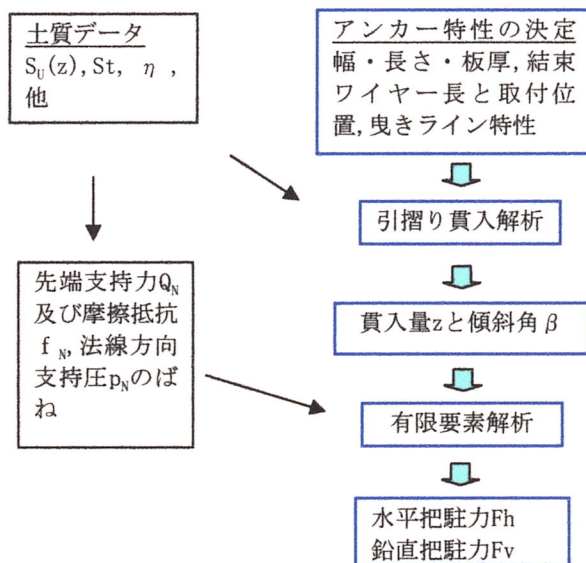


図-3 平板アンカーの設計

一方、図-4に示す釣り合い解析から得られる土圧 p_a, p_b に対する安定性を Heyerdahl⁷⁾ に倣い次式の許容支持圧 p_N で評価することとした。

$$p_N = N_c S_u(z) \quad (4)$$

砂については、Rowe⁸⁾ に従い式 (4) におけるせん断強度の代りに鉛直載荷圧 $\sigma_v(z)$ を用いる。しかしながら、平板アンカーは傾いて貫入されるので、本来は傾いた平板に対する面垂直方向応力を用いるべきだが、貫入時の平板の傾斜が 30° 程度であること及び簡便に評価するため $\sigma_v(z)$ を用いることとした。同じ理由で、接線方向の抵抗 Q も式 (3) に対応し式 (5) を用いる。したがって、式 (5) にある η は実験等により決定することになるが、これには貫入過程で乱される土の強度低下や応力の方向の誤差等含まれることになる⁶⁾。

$$Q = Q_f + Q_t = A f \mu S_V(z) / \eta + A_t N_c S_V(z_t) \quad (5)$$

また、 μ は平板の壁面摩擦係数に關係する係数であり、砂層上の鋼製アンカーでは摩擦係数は 0.7 程度なのでそれを用いることにした。

設置後十分時間が経過した時点の抵抗には、杭アンカーと同様に鋭敏比等を見捨て Q を算定する。平板の先端支持力係数は粘土も砂でも模型実験から 9.0 を用い、法線方向は支持力係数には R. Dhalberg 等²⁾ による貫入深さと平板幅比 z/B をパラメータとする関係式 (6) を用いる。ただし、 z/B が 4.5 以上では支持力係数を 12.0 一定とする。

$$N_c = 5.14 (1 + 0.987 \tan^{-1}(z/B)) \quad (6)$$

式 (6) による支持力係数と我々の模型実験の結果を比較すると図には示していないが両者はよく一致した。以上から、平板の深さと傾斜角が与えられれば平板の釣り合いモデル (図-4 参照) により係留力 F_h, F_v が決定できる。

他方、貫入解析は引摺り位置 x 及び深さ z に対し平板の姿勢 (傾斜角 β) を未知数として貫入軌跡を推定するものである。解析は二次元的であるので、平板の幅 (図-4 では奥行き方向) を平板法線方向の

