１号炉取水槽流路縮小工について

１．はじめに

１号炉取水槽流路縮小工（以下，「流路縮小工」と記す）は，１号炉取水路を遡上する津波に対して，１号炉取水槽から敷地への津波の到達，流入を防止するために設置することから，２号炉申請の中で津波防護施設として整理している。流路縮小工の設置位置を図１に示す。

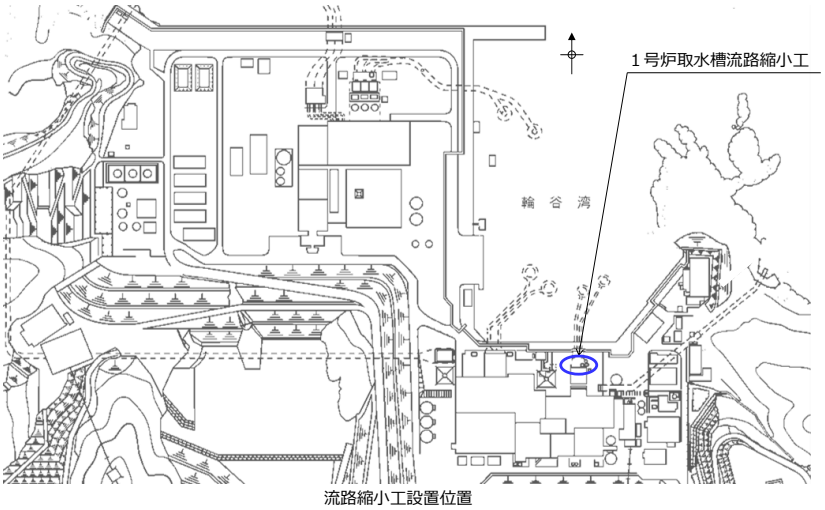


図１　流路縮小工設置位置

２．流路縮小工設置による１号炉への影響について

（１）流路縮小工の構造概要

a．流路縮小工の構造（図２参照）

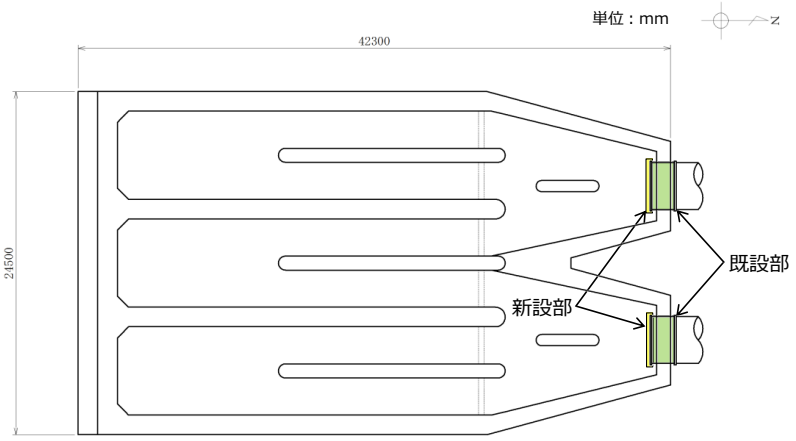
（ａ）既設部

流路縮小工の既設部は，鋼製の取水管とする。

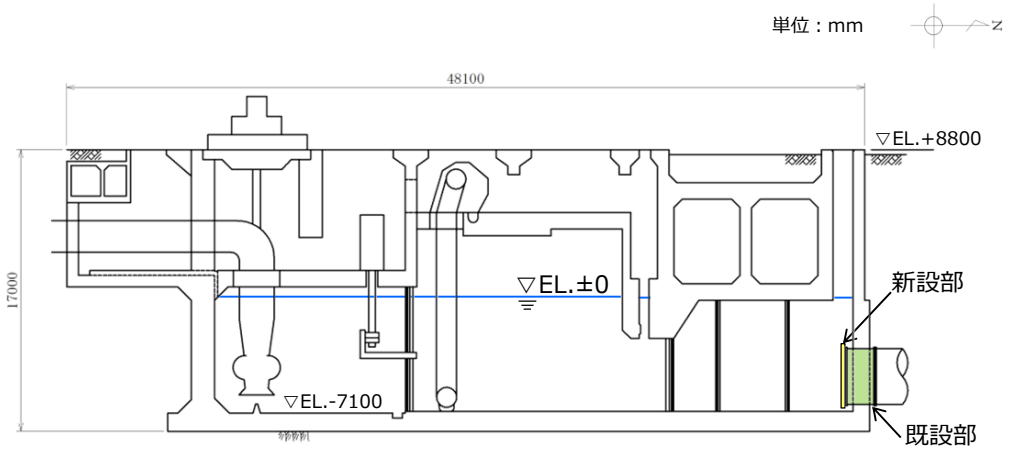
（ｂ）新設部

流路縮小工の新設部は，開口率５割程度とした縮小板，取付板及び固定ボルトで構成する鋼製の構造物とし，取水管端部に設置する。

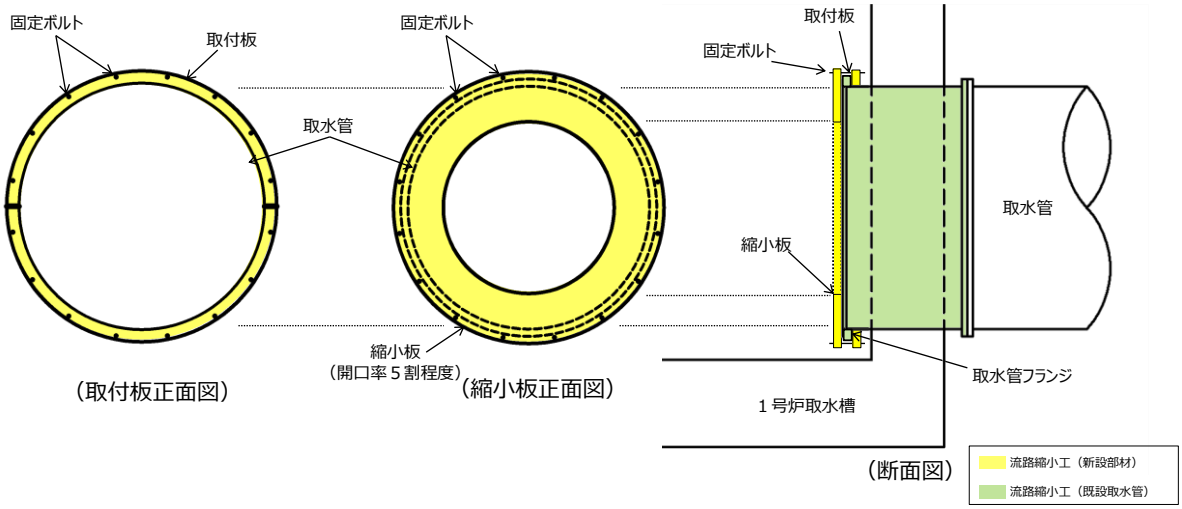
新設部材の設置は，取水管フランジの両側に取り付けた縮小板と取付板を固定ボルトで固定する。



平面図



縦断図



流路縮小工拡大イメージ図

図２　１号炉取水槽流路縮小工の構造例

（２）流路縮小工設置による１号炉取水機能への影響について

ａ．１号炉取水機能への影響について

１号炉に貯蔵中の使用済燃料の冷却は十分進んでおり，崩壊熱による発熱量は小さいため，使用済燃料プールの冷却が停止しても，その水温の上昇は緩やかな状況であるため，ここでは流路縮小工設置による原子炉補機海水ポンプへの取水性について評価した。

（ａ）原子炉補機海水ポンプの取水性評価

流路縮小工設置後は，１号炉循環水ポンプは全台停止する運用とすることから，表１に示すとおり，流速が小さくなり，損失水頭は低下するため，流路縮小工設置により取水槽内の水位が低下することはなく，原子炉補機海水ポンプの取水機能への影響はない。

表１　流路縮小工設置による１号炉取水機能への影響

流路縮小工	循環水ポンプ状態	流量(m^3/s)	水路断面積(m^2)	流速(m/s)
設置前	ポンプ運転時	28	約 17.63	約 1.59
設置後	ポンプ停止時	1	約 8.81	約 0.11

（ｂ）海生生物の付着による閉塞の可能性

１号炉取水槽の流路縮小工の開口部は,１箇所あたり直径約 2.4m 程度であり，これまでの取水設備の点検結果から，海生生物の付着代は最大で 5cm 程度であることを確認していることから，海生生物の付着による閉塞の可能性はない。

なお，流路縮小工設置後においても定期的な点検と清掃を行う。

以上より，海生生物による流路縮小工の閉塞の可能性はない。

（３）原子炉施設保安規定への影響

流路縮小工設置による1号炉における保安管理に関する事項として，原子炉施設保安規定（以下「保安規定」という。）上の影響について以下のとおりまとめた。

ａ．１号炉の保安確保における該当条文

（ａ）第143 条（使用済燃料プールの水位および水温）

・使用済燃料プールの水位がオーバーフロー水位付近にあること

・使用済燃料プールの水温が65℃以下

ｂ．保安規定上直接影響がある条文

上記ａ．の該当条文の結果から流路縮小工設置に伴い関連する条文を以下に示す。

（ａ）第143 条（使用済燃料プールの水位および水温）

・使用済燃料プールの冷却水として，原子炉補機冷却系を使用しており，流路縮小工の設置により通水面積が小さくなるため，関連する。

ｃ．保安規定上の影響

（２）の結果から流路縮小工設置後においても，海水系（原子炉補機冷却海水系）に必要な流量は確保されていることから，保安規定上要求される事項への影響がないことを確認した。

３．流路縮小工の保守管理について

流路縮小工については，津波防護施設としての機能及び１ 号炉取水機能を維持していくため，別途定める保全計画に基づき，適切に管理していく。

具体的には，流路縮小工の縮小板・取付板は腐食代を確保するとともに，縮小板・取付板・固定ボルトは腐食防止のため塗装を行う。固定ボルト及び固定ボルト近傍部材の腐食による固定ボルトの脱落を防止するため，固定ボルトの径を大きくする，本数を増やす等の対応を実施することとし，対応方法は詳細設計段階において決定する。また，潜水士により取水槽内の定期的な点検・清掃を行い，縮小板や固定ボルト等の流路縮小工の各部位を確認する。固定ボルトに塗装の劣化や腐食等の傾向が確認された場合には，当該ボルトを交換する。

４．流路縮小工（取水槽）の開口面積について

流路縮小工は，１号炉取水路から敷地への津波の流入を防止することに加え，１号炉の補機冷却海水ポンプの取水機能に影響を与えないことが求められる。

管路計算の結果を踏まえて，流路縮小工の開口面積を4.4㎡とする構造としている。（２）ａ．（ａ）に示す通り，循環水ポンプを停止運用とすることにより，原子炉補機海水ポンプの必要流量に対し，十分な開口面積を確保している。

５．流路縮小工部の異常の検知性について

流路縮小工部が閉塞する可能性はないと評価しているものの，仮に閉塞を仮定した場合の検知性について検討する。

流路縮小工が閉塞した場合，取水槽水位が低下傾向を示すため，「取水槽水位低」の警報が中央制御室において発報することにより検知可能であり，保安規定に紐づくＱＭＳ文書「設備別運転要領書　別冊　警報発生時の措置」に基づき対応が可能である。

６．まとめ

流路縮小工を設置することによる影響について，以下のとおり確認した。

（１）１号炉取水機能への影響

1号炉に貯蔵中の使用済燃料の冷却は十分進んでおり，崩壊熱による発熱量は小さいため，使用済燃料プールの冷却が停止しても，その水温の上昇は緩やかな状況であることを踏まえ，流路縮小工の設置による取水機能への影響を以下のとおり確認した。

ａ．非常用海水系の取水機能への影響はない。

ｂ．海生生物による流路縮小工部の閉塞の可能性はない。

（２）流路縮小工設置後においても，原子炉補機冷却海水系に必要な流量は確保されていることから，保安規定上要求される事項への影響がないことを確認した。

（３）流路縮小工については，津波防護施設としての機能及び1 号炉取水機能を維持していくため，別途定める保全計画に基づき，適切に管理していく。

（４）流路縮小工の開口面積（4.4㎡）は，原子炉補機冷却海水ポンプの必要流量から十分な開口面積である。

（５）流路縮小工部が閉塞する可能性はないと評価しているものの，仮に閉塞を仮定した場合の検知性について評価し，中央制御室で異常を検知（警報の確認）した後，保安規定に紐づくＱＭＳ文書「設備別運転要領書　別冊　警報発生時の措置」に基づき対応が可能であることを確認した。

参考１

１号炉取水槽流路縮小工の構造成立性

１号炉取水槽流路縮小工（以下，「流路縮小工」と記す）は津波防護施設であることから，基準地震動Ｓｓによる地震荷重や基準津波による津波荷重に対し，構成する部材がおおむね弾性域内に収まるよう設計する。

ここでは，地震荷重や流水圧等の津波荷重により流路縮小工を構成する部材が曲げやせん断等により損傷する以外に，津波時流速が作用した場合の構造成立性に関する既往知見について整理するとともに，それを踏まえ，流路縮小工の各部位が損傷して要求機能を喪失しうる事象（例えば，津波による作用水圧や縮小部の流速により躯体安定性が確保できない等）を整理する。これらの損傷モードの発生可能性を評価し，設計・施工上の配慮事項を整理した上で，構造成立性を示す。

（１） 津波時流速が作用した場合の構造成立性に関する既往知見の整理

流路縮小工の各部位が損傷して要求機能を喪失しうる事象の抽出にあたり，津波時流速が作用した場合の構造成立性に関する既往知見を整理した結果を以下に示す。

- 津波時には，流路縮小工による開口部を高流速の津波が通過する。「水門鉄管技術基準（水圧鉄管・鉄鋼構造物編）平成 29 年版（（社）水門鉄管協会）」によれば，水圧鉄管の固定台（アンカーブロック）の設計において，考慮すべき外力として，管の重量（管傾斜による推力）や湾曲部に作用する遠心力等に加え，管内流水の摩擦による推力が挙げられる。
- 津波時には，流路縮小工による開口部を高流速の津波が通過する。「建設省河川砂防技術基準（案）同解説　設計編［Ｉ］」によれば，ダムの放水設備について，流水に接する構造物の表面は，流水による洗掘や摩耗の軽減に配慮して設計するとともに，流速が大きい場合には，渦や流水による摩耗や浸食の対策を考える必要があるとしている。島根２号炉の津波時に流入する海水については，参考資料に示すとおり，輪谷湾の底質は岩及び砂礫で構成されており，島根２号炉の基準津波における砂移動の検討結果から取水口及び取水槽付近の砂の最大堆積厚さが小さく，砂の流入は少ないことから，海水に含まれる砂等による影響は小さいと判断する。
- 流路縮小工は，流路断面が縮小されることから，流路縮小工前面と流路縮小工による開口部の間で津波流速の変化が生じる。「ダム・堰施設技術基準（案）平成 23 年版（（社）ダム・堰施設技術協会）」によれば，高流速の水が流れ

る放流管内では，管路の湾曲や壁面の凹凸によって局所的に圧力降下が生じ，その下流は負圧となって空洞を生じ，水の流れが圧力の高いところに移動すると水蒸気の気泡は急激に圧潰され壁面に著しい損傷を与えるとしている。

（2）要求機能を喪失しうる事象の抽出

前述を踏まえ，流路縮小工各部位が損傷により要求機能を喪失しうる事象を抽出し，これに対する設計・施工上の配慮を整理した。表１～表３に整理結果を示す。

表１　地震荷重や津波荷重により要求機能を喪失しうる事象と設計・施工上の配慮事項（新設の鋼製部材）

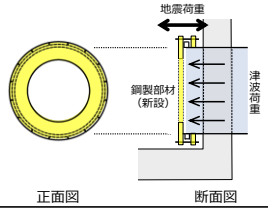
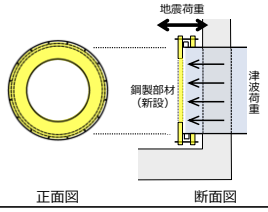
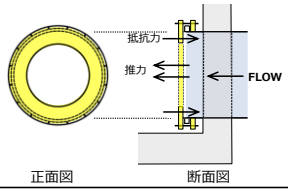
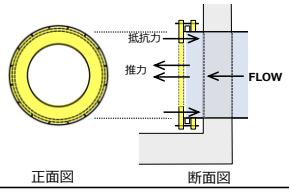
部位の名称	要求機能を喪失しうる事象	設計・施工上の配慮	照査
新設の鋼製部材	・地震荷重や津波荷重により，縮小板が曲げ破壊又はせん断破壊することで津波防護機能を喪失する。 ・縮小板から伝達する荷重により，取付板及び固定ボルトが破断し，津波防護機能を喪失する。 	・縮小板に生じる断面力による応力度が，許容限界以下であることを確認する。 ・取付板及び固定ボルトについては，各部位に生じる断面力による応力度が，許容限界以下となるように詳細設計段階で設計する。 	○ （構造成立性の見通しの確認においては縮小板を評価対象とする）
	・開口部における流水の摩擦により推力が生じ，縮小板が曲げ破壊又はせん断破壊することで津波防護機能を喪失する。 ・縮小板から伝達する荷重により，取付板及び固定ボルトが破断し，津波防護機能を喪失する。 	・津波時及び重畳時の津波荷重として，流水の摩擦による推力を考慮する。 	○ （構造成立性の見通しの確認においては縮小板を評価対象とする）

表２　地震荷重や津波荷重により要求機能を喪失しうる事象と設計・施工上の配慮事項（取水管）

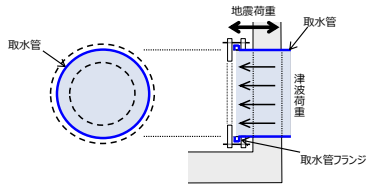
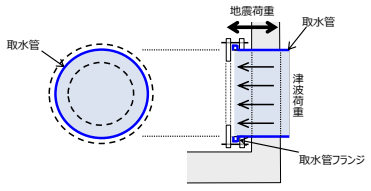
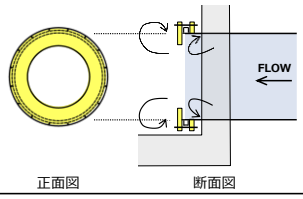
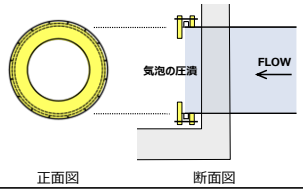
部位の名称	要求機能を喪失しうる事象	設計・施工上の配慮	照査
取水管	・地震荷重や新設の鋼製部材から伝達する津波荷重により，取水管が曲げ破壊，せん断破壊又は引張破壊することで，津波防護機能を喪失する。 ・地震荷重や新設の鋼製部材から伝達する津波荷重により，取水管フランジが曲げ破壊又はせん断破壊することで，津波防護機能を喪失する。 	・取水管に生じる断面力による応力度が，許容限界以下であることを確認する。 	○

