

中層浮魚礁設置精度の向上に関する研究

STUDY ON THE IMPROVEMENT OF ACCURACY FOR SETTING MIDWATER ARTIFICIAL FLOATING REEF

小野正順¹・松山起也²

Masanobu ONO and Tatsuya MATSUYAMA

¹正会員 工博 高知工業高等専門学校助教授 建設システム工学科 (〒783-8508 高知県南国市物部200-1)

²学生員 徳島文理大学 (〒770-8514 徳島市山城町西浜傍示180)

A midwater artificial floating reef is set in the middle layer of the depth from 500m to 1500m by sinking anchor from the sea surface. The bottom profile where the midwater artificial floating reef is set is usually not flat but has a steep slope. If the anchor is not fixed at the proper position, the location of artificial floating reef deviates from the intended position. The fish-swarming effect of the artificial floating reef depends on the position of the body. Therefore, it is necessary to set the mooring anchor at the intended position.

In this study, we investigate the shape of the anchor that has less fluctuation in the horizontal direction during sinking from the surface. It is found that the rectangular parallelepiped anchor with the triangle projection has less fluctuation.

Key Words : midwater artificial floating reef, mooring anchor shape, hydraulic model experiment

1. はじめに

中層浮魚礁は、図-1に示すように水深500m～1500mの海域の中層域に設置される浮魚礁である。潮流や海流による魚礁本体の沈み込みの影響は、「沿岸漁場整備開発事業施設設計指針」¹⁾にも記載されているように設計時に検討される。そのため魚礁本体の設置位置は、係留索の長さと同アンカーの設置位置により左右される。中層浮魚礁を設置する場合、アンカーをクレーンにより吊り下げ、水面から海中に投入される。潮流や海流などの流れの影響は設置前に現地において計測され、その影響を考慮して設置される。このときアンカー設置付近の海底地形が広い範囲にわたり平坦である場合、あるいは目標位置にアンカーが設置できれば問題ない。しかしながら、好漁場は海底の起伏が激しく流れの変化がある場所や海底の栄養塩が湧昇しやすい大陸棚斜面などで多いため、中層浮魚礁の設置場所は海底の起伏の大きい場所が多い。

一方、中層浮魚礁の集魚効果は設置水深によって大きく左右される。現在までに、アンカーの設置精度の基準は定められていないが、海底の起伏の激しい場所においては、浮魚礁の設置位置の精度がその魚礁の集魚効果を左右する重要な要因と

なる。流れなどの外力による設置位置の変化は、運動方程式を解析することで予測できるが、アンカーの落下運動に伴うばらつきは、その落下状態も含めて不明な点が多い。

このような観点より本研究は、正確な位置に投入できるアンカー形状を検討した。アンカーは必要重量が確保できれば形状は多少自由に变化させることができる。種々のアンカー形状を考えて水中での落下実験を行い、落下位置のばらつきを計測することで、最もばらつきの少ない形状を水理模型実験により検討した。また、落下するアンカー背後の流況を

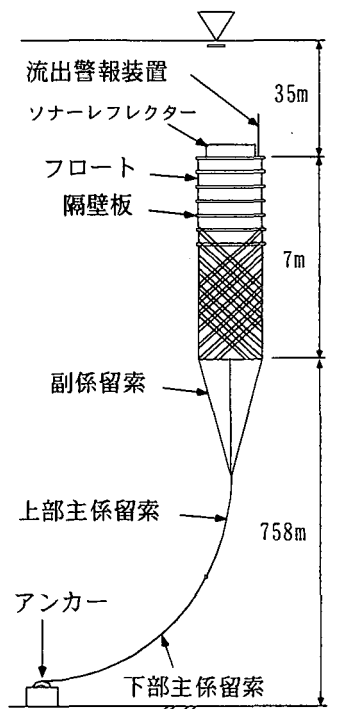


図-1 中層浮魚礁の設置例

SOLA法により数値計算を行い、アンカー背後の流況と落下位置のばらつきについて検討を行った。さらにアンカー投入時は、2つのフックでアンカーを吊り上げ同時に解放する。このとき、どちらかのフックが遅れて解放されることを考え、アンカーが傾いた状態で投入された場合の落下位置についても検討を行った。

