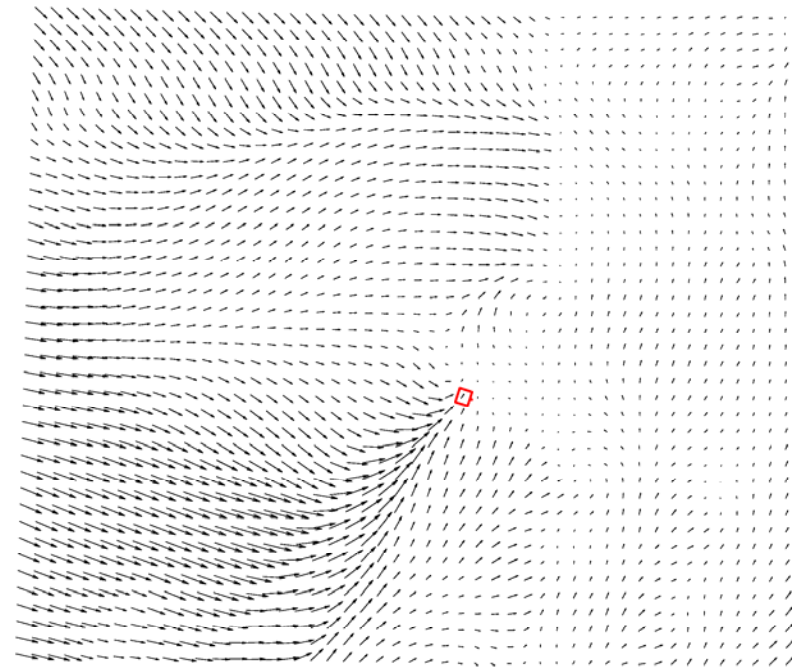
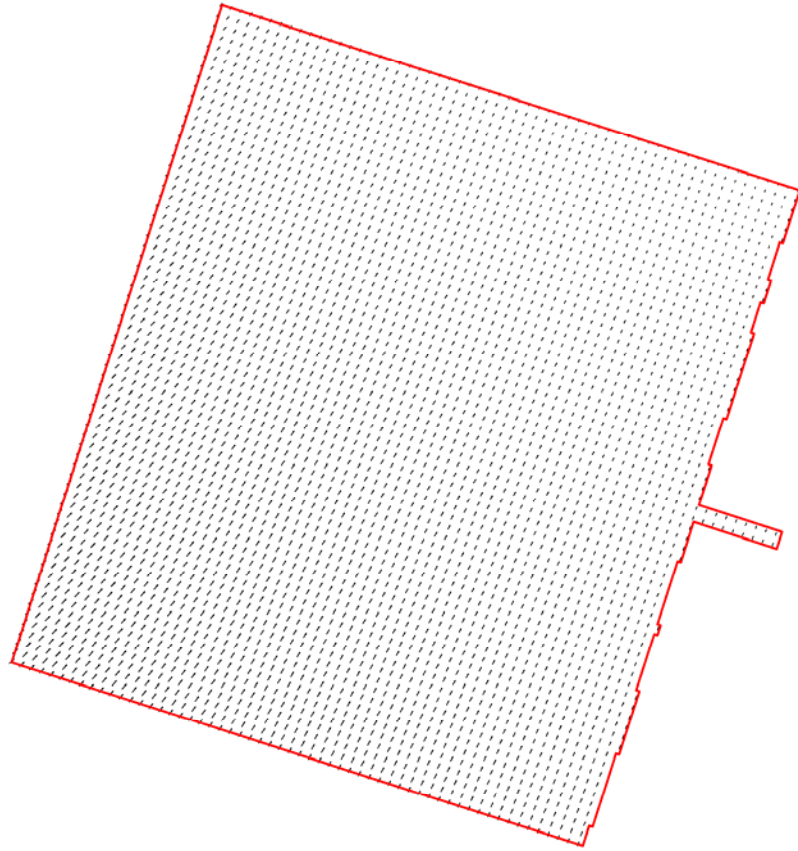


12月17日10時

内挿値 **内挿値***

気象庁予測値



0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0km

20.0m/sec

0.0 20.0 40.0 60.0 80.0 100.0km

図-9(3) 風速ベクトル分布 (12月17日10時)

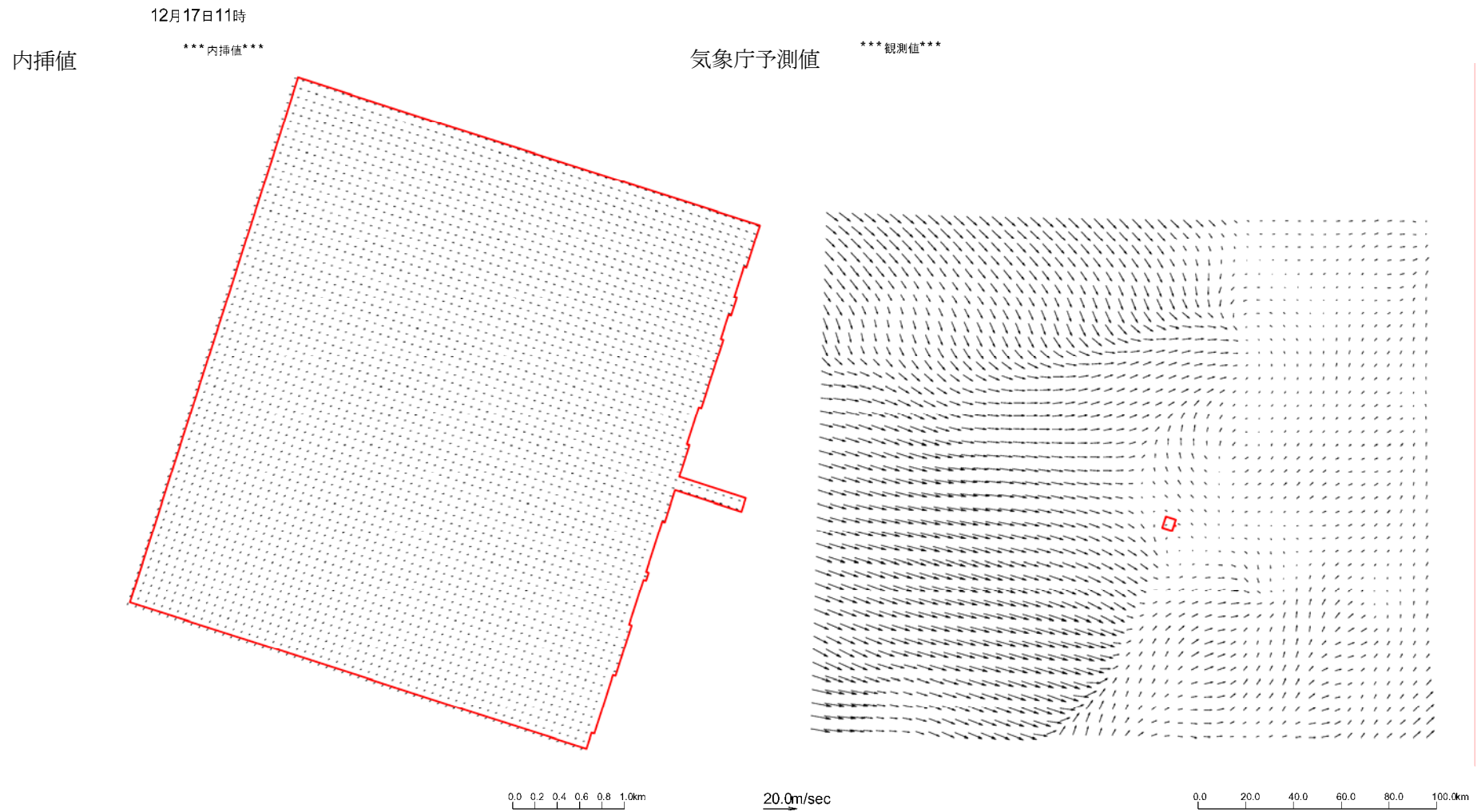


図-9(4) 風速ベクトル分布 (12月17日11時)

