

6 離底器のメカニズム把握（小課題4－1－4）

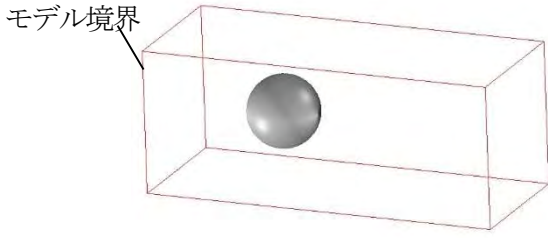
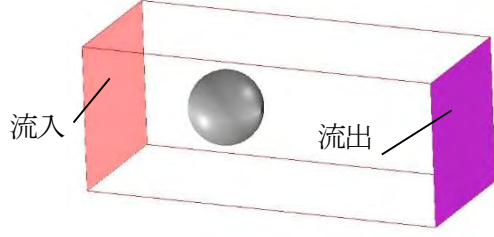
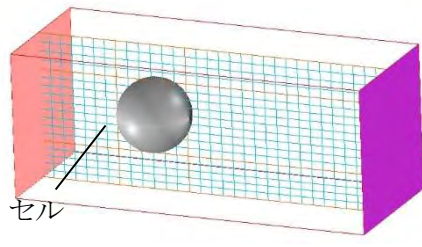
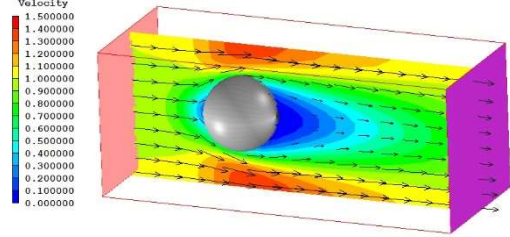
6.1 数値シミュレーション

6.1.1 方法

数値シミュレーションには、3次元流体解析ソフトのPHOENICS（英国CHAM社製）を用いた。

PHOENICSの解析手順を表18に示した。なお、本シミュレーションでは、採苗器、離底器および空間をPHOENICSモデル上で再現し、そこに流入および流出位置を設定し、一様流を発生させた。

表 18 PHOENICS の解析手順

【Step1】 構造物の3次元モデル化 3次元計算モデル空間内に、採苗器などの構造物や設備を作成する。 （右図では例として、直方体のモデル空間内に球体の構造物を設置している。）	
【Step2】 境界条件の設定 流入・流出位置、流量等を設定する。	
【Step3】 数値解析の実施 モデル空間内全体に微小な直方体領域の計算格子（セル）を設定し、セルごとに方程式を数値的に解くことによって、モデル内の流速等を計算する。	
【Step4】 解析結果の出力 解析結果の図や値を出力する。 （右図は球体断面の流速コンターと流速ベクトルの結果を示している。）	

流速条件は最大で現地の流速に近い50cm/sとし、ケース設定は、下表のとおり「離底器なし（採苗器のみ設置）」および「離底器あり（採苗器と離底器の設置）」とした(表 19)。さらに、「離底器あり」の場合、一様流向による流況の違いを把握するため、離底器の長手方向と短手方向の2 ケースのシミュレーションを実施した。