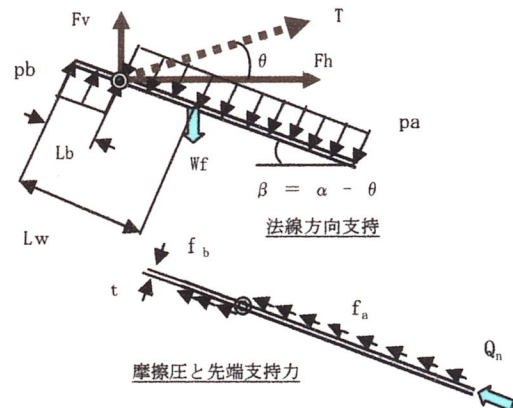


図-4 平板アンカー釣り合い

受圧面積や先端部投影面積の算定に考慮する。また、貫入解析では平板の係留点に関するモーメントと水平・鉛直方向の力の釣り合いの 3 条件から、平板の傾斜角 β 、引摺り側前方の土圧 p_a 及び後方側の土圧 p_b を未知数として解く。模型実験や実際の施工は、風を揚げるのとちょうど上下反対に海底においたアンカーを引摺り貫入させるが、風糸の結び目に相当する位置に制御板を配置し、これと平板間を上下左右 4 本の結束ワイヤーで結ぶ。さらに制御板にはアンカー船からの曳き (貫入後は係留) ラインを繋げる。そのため、平板傾斜角 β とラインの水平角 θ との關係で、上下どちらかの (二次元的解析なので左右 2 対を 1 本とした) 結束ワイヤーが緩むことがある。そのような場合は、結束ワイヤーと平板がなす角度からラインの片効きを幾何学的に判定できるので作用点の位置 L_b を変更する。貫入軌跡は、微小深さ dz を増分しながら深さ z 、位置 x における傾斜角 β を次々と準静的に求める。この過程で得られる p_a, p_b のうち大きい方が式 (7) を満たすか、あるいは曳きラインの張力 T が耐力に収まるか判定することで、最大貫入深さが決定できる。

$$p_N \leq \text{Max}(|p_a|, |p_b|) \quad (7)$$

3. アンカーの設計

(1) 落下アンカー

a) 土質、アンカー諸元及び落下貫入解析

具体的な設置海域が決まっておらずまた机上検討なので、文献で²⁾ 用いられた粘土地盤の土質データを使用した。せん断強度分布は深さに対し線形式で定義され、表層で 3kPa、勾配 1.5kPa/m である。また、単位重量は 18kN/m³、鋭敏比 St は 2.0 である。

杭の仕様はフィンのないものも含め表-1 のように決めた。表中のアンカー名は外径 (インチ)、杭全長 (m)、N/F はフィンの有無に対応する。杭長はすべて円筒部に先端円錐部 1m 長を加えた全長である。円筒部先端から 2~4m 杭頭から 1.0m の範囲に長さが

9m～11mフィンを4枚取付ける。フィンの高さは762mm径では0.45m, それ以外では0.9mである。板厚はすべて25.4mmとした。重量には円筒部先端側約4m区間の内部に詰めた銅バラストを含む。

表-1 検討した杭の仕様

アンカー名	直径 (mm) × 杭長(m)	重量(kN)
30-12N/F	762 × 12	184 / 224
42-12N/F	1,067 × 12	356 / 438
42-15N/F	1,067 × 15	418 / 507
42/46-16F	1,067 / 1,168 × 16	526 / 608

その結果, 例えば46-16F杭では先端より5.5mと低い位置に重心があり, 全質量は約62t (バラスト35t), 回転 (pitch) 運動解析に対する慣性モーメントは2,809 tm^2 である。

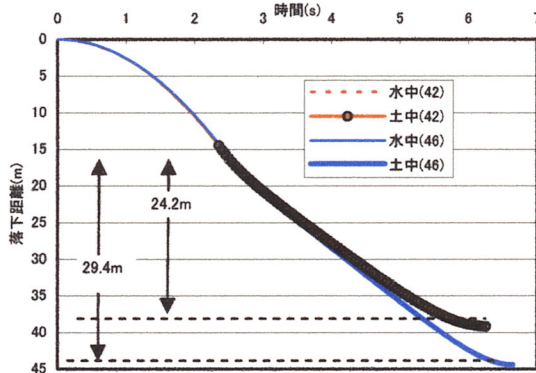


図-5 杭アンカーの落下解析結果

海底から高さ15mに先端があるように保持した杭アンカーを離す時点から落下解析を行った。この解析では水平方向の流れは考慮していない。図-5は42 (42-16F) 及び46 (46-16F) インチ杭の重心における鉛直方向の落下変位の時刻歴であるが, それぞれ先端部が約24.2m, 29.4mまで貫入することになる。他の杭も概ね同程度の深さまで貫入できる。