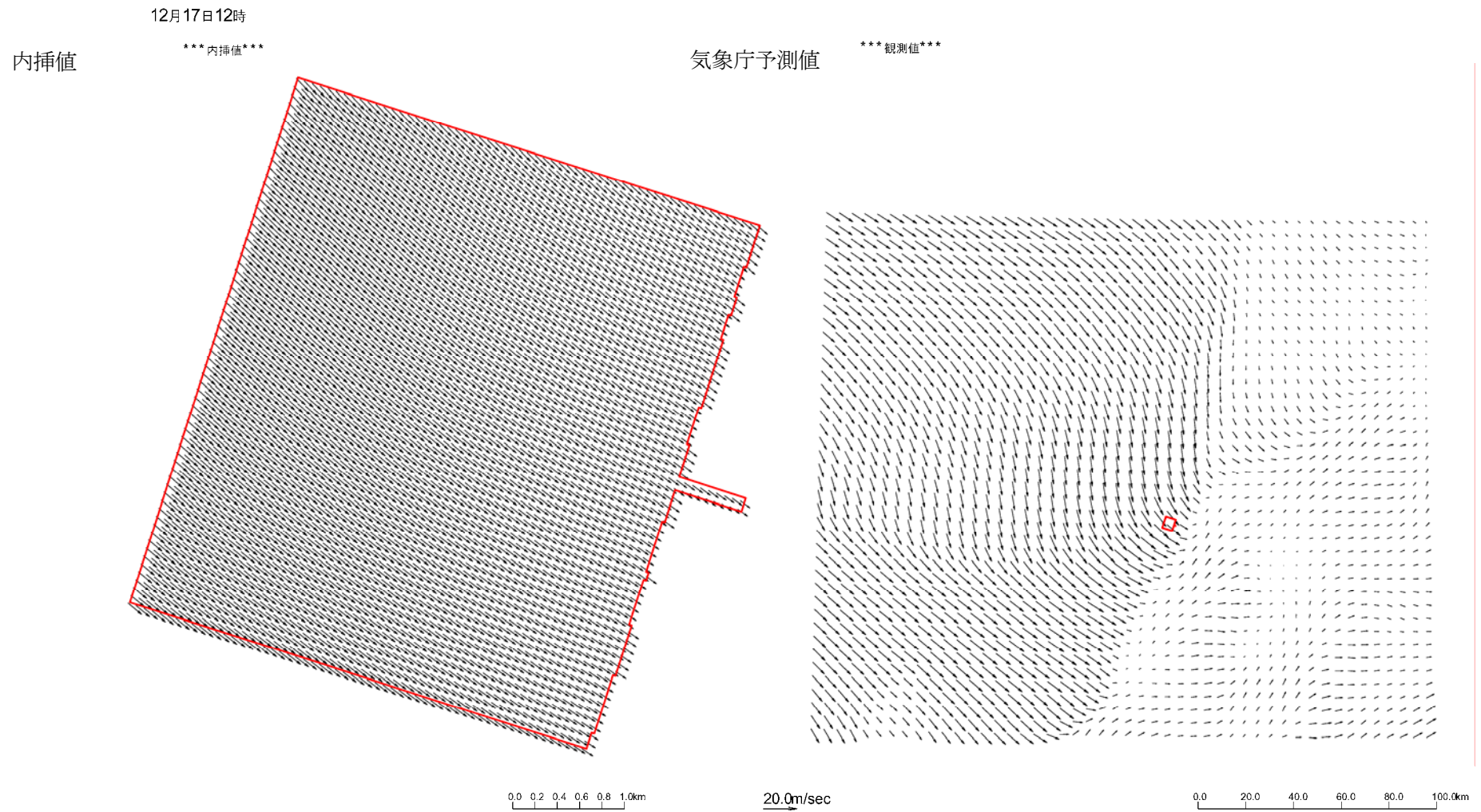


図-9(5) 風速ベクトル分布 (12月17日12時)

5. 漂流物の追跡解析

5.1 移流による移動

漂流物の追跡のための表層流は海域の流れ \vec{V} と風圧流 \vec{U} を合成した表層流 \vec{D} とする。

ある時刻 t に座標 (X_E, X_N) に位置した漂流物の Δt 時間における表層流による移動ベクトル $(\Delta X_E^C, \Delta X_N^C)$ は座標 (X_E, X_N) における表層流ベクトル (D_E, D_N) を用い以下のように求められる。

$$\Delta X_E^C = D_E \times \Delta t$$

$$\Delta X_N^C = D_N \times \Delta t$$

5.2 random diffusion による移動

random diffusion による移動は、ある時刻 t に座標 (X_E, X_N) に位置した漂流物の Δt 時間における乱流拡散による移動ベクトル $(\Delta X_E^D, \Delta X_N^D)$ は拡散係数 K_h を用いて以下のように示される。

$$\Delta X_E^D = R_i \cdot \cos(2\pi \cdot R_i') \cdot \sqrt{2 \cdot K_h \cdot \Delta t}$$

$$\Delta X_N^D = R_i \cdot \sin(2\pi \cdot R_i') \cdot \sqrt{2 \cdot K_h \cdot \Delta t}$$

ここに R_i, R_i' は $0 \sim 1$ の一様乱数、 K_h (m²/s)は乱流拡散係数で Morales et al.(1997)³⁾により以下のように示される。

$$K_h = 10^{-4} \cdot (272.8 \cdot |V| + 21.1 \cdot |W|)$$

ここに、 $|V|$: 海表面流速の絶対値(m/s)

$|W|$: 風速の絶対値(m/s)

< 出典 >

3) Morales, R.A., Elliott, A.J. & Lunel T. (1997); The Influence of tidal current and wind on mixing in the surface layers of the sea, Marine Pollution Bulletin, 34, pp.15-25

5.3 放流試験の概要

2007年12月に図10に示す位置で3回の放流試験が実施された。放流試験の概要は表3、表4の通りである。

第1回の放流試験は12月15日に100個放流され、12月16日に78個、18日に15個、19日に4個、25日に1個、その他2個が回収されている。なお、これらの全てが領域A(図10中のA1-A2、A3-A4で囲まれた領域)で回収されている。