表３　津波時流速により要求機能を喪失しうる事象と設計・施工上の配慮事項（流路縮小工全体）

設備の名称	要求機能を喪失しうる事象	設計・施工上の配慮	照査
流路縮小工 全体	・急縮部・急拡部で発生する砂や貝を含んだ渦や流水による摩耗(エロージョン摩耗※1)によって形状に変化が生じ，津波防護機能を喪失する。  正面図　　断面図	・「建設省河川砂防技術基準（案）同解説　設計編[Ｉ]」によれば，渦や流水による摩耗は経年劣化による損傷である。常時の流路縮小工による開口部の流速が0.11m/sと遅いこと，前述のとおり流水に砂がほとんど含まれないこと及び貝については定期的な清掃により貝を除去する保守管理方針とすることから，摩耗による流路縮小工の健全性への影響は小さいと判断する。 ・津波は短期的な事象であるが，安全側に以下の配慮を行う。「水門鉄管技術基準（水圧鉄管・鉄鋼構造物編）平成29年版（（社）水門鉄管協会）」によれば，管の摩耗による板厚の減少に対して余裕厚を確保する方法が用いられていることから，新設の鋼製部材に対して適切な余裕厚を詳細設計段階で設定する。	－
	・急縮部に高速な津波が流れ込むことよる局部的な圧力降下によって，その下流は負圧となって空洞を生じ(キャビテーション)，圧力が高まる急拡部付近に移動すると，水蒸気の気泡は急激に圧潰され，壁面に損傷を与えることにより，形状に変化が生じ，流路縮小性能を喪失する(ピッチング損傷)。  正面図　　断面図	・「ダム・堰施設技術基準（案）平成23年版（（社）ダム・堰施設技術協会）」によれば，円形断面で出口面積が３～４m²未満の放流管を「小容量放流管」とし，小断面で管内流速が10m/sを超える場合は圧力降下を生じる可能性があるとしている。一方で，流路縮小工は円形断面で出口面積が4.5m²程度を確保し，管路解析の結果から１号炉取水槽における津波時の流速が最大でも9.4m/sであることから，圧力降下が生じる可能性は小さく，キャビテーションによる流路縮小工の健全性への影響は小さいと判断する。	－

※1：エロージョン摩耗とは，液体粒子・固体粒子あるいは液体の流れが角度をなして物体表面に衝突することで生じる摩耗である、

（３）流路縮小工全体の構造成立性の見通しの確認

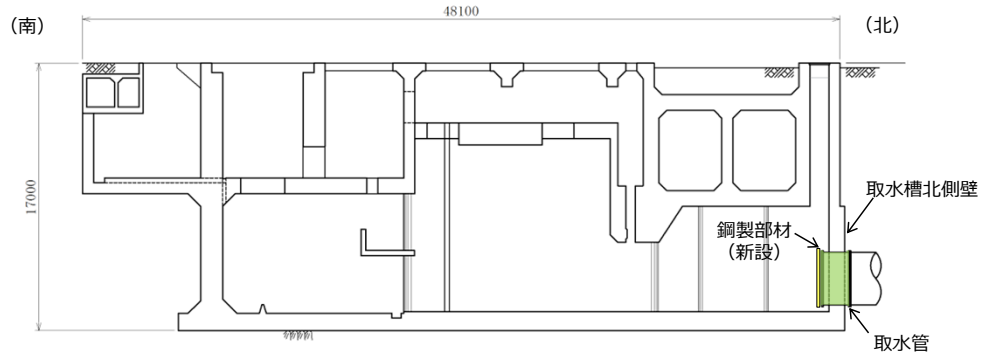
ａ．概要及び評価方針

流路縮小工全体の構造成立性の見通しについて以下に示す。

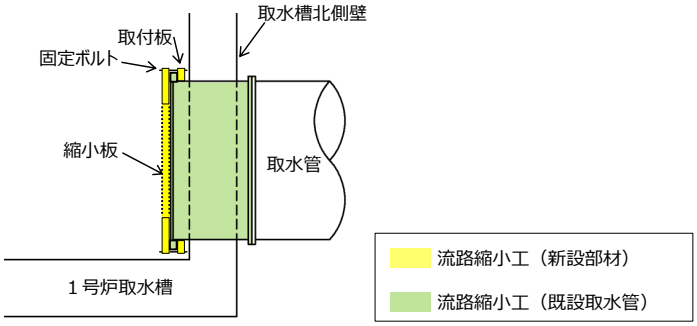
流路縮小工は，津波防護施設であり，津波時及び地震時において開口面積を確保する必要があるため，部材が降伏しないことが求められる。流路縮小工は開口率５割程度とした縮小板，取付板及び固定ボルトで構成する鋼製部材を取水管端部に設置し，取水管は取水槽北側壁を貫通して設置していることから，取水槽北側壁が間接支持部材となり，部材が終局状態に至らないことが求められる。

なお，流路縮小工は鋼材で構成することから，部材の許容限界は「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 改定）」に基づき設定し，取水槽北側壁は鉄筋コンクリート部材で構成されていることから，部材の許容限界は「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005）」に基づき設定する。

以上のことから，構造成立性の見通しの確認における，各部位に必要な性能に係る許容限界は，表４に示すとおり設定する。



縦断図



流路縮小工拡大イメージ図

図１　流路縮小工及び流路縮小工を間接支持する部材

表４　構造成立性の見通しの確認における要求機能に応じた許容限界

評価対象設備（部位）	要求性能に対する目標性能	許容限界			適用基準
		曲げ	せん断	引張	
流路縮小工（縮小板）	部材が降伏しない	許容応力度	許容応力度	－	鋼構造設計規準
流路縮小工（取水管）	部材が降伏しない	許容応力度	許容応力度	許容応力度	鋼構造設計規準

ｂ．縮小板のモデル化方針

流路縮小工の縮小板は，図２に示すとおり，取水管端部のフランジを挟んで取付板とボルト接合し，鋼製部材が地震荷重や津波荷重により一体的に応答するモードとなることから，有孔円の固定板としてモデル化する。

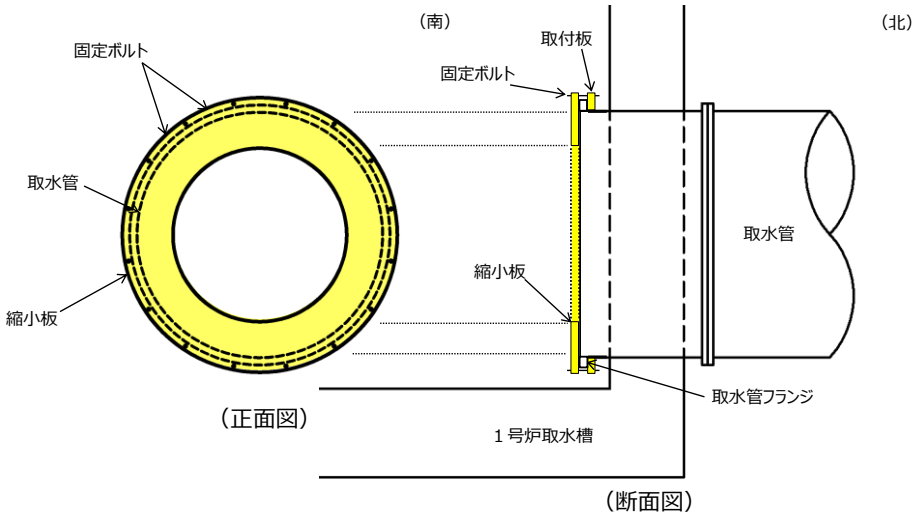


図２　縮小板のモデル化方針

ｃ．荷重組合せ

流路縮小工の設計においては，以下のとおり，常時荷重，地震荷重及び津波荷重を適切に組合せて設計を行う。

①地震時：常時荷重＋地震荷重

②津波時：常時荷重＋津波荷重

③重畳時：常時荷重＋津波荷重＋余震荷重

また，設計に当たっては，その他自然現象との組合せを適切に考慮する（添付資料 20 参照）。

ｄ．荷重条件

流路縮小工の設計において考慮する荷重は，以下のように設定する。

（ａ）常時荷重

自重を考慮する。

（ｂ）地震荷重

基準地震動Ｓｓを考慮する。なお，構造成立性の見通しの確認においては，基準地震動Ｓｓのうち，流路縮小工の水平方向１次固有周期における加速度応答スペクトルが最も大きい基準地震動Ｓｓ－Ｄを用いる。

（ｃ）津波荷重

津波時の静水圧，流水圧及び流水の摩擦による推力を考慮する。

静水圧は，津波時及び重畳時において，以下の管路計算により算定された流路縮小工の上流側と下流側の水位差から算定し，上流側と下流側の水位差が最大となる時の水位差から求める。なお，重畳時は管路計算における流路縮小工上流側の水位が最大となる時の水位差からも算定する。

・津波時（対象：日本海東縁部に想定される地震による津波（基準津波１，２，３，５，及び６））

流路縮小工上流側ＥＬ．＋7.51m，流路縮小工下流側ＥＬ．―0.75m

・重畳時（対象：海域活断層から想定される地震による津波（基準津波４））

流路縮小工上流側ＥＬ．＋1.64m，流路縮小工下流側ＥＬ．＋1.63m

流水圧は，流路縮小工が水中の部材で構成されることから，「港湾の施設の技術上の基準・同解説（日本港湾協会）」に基づく評価式により算定する。なお，津波の流速は，管路計算による流路縮小工地点の最大流速に基づき保守的に，津波時は 9.5m/s，重畳時は 5.5m/s と設定する。

流水の摩擦による推力は，「水門鉄管技術基準（水圧鉄管・鉄鋼構造物編）平成 29 年版（（社）水門鉄管協会）」に基づく評価式により算定する。

（ｄ）余震荷重

海域活断層から想定される地震による津波荷重に組み合わせる余震荷重として，弾性設計用地震動Ｓｄによる荷重を設定する（添付資料 22 参照）。

e．評価方法

（a）地震時

地震時の検討では，基準地震動Ｓｓに対する地震応答解析を実施し，部材の発生応力度が許容限界を超えないことを確認する。

地震時の縮小板に作用する水平方向荷重イメージは図３に示すとおりであり，動水圧は以下の Westergaard 式から算定する。

・動水圧（Westergaard 式）

（Westergaard 式）

$$p_w = \frac{7}{8} \times c \times \gamma_w \times \sqrt{(h \times y)} \times Kh$$

ここに，

p_w　：動水圧（tf/m²）

Kh　：水平震度

c　：補正係数

L/h＜1.5 の場合：c=L/(1.5h)

L/h≧1.5 の場合：c=1.0

L　：水路幅（m）

γ_w　：内水の単位体積重量（tf/m³）

h　：水深（m）

y　：水面から動水圧を求める点までの深さ（m）

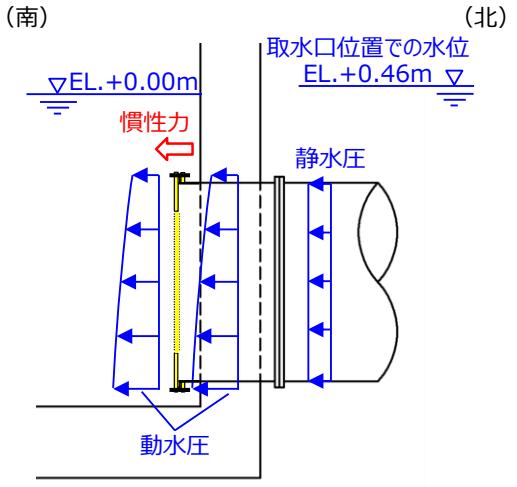


図３　地震時の流路縮小工の縮小板に作用する水平方向荷重イメージ

（ｂ）津波時

津波時の検討では，入力津波による津波荷重を作用させ，部材の発生応力度が許容限界を超えないことを確認する。

津波時の縮小板に作用する水平方向荷重イメージは図４に示すとおりであり，流水圧及び流水の摩擦による推力は下式から算定する。

・流体力

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho_0 A U^2$$

F_D：流体力(kN)，C_D：抗力係数（保守的に最大値 2.01 とする）

ρ_0：水の密度（海水 $1.03 t/m^3$）

A：流れの方向の物体の投影面積（m^2），U：流速（m/s）

・推力

$$P = \frac{2fQ^2}{g\pi D^3} L$$

P：流水の摩擦による推力（kN）

f：流水の摩擦抵抗係数　$(=0.2D^{-1/3})$

L：貫通部長さ（m），Q：流量（m^3/s），D：貫通部直径（m）

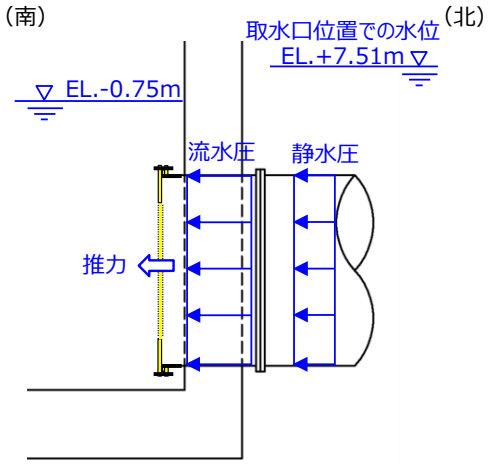


図４　津波時の流路縮小工の縮小板に作用する水平方向荷重イメージ

（ｃ）重畳時

重畳時の検討では，余震荷重及び津波荷重を作用させ，部材の発生応力度が許容限界を超えないことを確認する。

重畳時の縮小板に作用する水平方向荷重イメージは図５に示すとおりであり，構造成立性の見通しの確認では，流路縮小工に作用する荷重が大きい，管路計算による流路縮小工上流側の水位が最大となる時の静水圧及び動水圧を考慮する。

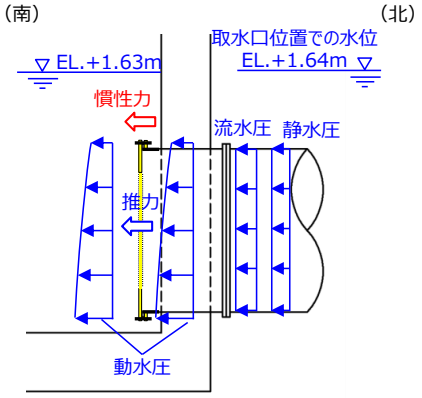


図５　重畳時の流路縮小工の縮小板に作用する水平方向荷重イメージ

（ｄ）作用荷重を踏まえた構造成立性の見通しの確認における検討ケースの絞り込み

流路縮小工の縮小板に作用する地震時，津波時及び重畳時の荷重について，水平方向の荷重を比較すると，表５に示すとおり，津波時の作用荷重が大きいことから，構造成立性の見通しの確認においては，津波時について評価を行うとともに，南北方向を評価対象断面に設定する。

表５　地震時，津波時及び重畳時における流路縮小工の縮小板に作用する水平方向荷重比較

流路縮小工 縮小板 概算重量	地震時					津波時			重畳時						荷重 評価
	設計 震度	荷重内訳			荷重 合計	荷重内訳		荷重 合計	設計 震度	荷重内訳				荷重 合計	
		水平 慣性力	動水圧	静水圧		静水圧	流水圧※			水平 慣性力	動水圧	静水圧	流水圧※		
25kN	Kh= 0.71	18 kN	634 kN	34 kN	686 kN	609 kN	682 kN	1291 kN	Kh= 0.36	9 kN	391 kN	1 kN	229 kN	630 kN	重畳時 ＜ 地震時 ＜ 津波時

※流水の摩擦による推力は，津波時で0.06kN，重畳時で0.02kNであり，流水圧等に比べて十分小さいことから，流水圧に含めて整理した。

f．評価式

評価式を以下に示す。

（a）流路縮小工（縮小板）

・曲げに対する評価式

縮小板に生じる曲げ応力度を下式から算定し，表６に示す鋼材の短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

ここに，　σ：曲げ応力度

Ｍ：曲げモーメント

Ｚ：断面係数

表６　曲げに対する短期許容応力度

使用材料	短期許容応力度（N/mm²）
	曲げ
SS400（板厚t≦40mm）	235

・せん断に対する評価式

縮小板に生じるせん断応力度を下式から算定し，表７に示す短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\tau = \frac{Q}{A}$$

ここに，　τ：せん断応力度

Ｑ：せん断力

Ａ：断面積

表７　せん断に対する短期許容応力度

使用材料	短期許容応力度（N/mm²）
	せん断
SS400（板厚t≦40mm）	135

（ｂ）流路縮小工（取水管）

・引張に対する評価式

取水管に生じる引張応力度を下式から算定し，表８に示す短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sigma_t = \frac{T}{A}$$

ここに，　σｔ：引張応力度

Ｔ：引張力

Ａ：断面積

表８　引張に対する短期許容応力度

使用材料	短期許容応力度 (N/mm²)
	引張
SS400（板厚t≦40mm）	235

ｇ．評価結果

評価結果を表９に示す。

流路縮小工は，地震荷重より大きい津波荷重に対して十分な安定性を有しており，構造成立性の見通しがあることを確認した。

なお，本評価結果は暫定条件を用いた評価結果であることから，正式条件を用いた評価結果は詳細設計段階で示す。

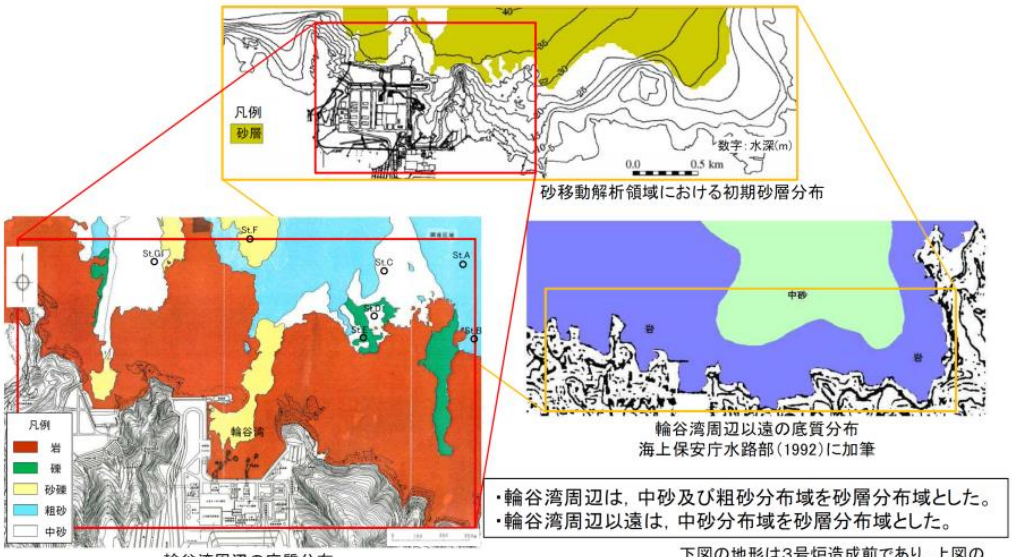
表９　流路縮小工に関する評価結果（津波時）

評価対象部位	仕様（案）	照査結果				
		照査項目	最大発生値 (N/mm²)	許容値 (N/mm²)	照査値（発生値）/（許容値）	判定 (照査値<1.00)
縮小板	SS400 (板厚 t=40mm)	曲げ	137	235	0.59	OK
		せん断	3	135	0.03	OK
取水管	SS400 (板厚 t=24mm)	引張	5	235	0.03	OK