表 19 実験ケース

ケース名	離底器	流向
Case A1	なし	長手方向
Case A2	あり	長手方向
Case A3	あり	短手方向

各 Case のモデル図を図 44～図 46 に示した。

Case A1 および A2 のモデルサイズは、水産工学研究所神栖庁舎所有の大型回流水槽を想定したサイズとした。

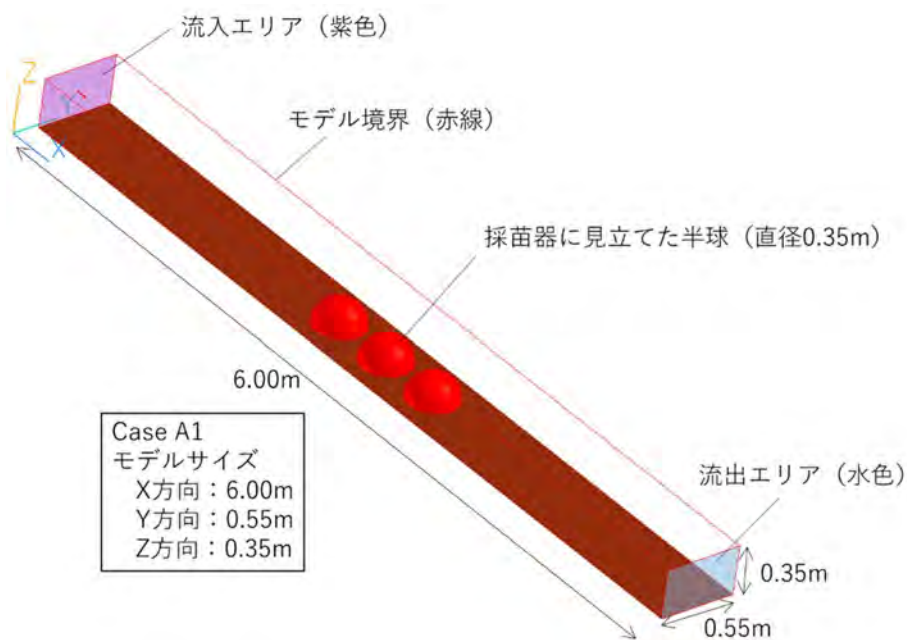


図 44 Case A1 のモデル図

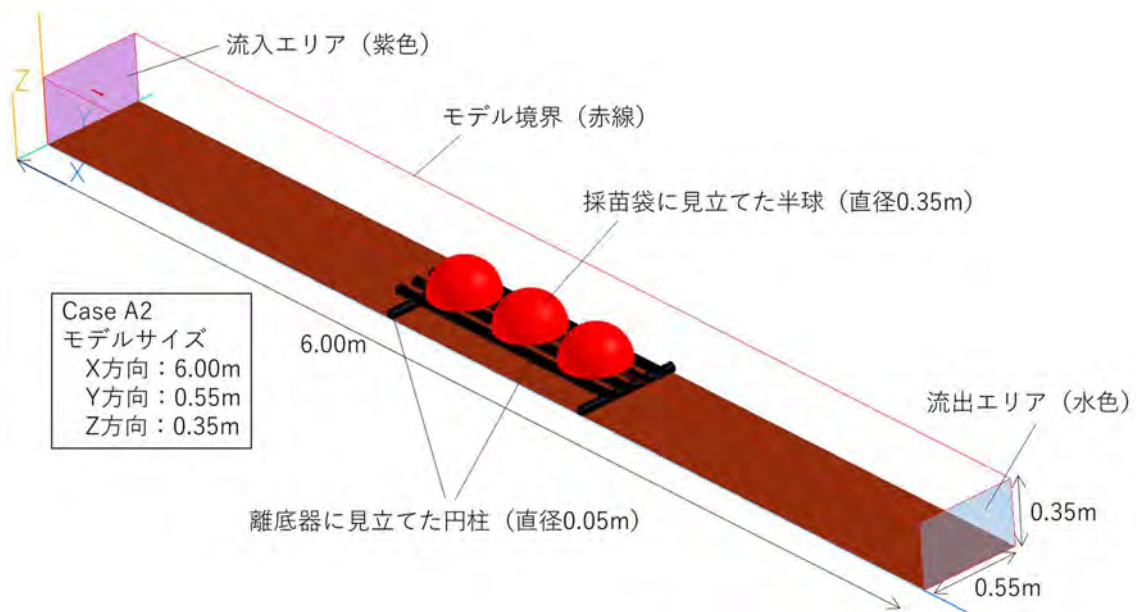


図 45 Case A2 のモデル図

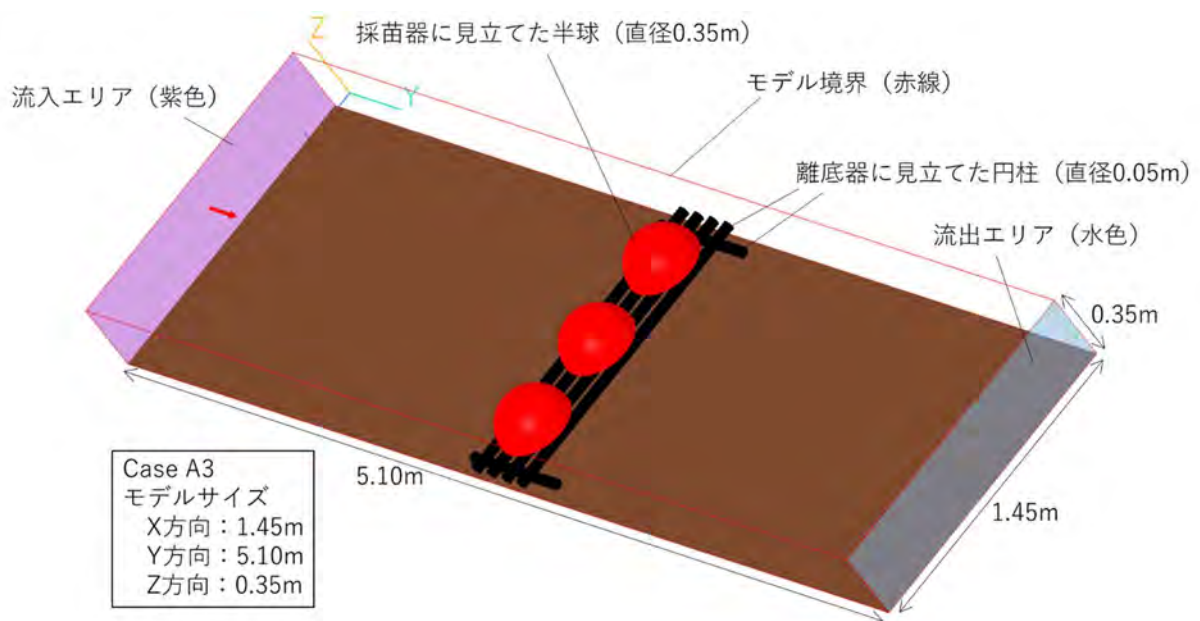


図 46 Case A3 のモデル図

6.1.2 結果

(1) CaseA1

Case A1 の結果を図 47、図 48 に示した。

断面コンター図からは、採苗器間で流れが時計周りの渦ができ、停滞している一方、採苗器の上側で速い流れが確認された。平面コンター図からは、採苗器を避けるような流れがあり、採苗器の両脇で速い流れが確認できた。