第2回の放流試験は第1回の放流試験で16日に回収された78個を用いて17日に実施され、同日中に76個、18日に2個が回収された。これらはいずれも図10に示す領域Bで回収された。

第3回の放流試験は第2回の放流試験で同日中に回収された76個を用いて17日に放流され、同日中に73個、その他1個の74個が回収され、領域Bで66個、領域Cで1個回収された。

第1回放流は河川内に漂着しているため再現対象として適切と考えにくい。したがって、第2回、第3回を再現の対象とした。

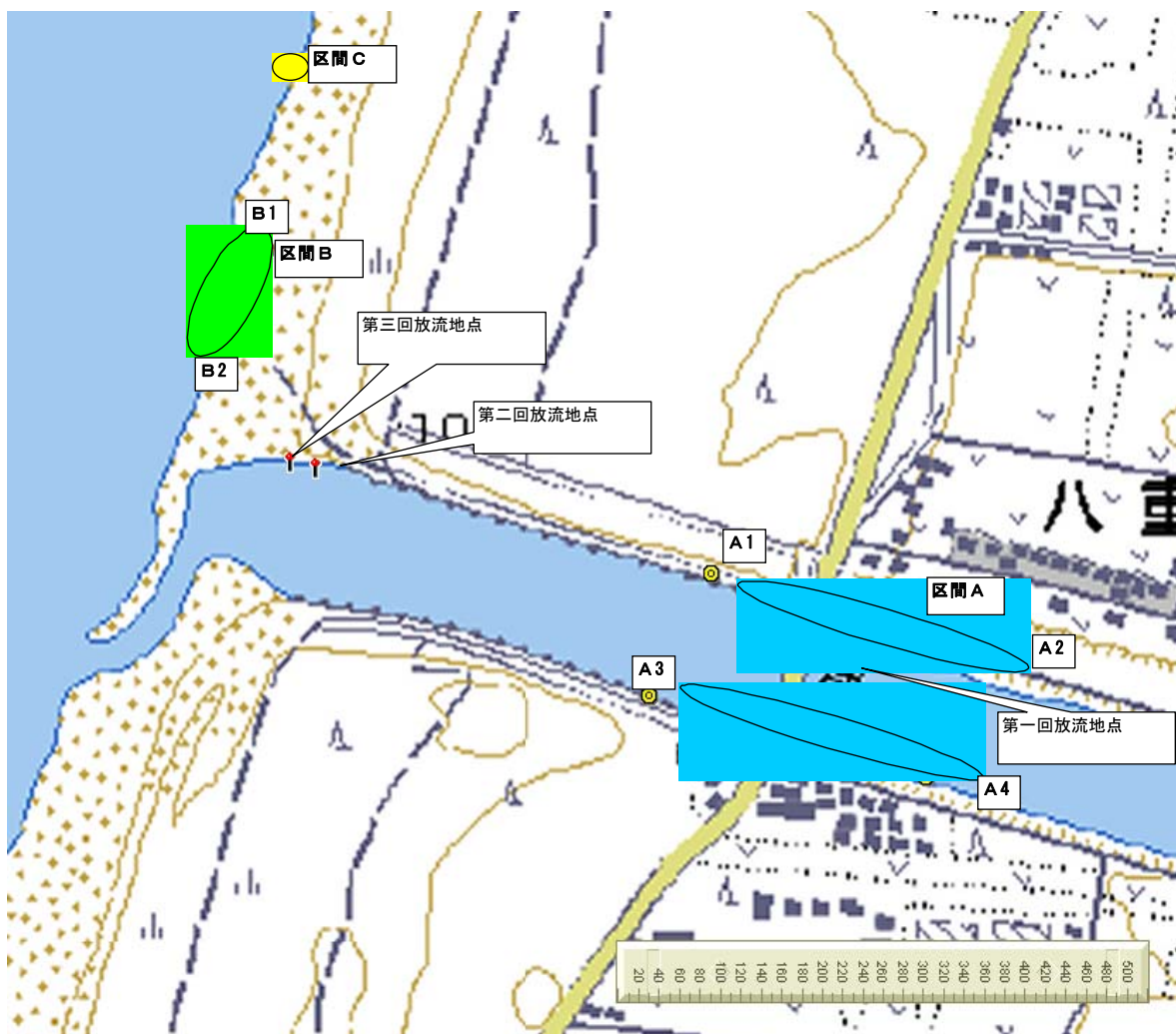


図 10 放流試験の実施位置

表 3 放流試験の概要

		放流時刻	緯度	経度	風向	風速	備考
第一回放流	12月15日	14:00~14:15	38-50-46.31	139-47-26.64	西北西	8.9m/s	
第二回放流	12月17日	8:50	38-50-52.24	139-47-06.43	南南東	4m/s	
第三回放流	12月17日	10:40	38-50-52.43	139-47-05.40	東南東	2.6m/s	

表 4 放流試験結果

	12月15日	12月16日	12月17日	12月18日	12月19日	12月25日	その他	回収状況
第1回放流	100	78	0	15	4	1	2	全て区間Aに漂着
第2回放流			78 76	2				全て区間Bに漂着
第3回放流			76 73				1	区間Bに66、区間Cに7、不明1

注) 赤字は放流、黒字は回収を示す

5.4 漂流物の追跡解析結果

漂流物追跡解析は第2回及び第3回放流試験を対象に風圧係数0.035及び0.025の計4ケース実施した。なお、漂流物は図10及び表4に示す場所及び時間に第2回は78個、第3回は76個を投入している。漂流物追跡解析結果を整理して以下に示す。

図11～図14には各ケースのある時間における漂流物の位置(図中赤丸)と水流速+風圧流を合成したベクトルを示す。

結果を要約すると以下の通りである。

- ・いずれの結果も漂流物の移動は移流(水流速+風圧流)が支配的で拡散による拡がり小さい。これは4.2節に示した拡散係数が水流速 $|V|=0.3m/s$ 、風速 $|W|=3m/s$ 程度で計算すると $0.015m^2/s$ 程度の小さな値になること、放流開始から岸に漂着するまでの時間が再現計算では1時間以内であること等によると考えられる。
- ・図11、図12を見ると、第2回放流試験は投入開始後数分で河川右岸側に漂着している。
- ・図13、図14を見ると、第3回放流試験は河川から海域に流出し漂流物は河口から約200m北側に漂着しており、試験で漂着した位置とほぼ一致している。

第2回の放流試験の結果が満足に行えなかった要因として以下のことが考えられる。

- ・河口付近の地形表現が不十分であり、実際の河口付近の流れと異なっていると推察される(河口部には瀬が見られるなど河口閉塞的な現象が見られるが流れの解析には反映されていない)。
- ・漂流物はペットボトルを対象としており、岸壁にぶつかって流れる現象などは追跡解析に反映されていない。
- ・気象庁の風の予測値と現地の地上風の対応なども要因としては考えられる。