（参考１）基準津波に伴う取水槽及び取水口周辺の砂移動評価

参考に，島根２号炉における基準津波に伴う取水槽及び取水口周辺の砂移動評価について以下に示す。

・砂移動解析領域における初期砂層分布は，輪谷湾周辺は当社による底質調査結果，輪谷湾周辺以遠は海上保安庁水路部(1992)[8]による底質調査結果を参照し設定した。



砂移動解析領域における初期砂層分布

輪谷湾周辺の底質分布

輪谷湾周辺以遠の底質分布
海上保安庁水路部(1992)に加筆

・輪谷湾周辺は，中砂及び粗砂分布域を砂層分布域とした。
・輪谷湾周辺以遠は，中砂分布域を砂層分布域とした。

下図の地形は3号炉造成前であり，上図の現在の地形とは土地形状が異なる。

・基準津波を評価対象として，砂移動の数値シミュレーションを実施した結果のうち，取水口位置における最大堆積厚さを下表に示す。

基準津波	波源	防波堤の有無	砂移動モデル	浮遊砂上限濃度	取水口堆積層厚さ(m)※1		評価結果図	
					2号炉取水口（東）	2号炉取水口（西）	堆積浸食分布図等	時刻歴波形
基準津波1	地方自治体独自の波源モデルに基づく検討（鳥取県(2012)）	有	藤井ほか(1998)	1%	0.00	0.00	P9	P25
				5%	0.00	0.00	P9	P26
			高橋ほか(1999)	1%	0.02[0.020]	0.02[0.011]	P10	P27
		無	藤井ほか(1998)	1%	0.00	0.00	P11	P28
				5%	0.00	0.00	P11	P29
			高橋ほか(1999)	1%	0.00	0.00	P12	P30
基準津波2	地震発生領域の連動を考慮した検討（断層長さ350km）	有	藤井ほか(1998)	1%	0.00	0.00	P13	P31
				5%	0.00	0.00	P13	P32
			高橋ほか(1999)	1%	0.01	0.00	P14	P33
基準津波3	地震発生領域の連動を考慮した検討（断層長さ350km）	有	藤井ほか(1998)	1%	0.00	0.00	P15	P34
				5%	0.00	0.00	P15	P35
			高橋ほか(1999)	1%	0.00	0.00	P16	P36
基準津波4	土木学会に基づく検討（F-Ⅲ～F-Ⅴ断層）	有	藤井ほか(1998)	1%	0.00	0.00	P17	P37
				5%	0.00	0.00	P17	P38
			高橋ほか(1999)	1%	0.00	0.00	P18	P39
		無	藤井ほか(1998)	1%	0.00	0.00	P19	P40
				5%	0.00	0.00	P19	P41
			高橋ほか(1999)	1%	0.00	0.00	P20	P42
基準津波5	地震発生領域の連動を考慮した検討（断層長さ350km）	無	藤井ほか(1998)	1%	0.00	0.00	P21	P43
				5%	0.00	0.00	P21	P44
			高橋ほか(1999)	1%	0.00	0.00	P22	P45
基準津波6	地震発生領域の連動を考慮した検討（断層長さ350km）	無	藤井ほか(1998)	1%	0.00	0.00	P23	P46
				5%	0.00	0.00	P23	P47
			高橋ほか(1999)	1%	0.00	0.00	P24	P48

※1 計算結果は小数第3位で切り上げて示す。

・取水口位置における最大堆積厚さは，基準津波1での高橋ほか(1999)の浮遊砂上限濃度1%の2号炉取水口（東）において0.02mであり，海底面から取水口呑口下端までの高さ(5.50m)※2に対して十分に小さく，取水への影響はないことを確認した。

※2 海底面：T.P.-18.00m，取水口呑口下端：T.P.-12.50m

・基準津波を評価対象として，高橋ほか（1999）の手法に基づき数値シミュレーションを実施し，取水槽における砂の堆積厚さを算定した。

波源	上昇側・下降側	防波堤の有無	ポンプ運転状況	砂移動モデル	浮遊砂上限濃度	取水槽における砂の堆積厚さ（m）※1	評価結果図 時刻歴波形
基準津波1	上昇側	有	運転	高橋ほか（1999）	1%	0.02[0.0161]	P53
			停止			0.00	P53
		無	運転			0.01	P54
			停止			0.00	P54
	下降側	有	運転			0.02[0.0162]	P55
			停止			0.00	P55
		無	運転			0.01	P56
			停止			0.00	P56
基準津波2	上昇側	有	運転			0.01	P57
			停止			0.00	P57
基準津波3	下降側	有	運転			0.01	P58
			停止			0.00	P58
基準津波4	下降側	有	運転			0.00	P59
			停止			0.00	P59
		無	運転			0.00	P60
			停止			0.00	P60
基準津波5	上昇側	無	運転			0.00	P61
			停止			0.00	P61
基準津波6	下降側	無	運転			0.00	P62
			停止			0.00	P62

※1 計算結果は小数第3位で切り上げて示す。

・取水槽における最大堆積厚さは，基準津波1（水位下降側）で0.02mとなり，取水槽底面から補機海水ポンプ下端までの高さ（0.50m）※2に対して十分に小さく，取水への影響はないことを確認した。

※2 取水槽底面高さ：T.P.−9.80m，補機海水ポンプ下端：T.P.−9.30m

（参考２）港湾基準における流水圧の適用性について

流路縮小工に作用する津波による流水圧は，「港湾の施設の技術上の基準・同解説（日本港湾協会）」に基づく評価式により算定する。

同基準によると，「水中又は水面付近の部材及び施設に作用する流れによる力は，流速の 2 乗に比例する力であり，流れの方向に作用する抗力がある」としている。また，「流れによる抗力は，粘性による表面抵抗と圧力による形状抵抗の和として表され，抗力係数は物体の形状，粗度，流れの方向，レイノルズ数などによって異なり，レイノルズ数が 10^3 程度より大きい場合は，物体の形状に応じて 0.2～2.01 の値を標準値として用いることができる」としている。

流路縮小工は水中に設置する構造物であること，管路計算による流路縮小工地点の最大流速発生時における縮小板付近のレイノルズ数が 10^6～10^7 のオーダーであることから，流路縮小工は同基準における流水圧の適用性があると判断する。

なお，流水圧の算定に当たっては，保守的に抗力係数の最大値である 2.01 を採用する。

参考２

１号炉取水管端部への流路縮小工設置による入力津波高さ低減効果について

１．１号炉取水施設の概要

１号炉取水管端部への流路縮小工の設置に伴い，取水槽内の水位を確認する。１号炉取水施設の平面図，断面図及び管路解析モデルについては添付資料６に示す。

２．計算条件

計算条件については，添付資料６のとおりとする。

３．計算結果

１号炉取水管端部への流路縮小工設置を考慮した管路計算の結果，最大の入力津波高さに外郭防護の裕度評価において参照する高さである0.64mを考慮しても，１号炉取水槽の天端高さであるＥＬ．＋8.8mを越えないことを確認した（表１参照）。

また，１号炉取水槽の浸水範囲を図１に，最大水位上昇量を示したケースの時刻歴波形を図２に示す。なお，対策前の取水槽の時刻歴波形を図３に示す。

表１　基準津波による取水槽水位の結果

波源		防波堤有無	貝付着有無	循環水ポンプ運転状況	１号炉取水槽の入力津波高さ　EL.（m）	
					対策後※	（参考）対策前
					取水槽	取水槽
日本海東縁部	基準津波１	有り	有り	停止	+6.3	+7.2
			無し	停止	+6.4	+7.7
		無し	有り	停止	+6.8	+8.2
			無し	停止	+7.0	+9.2
	基準津波２	有り	有り	停止	+6.0	+6.8
			無し	停止	+6.1	+7.3
	基準津波５	無し	有り	停止	+6.4	+7.6
			無し	停止	+6.7	+8.1
海域活断層	基準津波４	有り	有り	停止	+2.7[+2.61]	+3.0
			無し	停止	+2.7[+2.68]	+3.0
		無し	有り	停止	+2.5	+3.4
			無し	停止	+2.7[+2.67]	+3.8
	海域活断層上昇側最大となるケース	有り	有り	停止	+2.5	+2.6
			無し	停止	+2.5	+2.6
		無し	有り	停止	+2.5	+3.2
			無し	停止	+2.6	+3.5

※下線部が最大水位上昇量の値

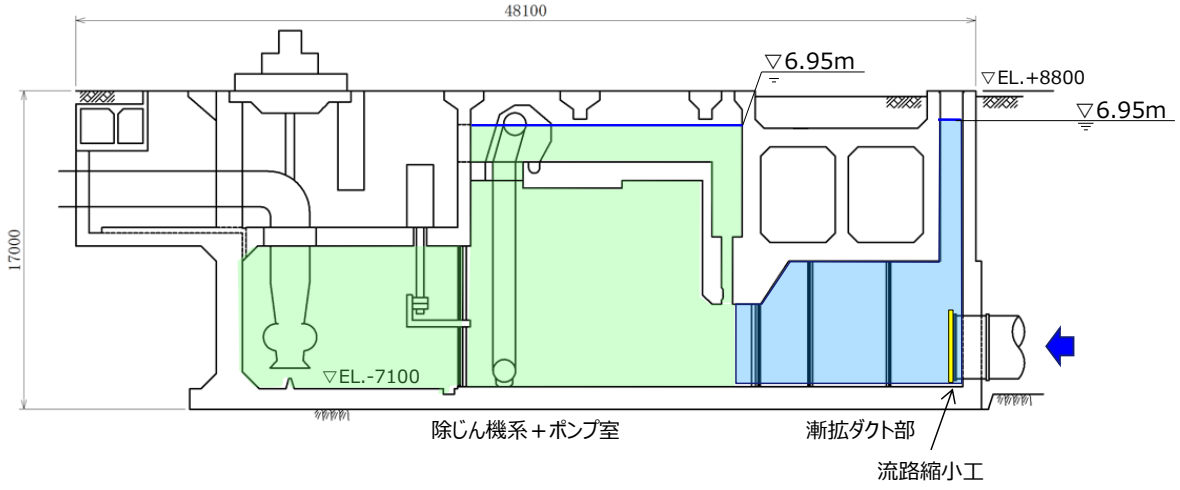


図１　１号炉取水槽流路縮小工による浸水範囲※

※　漸拡ダクト部，除じん機系＋ポンプ室の最大水位上昇量を図に示す。
（基準津波１　防波堤無し　貝無し）

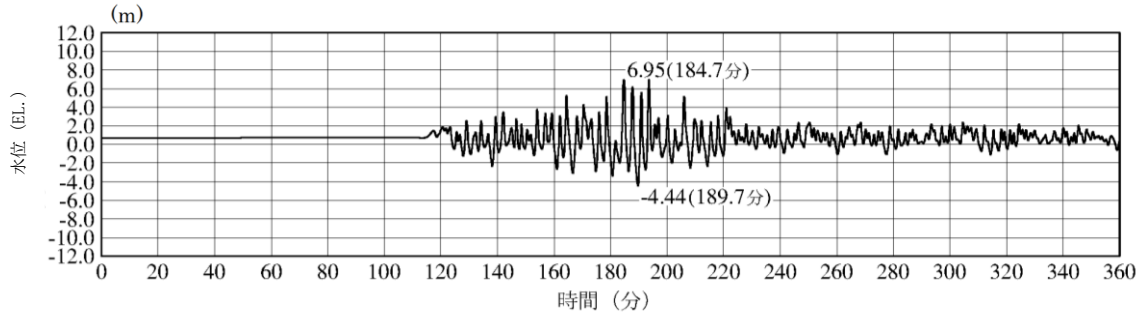


図２　時刻歴波形（基準津波１　防波堤無し　貝付着無し）

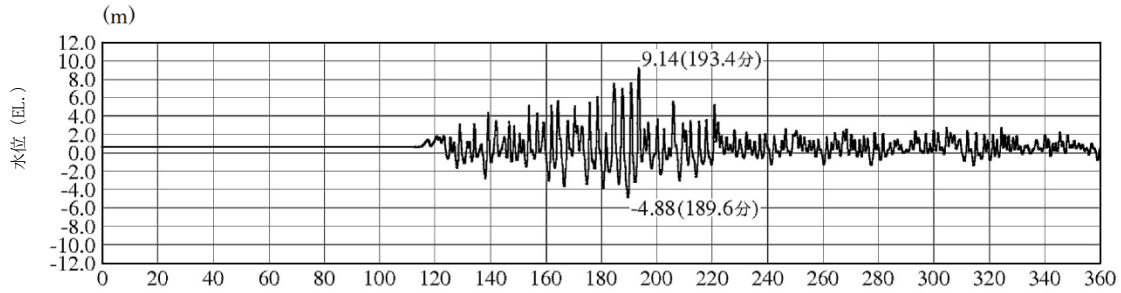


図３　対策前の取水槽の時刻歴波形（基準津波１　防波堤無し　貝付着無し）

参考３

１号炉取水槽に設置する流路縮小工に関する水理模型実験の実施について

１号炉取水槽に設置する流路縮小工について，生じる損失は火力・原子力発電所土木構造物の設計（電力土木技術協会），作用する流水圧は港湾の施設の技術上の基準・同解説（日本港湾協会）に基づき設定しており，当該損失及び流水圧の妥当性を詳細設計段階において水理模型実験により確認する。

模型実験における流れの状態は，津波による最大水位上昇時は満管状態の流れによるものであることから，実験においても満管状態の流れを想定する。

模型実験の相似則はフルード則を用い，縮尺の詳細については，実験装置の性能等を踏まえて設定する。模型実験の概要図を図１，実験条件の概要を表１に示す。

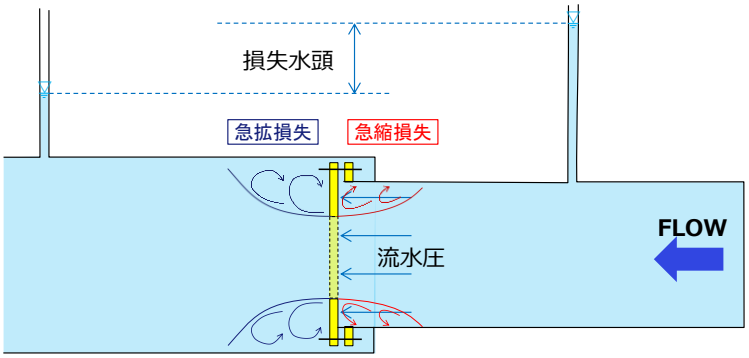


図１　模型実験概要図

表１　実験条件の概要

実験条件	内容
計測項目	・損失水頭 ・流水圧
流れ状態	管路流れ （満管状態の流れ）
相似則	フルード則
模型縮尺	1/10 程度

参考４

１号炉取水槽内へ堰を設置した場合の入力津波高さ低減効果について

１．検討概要

１号炉取水槽への流路縮小工は，取水管端部に設置することとするが，当初選定していた取水槽内に堰を設置した場合の入力津波高さ低減効果を確認する。１号炉取水施設の平面図を図１，断面図を図２，管路計算モデルを図３に示す。

２．計算条件

計算条件については，添付資料６のとおりとする。ただし，１号取水槽内へ流路縮小工を設置した場合の各損失は表１の損失水頭表のとおりとする。１号取水槽内の流路縮小工による損失を表２及び図４に示す。

３．計算結果

１号炉取水槽内へ堰を設置した場合を考慮した管路計算の結果，最大の入力津波高さに外郭防護の裕度評価において参照する高さである0.64mを考慮しても，１号炉取水槽の天端高さであるＥＬ．＋8.8mを越えないことを確認した。（表１参照）１号炉取水槽の浸水範囲を図５に，最大水位上昇量を示したケースの時刻歴波形を図６に示す。なお，対策前の取水槽の時刻歴波形を図７に示す。

４．結果の考察

１号取水槽へ堰を設置によることにより，図８に示すとおり，漸拡ダクト部の水位は堰を設置しない場合に比較し，一時的に水位が上昇し，その影響により，図９に示すとおり，取水槽への津波の流入量は減少することを確認した。

除じん系＋ポンプ室及び漸拡ダクト部の最大水位は，取水槽への津波の流入量の減少及び堰の設置による損失から，堰を設置しない場合と比較し，低減することを確認した。

以上より，１号炉取水槽へ堰を設置した場合において，漸拡ダクト部の取水槽ピットにて入力津波高さは許容値以下であり，閉止板等の対策工を設置する必要はないことを確認した。