2. アンカー落下位置に関する実験

(1) 実験水槽及びアンカー模型

実験で用いたアンカー形状は、現行のアンカー形状を含めて5種類である。現行のアンカー形状は2.2m四方で厚さ1mの直方体である。平板型アンカーの形状は、3.0m四方で厚さ0.65mの直方体で、0.6m×0.6mの空隙が4カ所設けられている。これは厚さを薄くする事で、落下時の流れ直角方向の射影面積を大きくとり抗力が大きくゆっくり落下させ、さらに空隙を設けることで後流域の負圧の発生を抑制し後流渦の発生を抑えるような形状を考えた。直方体型アンカー形状は2.5m四方で厚さ1.0mの直方体で、0.6m×0.6mの空隙が4カ所設けられている。これは平板の場合と同じ目的で空隙が空けられており、落下方向の長さ（アンカーの厚さ）が長いことで、落下時の安定性を確保するような形状とした。突起付アンカー形状は、図-2に示すように直方体型アンカーを基本とし、効率的に水中を落下できるように、アンカー側壁に三角形の突起を取り付けた。羽根付アンカー形状は、直方体型アンカーを基本とし、傾いても自動修正できるように鉛直板を側面に付けた形状である。

実験に用いた水槽は、高さ2.0m、縦横は内寸で80cm四角の片面ガラス張りの水槽である。模型アンカーは塩ビで作成した。現地と比重を合わせるように、模型に鉛板を取り付けた。模型縮尺は1/25、1/50、1/100の3種類で行った。1/100の実験は模型が小さく、フックと粘性の影響が大きくなった。水槽の高さが2.0mなので、1/25、1/50、1/100の縮尺に対して落下距離が50m、100m、200mとなる。従って、アンカーを落下させてから50-200m落下した位置での落下位置のばらつきを実験することになるが、ばらつきの大い落下初期の状況を検討することとする。

(2) 実験方法及び実験条件

実験の相似則はレイノルズ数の相似則を用いるべきであるが、実験規模が制限されるため、フルードの相似則を用いた。フルードの相似則を用いた場合のレイノルズ数は $Re=10^3-10^5$ の範囲であり、現地と同様十分乱流状態で実験できている。アンカー落下位置は、水槽上方からビデオで計測し、側方からもビデオによりアンカーの落下速度を計測した。模型アンカーの投入は、各ケースについて50回づつ行った。投入角度は、

水平投入と45°投入の2種類について行った。アンカーの投入は水面付近の水中で行った。

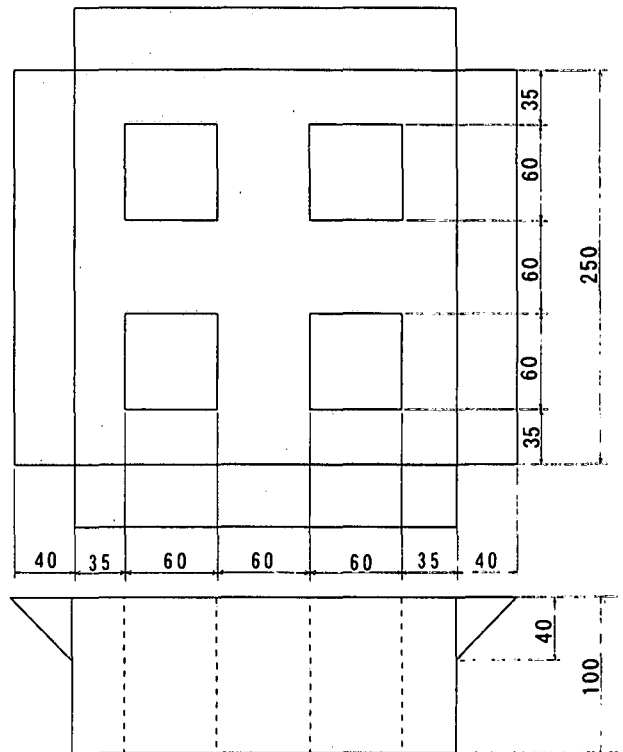


図-2 突起付きアンカー形状 (単位:cm)