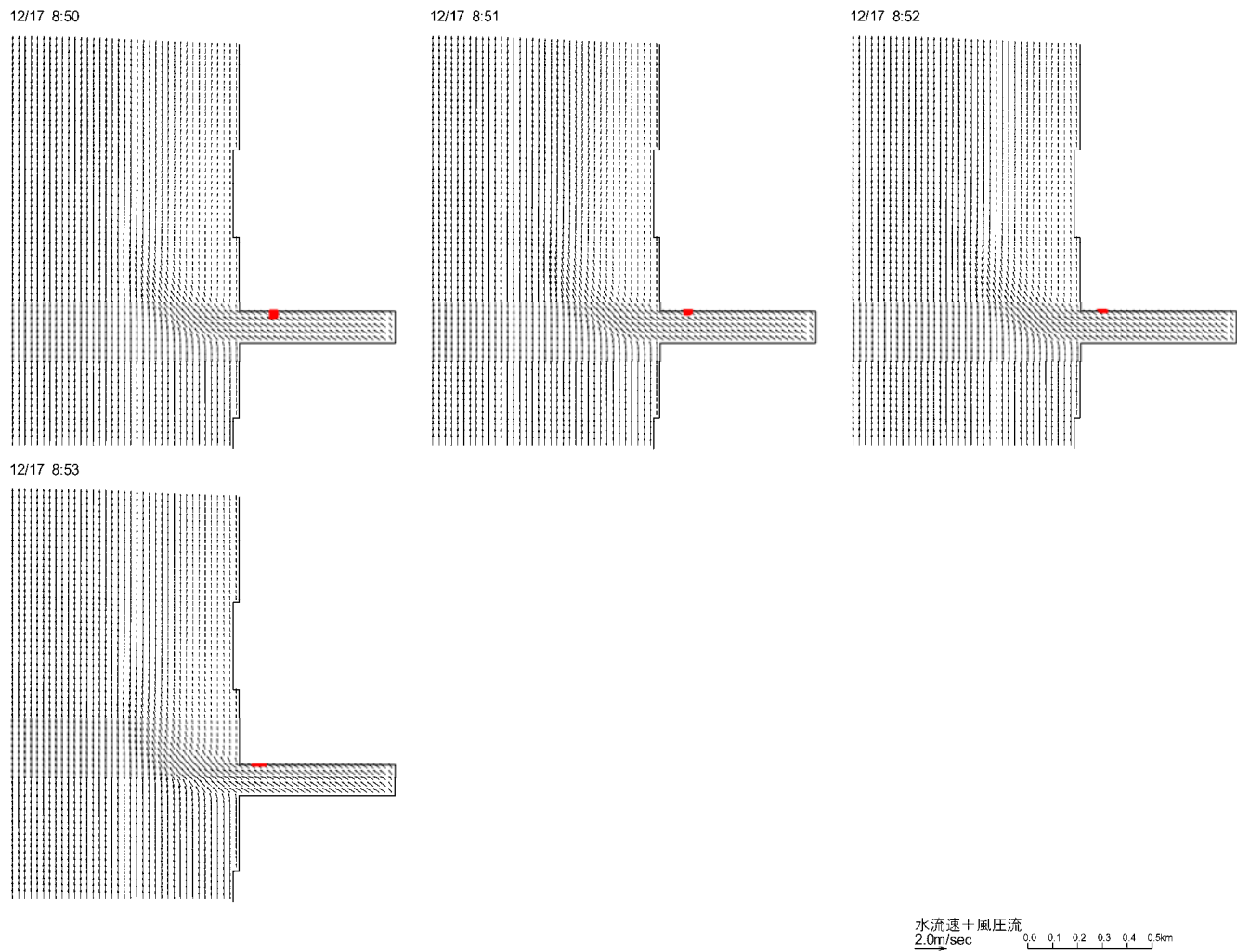


図 11 漂流物の位置と水流速+風圧流を合成したベクトル図（第 2 回放流試験、風圧係数 0.035）

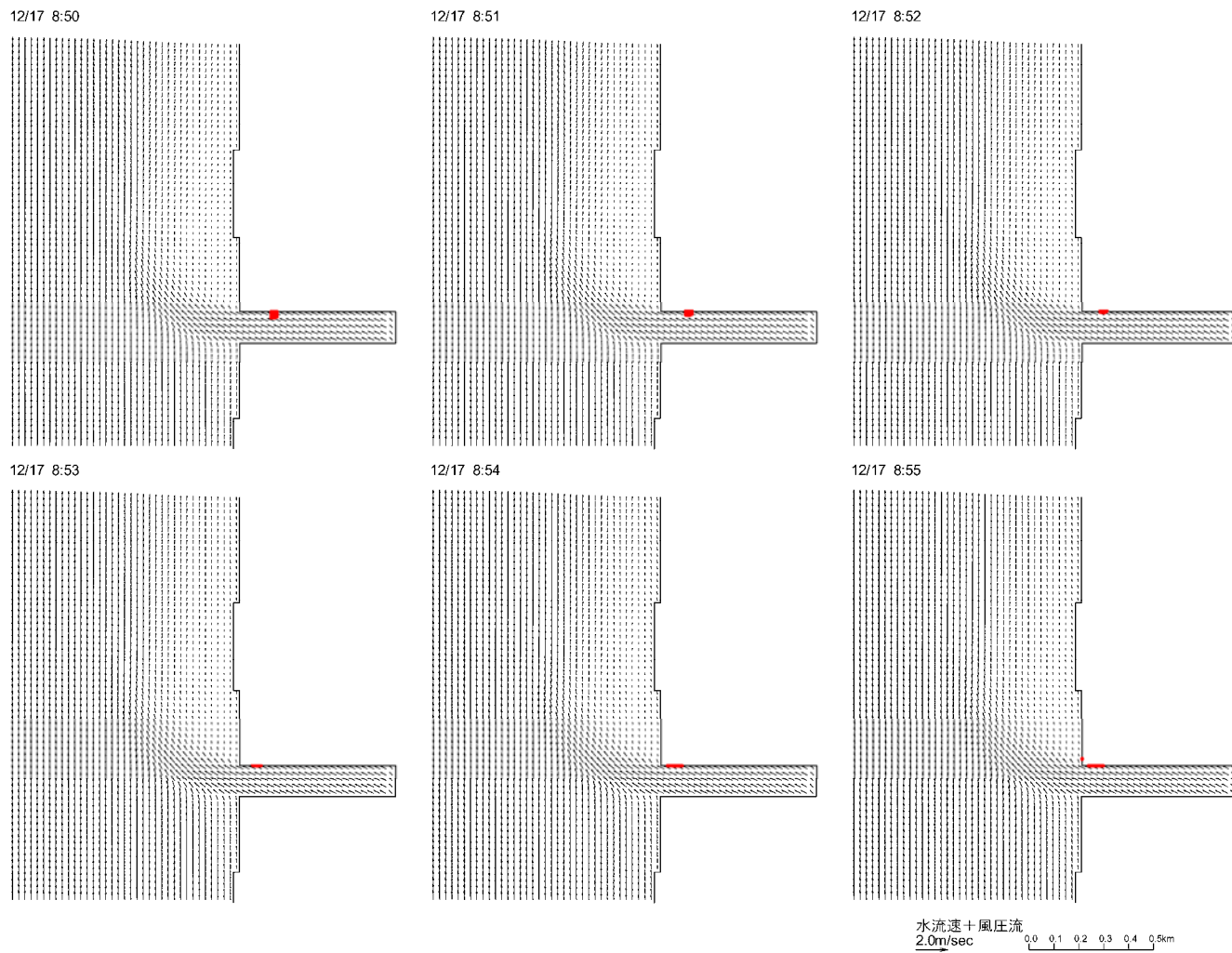


図 12 漂流物の位置と水流速+風圧流を合成したベクトル図（第 2 回放流試験、風圧係数 0.025）