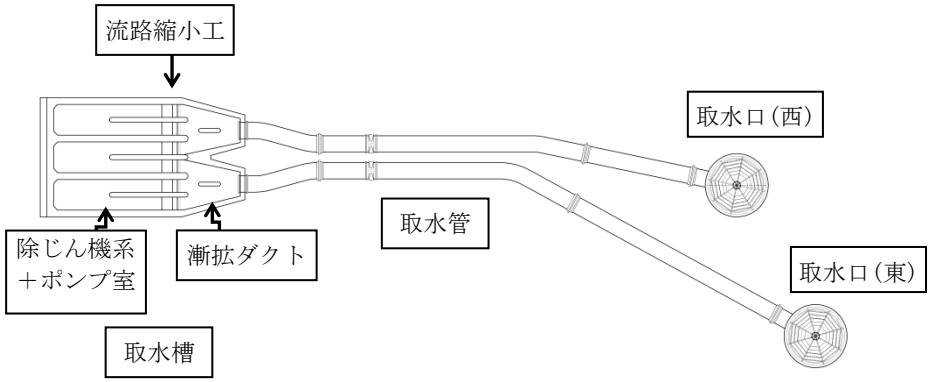


図１　平面図（1号炉取水施設）

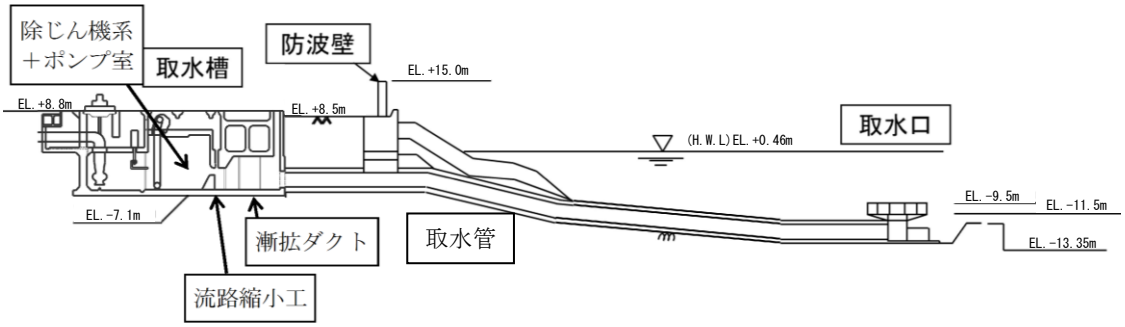


図２　断面図（1 号炉取水施設）

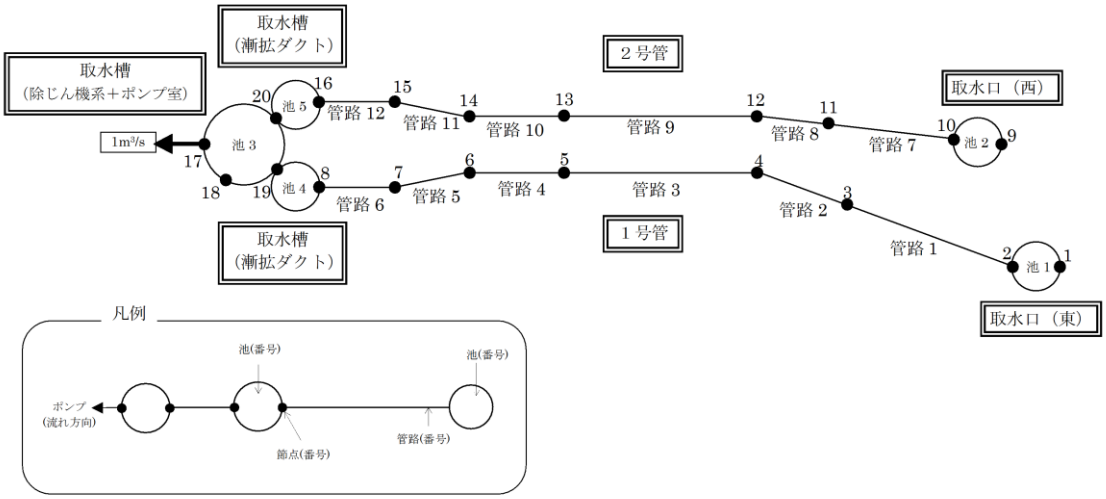


図３　１号炉取水施設の管路計算モデル

表１　１号炉取水施設の損失水頭表
（貝付着無し，循環水ポンプ停止時）

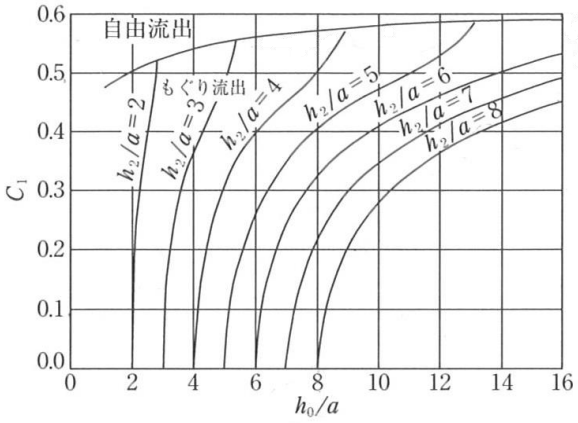
場所	流量 (m^3/s)	種類	係数	1号管	2号管	断面積 (m^2) 1号管	断面積 (m^2) 2号管	損失水頭 (m)※ 1号管	損失水頭 (m)※ 2号管	モデル化
取水口	0.500	流入	F	0.500	0.500	75.398	75.398	0.000	0.000	節点2,10
		急縮	F	0.480	0.480	12.566	12.566	0.000	0.000	節点2,10
		摩擦	粗度係数($m^{-1/3}\cdot s$)	0.014	0.014	12.566	12.566	0.000	0.000	節点2,10
			長さ(m)	2.600	2.600					
			径深(m)	1.000	1.000					
		屈折	F	0.986	0.986	12.566	12.566	0.000	0.000	節点2,10
		急縮	F	0.140	0.140	8.814	8.814	0.000	0.000	節点2,10
取水管	0.500	摩擦	粗度係数($m^{-1/3}\cdot s$)	0.014	0.014	8.814	8.814	0.000	0.000	管路1～6 管路7～12
			長さ(m)	127.075	102.915					
			径深(m)	0.838	0.838					
		曲がり	F_{b1}	0.135	0.135	8.814	8.814	0.000	0.000	節点3,11
			F_{b2}	0.279	0.319					
		曲がり	F_{b1}	0.135	0.135	8.814	8.814	0.000	0.000	節点4,12
			F_{b2}	0.571	0.366					
		曲がり	F_{b1}	0.135	0.135	8.814	8.814	0.000	0.000	節点5,13
			F_{b2}	0.412	0.379					
		曲がり	F_{b1}	0.135	0.135	8.814	8.814	0.000	0.000	節点6,14
			F_{b2}	0.413	0.413					
		曲がり	F_{b1}	0.135	0.135	8.814	8.814	0.000	0.000	節点7,15
			F_{b2}	0.413	0.413					
		急拡	F	0.543	0.543	8.814	8.814	0.000	0.000	節点8,16
取水槽	0.500	摩擦	粗度係数($m^{-1/3}\cdot s$)	0.015	0.015	41.667	41.667	0.000	0.000	節点8,16
			長さ(m)	9.100	9.100					
			径深(m)	1.682	1.682					
		摩擦	粗度係数($m^{-1/3}\cdot s$)	0.015	0.015	50.000	50.000	0.000	0.000	節点8,16
			長さ(m)	1.700	1.700					
			径深(m)	1.716	1.716					
		摩擦	粗度係数($m^{-1/3}\cdot s$)	0.015	0.015	31.250	31.250	0.000	0.000	節点8,16
			長さ(m)	1.000	1.000					
			径深(m)	0.805	0.805					
		摩擦	粗度係数($m^{-1/3}\cdot s$)	0.015	0.015	33.333	33.333	0.000	0.000	節点8,16
			長さ(m)	2.000	2.000					
			径深(m)	0.820	0.820					
		ピヤー	ピアの水平断面形状による係数	0.920	0.920	45.455	45.455	0.000	0.000	節点8,16
			ピア直前の水路幅(m)	6.859	6.859					
			水路幅からピア幅の総計を控除した幅(m)	6.059	6.059					
		漸拡	F_{ge}	0.280	0.280	33.500	33.500	0.000	0.000	節点8,16
			F_{se}	0.204	0.204					
		漸縮	F	0.020	0.020	42.557	42.557	0.000	0.000	節点8,16
		急縮	F	0.100	0.100	32.237	32.237	0.000	0.000	節点8,16
		漸拡	F_{ge}	0.200	0.200	32.237	32.237	0.000	0.000	節点8,16
			F_{se}	0.003	0.003					
		流出	F	1.000	1.000	34.185	34.185	0.000	0.000	節点8,16
流路縮小工	0.500	スルースゲート	上流水深(m) 注1)	4.360	4.360	9.540	9.540	0.009	0.009	節点19,20
			下流水深(m) 注1)	4.351	4.351					
			ゲート開度(m)	1.200	1.200					
			流出幅(m)	7.950	7.950					
			流量係数	0.006	0.006					
合計								0.009	0.009	

注1）流路縮小工の堤頂を基準

※小数点以下4桁目を四捨五入で表示

表２　損失水頭算定公式

	公式	係数	根拠
スルースゲートによる流量公式	$Q = C_1 aB\sqrt{2gh_0}$	Q ：流量(m³/s) C_1 ：流量係数 a ：ゲートの開き(m) B ：流出幅(m) h_0 ：上流水深(m)	土木学会水理公式集（平成11年版） p. 254-255 【図４参照】



C_1 ：流量係数
a ：ゲートの開き(m)
h_0 ：上流水深(m)
h_2 ：下流水深(m)

図４　スルースゲートによる流量係数(土木学会水理公式集（平成11年版）p. 255)[注]

注）スルースゲートの流量公式$Q = C_1 aB\sqrt{2gh_0}$により，流量Q，ゲートの開きa，流出幅B及び上流水深h_0が既知の場合，流量係数C_1が決定される。さらに，図の関係から下流水深h_2が決定されるため，スルースゲートによる損失水頭$\Delta h = h_0 - h_2$が算定される。

表３　基準津波による取水槽水位の結果

波源		防波堤有無	貝付着有無	循環水ポンプ運転状況	１号炉取水槽の入力津波高さ　EL.（m）			
					対策後※			（参考）対策前
					漸拡ダクト部		除じん機系＋ポンプ室（池３）	取水槽
					（東ルート）（池４）	（西ルート）（池５）		
日本海東縁部	基準津波１	有り	有り	停止	+6.6	+6.6	+6.5	+7.2
			無し	停止	+6.9	+6.9	+6.8	+7.7
		無し	有り	停止	+7.4	+7.4	+7.3	+8.2
			無し	停止	+7.9 [+7.86]	+7.8	+7.7 [+7.65]	+9.2
	基準津波２	有り	有り	停止	+6.2	+6.2	+6.1	+6.8
			無し	停止	+6.5	+6.4	+6.3	+7.3
	基準津波５	無し	有り	停止	+5.4	+5.3	+5.3	+7.6
			無し	停止	+7.3	+7.2	+7.1	+8.1
海域活断層	基準津波４	有り	有り	停止	+2.7	+2.7	+2.7	+3.0
			無し	停止	+2.7	+2.6	+2.6	+3.0
		無し	有り	停止	+2.9	+2.9	+2.9	+3.4
			無し	停止	+3.1	+3.1	+3.1	+3.8
	海域活断層上昇側最大となるケース	有り	有り	停止	+2.4	+2.4	+2.4	+2.6
			無し	停止	+2.4	+2.3	+2.3	+2.6
		無し	有り	停止	+2.8	+2.8	+2.8	+3.2
			無し	停止	+3.0	+2.9	+2.9	+3.5

※下線部が最大水位上昇量の値

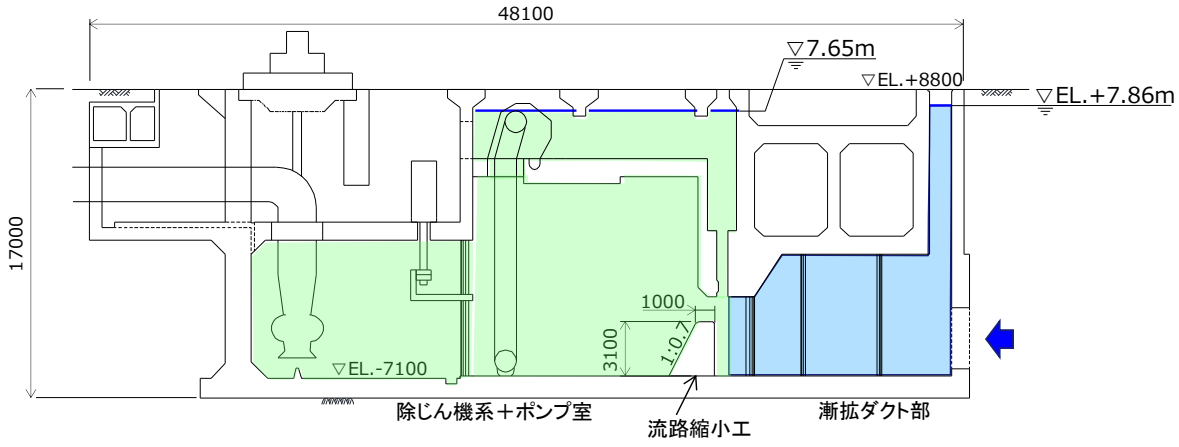
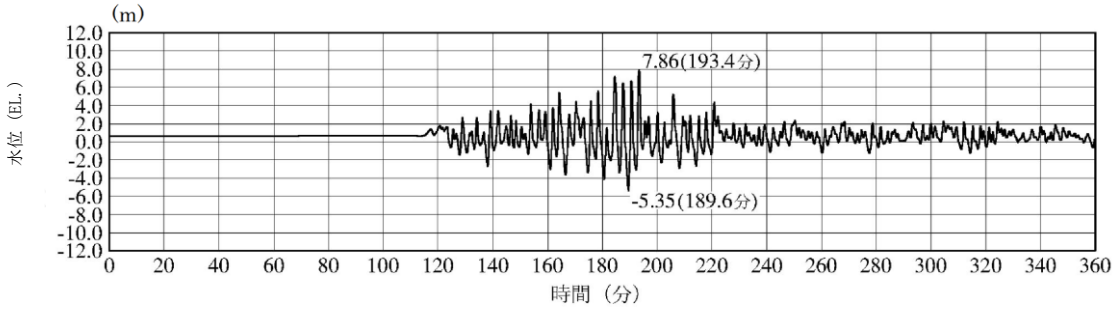
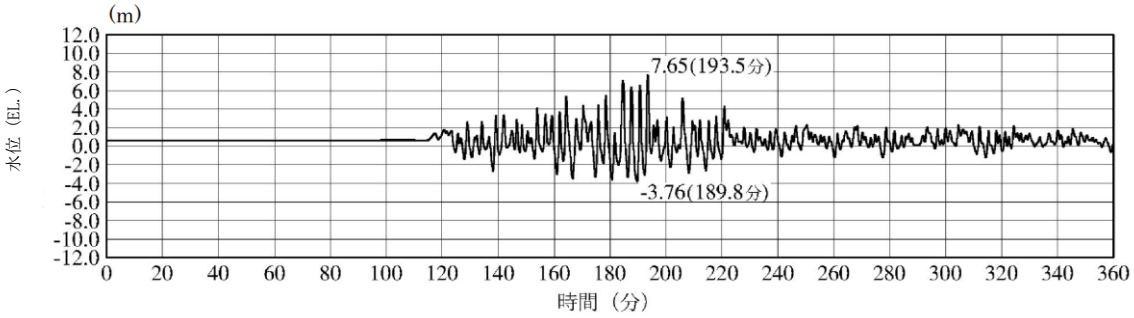