3. アンカー周辺の流況に関する数値計算

アンカー周辺の流況の数値計算は、アンカー背後の渦流れが再現できるようにNavier-Stokesの式を直接計算するSOLA法²⁾を用いた。基礎方程式は、次に示す連続式とNavier-Stokesの運動方程式である。

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = D = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} + \frac{\partial uw}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \gamma \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v^2}{\partial x} + \frac{\partial v^2}{\partial y} + \frac{\partial vw}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \gamma \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (3)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\partial w^2}{\partial x} + \frac{\partial w^2}{\partial y} + \frac{\partial w^2}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g + \gamma \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (4)$$

ここに、 u, v, w はそれぞれ x, y, z 方向の流速、 ρ は水の密度、 g は重力加速度、 p は圧力、 ν は動粘性係数を示す。 D は発散を示し非圧縮性流体では0となる。数値計算には差分法を用いた。運動方程式の移流項にはdoner差分を用い、重み係

数 α の値は0.5に設定した。粘性項については、2次の中央差分を用いた。

計算手順は、式(2)~(4)の運動方程式を用いて、各流速成分を時間発展で求める。しかしながらこのようにして求めた各流速成分は式(1)の連続式を満たさない。各セルの発散 D は式(1)により求め、各セルの発散 D が0になるように圧力 p と各流速成分 u, v, w が修正される。

4. アンカー落下位置のばらつき特性

(1) アンカー落下速度と抗力係数

側方のガラス面から撮影したビデオ画像から、アンカーの落下速度を計測した。鉛直方向の運動方程式をたて、抗力と重力が釣り合うとして落下速度とそれぞれのアンカーの抗力係数の関係式は次式で示される。

$$w_f = \sqrt{\frac{2V(S-1)g}{AC_D}} \quad (5)$$

ここに、 w_f はアンカーの落下速度、 V, A はアンカーの体積と射影面積、 C_D は抗力係数、 S はアンカーの比重を示す。それぞれのアンカー形状の抗力係数及びレイノルズ数を表-1に示す。実験結果より現行アンカーの抗力係数は1.49、平板アンカーは1.91、直方体アンカーは1.51、突起付きアンカーは0.92、羽根付きアンカーは1.67となった。これらの抗力係数を基に各アンカーの現地での落下速度を計算し、表-2にまとめて示す。

表-1 各アンカーの抗力係数

Case	縮尺	C_D	Re
①現行アンカー	1/25	1.57	66978
②平板アンカー		1.91	65890
③直方体アンカー		1.56	76700
④現行アンカー	1/50	1.49	20709
⑤平板アンカー		1.91	19392
⑥直方体アンカー		1.46	23161
⑦突起付きアンカー		0.92	31292
⑧羽根付きアンカー	1/100	1.67	21653
⑨現行アンカー		1.42	7630
⑩平板アンカー		2.75	7339
⑪直方体アンカー		1.28	9240
⑫突起付きアンカー		0.70	13139
⑬羽根付きアンカー	1.26	9215	

表-2 各アンカーの落下速度

Case	C_D	A(m ²)	V(m ³)	落下速度(m/s)
④現行アンカー	1.49	4.84	4.84	4.027
⑤平板アンカー	1.91	7.56	4.91	2.867
⑥直方体アンカー	1.51	4.81	4.81	4.001
⑦突起付きアンカー	0.92	8.81	5.61	4.090
⑧羽根付きアンカー	1.67	4.81	4.81	3.804

(2) アンカー落下位置のばらつき

Case①-③とCase④-⑧までのアンカー落下地点の実験結果を図-3~5、6~10にそれぞれ示す。各実験結果よりアンカーの落下地点のばらつきは、中心ほど落下頻度の大きい正規分布は示さず、ある一定範囲に様にばらつき、その範囲を超えると急激に落下頻度が少なくなる傾向を示す。従って落下位置の評価については、落下地点の90% (50地点中45地点) を含む原点を中心とする円を考え、その半径の大きさで落下位置のばらつきを評価した。それぞれのアンカー落下位置のばらつき半径を現地スケールに換算した結果を表-3に示す。全てのアンカーは落下時に大きさの大小はあるが振動しながら落下する。特に、直方体アンカーと羽根付きアンカーは試行回数の半分近くはひっくり返った。これらのアンカーは振動周期が長く振動も大きく落下位置のばらつきも大きい。これに対して現行アンカーや突起付きアンカーの振動数は高く小刻みに振動するため落下位置のばらつきが少なくなる。