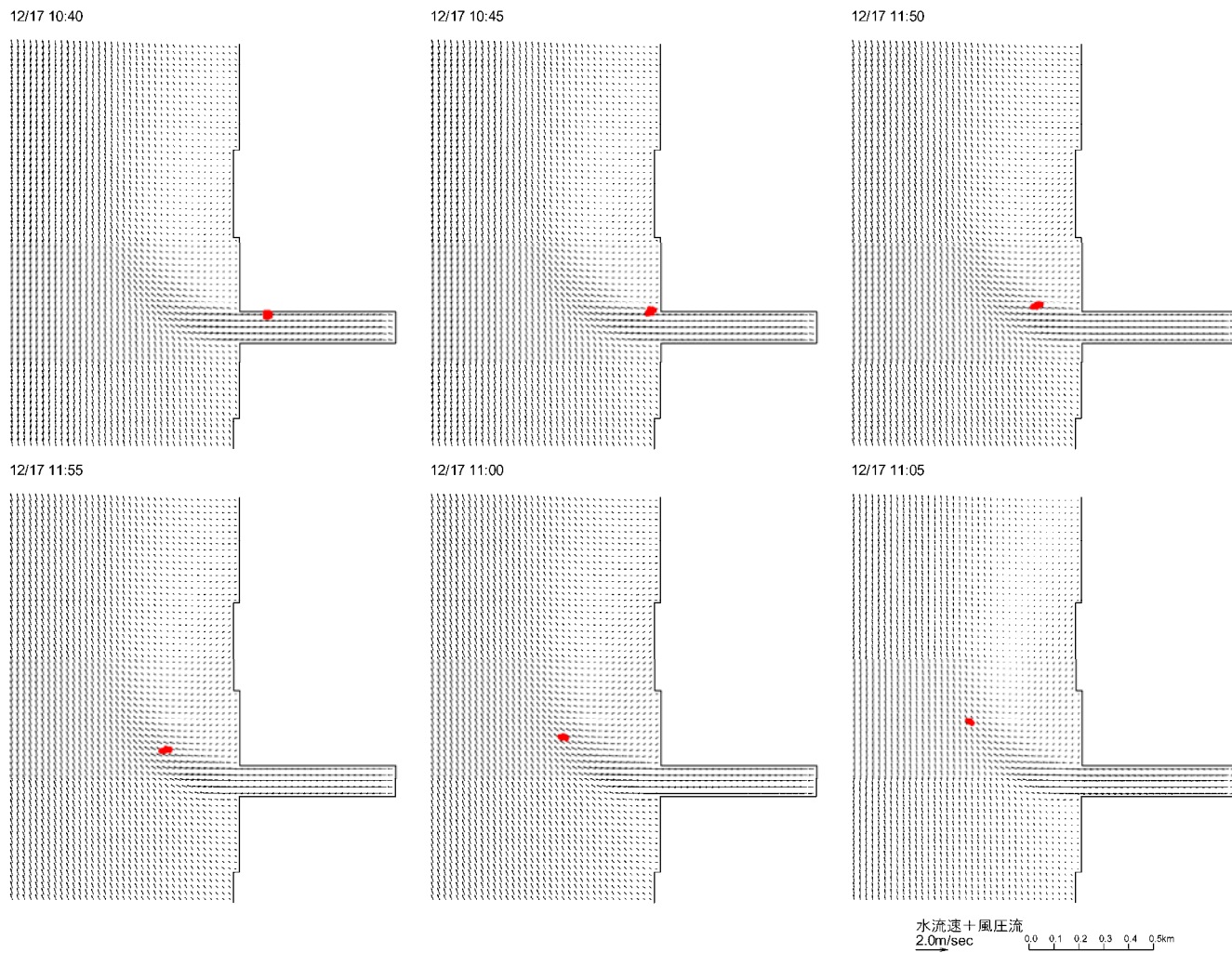


図 13(1) 漂流物の位置と水流速+風圧流を合成したベクトル図 (第3回放流試験、風圧係数 0.035)

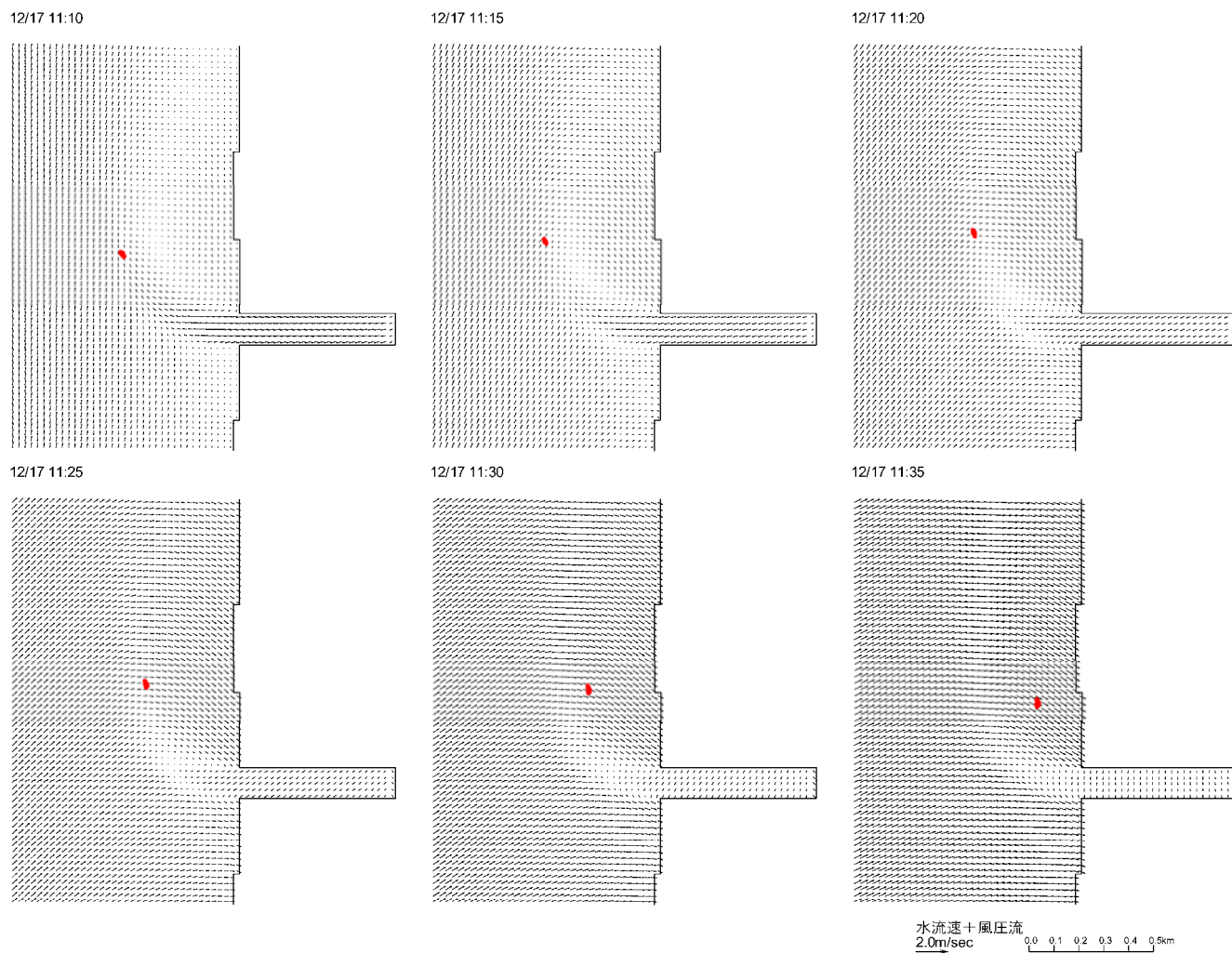
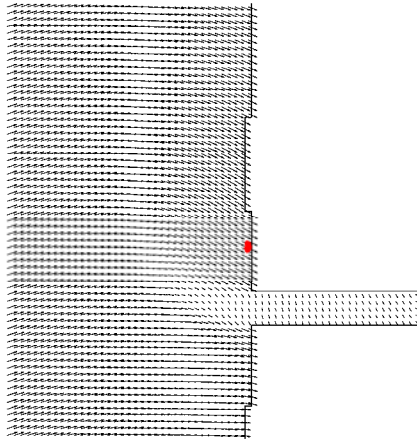