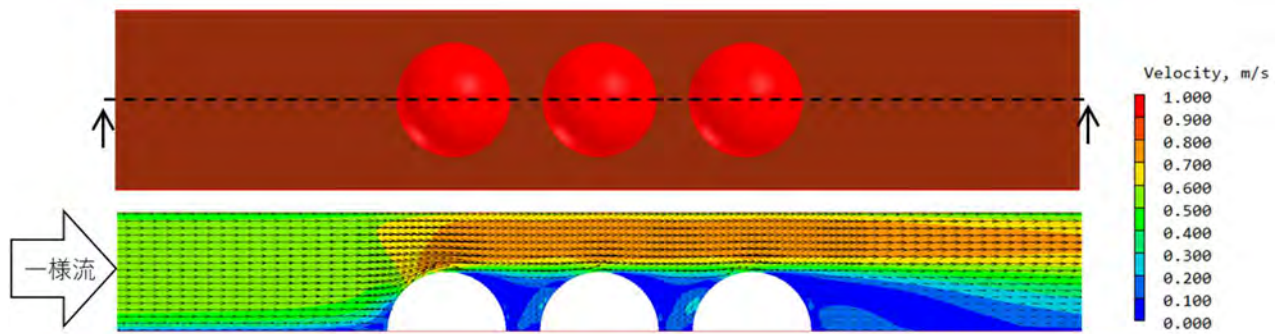


図 47 Case A1 の断面コンター図および平面コンター図

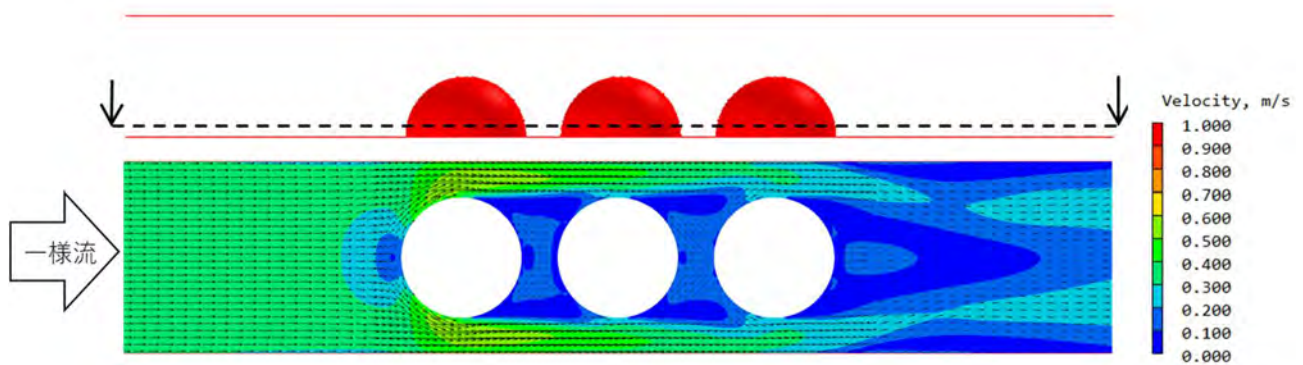


図 48 Case A1 の平面コンター図

(底面上 2.5cm 上図に平面コンター位置を示す)

(2) Case A2

Case A2 の結果を図 49、図 50 に示した。

断面コンター図からは、採苗器間では遅い流れになるものの、採苗器の下側および上側に速い流れが確認された。離底器上流側では採苗器下に沈み込む流れが、下流側では採苗器下から吹き上がる流れが確認された。平面コンター図でも、離底器の下側に速い流れが確認された。

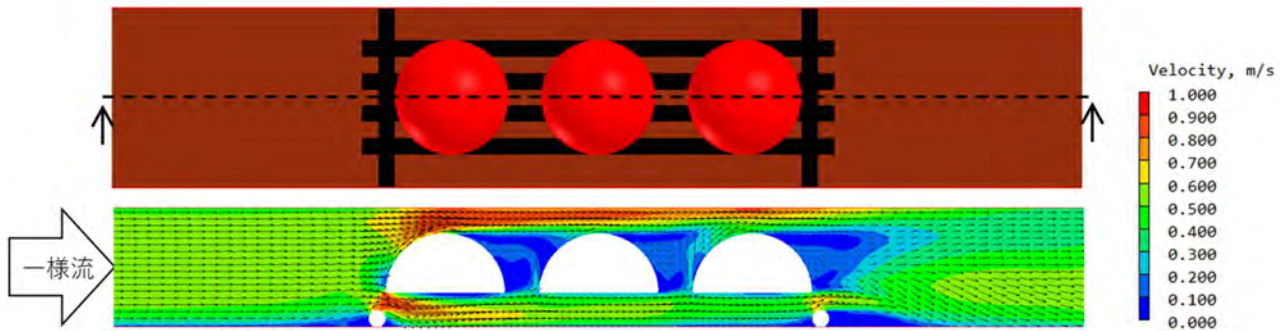


図 49 Case A2 の断面コンター図

(奥行方向の中心 上図に断面コンター位置を示す)

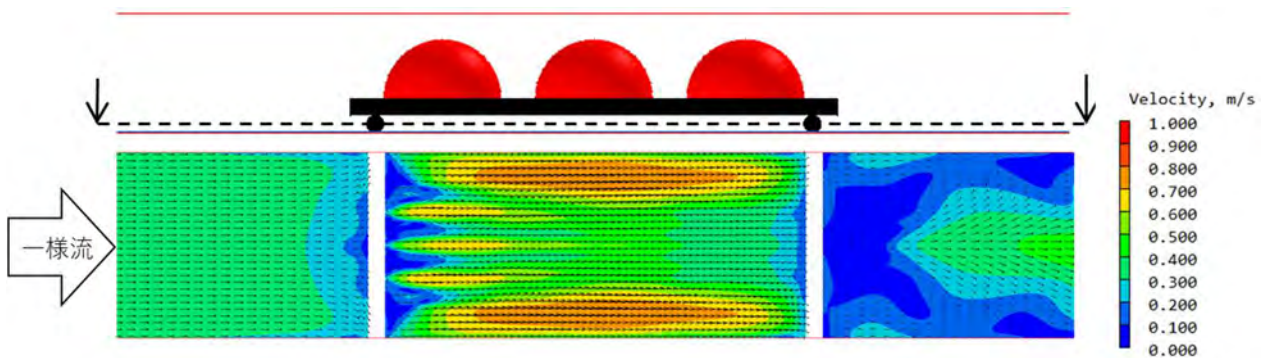


図 50 Case A2 の平面コンター図

(底面上 2.5cm 上図に平面コンター位置を示す)

(3) Case A3

Case A3 の結果を図 51、図 52 に示した。

断面コンター図からは、離底器下の速い流れが確認された。平面コンター図からは、離底器の下および採苗器間で速い流れが確認され、その流速はCase A2 より速い結果となった。