図５　１号炉取水槽流路縮小工による浸水範囲※

※　漸拡ダクト部，除じん機系＋ポンプ室の最大水位上昇量を図に示す。
（基準津波１　防波堤無し　貝無し）



漸拡ダクト（東ルート）



除じん機系＋ポンプ室

図６　時刻歴波形（基準津波１　防波堤無し　貝付着無し）

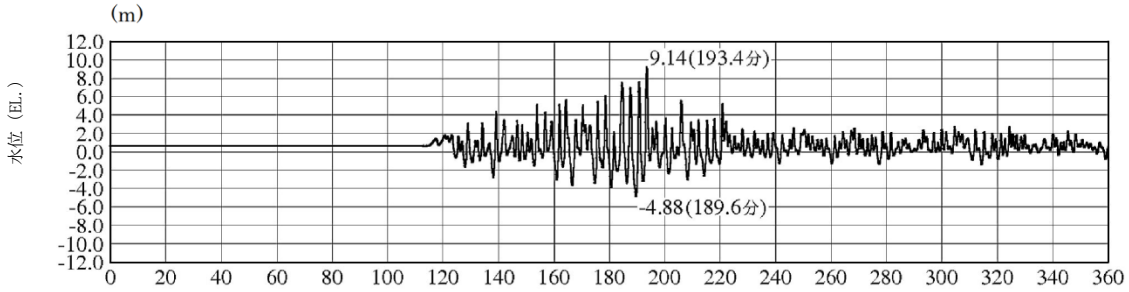


図７　対策前の取水槽の時刻歴波形（基準津波１　防波堤無し　貝付着無し）

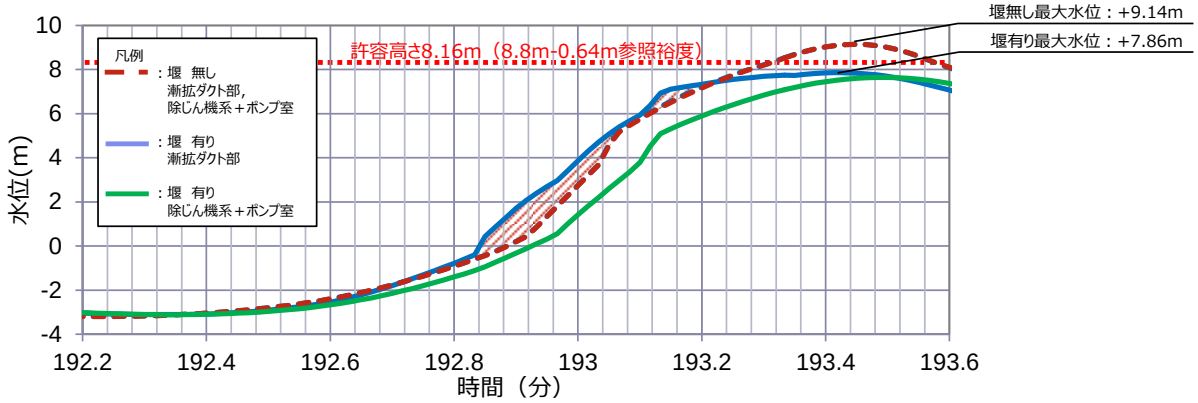


図８　取水槽水位最大となる押し波１波あたりの水位
（漸拡ダクト部，除じん機系+ポンプ室，高さに係る数値はＥＬ．）

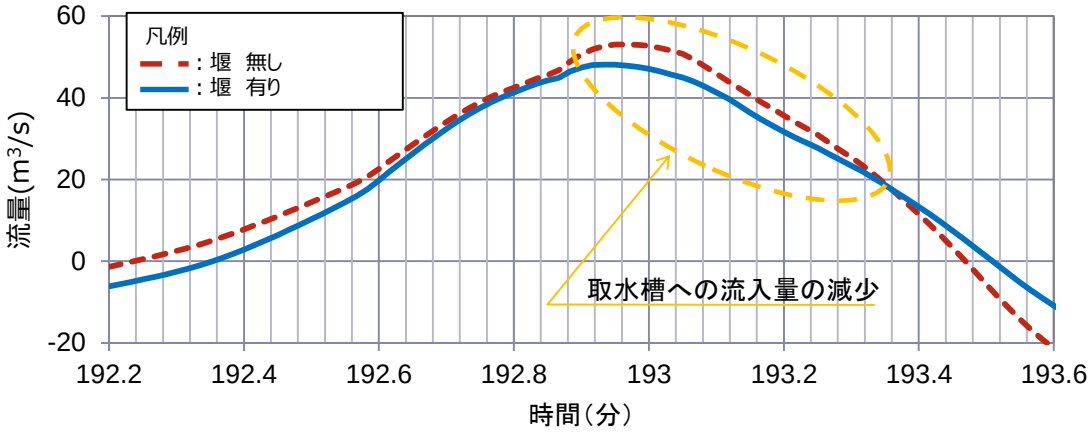


図９　取水槽水位が最大となる押し波１波あたりの流量
（取水管部，取水槽への流入方向の流量を正とする）

取水槽除じん機エリア防水壁及び取水槽除じん機エリア水密扉の設計方針及び構造成立性の見通しについて

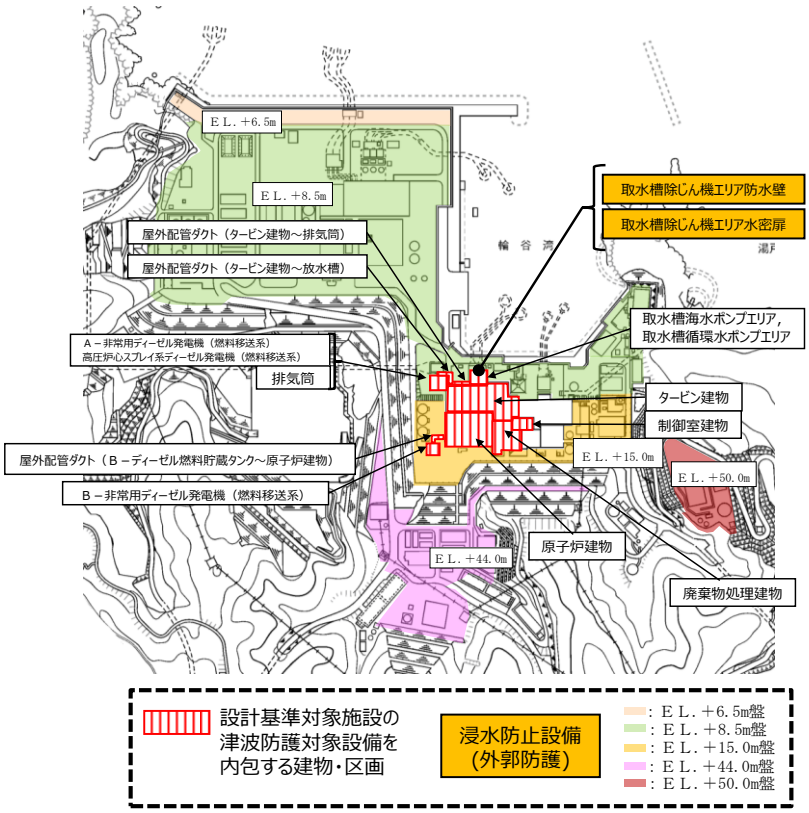
１．はじめに

（１）防水壁及び水密扉に要求される機能

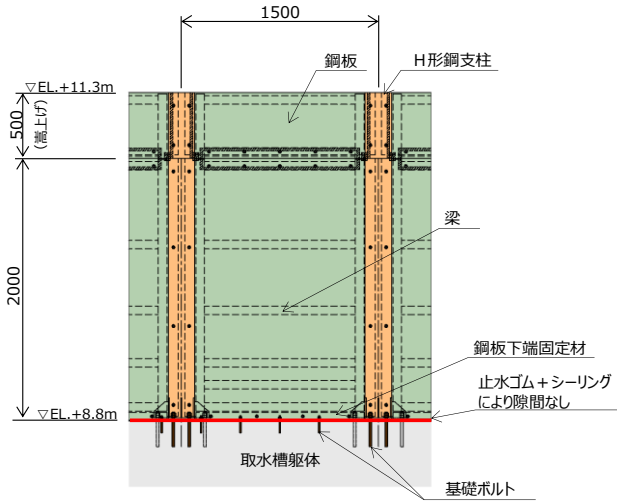
鋼構造の取水槽除じん機エリア防水壁（以下，「防水壁」とする）及び取水槽除じん機エリア水密扉（以下，「水密扉」とする）は２号炉取水槽に設置する。防水壁及び水密扉の平面位置図を第１図に，概要図を第２図に示す。

浸水防止設備として防水壁及び水密扉に求められる要求機能は，取水口から流入する津波の敷地への浸水を防止すること，基準地震動Ｓｓに対し要求される機能を損なうおそれがないよう，構造物全体として十分な構造強度を有することである。

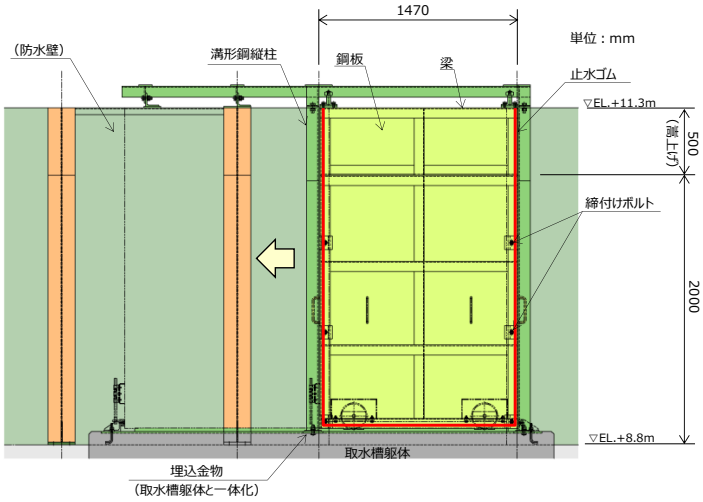
上記の機能を確保するため，入力津波に対し余裕を考慮した防水壁及び水密扉の高さを確保するとともに，構造体の境界部等の止水性を維持し，基準地震動Ｓｓに対し止水性を損なわない構造強度を有した構造物とする。



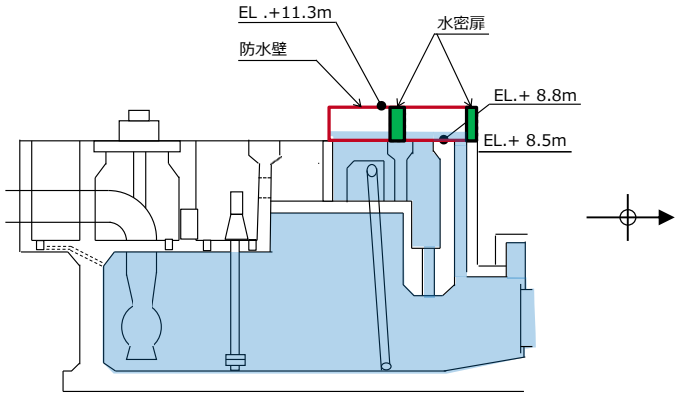
第１図　防水壁及び水密扉の平面位置図



防水壁（正面図）



水密扉（正面図）



断面イメージ図

第２図　防水壁及び水密扉の概要図

（２）防水壁及び水密扉の高さの設定方針

防水壁及び水密扉の高さは，設置位置の入力津波高さに設計裕度を考慮して決定し，入力津波高さは，基準津波による取水口位置の水位変動量に基づき，流入経路の水理特性を考慮した管路解析を踏まえて設定する。防水壁及び水密扉の高さは，入力津波高さに対して余裕を考慮した高さとする。入力津波高さと防水壁及び水密扉の高さの関係を第１表に示す。

第１表　入力津波高さと防水壁及び水密扉高さの関係

設置位置	入力津波高さ	防水壁高さ	高さの裕度
２号炉取水槽 除じん機エリア	EL.+10.6m	EL.+11.3m	＋0.7m

（３）防水壁及び水密扉の設計の基本的考え方

防水壁及び水密扉は，地震荷重や津波荷重に対して十分な耐震性・遮水性が要求されるため，高強度で軽量かつ十分に遮水性のある鋼板及び鋼桁を用い，取水槽に固定した鋼製支柱により支持される構造とする。

また，取水槽の管理用出入口である水密扉は，人力で容易に開閉作業が可能な鋼製の扉構造とするとともに，常時閉運用とする。

２．防水壁及び水密扉の概要

（１）防水壁

防水壁は，高強度で軽量かつ十分に遮水性のある鋼板を，取水槽に設置したH形鋼支柱にボルト接合により設置する構造とし，H型鋼支柱と鋼板との間に止水ゴムを設置して止水性を確保する。

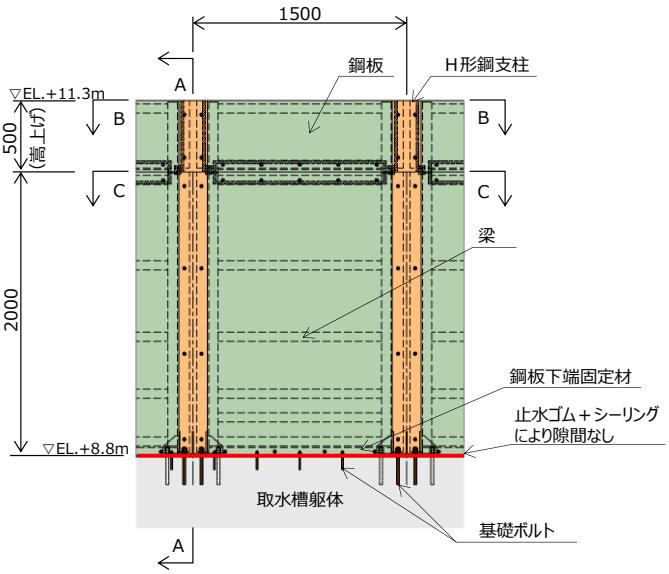
嵩上げ箇所は，H形鋼支柱を溶接接合にて嵩上げし，既設部同様，鋼板を支柱にボルト接合により設置する構造とし，支柱と鋼板との間は止水ゴムを設置して止水性を確保するとともに，シーリングを施工して止水性を高める。また，鋼板と鋼板の隙間は鋼板を追加してボルト接合するとともに，止水ゴムを隙間に設置して止水性を確保する。

また，H形鋼支柱下端のベースプレート及び鋼板下端固定材（等辺山形鋼）と取水槽の間には止水ゴムを設置することで止水性を確保する。さらに，ベースプレートを含めた鋼板下端全長にシーリングを施すことで止水性を高める。

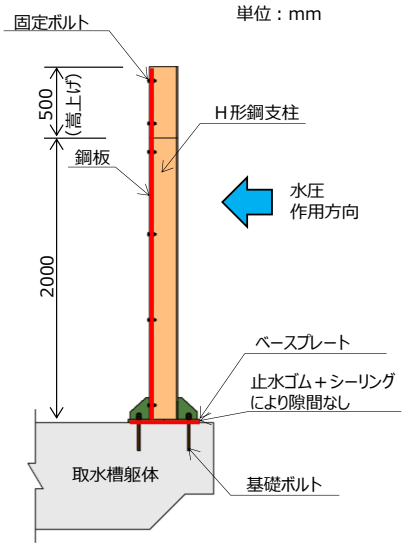
各部位の役割を第２表に，防水壁の構造例を第３図に示す。

第２表　防水壁の各部位の役割

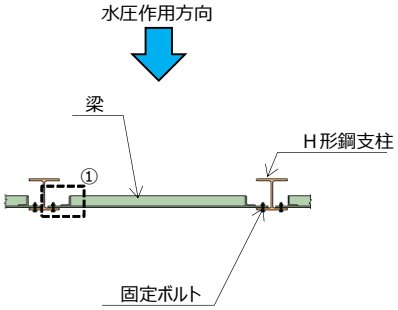
部位	役割
鋼板	止水機能の保持
梁・H形鋼支柱・固定ボルト	鋼板等の支持
ベースプレート	H形鋼支柱の支持
基礎ボルト	鋼板及びベースプレートの支持
止水ゴム	止水機能の保持（鋼板とH形鋼支柱間等）



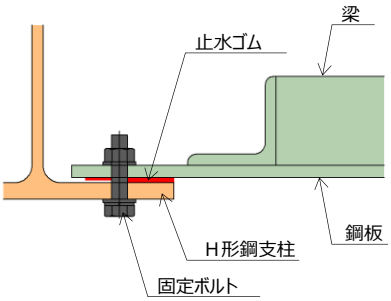
正面図



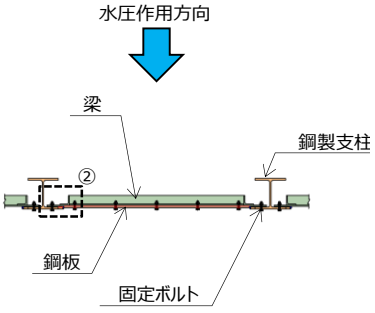
Ａ－Ａ断面図



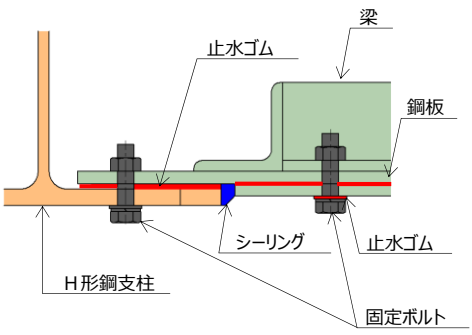
Ｂ－Ｂ断面図



①部詳細イメージ



Ｃ－Ｃ断面図



②部詳細イメージ

第３図　防水壁の構造例

（２）水密扉

取水槽の管理用出入口として，鋼製扉を用いた開閉可能な構造とする。

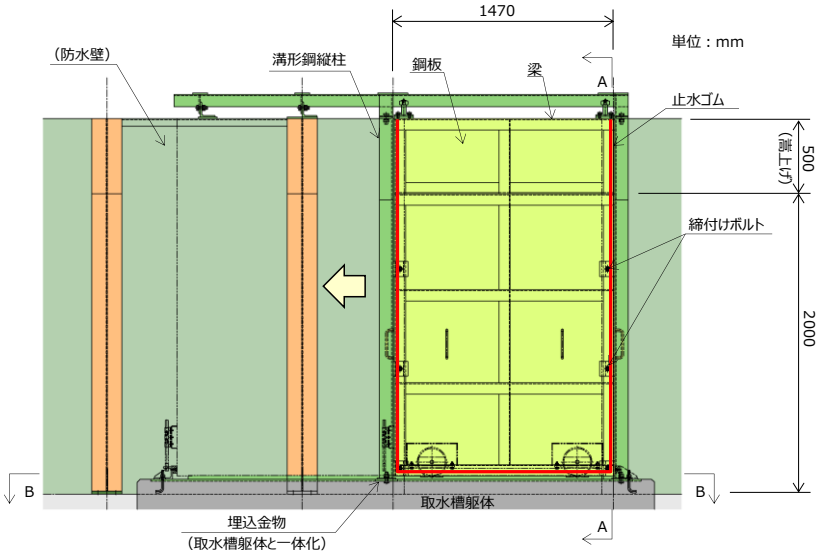
取水槽に溝形鋼の縦柱を設置したうえで，鋼板と梁を溶接接合して構成する鋼製扉を取り付ける。また，鋼製扉周囲に止水ゴムを設置し，別途設置する戸当たり（溝形鋼）との接触面で閉時の止水性を確保する。

嵩上げ箇所は，鋼製扉（鋼板及び梁），溝形鋼縦柱及び戸当たり（溝形鋼）をそれぞれ溶接接合して嵩上げする。

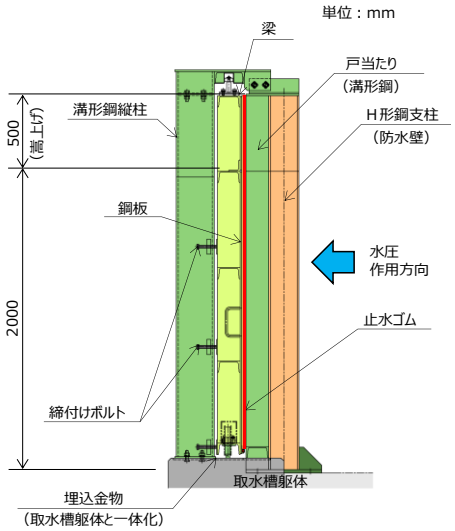
各部位の役割を第３表に，水密扉の構造例を第４図に示す。

第３表　水密扉の各部位の役割

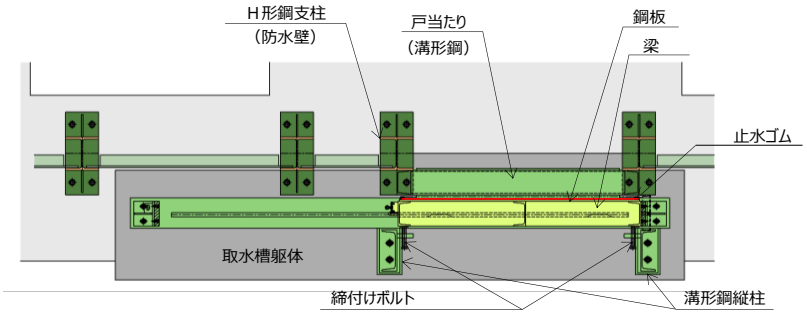
部位	役割
鋼製扉（鋼板･梁）	止水機能の保持
溝形鋼縦柱･締付けボルト･戸当たり（溝形鋼）	鋼製扉の支持
止水ゴム	止水機能の保持（鋼製扉と戸当たり間）



正面図



Ａ－Ａ断面図



Ｂ－Ｂ断面図

第４図　水密扉の構造例

３．防水壁及び水密扉の設計方針及び構造成立性の見通し

（１）検討ケース及び荷重の組合せ

防水壁及び水密扉における検討ケース及び荷重の組合せは，以下のとおりとする。

①地震時：常時荷重＋地震荷重＋風荷重

②津波時：常時荷重＋津波荷重

なお，防水壁及び水密扉の設計において考慮する荷重は，以下のとおり設定する。

①常時荷重

自重を考慮する。

②地震荷重

基準地震動Ｓｓを考慮する。

③風荷重

「第６条　外部からの衝撃による損傷の防止」において規定する設計基準風速に伴う荷重を地震時に考慮する。津波時は，水圧作用側が海面下にあることから，風荷重は考慮しない。

④津波荷重

入力津波高さに基づき算定される静水圧を考慮する。

⑤余震荷重

海域活断層に想定される地震による入力津波高さは，２号炉取水槽において最大でもＥＬ．＋4.9m であり，防水壁及び水密扉の設置標高がＥＬ．＋8.8m であるため，海域活断層に想定される地震による津波の影響を受けないことから，余震荷重を考慮しない。

（２）損傷モードの抽出と許容限界

地震時及び津波時に防水壁及び水密扉が維持すべき機能を喪失してしまう事象（損傷モード）を仮定し，その損傷モードに対しての設計・施工上の配慮を整理した。また，損傷モードの整理結果を踏まえ，構造成立性の見通しの確認における主要な照査項目と許容限界を整理した。