b) 杭アンカーの解析

杭の横抵抗の評価には, 軟弱粘土についてAPI⁴⁾で推奨する繰返し劣化を考慮したp-y曲線を使用した。そのため不攪乱土の非排水圧縮最大強度の半分に相当する $\varepsilon_c 1\%$ を用いた。図-6に42インチアンカー (12m, 15m長) の杭頭に作用する水平荷重と水平変位の関係を図示したが, 各杭の最大荷重を終局限界荷重とした。フィンがあると限界荷重は無い場合に比べて約2倍となる。

軸抵抗 $f-z$, $q-z$ についてもAPIによりバイリニアの関係で近似した。横抵抗と同様に, 極限引抜き荷重を算定した。表-2に単独で荷重が作用する場合の限界荷重 F_h , F_v 及び対応する杭頭変位並びに杭に発生する最大の応力を示す。軸力による幾何剛性の影響を考慮するため梁・柱理論を適用したが, 杭先端1.0mの円錐部は無視した。フィンのある部分はフィンと円筒部の断面剛性を算定し等価の鋼管と置き換えた。その外径は円筒径に2枚分のフィン幅を加えたものとした。限界荷重作用時の応力は, トート係

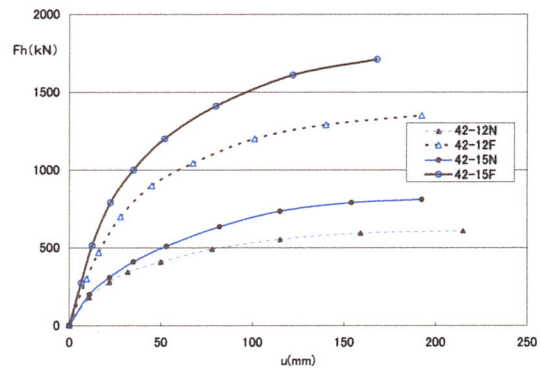


図-6 杭頭水平荷重と変位解析結果

留ラインの立上角が20-30° という前提で水平方向には限界荷重 F_h が, 鉛直方向にはその1/2 ($F_v = \tan 25^\circ F_h$) が作用するとし算定した。その結果, 限界荷重を受ける杭に生ずる応力の最大値は外径42-16F杭を除けば, SM400材の降伏応力210N/mm²を下回る。

表-2 鉛直・水平の限界荷重及び応力

ケース	限界荷重(kN)		杭頭変位(mm)		応力 σ (N/mm ²)
	F_v	F_h	v	u	
30-12N	735	425	2.1	148	102
30-12F	1387	850	2	325	159
42-12N	1162	608	2.9	215	74
42-12F	2463	1350	2.6	192	95
42-15N	1496	810	2.8	213	127
42-15F	2981	1710	2.7	168	141
42-16F	3923	2500	3.1	484	235
46-16F	4156	2600	3.3	482	208

c) 許容把駐力

海外基準ではFFAやVLAなどに対する安全率⁹⁾は正常時2.0, 損傷 (1本係留ライン破損) 時1.5とされるが, 引抜きに対する安全率はわが国では港湾構造物では2.5とされていることもあるので, 安全率を鉛直方向2.5, 水平方向2.0とした。その結果, 杭の発生応力でなく限界荷重に対する安全性から許容把駐力は決まる。すなわち, 表-2に示したそれぞれの限界荷重を安全率で除して得られた許容引抜き及び許容水平値を許容把駐力として表-3に示す。

表-3 杭アンカーの許容把駐力

アンカー	許容引抜き値(kN)	許容水平値(kN)
30-12 N / F	294 / 555	212 / 425
42-12 N / F	465 / 985	304 / 675
42-15 N / F	598 / 1192	405 / 855
42 / 46-16F	1569 / 1662	1,117 / 1,300