図-13(2) 漂流物の位置と水流速+風圧流を合成したベクトル図 (第3回放流試験、風圧係数0.035)

12/17 11:41



水流速+風圧流
2.0m/sec 0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5km

図-13(3) 漂流物の位置と水流速+風圧流を合成したベクトル図 (第3回放流試験、風圧係数0.035)

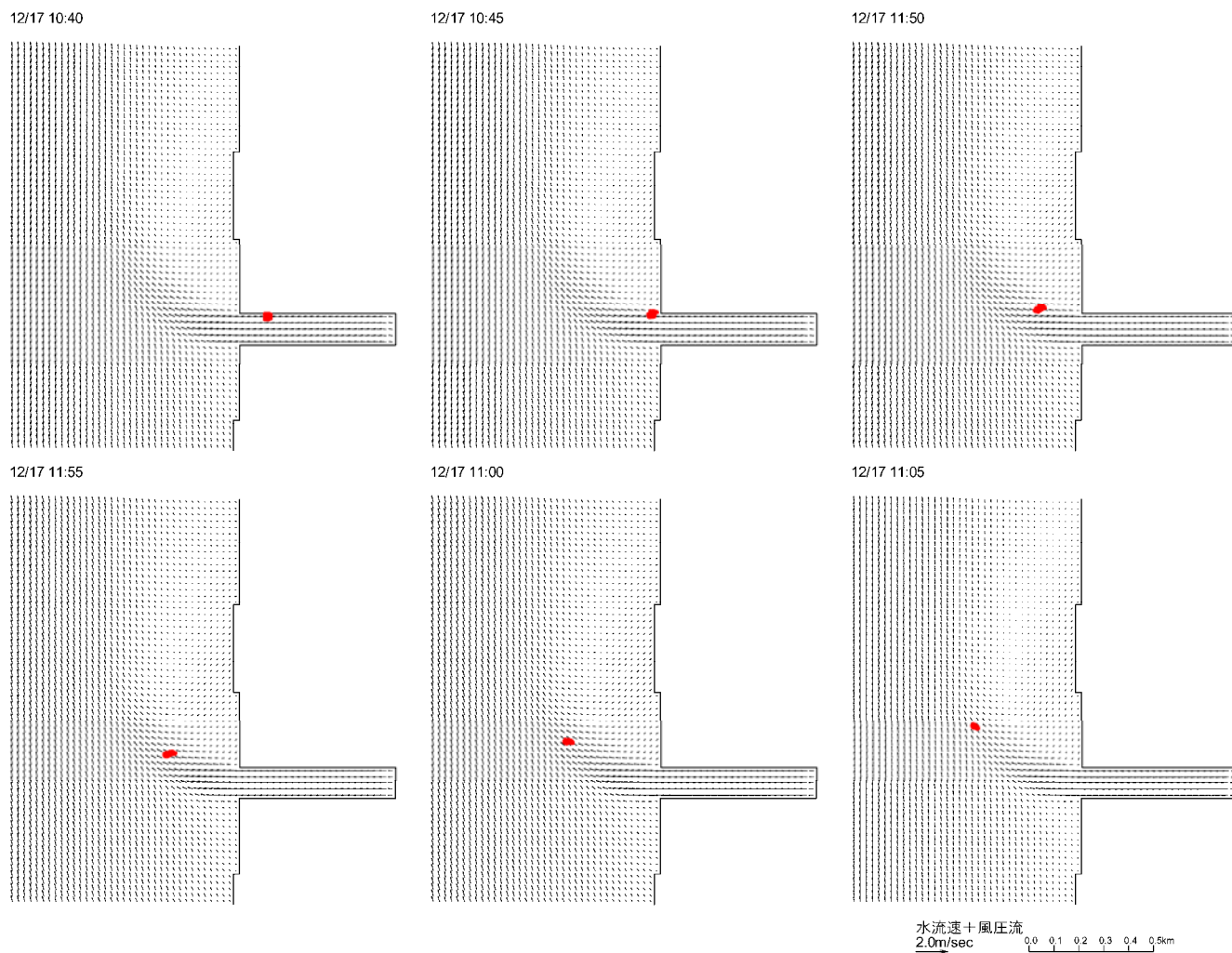


図 14(1) 漂流物の位置と水流速+風圧流を合成したベクトル図 (第3回放流試験、風圧係数 0.025)