防水壁及び水密扉に関する損傷モード及び構造成立性の見通しに関する許容限界を第４～７表に示す。

第４表　防水壁に関する損傷モード

部位の名称	要求機能を喪失する事象	設計・施工上の配慮	構造成立性の見通しの確認における照査
鋼板	・鋼板に作用する地震荷重や津波荷重により，鋼板が曲げ破壊又はせん断破壊することで止水機能を喪失する。	・鋼板に生じる断面力による応力度が，許容限界以下であることを確認する。	○
	・Ｈ形鋼支柱間の応答差や地盤条件変化部における相対変位により，鋼板にねじれが発生し損傷することで止水機能を喪失する。	・支柱は取水槽に固定し，取水槽は十分な支持性能を有する岩盤に設置されていることから，支柱間の応答差や地盤条件変化部による影響は小さいと判断する。	－
Ｈ形鋼支柱	・鋼板から伝達する荷重及び支柱自体に作用する荷重により，鋼製支柱が曲げ・軸力による破壊又はせん断破壊し，鋼板の支持性能を喪失する。	・鋼製支柱に生じる断面力による応力度が，許容限界以下であることを確認する。	○
梁	・鋼板から伝達する荷重により，梁が曲げ破壊又はせん断破壊することで鋼板の支持性能を喪失する。	・梁に生じる断面力による応力度が，許容限界以下であることを確認する。	○
固定ボルト	・鋼板から伝達する荷重により，固定ボルトがせん断破壊し，鋼板の支持性能を喪失する。	・固定ボルトに生じる断面力による応力度が，許容限界以下となるよう，固定ボルトの仕様を詳細設計段階で決定する。	－
ベースプレート	・Ｈ形鋼支柱から伝達する荷重により，ベースプレートが曲げ破壊又はせん断破壊することでＨ形鋼支柱の支持機能を喪失する。	・ベースプレートに生じる断面力による応力度が，許容限界以下となるよう，ベースプレートの仕様を詳細設計段階で決定する。	－
基礎ボルト	・ベースプレートから伝達する荷重により，ボルトが引抜き又はせん断破壊し，防水壁全体の支持機能を喪失する。	・基礎ボルトに生じる断面力による応力度が，許容限界以下となるよう，基礎ボルトの仕様を詳細設計段階で決定する。	－

第５表　防水壁の構造成立性の見通しに関する許容限界

評価対象部位	役割	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
鋼板	止水機能の保持	曲げ・せん断	曲げ：短期許容応力度以下 せん断：短期許容応力度以下	鋼構造設計規準
Ｈ形鋼支柱・梁	鋼板の支持	曲げ・せん断	曲げ：短期許容応力度以下 せん断：短期許容応力度以下	鋼構造設計規準

第６表　水密扉に関する損傷モード

部位の名称	要求機能を喪失する事象	設計・施工上の配慮	構造成立性の見通しの確認における照査
鋼製扉（鋼板，梁）	・鋼製扉に作用する地震荷重や津波荷重により，鋼製扉が曲げ破壊又はせん断破壊することで止水機能を喪失する。	・鋼製扉に生じる断面力による応力度が，許容限界以下であることを確認する。	○
溝形鋼縦柱	・鋼製扉から伝達する荷重及び縦柱自体に作用する荷重により縦柱が曲げ破壊又はせん断破壊し，鋼製扉の支持性能を喪失する。	・溝形鋼縦柱に生じる断面力による応力度が，許容限界以下であることを確認する。	○
締付けボルト	・鋼製扉から伝達する荷重により，締付けボルトが破断し，鋼製扉の支持性能を喪失する。	・締付けボルトに生じる断面力による応力度が，許容限界以下となるよう，締付けボルトの仕様を詳細設計段階で決定する。	－
戸当たり（溝形鋼）	・鋼製扉から伝達する荷重，戸当たり自体に作用する荷重及び防水壁から伝達する荷重により，戸当たりが曲げ破壊又はせん断破壊し，鋼製扉の支持性能を喪失する。	・戸当たりに生じる断面力による応力度が，許容限界以下であることを詳細設計段階で確認する。 ・戸当たりは，防水壁のＨ形鋼支柱に溶接接合して剛性を高めることから，構造成立性の確認においては，防水壁のＨ形鋼支柱の評価に代表させる。	－
止水ゴム	・津波時の水圧が作用することにより，止水ゴムが損傷し，止水機能を喪失する。	・止水ゴムに生じる水圧が，メーカー規格及び基準並びに必要に応じて実施する性能試験を参考に定めた許容水圧以下となるよう，止水ゴムの仕様を詳細設計段階で決定する。	－

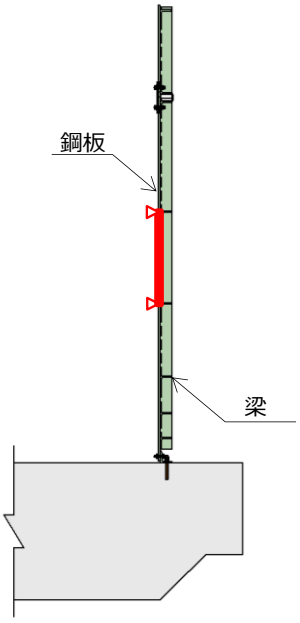
第７表　水密扉の構造成立性の見通しに関する許容限界

評価対象部位	役割	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
鋼製扉（鋼板，梁）	止水機能の保持	曲げ・せん断	曲げ：短期許容応力度以下 せん断：短期許容応力度以下	鋼構造設計規準
溝形鋼縦柱	鋼板の支持	曲げ・せん断	曲げ：短期許容応力度以下 せん断：短期許容応力度以下	鋼構造設計規準

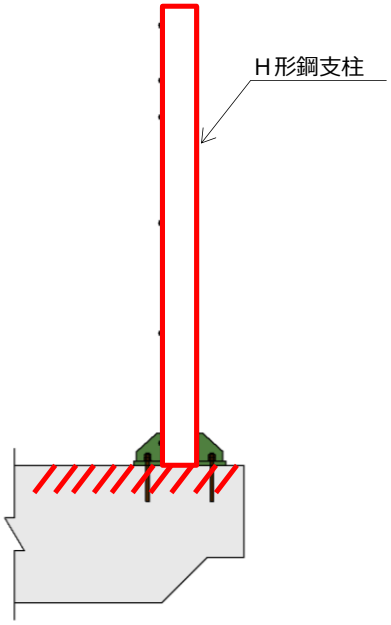
（３）防水壁及び水密扉のモデル化方針

防水壁は，高強度で軽量かつ十分に遮水性のある鋼板を，基礎ボルトにて取水槽に固定したH形鋼支柱とボルト接合し，鋼板と取水槽を分離させた構造とする。

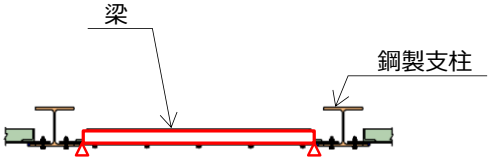
よって，防水壁の挙動としては，剛性と質量が異なる鋼板やH形鋼支柱等の鋼製部材が地震動により一体的に応答するモードとなることから，第５図に示す梁のモデルにより，その挙動を適切に評価することが可能である。



鋼板
（梁を支点とする単純梁でモデル化）



H形鋼支柱
（底面を固定端とする片持ち梁でモデル化）

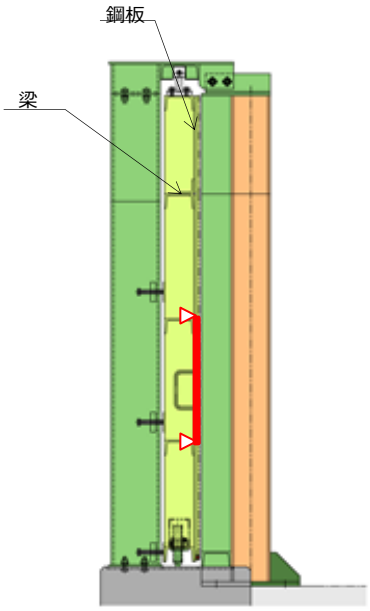


梁（H形鋼支柱を支点とする単純梁でモデル化）

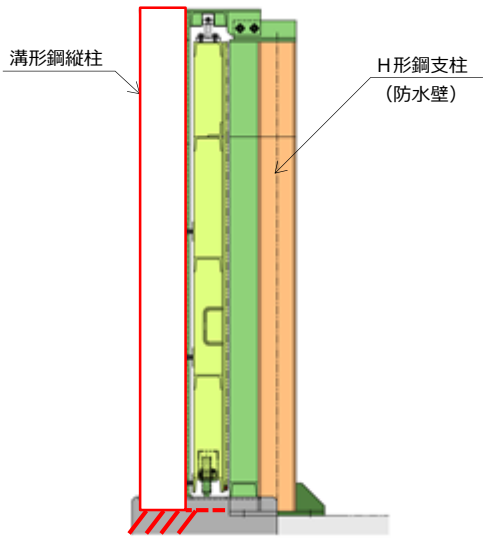
第５図　防水壁の解析モデル

水密扉について，鋼製扉は鋼板を溝形鋼に溶接接合した一体構造とし，戸当たりは取水槽にボルトで固定するとともに，防水壁のH形鋼支柱に溶接接合して剛性を高めた構造とする。鋼製扉及び戸当たりは，取水槽に基礎ボルトで固定した縦柱と締付けボルトにて接合する。

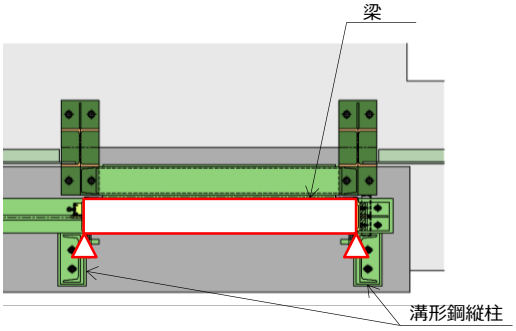
よって，水密扉の挙動についても，地震動により一体的に応答するモードとなることから，第６図に示す梁や版のモデルにより，その挙動を適切に評価することが可能である。



鋼板（梁を支点とする単純梁でモデル化）



溝形鋼縦柱（H形鋼支柱底面を固定端とする片持ち梁でモデル化）



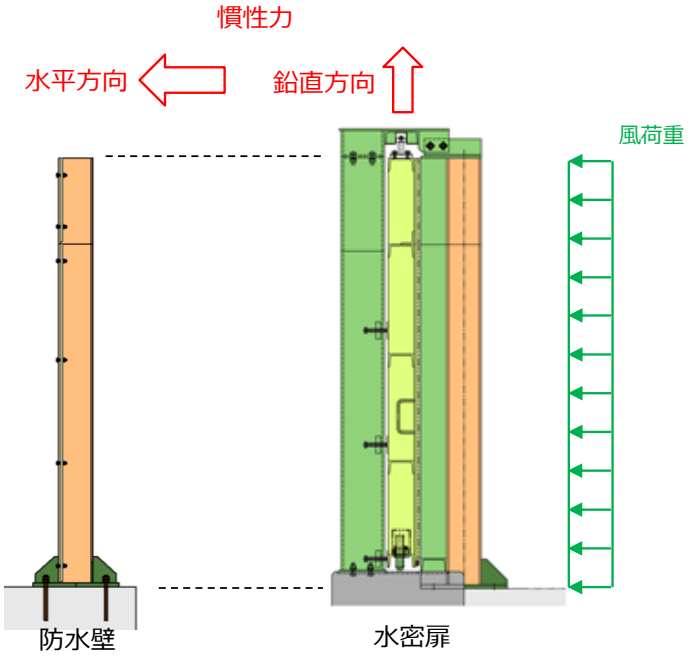
梁（縦柱端部を支点とする単純梁でモデル化）

第６図　水密扉の解析モデル

（４）評価方法

ａ．地震時

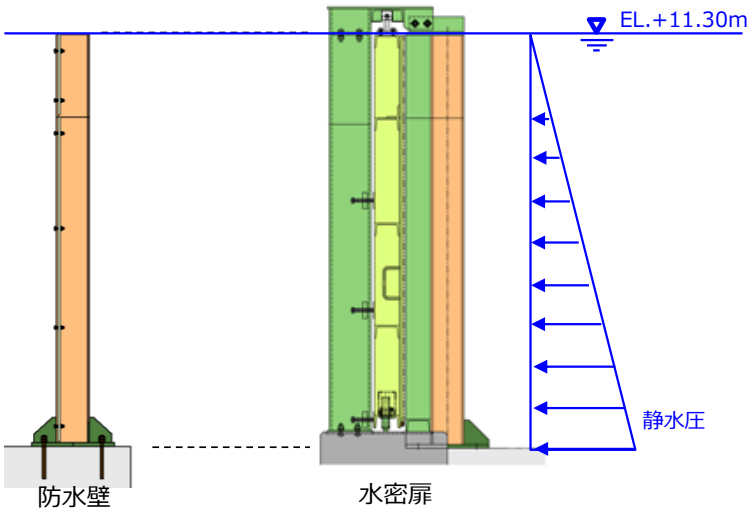
地震時の検討では，基準地震動Ｓｓに対し，部材の発生応力度が許容限界を超えないことを確認する。防水壁及び水密扉の構造成立性の見通しの確認においては，第７図に示すイメージのとおり，基準地震動Ｓｓに対する２号炉取水槽の地震応答解析から得られた取水槽上端の最大応答加速度を防水壁及び水密扉に作用させて評価する。



第７図　地震時の荷重作用イメージ

b．津波時

津波時の検討では，基準津波に対し，部材の発生応力度が許容限界を超えないことを確認する。構造成立性の見通しの確認においては，第８図に示すイメージのとおり，２号炉取水槽の最大入力津波高さ（ＥＬ．＋10.60m）に参照する裕度（0.64m）を考慮した水位ＥＬ．＋11.3m による静水圧を防水壁及び水密扉に作用させて評価する。



第８図　津波時の荷重作用イメージ

c．作用荷重を踏まえた構造成立性の見通しの確認における検討ケースの絞り込み

地震時及び津波時における作用荷重を比較すると，第８表に示すとおり，津波時の作用荷重の方が大きいことから，構造成立性の見通しの確認においては，津波時について評価を行う。

第８表　地震時と津波時の作用荷重比較

浸水防止壁概算重量	地震時					津波時			評価
	設計震度	荷重		荷重（水平慣性力＋風荷重）	下端モーメント	設計水位	荷重（静水圧合力）	下端モーメント	
		慣性力	風荷重合力						
5.5 kN	Kh=1.30 Kv=0.69	Ph=7.15 kN Pv=3.80 kN	6.41 kN	13.56 kN	16.95 kN･m	EL･+11.30m	47.34 kN	39.45 kN･m	地震時荷重 ＜ 津波時荷重

（５）評価式

防水壁及び水密扉の評価は，前述のとおり，「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（(社) 日本建築学会，2005改定)」に基づき行う。評価式の概要を以下に示す。

・曲げに対する評価式

防水壁及び水密扉の各部位に生じる曲げ応力度を下式から算定し，第９表に示す鋼材の短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

ここに，　σ：曲げ応力度
M：曲げモーメント
Z：断面係数

第９表　曲げに対する短期許容応力度

防水壁及び水密扉の使用材料	短期許容応力度 (N/mm²)
	曲げ
SS400（板厚t≦40mm）	235

・せん断に対する評価式

防水壁及び水密扉の各部位に生じるせん断応力度を下式から算定し，第10表に示す短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\tau = \frac{Q}{A}$$

ここに，　τ：せん断応力度
Q：せん断力
A：断面積

第10表　せん断に対する短期許容応力度

防水壁及び水密扉の使用材料	短期許容応力度 (N/mm²)
	せん断
SS400（板厚t≦40mm）	135

・応力度の組合せに対する評価式

防水壁及び水密扉の各部位に生じる曲げ応力度及びせん断応力度から，組合せ応力度を下式から算定し，第11表に示す短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sigma_X=\sqrt{\left(\frac{M}{Z}\right)^2+3\cdot\left(\frac{Q}{A}\right)^2}$$

ここに，　σ_x：組合せ応力度

第11表　組合せ応力度に対する短期許容応力度

防水壁及び水密扉の使用材料	短期許容応力度 (N/mm^2)
	組合せ
SS400（板厚t≦40mm）	235

（６）評価結果

防水壁及び水密扉は，第 12 表に示すとおり，地震荷重や津波荷重に対して十分な安定性を有しており，構造成立性の見通しがあることを確認した。

なお，本評価結果は暫定条件を用いた評価結果であることから，正式条件を用いた評価結果は詳細設計段階で示す。

第12表　防水壁及び水密扉の評価結果

評価対象部位		仕様（案）	照査結果				
			照査項目	最大発生値 (N/mm²)	許容値 (N/mm²)	照査値（発生値）/（許容値）	判定 （照査値<1.00）
防水壁	鋼板	PL-9	曲げ	32.2	235	0.14	OK
			せん断	0.4	135	0.01	OK
	梁	L-65×65×8	曲げ	158.1	235	0.68	OK
			せん断	1.4	135	0.02	OK
			組合せ	158.1	235	0.68	OK
	H形鋼支柱	H-200×200×8×12	曲げ	83.6	235	0.36	OK
			せん断	33.6	135	0.25	OK
			組合せ	101.9	235	0.44	OK
水密扉	鋼板	PL-9	曲げ	74.4	235	0.32	OK
			せん断	0.8	135	0.01	OK
	梁	[-150×75×6.5×10	曲げ	31.7	235	0.14	OK
			せん断	11.5	135	0.09	OK
			組合せ	37.5	235	0.16	OK
	溝形鋼縦柱	[-250×90×9×13	曲げ	59.1	235	0.26	OK
			せん断	11.7	135	0.09	OK
			組合せ	62.5	235	0.27	OK

施設護岸の漂流物評価における遡上域の範囲及び流速について

１．概要

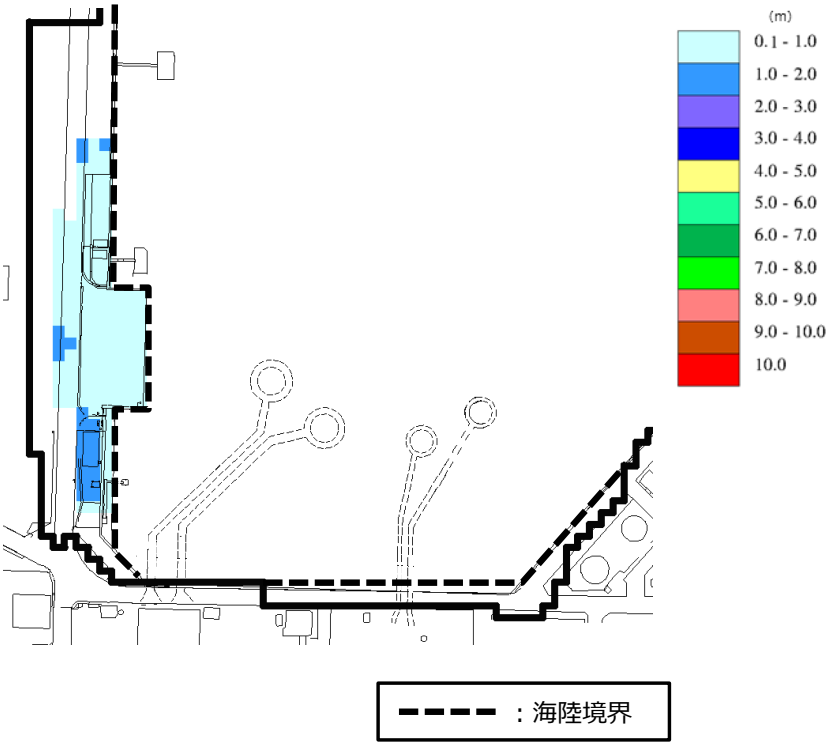
非常用冷却海水系の海水ポンプの取水性へ影響を及ぼす可能性については，施設護岸の設備等が漂流物となる可能性を踏まえ評価している。ここでは，施設護岸の設備等が漂流物となる可能性の評価のうち滑動評価に用いる流速を確認する。