表-3 各アンカーの落下位置のばらつき範囲

タイプ	縮尺	現地半径(m)	現地落下距離(m)
①現行アンカー	1/25	3.50	50
②平板アンカー		4.50	
③直方体アンカー		6.00	
④現行アンカー	1/50	8.00	100
⑤平板アンカー		6.50	
⑥直方体アンカー		10.00	
⑦突起付きアンカー		2.50	
⑧羽根付きアンカー	1/100	8.00	
⑨現行アンカー		8.00	200
⑩平板アンカー		15.00	
⑪直方体アンカー		17.00	
⑫突起付きアンカー		10.00	
⑬羽根付きアンカー	23.00		

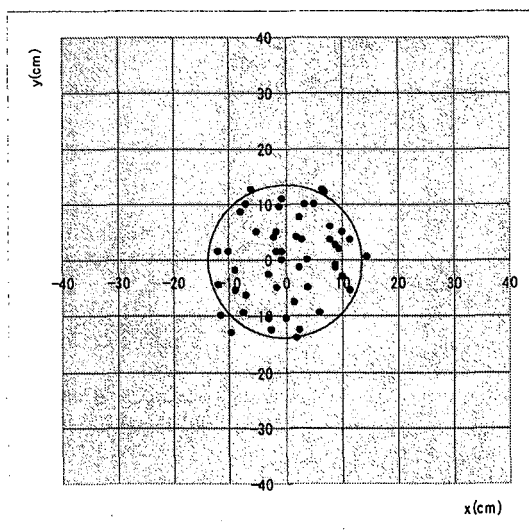


図-3 アンカー落下位置のばらつき (現行アンカー、縮尺：1/25、水平投入)

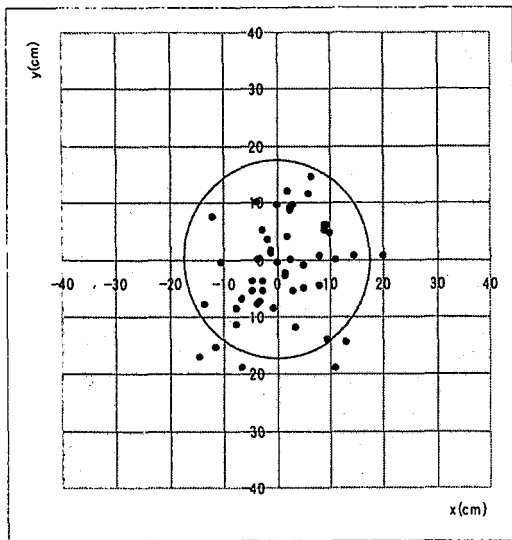


図-4 アンカー落下位置のばらつき
(平板アンカー, 縮尺: 1/25, 水平投入)

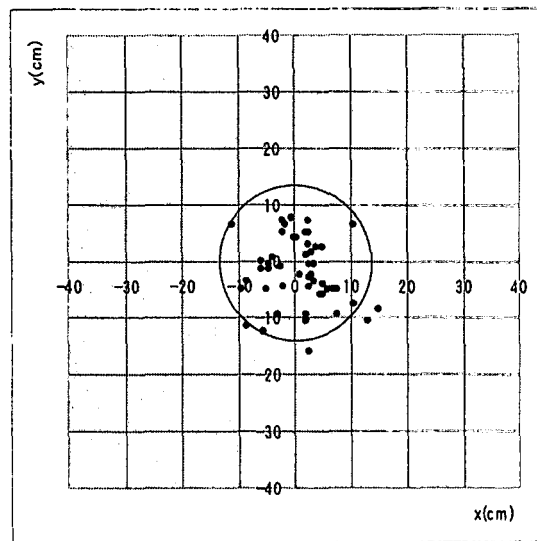


図-7 アンカー落下位置のばらつき
(平板アンカー, 縮尺: 1/50, 水平投入)