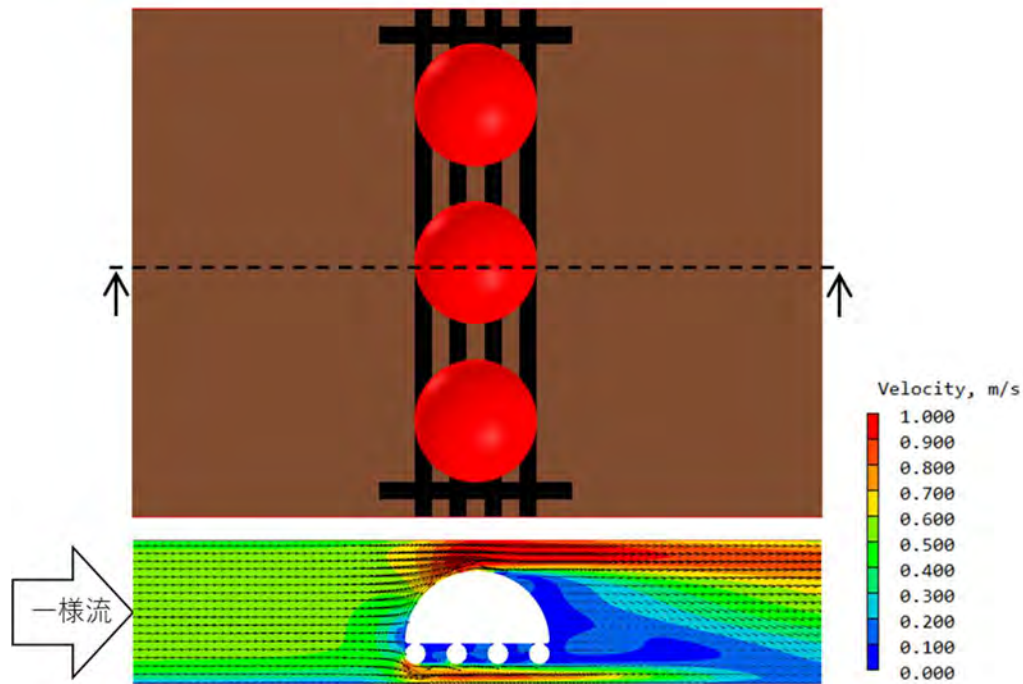


図 51 Case A3 の断面コンター図

(奥行方向の中心 上図に断面コンター位置を示す)

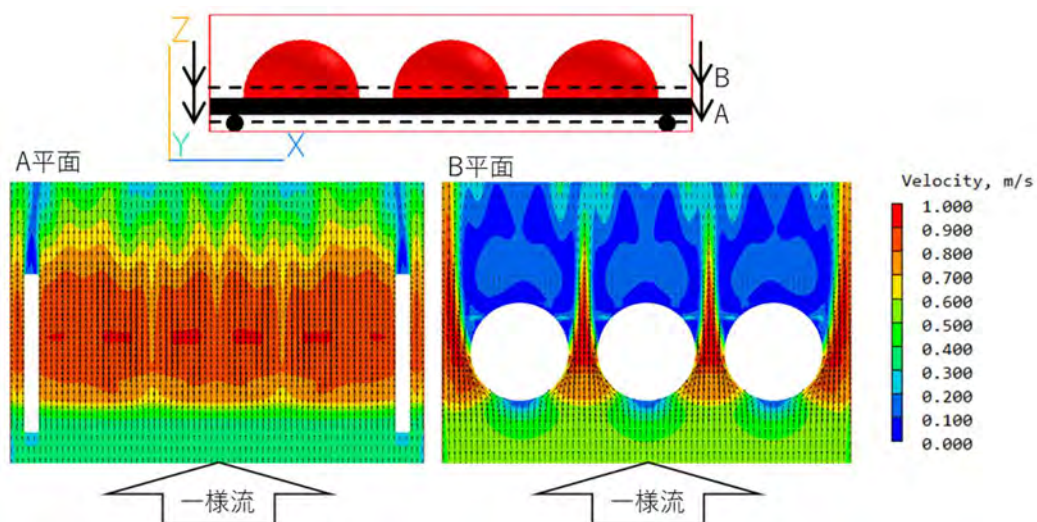


図 52 Case A3 の平面コンター図

(A 平面は底面上 2.5cm、B 平面は離底器上 2.5cm 上図に平面コンター位置を示す)

6.2 水槽実験Ⅰ（採苗器および離底器周囲の流況把握）

6.2.1 方法

本実験では、水産工学研究所神栖庁舎所有の大型回流水槽を使用した（図 53）。



図 53 大型回流水槽（右の写真は中央約 2m の観測区間）

実験設備のイメージを図 54 に示した。水槽の観察部位(全長約 12m)のうち、中央の観測区間および緩衝区間に底質(中央粒径 0.2mm 程度の細目砂)を平らに敷いた後、勾配 1/10 の斜壁を設け、採苗器および離底器等の構造物を設置した。

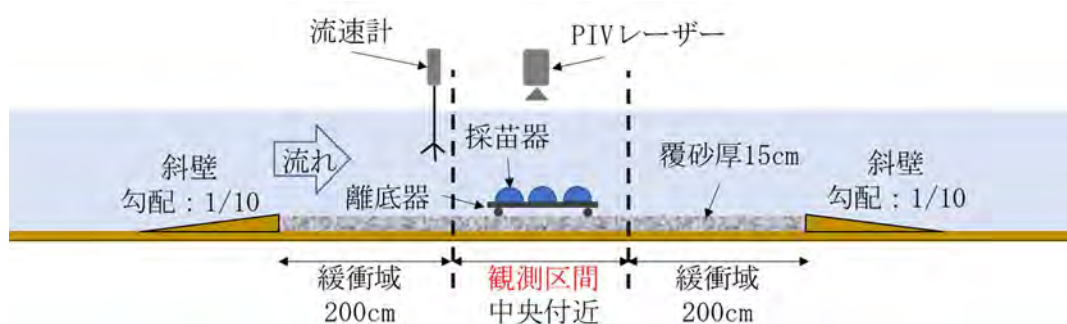


図 54 実験設備のイメージ

構造物の設置後、流速を 5～20cm/s の間で段階ごとに設定した(表 20)。

各流速の一樣流を一定時間発生させ、採苗器および離底器の近傍で生じる水の流れや渦の分布を把握するため、粒子画像流速測定法(PIV) で流況を可視化した。

表 20 実験ケース

Case 名	採苗器	離底器	流速 (m/s)
Case B1-1	設置	未設置	0.05
Case B1-2	設置	未設置	0.20
Case B2-1	設置	設置	0.05
Case B2-2	設置	設置	0.20
Case B3-1	未設置	未設置	0.05
Case B3-2	未設置	未設置	0.20