(2) 平板アンカーの設計

a) 土質, アンカー諸元及び引摺り貫入解析

平板アンカーについても, 表-4に示す3種類のアンカーについて解析を行った。土質条件は単位重量18kN/m³, せん断強度は表層で1.5kPa深さ勾配2.0kPa/m, 鋭敏比5.0として貫入解析を実施した。

板厚は50mm一様とし、曳く方向は平板の長さ方向である。そのための曳きラインは、表-4に示す耐力と直径を有する長さ1000mの繊維索であり、これをアンカーから200m離れた海底5mの高さに保持する。

表-4 平板アンカーの諸元

アンカー名	平板 1	平板 2	平板 3
面積 A(m ²)	25.0	15.0	8.0
長さ L(m)	3.8	3.0	2.0
幅 B(m)	6.5	5.0	4.0
質量 (t)	57.7	34.6	18.5
曳きライン耐力(kN)	7,191	4,581	2,730
曳きライン径 d(mm)	154.0	125.0	113.0
係留索耐力(kN)	22,070	11,134	5,399
係留索径 d(mm)	153.0	127.0	83.0

2. (2)b)で述べた解析法に基づき行った25m²平板アンカーの貫入軌跡に関する解析結果を図-7に示す。図の水平軸は移動距離xを、また縦軸には貫入過程の平板の貫入深さz、平板傾斜角βと曳きラインと平板の交角αの変化を示す。これから平板は約40m引き摺られてから急に平板が傾き貫入深さも徐々に増加し、同時に交角も増えることが分かる。約100m移動後にβとαはピークを迎えzは急激に増加する。180mを過ぎると平板は水平に戻ろうとする傾向を示す。これらは、今までの模型実験結果と概ね類似している。

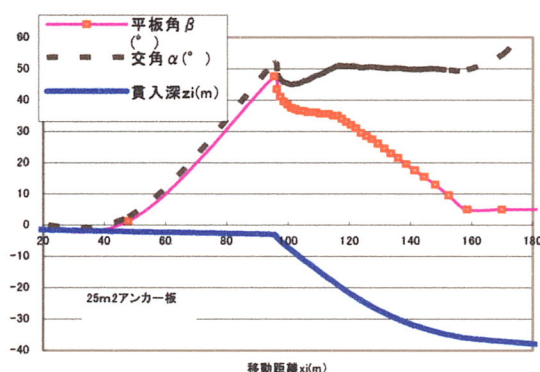


図-7 平板アンカーの貫入過程の軌跡

一方、アンカー製造者であるVryhof社がVLAの貫入量を推算する簡易式⁵⁾を公表している。

$$z = 1.5k^{0.6}d^{-0.7}A^{0.3}\tan^{1.7}(\alpha) \quad (8)$$

ここで、 z (m)は貫入深さであり、 k はせん断強度の勾配(k Pa/m)、 d は曳きラインの直径(m)であり A はアンカーの面積(m²)である。 α (°)は平板とラインの角度、すなわち交角に対応する。

そこで、我々が行った解析結果と簡易式による貫入深さの推定値と比較をしてみた(表-5参照)。この結果、簡易式による貫入量は平板3が26.1mであり他の2つの平板では約30.0mとなり、解析値とほぼ一致する。簡易式導出に使用した鋭敏比が公表されていないが、同時に記載されている終局限界荷重と貫入のための必要張力の比が3倍であることから、鋭

敏比は我々が用いた値より若干小さいと思われる。なお、限界の貫入量は、平板3を除くと平板1と2は曳きラインの許容耐力から決まる。

表-5 簡易式と解析結果との比較

アンカー名	平板 1	平板 2	平板 3
交角 α(°)	50.2	50.4	50.3
ライン角 θ(°)	29.7	27.9	16.3
平板傾斜 β(°)	21.5	22.5	34.0
解析結果 z(m)	30.0	30.0	25.0
簡易式 z(m)	29.8	28.5	26.1

b) 地盤ばねを有する平板構造解析

平板の傾斜角や貫入深さ等は表-5に示す最終姿勢を用いた。長さ方向の係留点はアンカー先端から平板1～3についてそれぞれ2.5, 1.5, 0.5mとした。幅方向の係留点は、平板長さより幅が広いので平板中心線を対称に2点とし、その点を挟む土圧による左右のモーメントが等しくなる位置とした。これは平板幅の29.3%の相当する位置となり、平板1～3についてそれぞれ中心から左右に2.22, 1.47, 1.17m離れた点となる。メッシュサイズは0.1m×0.1mとし、形状と荷重の対象性から1/2モデルとした。有限要素法解析にあたっては、変形は有限変位として取り扱うが、材料は弾性としたので、平板の降伏等の判定は発生応力レベルで評価した。