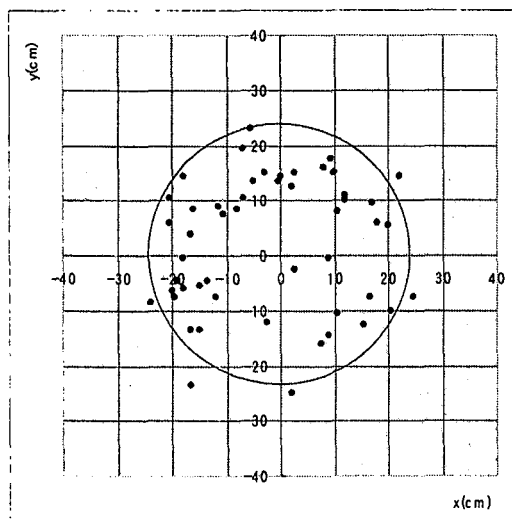


図-5 アンカー落下位置のばらつき
(直方体アンカー, 縮尺: 1/25, 水平投入)

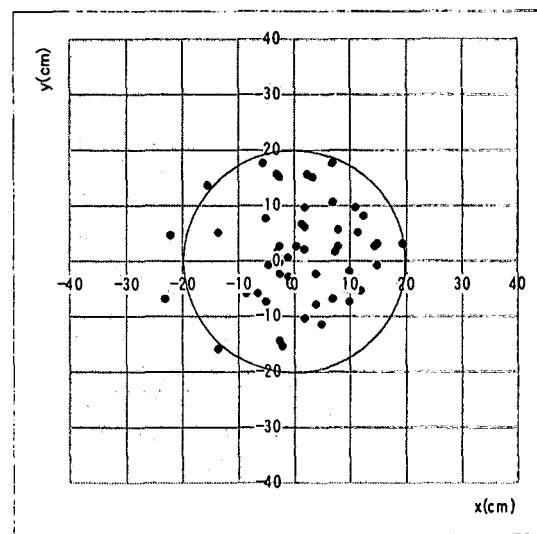


図-8 アンカー落下位置のばらつき
(直方体アンカー, 縮尺: 1/50, 水平投入)

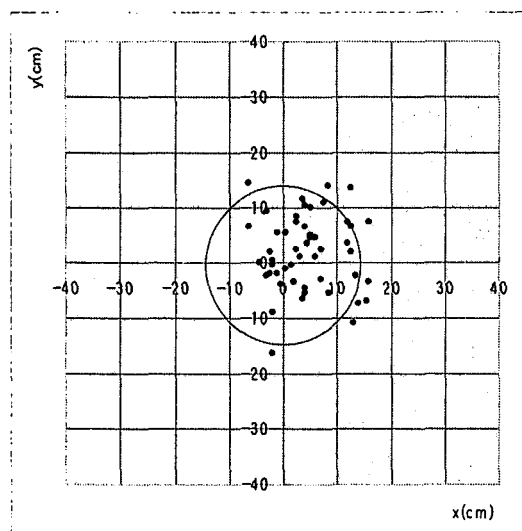


図-6 アンカー落下位置のばらつき
(現行アンカー, 縮尺: 1/50, 水平投入)

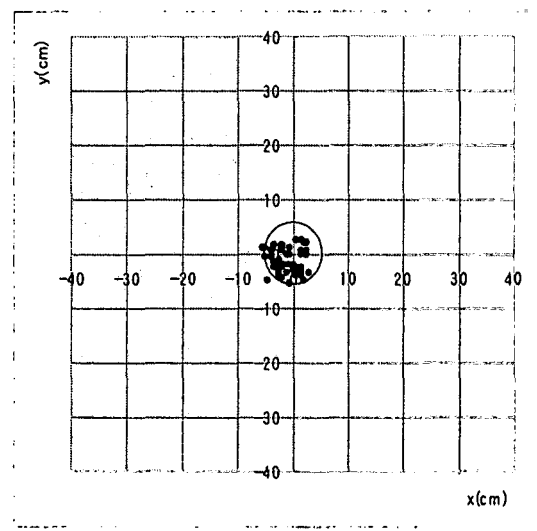


図-9 アンカー落下位置のばらつき
(突起付きアンカー, 縮尺: 1/50, 水平投入)