PIV 実験にあたり、カメラおよびレーザーはカトウ光研の「High speed camera k8-USB」、「PIV Laser/G1000S」

を使用した。粒子は、DIAION の HP20SS（粒径 $10\mu\text{m}$ 、比重 1.01、成分 ポリエチレン樹脂）を使用した。



図 55 カメラ、レーザーの使用風景（左）および粒子容器（右）

PIV 実験風景の写真を図 56 に示した。

験水槽の一樣流を流し、上流側から粒子を流し、レーザーを水槽上面から照射してレーザーの照射されているエリアを側面からカメラ撮影することで、粒子の軌道を把握した。レーザーの照射範囲は限られているので、観測区間エリアをすべて撮影するため、1 回の実験につき 4 か所で撮影した。



図 56 PIV 実験風景

カメラ撮影は、 $1/100$ 秒の間隔で 10 秒間撮影した。粒子の軌道を把握しやすくするため、結果図は画像解析により、1 秒間の撮影データを重ね合わせることで、1 秒間の粒子の軌跡を可視化した。画像解析には、数値解析ソフトウェアの MATLAB（米国 MathWorks 社）を使用した。

6.2.2 結果

(1) Case B1

採苗器のみ設置した場合の、Case B1-1（流速 5cm/s）およびB1-2（流速 20cm/s）の結果を図 57 に示した。いずれの Case においても、採苗器の上側では左から右への一様な流れとなったが、採苗器と同じ程度の高さの流れは、採苗器間で流れが時計周りの渦ができ、流れが停滞することが確認された。

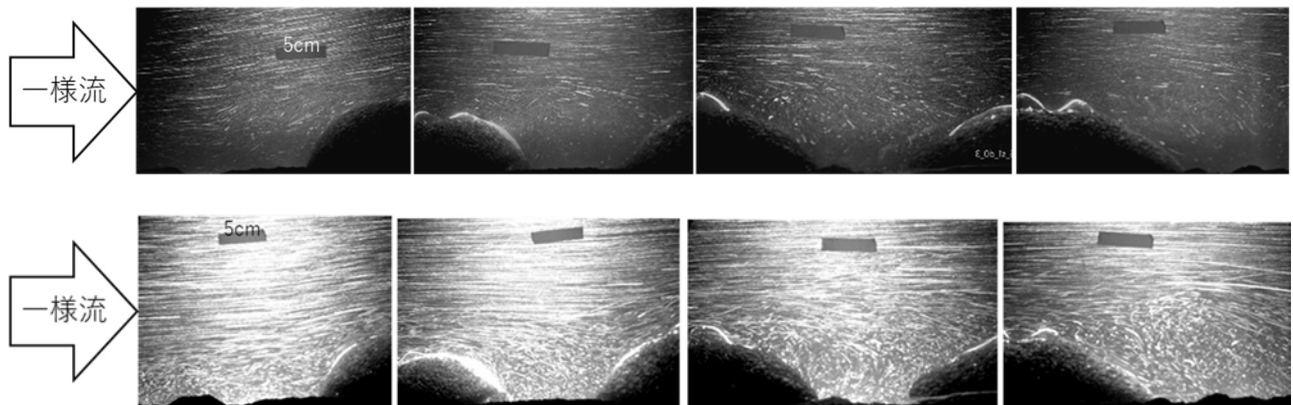


図 57 Case B1-1（上図）およびCase B1-2（下図）の結果

(2) Case B2

離底器を設置した場合の、Case B2-1（流速 5cm/s）およびB2-2（流速 20cm/s）の結果を図 58 に示した。いずれの Case においても、採苗器間では流れが停滞したが、採苗器下で速い流れが発生しており、離底器後方では採苗器下から速い流れが吹き抜けていることが確認された。また、離底器の上流側では採苗器下に沈み込む流れが、下流側では採苗器下から吹き上げる流れが確認された。

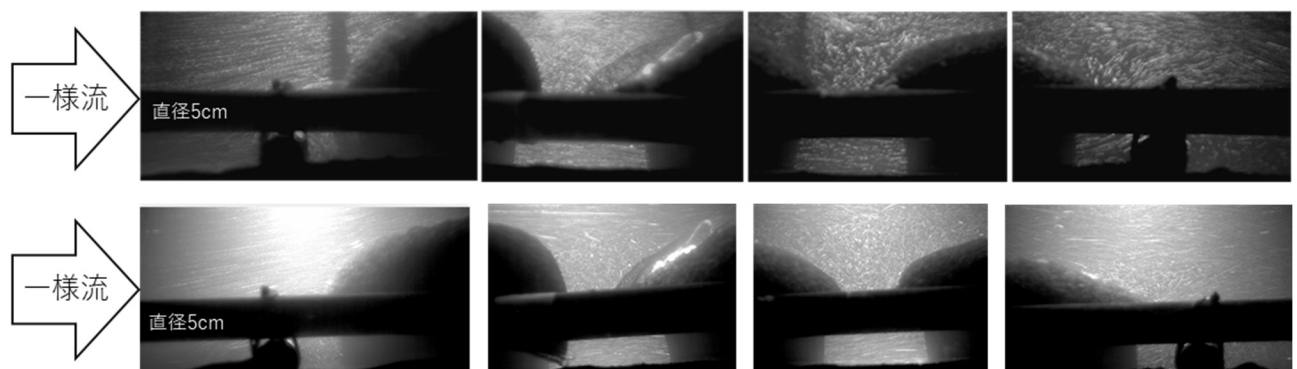


図 58 Case B2-1（上図）およびCase B2-2（下図）の結果

(3) Case B3

採苗器と離底器のいずれも未設置の場合の、Case B3-1（流速5cm/s）およびB3-2（流速20cm/s）の結果を図 59 に示した。いずれの Case においても、真っ直ぐ横方向の流れであり、偏流が起きていないことが確認された。