平板面の垂直方向に働く土圧と変形はバイリニア型の一ばねでモデル化した。その初期勾配である地盤支持力ばね k_a は、平板長さから面積から道路橋示方書・同解IV下部構造編¹⁰⁾を参考に6,462 kN/m³と決めた。式(5)から N_c を12として係留点深さでの土のせん断強度から終局限界支持力は683 kN/m²となり、さらにこれを地盤反力係数で除して限界変位0.12mを得た。一方、アンカー先端面の支持力係数は実験結果等を踏まえ9.0とし、同様に算定すると限界支持力は475 kN/m²、限界変位が0.017mとなる。

他方、最大摩擦力は摩擦係数を0.7とし算定した。摩擦ばねの勾配を決定する限界変位は、杭の限界変位(直径Dの1%)に倣い平板の周長2Bから等価直径を決め0.029mとした。その結果、ばね定数は1,383 kN/m³となる。

c) 応力及び変形

非線形地盤ばねで支えられる平板に、アンカー重量及び係留力 F_h と F_v を同時に载荷し解析した。得られた終局限界荷重時の平板2に発生する応力(上面長さ方向直応力 σ_{xx})の一例を図-8に示す。図の左端が平板中心線にあたり、係留点で約460N/mm²の最大直応力が発生するがすべて弾性範囲に収まる。面積が8m²と小さい平板3では最大応力が190N/mm²と小さい。しかしながら、面積が20m²の平板1では降伏し係留ライン取り付け部は板厚増などの補強を施す必要がある。

変形については結果だけ述べると、限界荷重に対し係留力作用点で板厚6cmに対し13.6～23.7mm程度全体的に盛り上がる大きな変形が生ずる。平板先端

と後端部の角では反対側にそる変形となる。引摺り方向の地盤と平板間の相対変形は17～20mmとなり、摩擦力は線形範囲に留まるものの、平板先端部の支持力は限界支持力に達し幅方向に一様分布する。

平板の摩擦力は、図-4で平板を剛体と仮定した釣り合いモデルにおける一様な分布とほぼ同様であり平板先端側が若干大きい。また、平板面に垂直な方向の土圧分布は、平板の曲げ変形に相似の分布となっており、曲げ変形に伴い逆側の地盤が支持する部分が少しみられるが小さく図-4の仮定とは異なる。

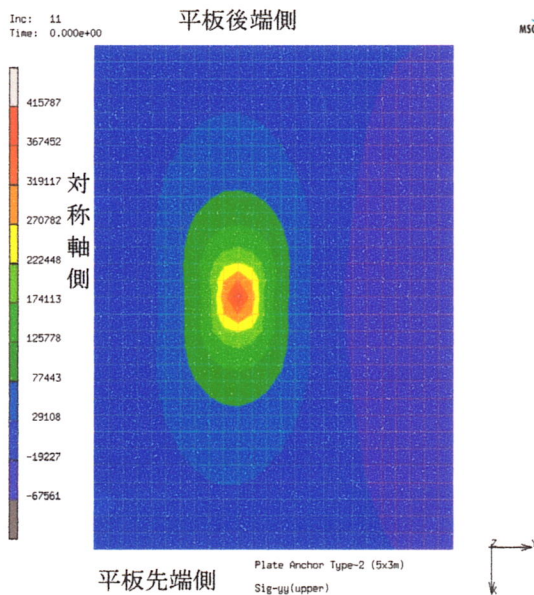


図-8 平板2の発生応力

d) 許容把駐力

有限要素解析結果から、平板アンカーの限界把駐力を整理し、さらに安全率を考慮し許容把駐力を算定した(表-6参照のこと)。安全率は、鉛直方向も水平方向も2.0とした⁹⁾。平板傾斜角が水平に近いので、水平方向も鉛直方向把駐力も同程度であり、傾斜が若干大きい平板3では水平方向把駐力が大きくなる。一番小さな平板3の許容張力は2,590kNと算定され大きい。この結果、面積あたりの把駐力は平板3が大きく、これは長さに対し幅が広いので先端支持力が相対的に大きいことによるといえる。