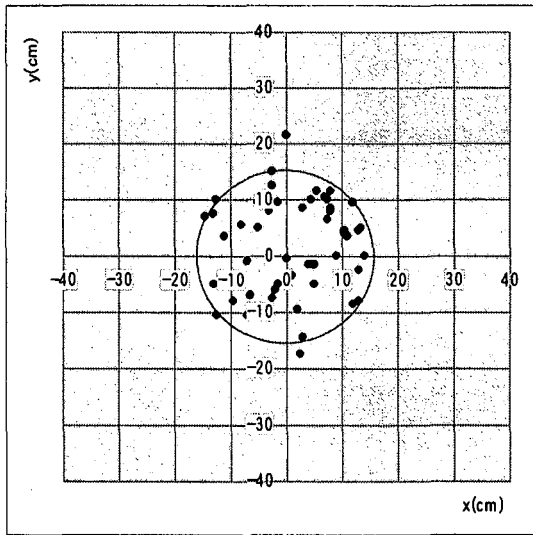


図-10 アンカー落下位置のばらつき
(羽根付きアンカー, 縮尺: 1/50, 水平投入)

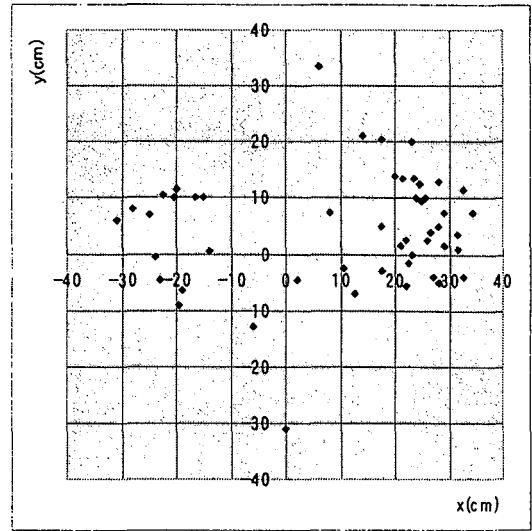


図-11 アンカー落下位置のばらつき
(現行アンカー, 縮尺: 1/50, 45°投入)

(3) 45°投入時のアンカー落下位置のばらつき

水平投入の実験結果(表-3)で落下位置のばらつきの少なかった現行アンカー, 平板アンカーと突起付きアンカーについて, 45°投入の場合のアンカー落下位置のばらつきを検討した. アンカーの初期投入状態は, 図中のx軸とアンカーの対角線が一致する方向で, x軸正方向を水平から45°下方, x軸負方向を水平から45°上方に傾けた状態とした. それらの実験結果を図-11~13に示す. 図-11は現行アンカーの実験結果を示す. 実験結果よりx軸方向の正負で結果が分かれているが, x軸正方向に落下したアンカーは落下後振動しながら落下したケースであり, x軸負方向に落下したアンカーは投入後下方に傾けた方向にひっくり返って落下したケースとなる. 図-12は平板アンカーの実験結果を示す. 平板アンカーはひっくり返ることはなく大きく揺れながら落下する. 従って, 実験結果はアンカーを傾けたx軸正方向に落下する. 図-13は突起付きアンカーの実験結果を示す. 落下の状況は, 他のアンカーと同様, 傾けた対角方向に振動しながら落下する. しかしながら, 他のアンカーに比べると振動は小さく, 傾けた方向に落下していくことはなく, 落下位置のばらつきも少ない.