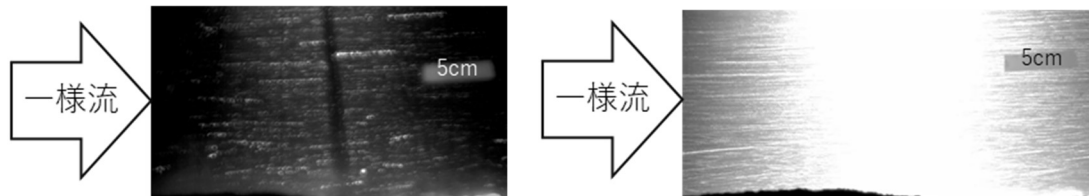


図 59 Case B3-1（左図）およびB3-2（右）の結果

6.3 水槽実験Ⅱ（流速に伴う地形変化の把握）

6.3.1 方法

本実験では、本水槽の観察部位(全長約 12m)のうち、中央の観測区間および緩衝区間に底質(中央粒径 0.2mm 程度の細目砂を想定)を平らに敷いた後、勾配 1/10 の斜壁を設け、採苗器および離底器等の構造物を設置した(図 60)。

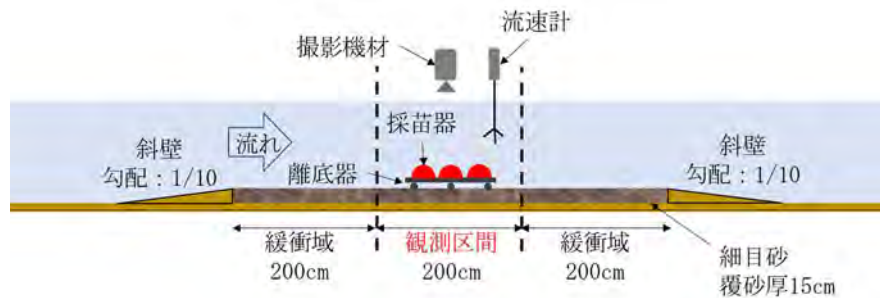


図 60 実験設備のイメージ

構造物の設置後、流速を 5～50cm/s の間で段階ごとに設定し、各流速の一樣流を一定時間発生させ、採苗器および離底器の近傍で生じる地形変化を把握するため、実験前後の地形の画像から、地形変化を示す差分コンター図を作成することとした。また、地形変化が発生するのに十分な流速として、実験流速を 0.30m/s 以上とした。ケース設定を表 21 に示した。

表 21 実験ケース

Case 名	採苗器	離底器	流速 (m/s)
Case C1-1	設置	未設置	0.30
Case C1-2	設置	未設置	0.40
Case C1-3	設置	未設置	0.50
Case C2-1	設置	設置	0.30
Case C2-2	設置	設置	0.40
Case C2-3	設置	設置	0.50
Case C3-1	未設置	未設置	0.30
Case C3-2	未設置	未設置	0.40
Case C3-3	未設置	未設置	0.50

採苗器および離底器の近傍で生じる地形変化を把握するため、実験前後の地形を、上から位置をずらしながら写真撮影し、実験前後それぞれで合成画像を作成した(図 61 地形変化の結果図の作成イメージ)。実験前後の合成画像から、地形変化を示す差分コンター図を作成した。ここで、合成画像と差分コンター図の作成には、数値解析ソフトウェアのMATLAB (米国 MathWorks 社) を使用した。