表-6 平板アンカーの把駐力(水平Fh, 鉛直Fv)

アンカー	限界把駐力 Fh / Fv (kN)	許容把駐力 Fh / Fv (kN)
平板1	12,147 / 13,425	6,209 / 6,712
平板2	6,719 / 6,710	3,359 / 3,355
平板3	4,910 / 1,654	2,455 / 827

e) アンカー適用性評価

一連の設計結果から、両アンカーとも鉛直把駐性能が要求されるトートな係留に適することが判明した。杭アンカーは比較的設置精度に優れるので高い施工精度が要求される場合には適する³⁾が、砂地盤には適用できない。平板アンカーは鋼材重量が小さ

く、小面積でも把駐力は大きい。また、平板傾斜を角度の急なまま保持すれば、水平方向の把駐力も大きくできる。また、設置精度基準⁹⁾は係留ライン長の1%程度でよいとされるので、このような条件で使用されるのであれば十分な適用性があると思われる。さらに、平板アンカーは鋼材重量も少なく済むことから経済性にも優れると思われる。

4. 結論

トート係留に適する杭及び平板アンカーについて、貫入解析から設置後の支持力及び構造解析にもとづく設計を提案し、これに則り試設計を行った結果、以下の結論が得られた。

- (1) 両アンカーとも鉛直方向の把駐性能が要求されるトート係留に適する。
- (2) 平板アンカーは小面積でも優れた把駐性能を発揮できる。
- (3) 杭アンカーは大水深及び設置精度が要求される場合に有効と思われる。

謝辞：本研究は平成15年度「浮体式洋上風力発電による輸送用代替燃料創出に資する研究(新形式アンカーの研究)」として、(独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構「運輸分野における基礎的研究推進制度」の支援を受けて実施したものである。

参考文献

- 1) Lieng, J.T. et al: Deep Penetrating Anchor: Subseabed Deepwater Anchor Concept for Floaters and Other Installations, pp.613-619, Proc. 9th ISOPE, 1999.
- 2) Dhalberg, R. et al: The New Calibrated Design Cord for Plate Anchors in Clay, Proc. of Offshore Technology Conference, OTC16109, pp.1-9, 2004.
- 3) 関田欣治, 大村優太, 吉成岳彦, 矢後清和: 杭式アンカーの海中落下挙動と海底地盤への貫入に関する実験及び解析, 土木学会, 海洋開発論文集, Vol.21, 2005.
- 4) API: Recommended Practice for Planning, Designing, and Constructing Fixed Offshore Platforms, Report RP2A-LRFD, American Petroleum Institute, D.C., 1993.
- 5) Vryhof Anchors社資料: Anchor manual 2000.
- 6) 関田欣治, 吉成岳彦, 鈴木英之, 大川豊: 浮体式風力発電施設の係留のための平板型アンカーに関する貫入模型実験とその解析, 土木学会, 海洋開発論文集, VOL.20, pp.1205-1210, 2004.
- 7) Heyerdahl, H.: Testing of Plate Anchors, Proc. of Offshore Technology Conference, OTC13273, pp.1-11, 2001.
- 8) Rowe R.K. et al: The Behavior of Anchor Plates in Sand, Geotechnique 32, No.1, pp.25-41, 1982.
- 9) Ayman E. et al: Industrial Trends for Design Anchoring Systems for Deepwater Offshore Structures, Proc. of Offshore Technology Conference, OTC15265, pp.1-10, 2003.
- 10) 道路橋示方書・同解説 IV下部構造編, (社)日本道路協会, 平成14年3月.