(4) アンカー落下時の背後の流況

アンカー落下時の振動や落下地点のばらつきはアンカー背後の流況に大きく関係していると考えられる. アンカーが振動している場合と多少異なるが, 水中でアンカーが固定されており, 表-2に示される落下速度の流速を作用させた場合のアンカー背後の流況を数値計算により求めた. 計算は10秒後の計算結果を示し, アンカー中央部分での断面図と空隙中央部での断面図の流況を示した. 図-14, 15はそれぞれ突起付きアンカーのアンカー中央部及び空隙中央部での断面の流況を示

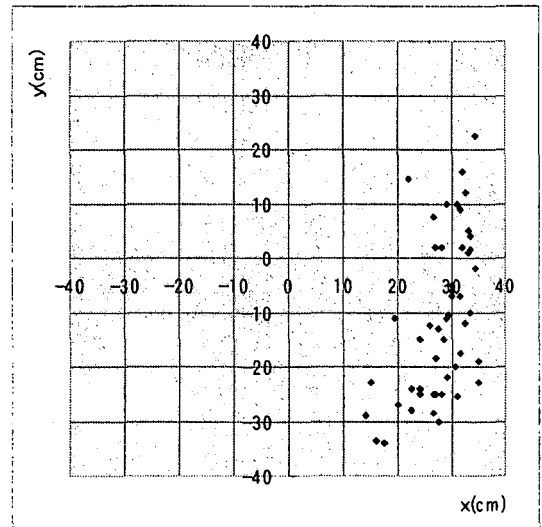


図-12 アンカー落下位置のばらつき
(平板アンカー, 縮尺: 1/50, 45°投入)

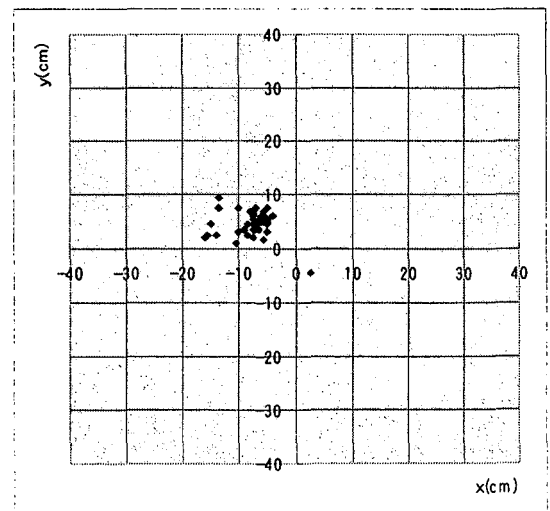


図-13 アンカー落下位置のばらつき
(突起付きアンカー, 縮尺: 1/50, 45°投入)