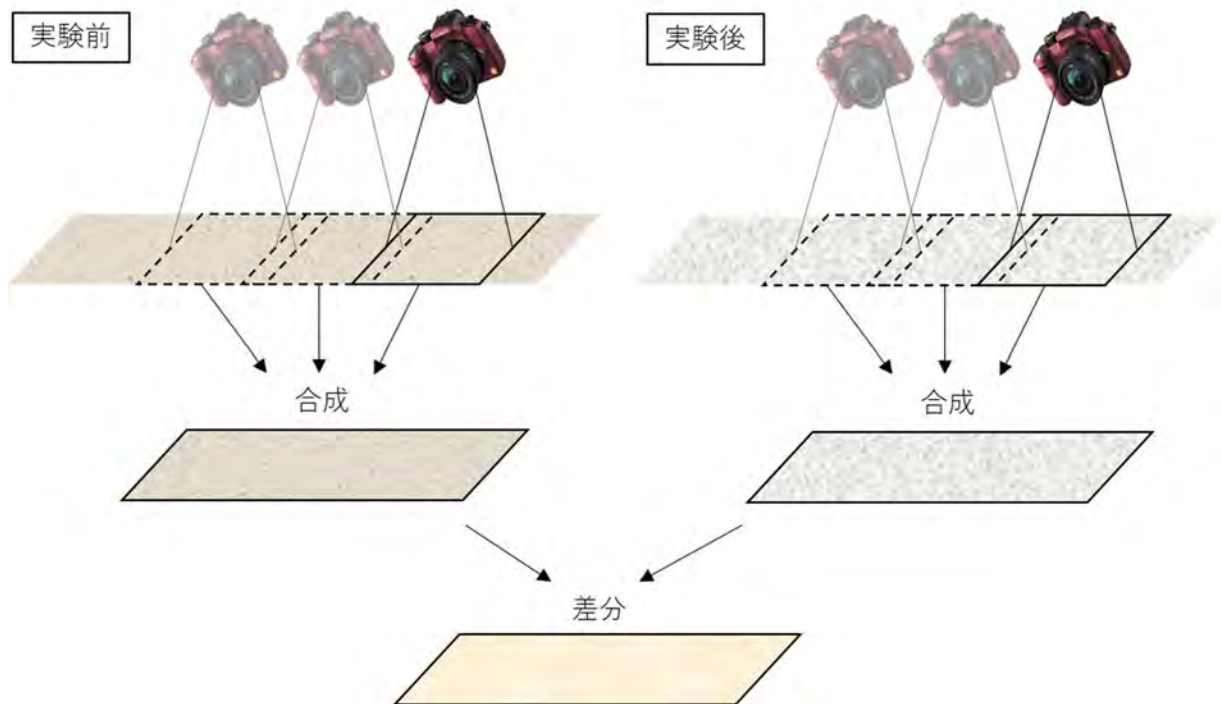


図 61 地形変化の結果図の作成イメージ

6.3.2 結果

(1) Case C1

Case C1-2 の実験前写真を図 62、実験前と実験後の差分コンター図を図 63 に示した。
採苗器に近接しているところで砂の堆積がみられ、採苗器の（流れに対して）側面では洗堀が生じており、
採苗器の埋没が進んでいることが確認された。

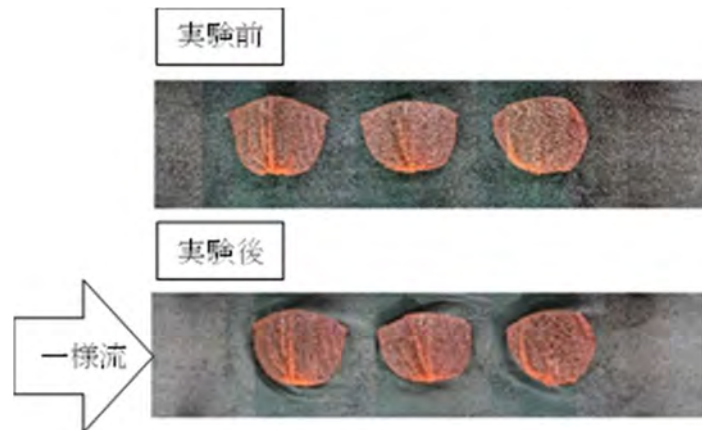


図 62 Case C1-2 の実験前後の平面写真

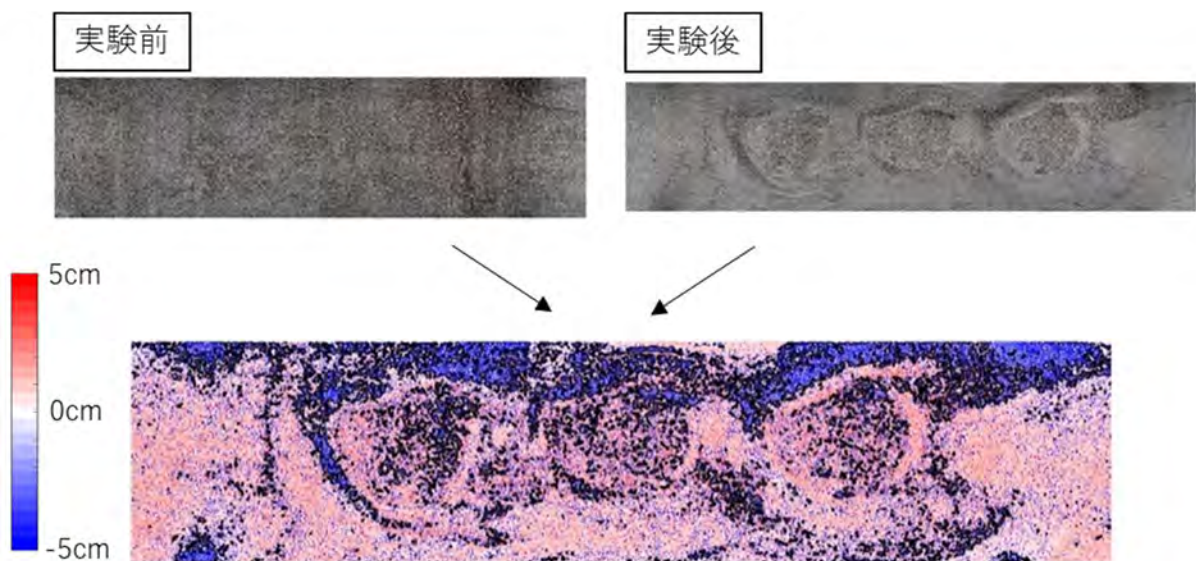


図 63 Case C1-2 の差分コンター図

(黒コンター線は差分 0cm を示す)

(2) Case C2

Case C2-2 の実験前写真を図 64、実験前と実験後の差分コンター図を図 65 に示した。

Case C2-2 は、底面と接している離底器部分は洗堀がみられるものの、採苗器の洗堀はみられなかった。

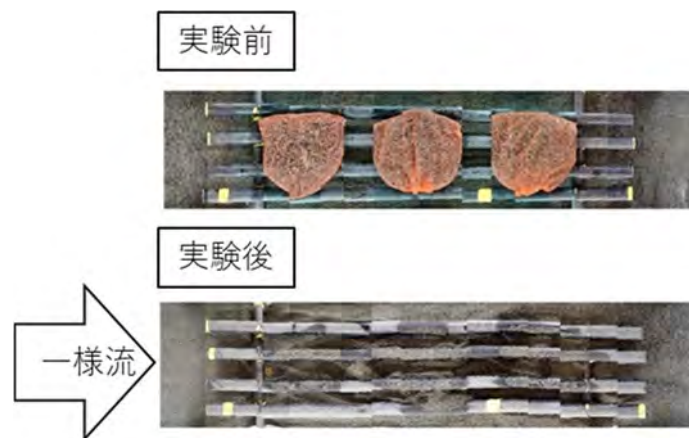


図 64 Case C2-2 の実験前後の平面写真

(実験後は離底器と地形変化の関係がわかるようにするため、採苗器を外した)