２．検討内容

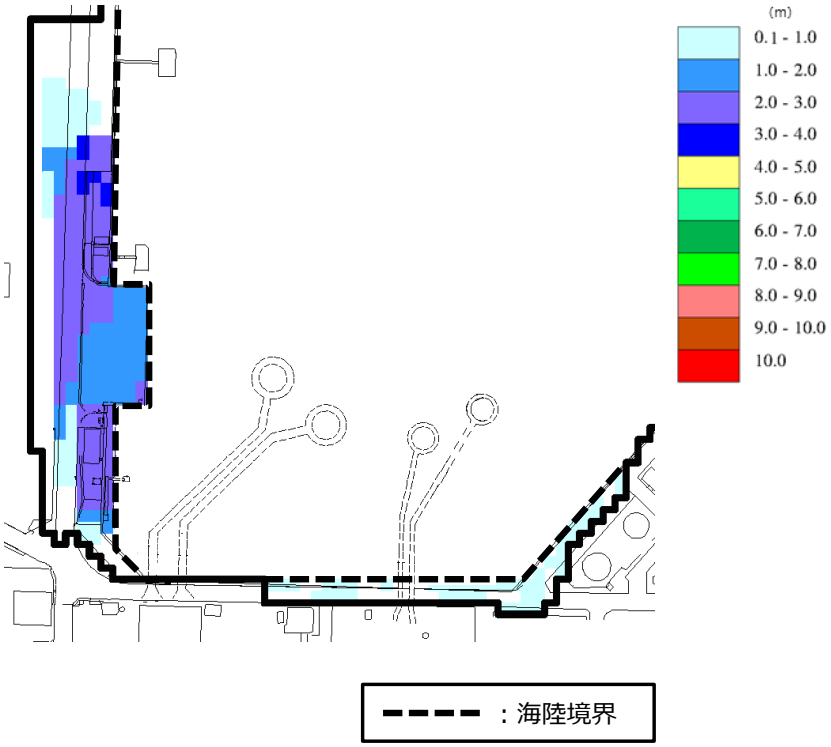
遡上域の範囲（最大水位上昇量分布）を保守的に評価するため，地震による荷揚場周辺の沈下及び初期潮位を考慮した津波解析を実施した。解析に当たっては，荷揚場付近の水位上昇量が大きい基準津波１（防波堤有無）を対象とした。解析条件を以下に示す。

・荷揚場周辺の沈下については，防波壁前面を一律１m沈下させたケースを用いる。
・初期潮位については，朔望平均満潮位+0.58m に潮位のばらつき＋0.14m を考慮する。

基準津波１（防波堤有無）における施設護岸の最大水位上昇量分布（拡大図）を図１に示す。図１より，防波堤有りに比べ，防波堤無しの方が最大水位上昇量は大きく，遡上範囲が広いことから，防波堤無しの流速を評価する。



基準津波１（防波堤有り）



基準津波１（防波堤無し）

図１　最大水位上昇量分布（拡大図）

３．確認結果

遡上域における流速分布を図２に，主な荷揚場漂流物の配置を図３に示す。

流速の抽出にあたっては，荷揚場漂流物の配置を踏まえ，遡上域である荷揚場周辺の 12 地点（図４参照）を選定し各地点の最大流速を抽出した。

図２に示すとおり，遡上域における流速は概ね 8.0m/s 以下であるが，遡上域の一部において 8.0m/s を超える流速が確認できる。各地点における最大流速抽出結果を表１に示す。

表１に示すとおり，東西方向の流速は荷揚場へ押し波として遡上する西方向（取水口反対方向）の流速が速く支配的であることがわかる。一方，東方向（取水口方向）の流れとなる引き波では，地点 10 に示す 4.8m/s が最大流速となるが，漂流物評価に用いる流速は，最大流速（11.9m/s）とする。

最大流速を示す地点７及び取水口方向への最大流速を示す地点 10 について，浸水深・流速の時刻歴波形及び各地点における最大流速発生時の水位分布・流速ベクトルをそれぞれ図５，図６に示す。

なお，図５に示すとおり，最大流速(11.9m/s)を示す地点における 8.0m/s を超える時間は極めて短い（1 秒以下である)。

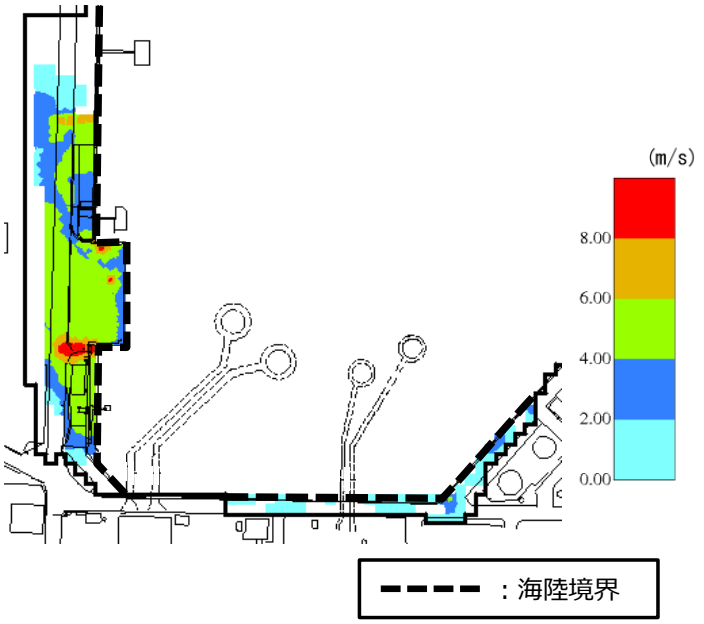


図２　遡上域における流速分布

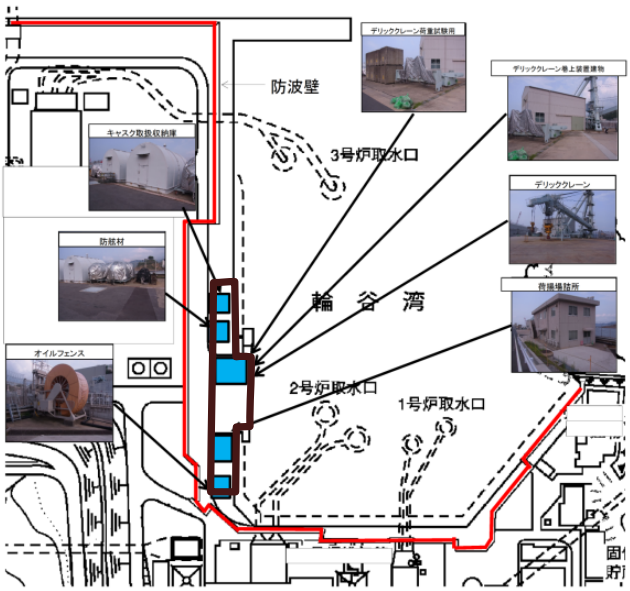


図３　主な荷揚場漂流物の配置

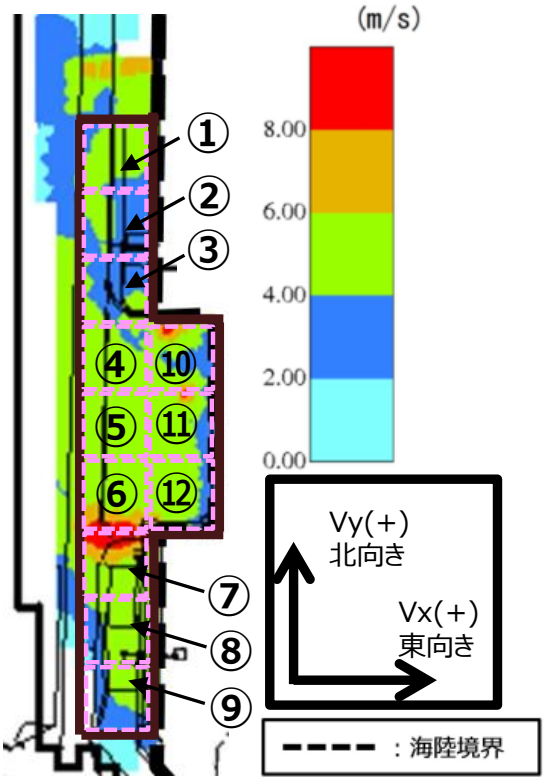
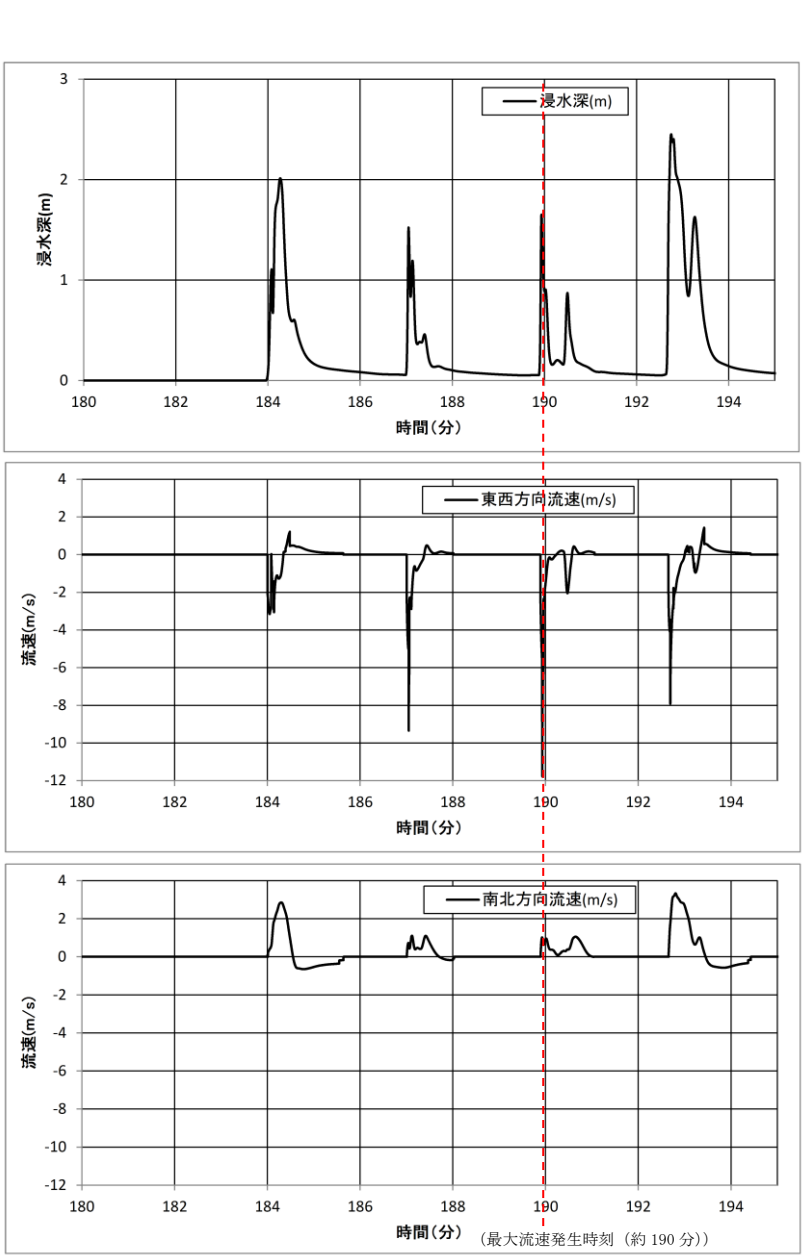
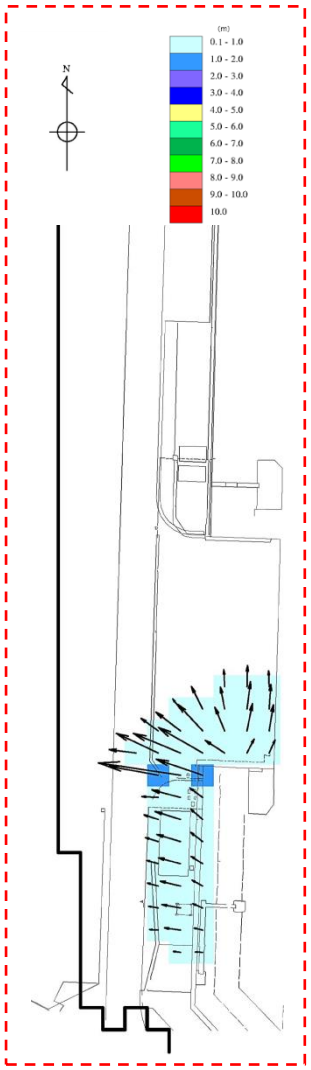


図４　流速抽出地点

表１　各地点の流速評価結果

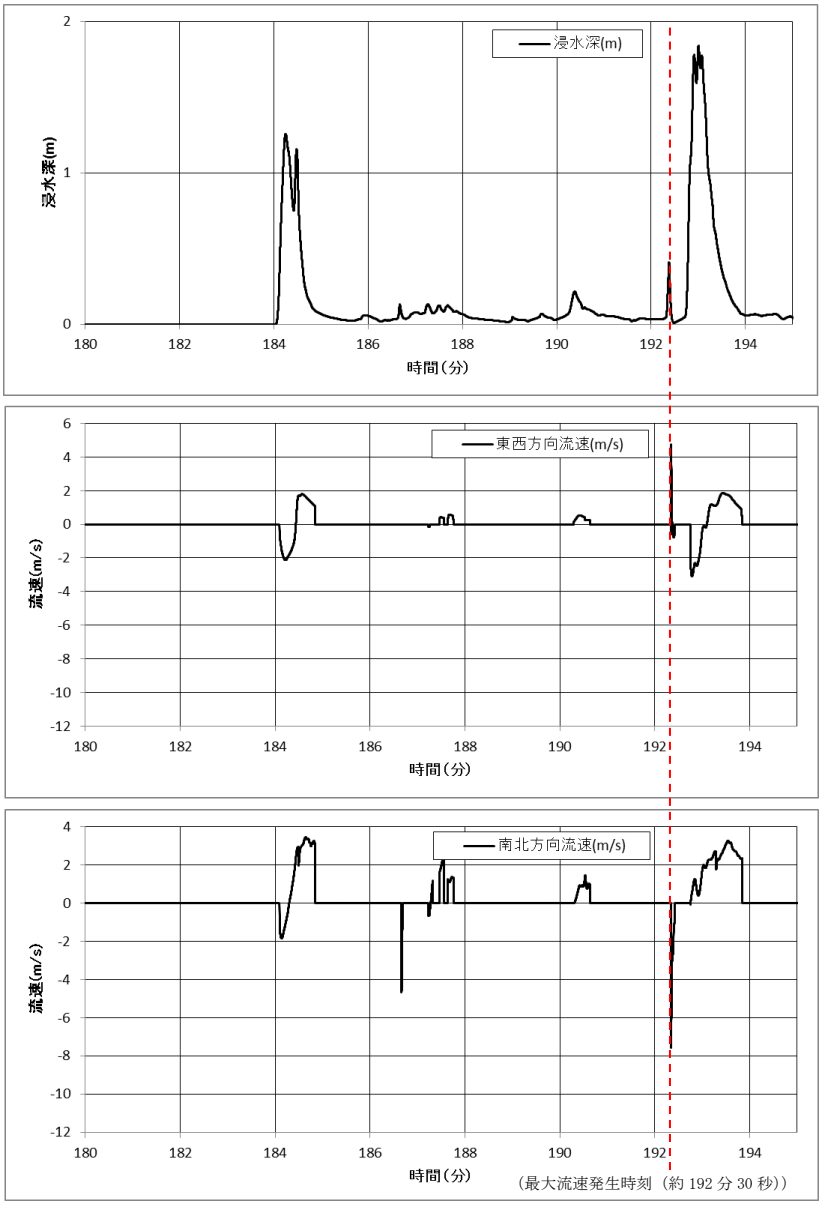
地点	Vx方向 最大流速 (m/s)	Vy方向 最大流速 (m/s)	全方向最大流速(m/s)		
			Vx方向 流速	Vy方向 流速	全方向流速 ($\sqrt{Vx^2+Vy^2}$)
1	-4.2	2.1	-4.2	1.9	4.6
2	-4.0	2.5	-4.0	1.4	4.2
3	-6.7	2.1	-6.7	-0.8	6.8
4	-3.6	3.7	-3.2	3.4	4.6
5	-3.6	3.8	-3.6	3.7	5.1
6	-5.5	4.1	-5.5	2.7	6.1
7	-11.8	3.4	-11.8	1.1	11.9
8	-5.3	1.5	-5.3	1.3	5.4
9	-5.9	1.9	-5.9	1.6	6.1
10	4.8	-7.6	4.8	-7.6	9.0
11	-8.9	2.5	-8.9	-1.2	9.0
12	-2.7	5.1	-1.4	5.1	5.3