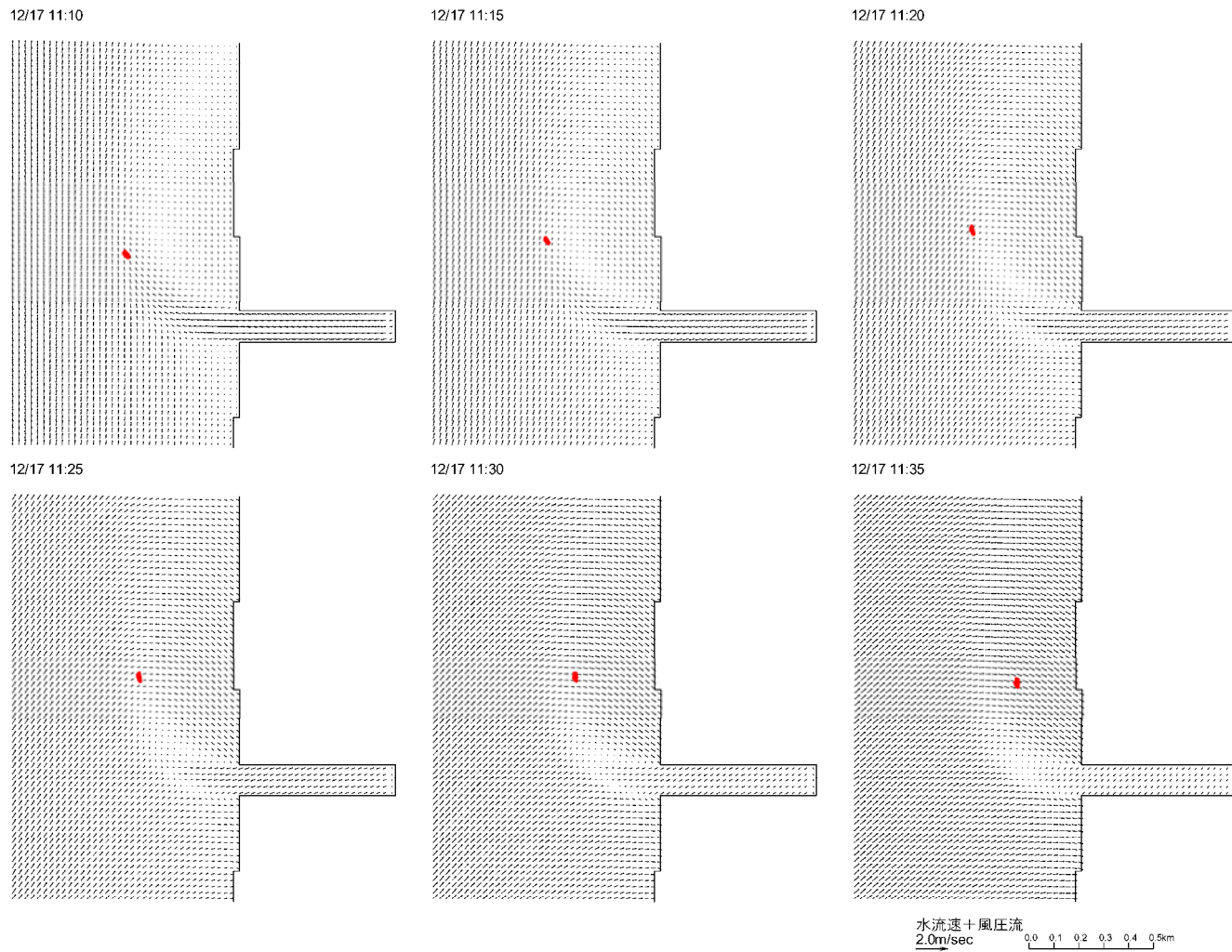


図-14(2) 漂流物の位置と水流速+風圧流を合成したベクトル図 (第3回放流試験、風圧係数0.025)

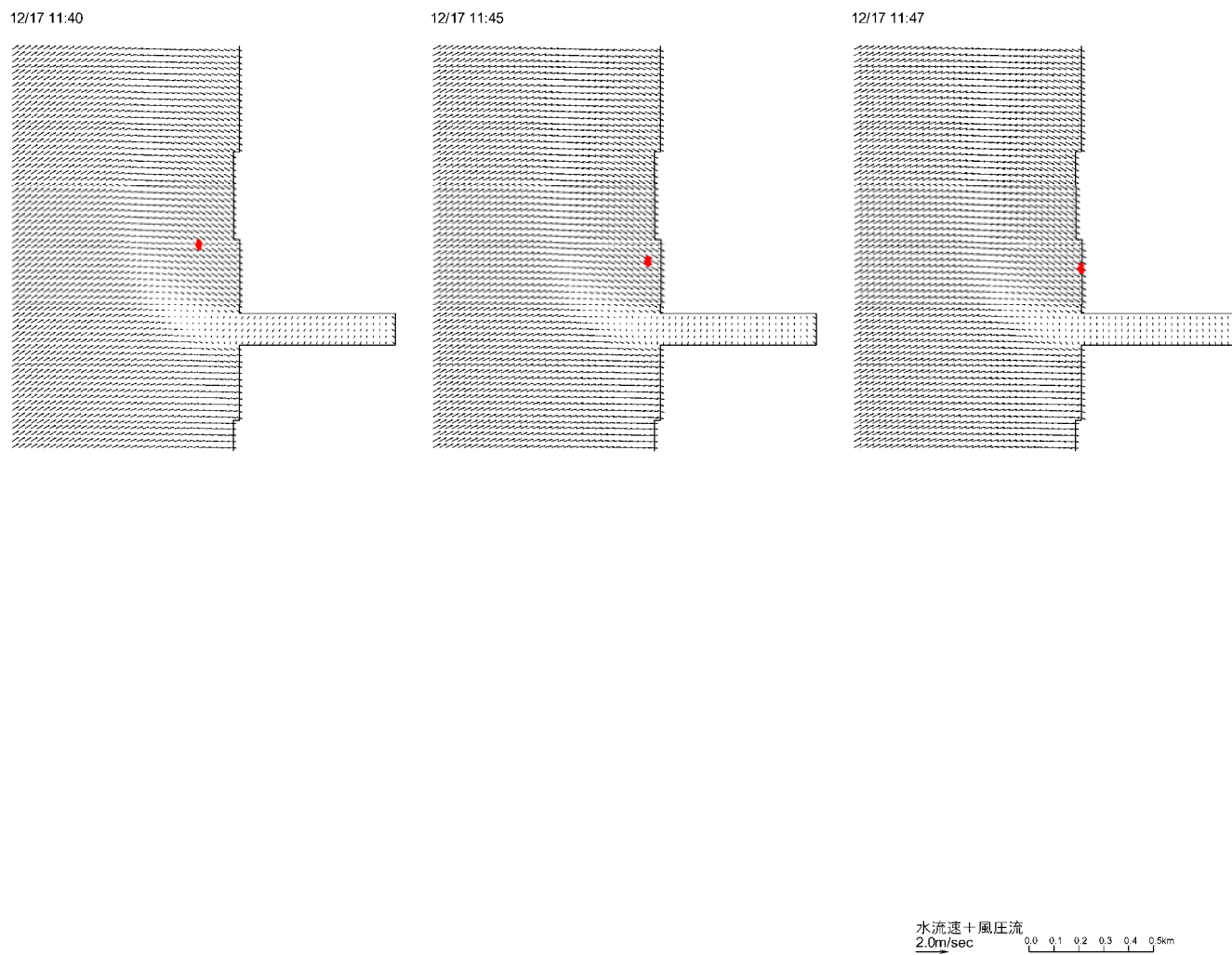


図-14(3) 漂流物の位置と水流速+風圧流を合成したベクトル図 (第3回放流試験、風圧係数0.025)

6. 参考資料（解析モデルの概要）

海域流れの解析モデルは、水平、鉛直（水深）方向の密度分布を表現できることが必要となる。したがって、解析モデルには Leendertse らによって開発された三次元 Multi-level モデルを用いることとする。このモデルは水深方向には静力学平衡が成り立つことを仮定し、計算量の節約をはかっている実用的な三次元モデルといえる。