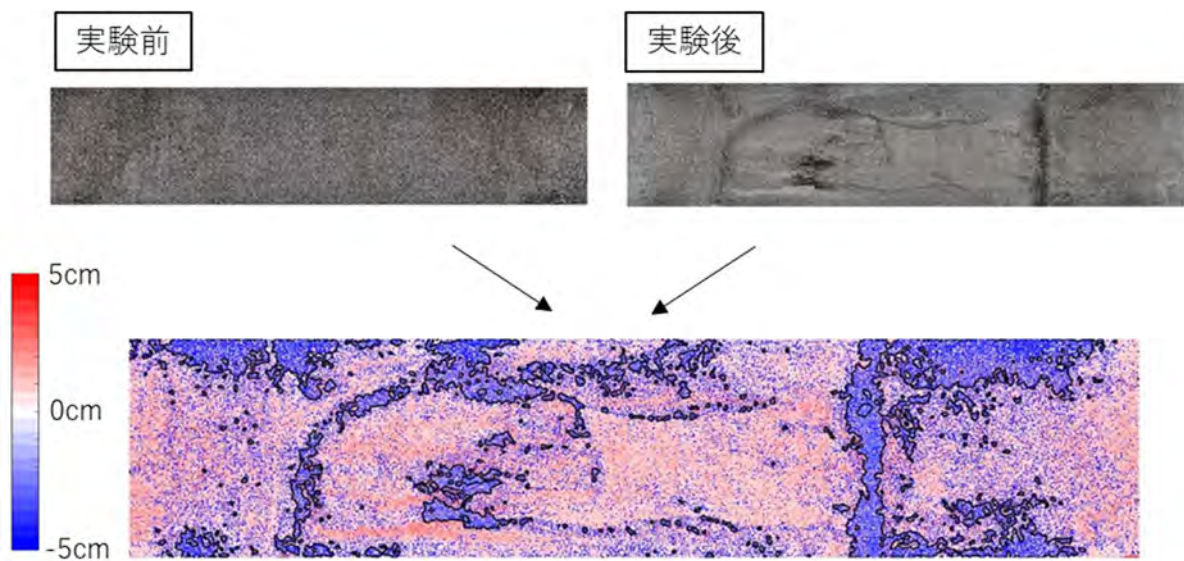


図 65 Case C2-2 の差分コンター図

(黒コンター線は差分 0cm を示す)

6.3.3 考察

(1) 数値シミュレーション

0.3mm 程度の中央粒径の砂は、水深 0~1m において、一様流の流速が 30~40cm/s 程度を境に移動しはじめる³⁴⁾。採苗器のみ設置した場合、流れに対して採苗器の正面や背面、採苗器間で渦流となり流れが遅くなり、採苗器の側面で 40cm/s 以上の流れが確認されたことから、採苗器側面では砂が移動し、流れの遅い採苗器の正面や背面、採苗器間では砂が溜まると考えられる (Case A1)。離底器を設置した場合、採苗器間では流れが遅くなったものの、採苗器下の底面付近で 40cm/s 以上の一様流の流速が確認されたことから、底面で砂が移動することが考えられる (Case A2、A3)。特に、離底器を側面方向に設置した場合 (Case A3) では、70cm/s 以上の底面の流速が確認されたことから、多くの砂が移動すると考えられる。以上のことから、離底器を設置することで底面の流速が速くなり、砂の滞留を防ぐと考えられる。

(2) 水槽実験Ⅰ（採苗器および離底器周囲の流況把握）

採苗器のみ設置した場合、流れに対して採苗器の正面や背面、採苗器間で渦流となり流れが遅くなったことが確認された (Case B1-1、-2)。離底器を設置した場合、採苗器間では流れが遅くなったものの、採苗器下の底面付近で設定流速程度の一様流が確認できた (Case B2-1、-2)。これらはシミュレーション結果と一致した。流速の違いはあるものの、シミュレーション結果と水槽実験Ⅰの結果との整合がとれたと考えられる。

(3) 水槽実験Ⅱ（流速に伴う地形変化の把握）

採苗器のみ設置した場合、採苗器と底面が接している部分で砂が堆積し、採苗器の側面で洗堀が確認された (Case C1-2)。洗堀位置から堆積位置へ漂砂したことで、採苗器周りに砂が堆積したと考えられる。離底器を設置した場合、底面と接している離底器の部分では洗堀が生じていることが確認された (Case C2-2)。離底器を設置することで、離底器の一部は洗堀し埋没するものの、採苗器のみ設置した場合に比べ、採苗器は埋没しにくいと考えられる。以上のことから、離底器の設置により採苗器が埋没するリスクを低減できるが、一様流の流速 40cm/s 程度では、離底器の一部は埋没すると考えられる。

6.4 仮説の検証

本実験における仮説の検証結果を表 22 に示した。

表 22 離底器のメカニズム把握における仮説検証結果

仮説	項目	結果	判定
離底器および設置した採苗器近傍で微小な渦が生じるとともに、離底器の底を通過する水流で泥粒子が押し出されることで泥の堆積を予防できる。ただし、流速が 50cm/s では漂砂に伴う地形変化で埋没する。	(1) 数値シミュレーション	(1) 数値シミュレーション a) 採苗器間の水の流速は遅くなった。また、採苗器近傍には微小な渦が確認された。 b) 離底器と底面の間では、離底器を吹き抜ける水の流れが確認された。	仮説を支持 理由：採苗器および離底器の埋没は、洗堀および漂砂で生じることが示された。また、離底器と底面の間に水流が吹き抜ける構造があることで粒子の堆積を低減できることも示された。
	(2) 離底器および設置した採苗器近傍における水流の可視化	(2) 水槽実験Ⅰ 5～20cm/s において、PIV で観察された粒子の挙動は、数値シミュレーションの結果と一致していた。	
	(3) 離底器および設置した採苗器があることによる流速に伴った地形変化	(3) 水槽実験Ⅱ 20～50cm/s において、底質の地形変化は 30cm/s で確認され、40cm/s を超えると洗堀および漂砂で埋没が確認された。	