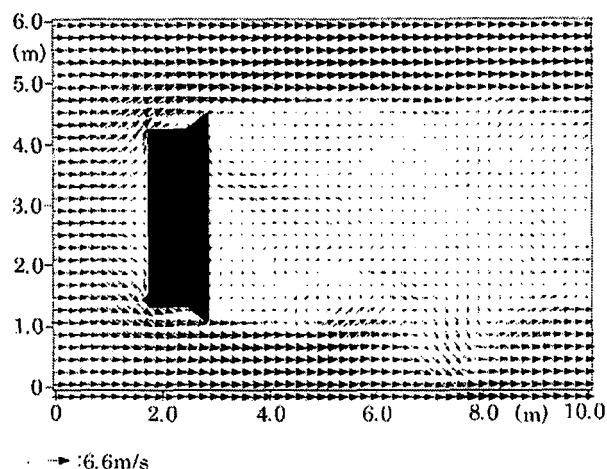


図-14 突起付きアンカー背後の流況（中央部）

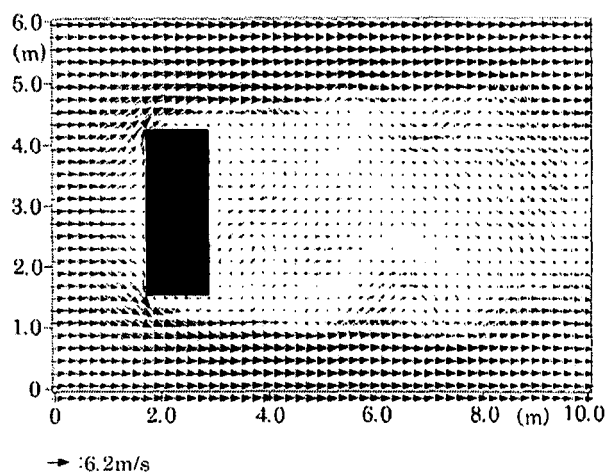


図-16 直方体アンカー背後の流況（中央部）

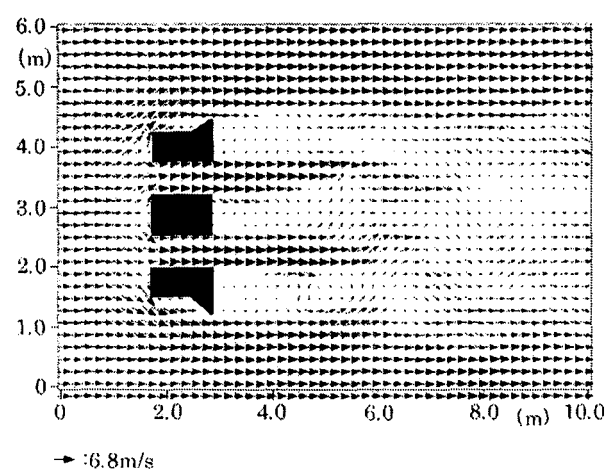


図-15 突起付きアンカー背後の流況（空隙部）

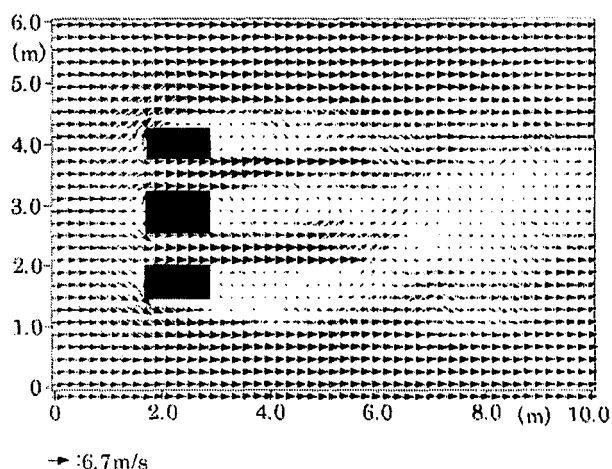


図-17 直方体アンカー背後の流況（空隙部）

す。図より、アンカー中央部でも空隙中央部でもアンカー後流域は計算範囲の10mの位置まで、ほぼアンカーの幅である3.3mの後流域の幅を持つ。それに対して直方体アンカーのアンカー中央部及び空隙中央部での断面の流況を図-16、17に示す。直方体アンカーの中央部では、後流域が8mの所まで広がっているものの、空隙中央部では5-6m程度までしか広がっておらず、これらの影響がアンカーの振動に影響を及ぼしているものと考えられる。

5. 結論

- ①どのような形状のアンカーも落下時は多少なりとも振動しながら落下し、その時の振動が落下位置にばらつきが生じる。
- ②最も落下位置にばらつきが少なかったのは突起付きアンカーである。これはアンカーの側面に突起を設けることにより流れの剥離点を突起の先端とする事で、後流域の流れが安定するものと考えられる。

- ③各アンカーの抗力係数は0.7-2.8であり、抗力係数が小さいのは突起型アンカーであり、抗力係数が大きいのは平板型アンカーである。
- ④45度に傾斜させて投入した場合、ほとんどのアンカーは大きく落下位置がばらついたが、突起付アンカーは投入後本体の傾きは修正され、落下位置のばらつきは少なかった。
- ⑤数値計算により各アンカー背後の流況を比較すると、最も安定して落下した突起付きアンカー背後の後流域は他のアンカーと比較すると大きく広がっていることがわかった。

謝辞：本研究を遂行するにあたり、旭化成工業(株)の担当者の方々には実験などにおいて御助力を頂きました。ここに、記して謝意を申し上げます。

参考文献

- 1) 沿岸漁場整備開発 事業施設設計指針編集委員会 編集：沿岸漁場整備開発事業施設設計指針，(社)全国沿岸漁業振興開発協会，pp.208-222，1993。
- 2) 高橋亮一 編著：コンピューターによる流体力学〈演習〉，(株)構造設計研究所，275p，1982。