なお、流動・拡散計算で一般的に用いられる 2 次元単層モデルでは、流れや密度分布を底面から水面まで平均化して表現するため、計算モデルとして本検討の目的とは合致しない。

以下に、基礎方程式を示す。

1) x 方向の運動方程式

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial(u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(uv)}{\partial y} + \frac{\partial(uw)}{\partial z} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right) = 0$$

2) y 方向の運動方程式

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial(vu)}{\partial x} + \frac{\partial(v^2)}{\partial y} + \frac{\partial(vw)}{\partial z} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} \right) = 0$$

3) 静力学平衡の式

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} = g$$

4) 連続の式

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

5) 自由表面の式

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = - \frac{\partial}{\partial x} \left(\int_{-H}^{\zeta} u dz \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(\int_{-H}^{\zeta} v dz \right)$$

6) 塩分拡散式

$$\frac{\partial s}{\partial t} + \frac{\partial(us)}{\partial x} + \frac{\partial(vs)}{\partial y} + \frac{\partial(ws)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial s}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial s}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_z \frac{\partial s}{\partial z} \right)$$

7) 状態方程式

密度は塩分、水温の関数として以下の関数式で取り扱う。

$$\rho = \rho(s, T)$$

この状態方程式として、以下に示す Knudsen の式を用いる。

海水密度は塩分と温度の関数であり、示すには現場密度 σ_T を用いることが多い。 σ_T は海水の密度から 1 を減じ、それを 1000 倍した値で示され、温度 T (°C) のときの密度 ρ_T は

$\rho_T = 1 + 10^{-3} \sigma_T$ となる。Knudsen によれば、温度 0°C の時の $\sigma_0 \left(\frac{g}{cm^3} \right)$ は塩分濃度 s (‰) の

関数として次式で示される。

$$\sigma_0 = -0.069 + 1.4708s - 0.001570s^2 + 0.0000398s^3$$

また、温度 T (°C) の時の $\sigma_T \left(\frac{g}{cm^3} \right)$ は次式で求められる。

$$\sigma_T = -\frac{(T-3.98)^2}{503.570} \frac{T+283}{T+67.26} + (\sigma_0 + 0.1324) \{1 - A_T + B_T(\sigma_0 - 0.1324)\}$$

$$A_T = T(4.7867 - 0.098185T + 0.0010843T^2) \times 10^{-3}$$

$$B_T = T(18.030 - 0.8164T + 0.01667T^2) \times 10^{-6}$$

ここに、 x, y, z : 直交座標系で z は上向きを正

u, v, w : x, y, z 方向の流速

$\tau_{xi, yj}$: (x_i, y_j) 面の応力

ρ : 密度

p : 圧力

g : 重力加速度

ζ : 水位

H : 水深

T : 水温

s : 塩分濃度

D_x, D_y, D_z : それぞれ x, y, z 方向の渦動拡散係数

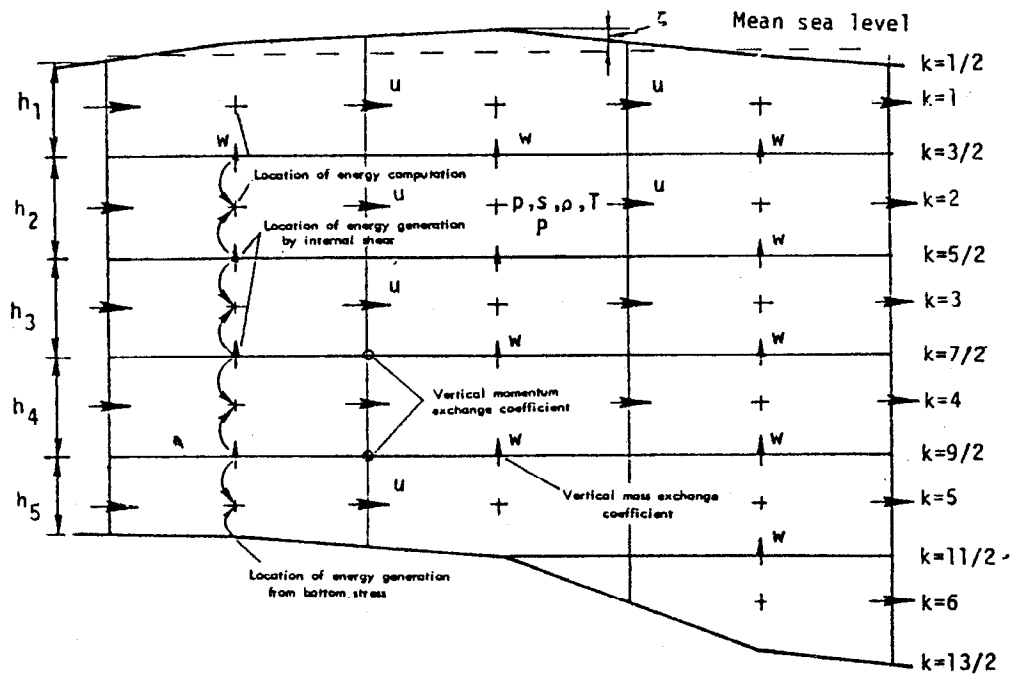
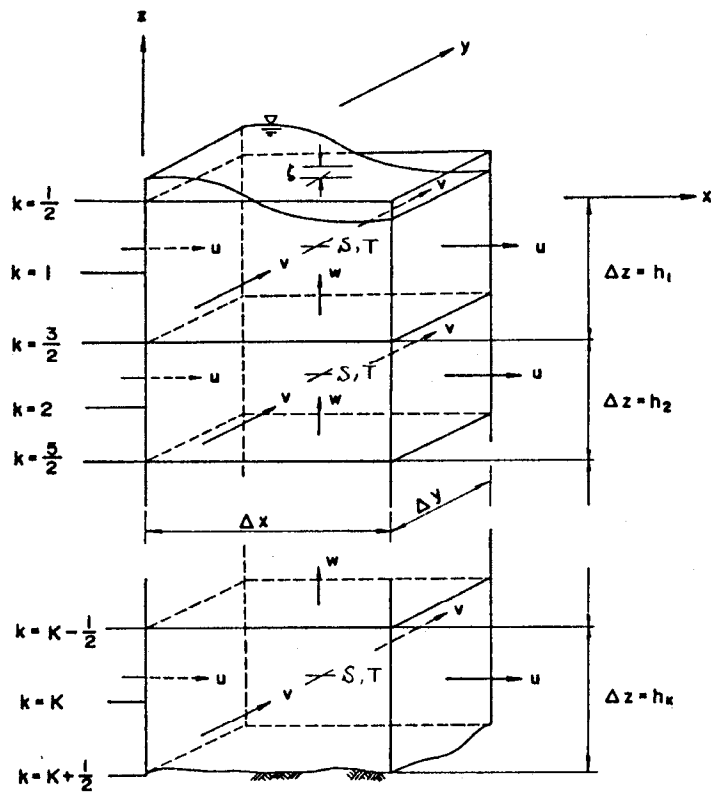


図 15 三次元 Multi-level モデルの概要