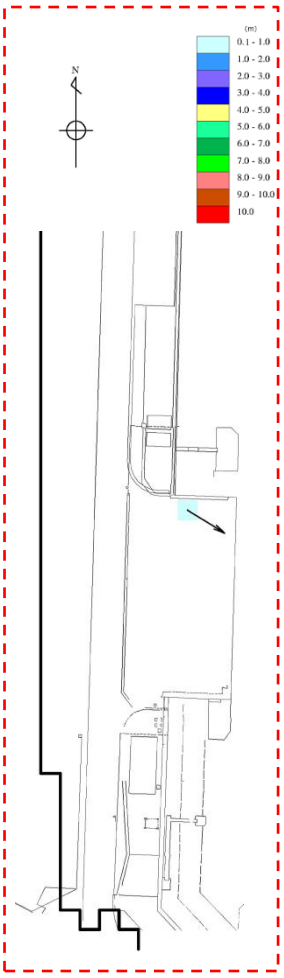




（最大流速発生時刻（約 190 分）における水位分布・流速ベクトル）

図５　地点７（最大流速を示す地点）における浸水深・流速時刻歴波形及び最大流速発生時刻における水位分布・流速ベクトル





（最大流速発生時刻（約 192 分 30 秒）における水位分布・流速ベクトル）

図６　地点 10（取水口方向への最大流速を示す地点）における浸水深・流速時刻歴波形及び最大流速発生時刻における水位分布・流速ベクトル

添付資料 32

海水ポンプの実機性能試験について

1. はじめに

ポンプ長尺化に伴うベルマウス下端への耐震サポート設置による影響については，実機性能試験によりポンプ性能に影響を及ぼさないことを確認した。以下にその内容を示す。

2. 耐震サポートについて

耐震サポートは海水ポンプ長尺化に伴う耐震性確保のために,ベルマウス部に取付けるものである。耐震サポートの構造を図１に示す。

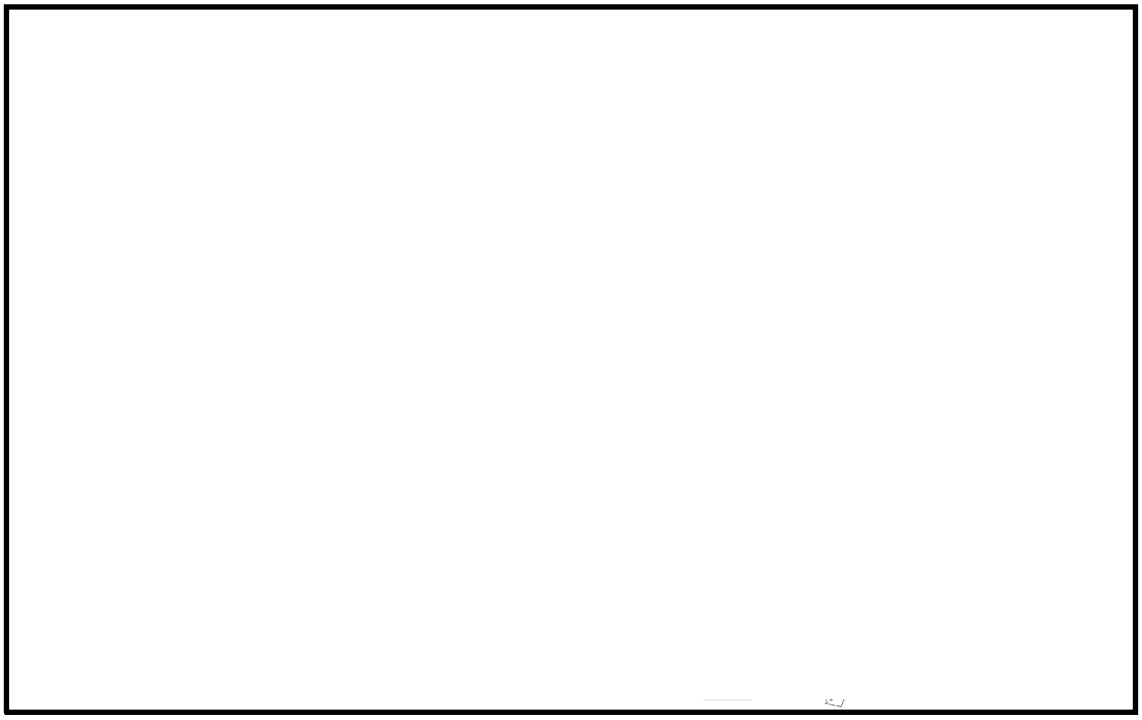
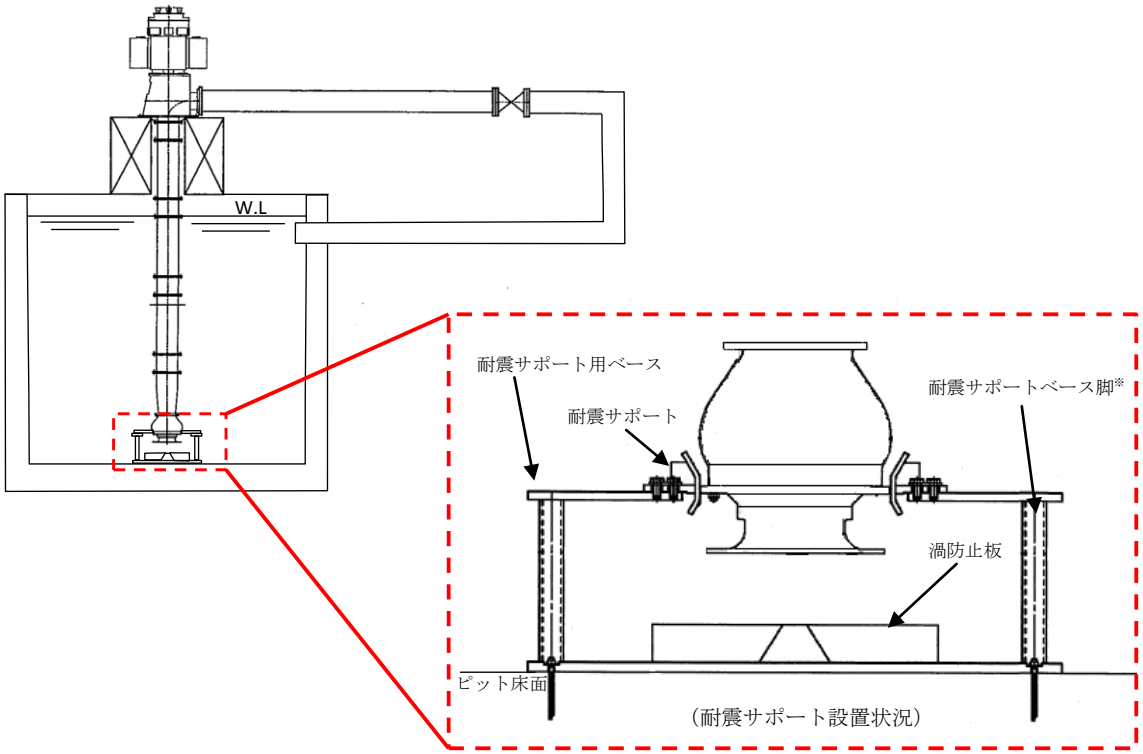


図１　耐震サポート構造図（RSW ポンプの例）

3. 実機性能試験について

実機ポンプを，耐震サポートを設置した状態でピットに設置し，ポンプ性能（全揚程と吐出量，軸動力，ポンプ効率，振動）が，判定基準を満足していること及びポンプが安定した運転状態であることを確認した。試験装置の概略図と試験時における耐震サポート設置状況を図 2 に，確認結果を表１に示す。

本資料のうち，枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。



※　実機性能試験では，耐震サポートベース脚を４本としており，実機耐震サポートベース脚の本数（８本）と異なるが，耐震サポートベース脚（８本）による取水性への影響については，別途，取水槽を模擬した模型試験において確認している。

図２　試験装置概略図

表１　試験結果

試験項目	判定基準	試験結果	判定
全揚程と吐出量			合格
軸動力			合格
ポンプ効率			合格
振動			合格

本資料のうち，枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

参考

原子炉補機海水ポンプの取水性能試験

１．概要

原子炉補機海水ポンプ（ＲＳＷポンプ）の取水性能を確認するため，実機ＲＳＷポンプを用いた試験を実施した。実機ＲＳＷポンプ取水性能試験では，基準津波襲来による引き波を模擬した水位低下時の取水可能水位を確認した。

その結果，水位低下中においても連続渦は確認されず，ＲＳＷポンプベルマウス下端(ＥＬ．－9.3m)付近まで取水が可能であることを確認した。

ここでは，その試験内容を示す。

２．原子炉補機海水ポンプ（ＲＳＷポンプ）の取水試験について

ａ．試験内容

基準津波襲来による引き波を模擬した取水槽における時系列を想定し，模擬試験水槽の水位を徐々に低下させ，ＲＳＷポンプの運転パラメータ等を確認した。津波を模擬した試験水槽の水位変化とＲＳＷポンプの試験確認項目を表１に示す。

表１　津波を模擬した試験水槽の水位変化とＲＳＷポンプの試験確認項目

津波時の２号取水槽の想定時系列		津波模擬試験水槽	
取水槽水位	取水槽の状態	試験水槽の状態	試験確認項目
【引き波】 通常水位～ 取水槽取水管下端 水位(EL.-7.3m)	・引き波による取水槽水位低下	・RSW ポンプと水位調整ポンプにより試験水槽水位低下	・RSW ポンプ流量，電流等 ポンプ運転パラメータ
【引き波】 取水槽取水管下端 水位(EL.-7.3m)～ RSW ポンプ取水可能 水位	・RSW ポンプによる取水槽貯留構造部の水位低下	・RSW ポンプと水位調整ポンプにより試験水槽水位低下	・RSW ポンプの取水可能水位（取水停止水位） ・RSW ポンプ流量，電流等 ポンプ運転パラメータ

b．試験結果

図１に示す試験装置を用い，ポンプ取水性能試験を行った。試験時の状態を図２に，試験中のポンプ流量と水位の関係を図３に示す。ＲＳＷポンプは，ＲＳＷポンプベルマウス下端（ＥＬ．－9.3m）付近まで定格流量を取水し，その後，再冠水しても，定格流量が取水可能であった。また，その他の運転パラメータについても，水位低下中に連続渦などは確認されず，運転試験後に実施したポンプ開放点検による外観点検でも部品に異常は確認されなかった。

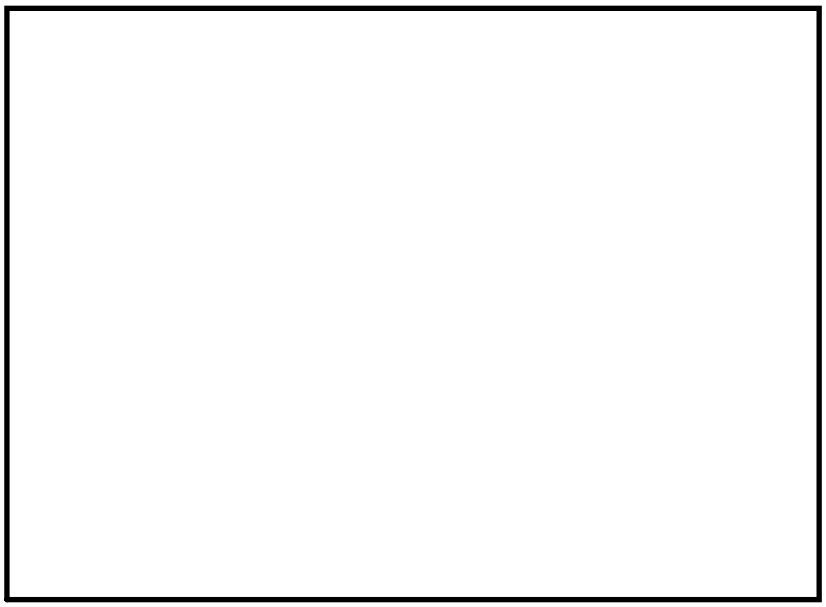


図１　ポンプ取水性能試験装置

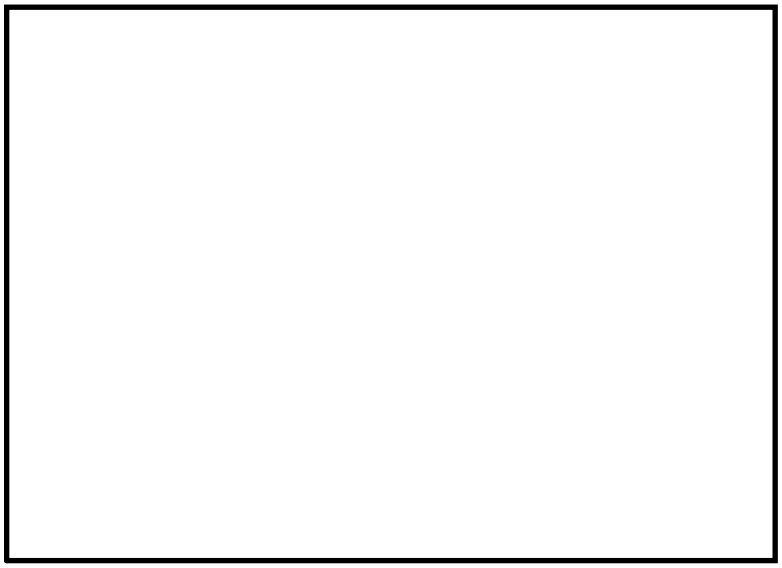


図２　試験時の状態

本資料のうち，枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

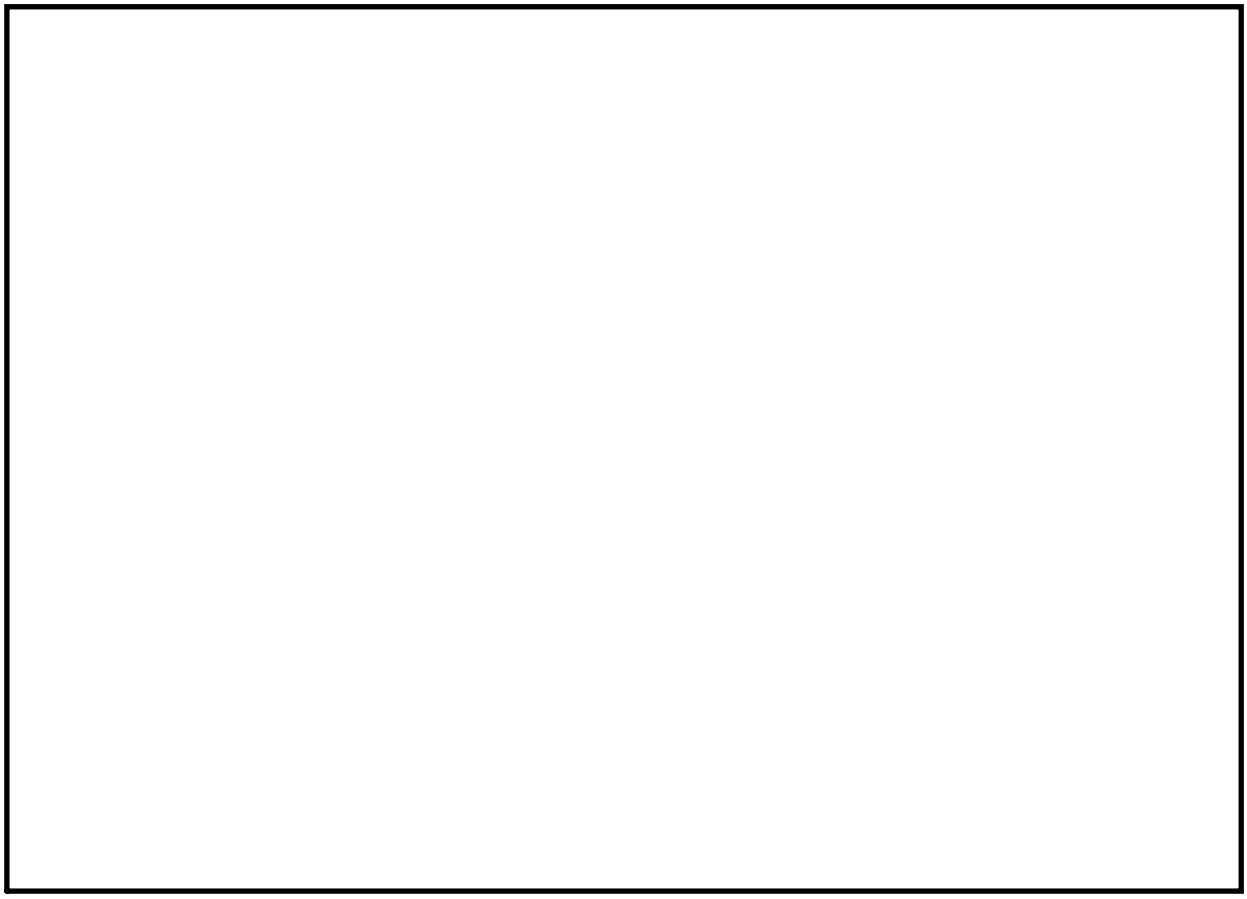


図３　試験中のポンプ流量と水位変化

本資料のうち，枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

海水ポンプの吸込流速が砂の沈降速度を上回る範囲について

1. はじめに

海水ポンプの長尺化に伴う海水ポンプ近傍への砂の堆積については，ベルマウス下端近傍の取水槽床面においても海水ポンプの吸込流速が砂の沈降速度を上回っており，海水ポンプ下端に到達する砂はポンプに吸込まれることから，ベルマウス下端近傍に砂は堆積しないと評価している。

ここでは，評価内容について示す。

2. 砂の沈降速度について

砂の沈降速度は Rubey 式より算出する。砂の粒径及び密度は，基準津波に伴う砂移動評価において設定した値（0.3mm）を用いる。砂の諸元及び沈降速度を表 1 に示す。表 1 より，砂の沈降速度は 0.05m/s となる。

Rubey 式：

$$w_0 = \sqrt{(s-1)gd}\left(\sqrt{\frac{2}{3}+\frac{36\nu^2}{(s-1)gd^3}}-\sqrt{\frac{36\nu^2}{(s-1)gd^3}}\right)$$

ここで，$s=\sigma/\rho-1$

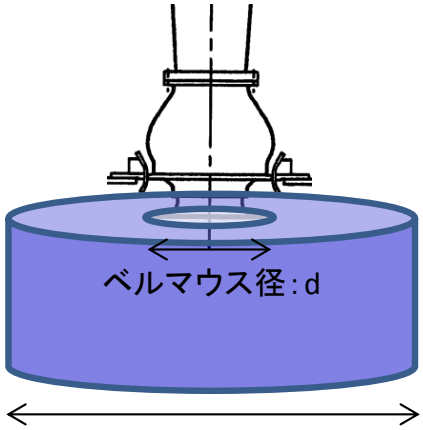
表 1　砂の諸元及び沈降速度

粒径 d [mm]	砂密度 σ [kg/m³]	海水密度 ρ [kg/m³]	重力加速度 g [m/s²]	動粘性係数 ν [m²/s]	沈降速度 w_0 [m/s]
0.3	2,760	1,030	9.8	1.0×10^{-6}	0.05

3. 海水ポンプの吸込流速が砂の沈降速度を上回る範囲について

海水ポンプ定格流量 Q を吸込面積 S で除した吸込流速 V が，砂の沈降速度 w_0 と等しくなる直径 D を算出する。算出の概要を図 1 に，算出結果を表 2 に示す。

表 2 に示すとおり，原子炉補機海水系，高圧炉心スプレイ補機海水系の各々ポンプから直径約 2.99m，約 0.86m の範囲は，ポンプの吸込流速が，砂の沈降速度を上回ることから，この範囲は砂が堆積しないと考えられる。



吸込流速が砂の沈降速度と等しくなる直径：D

：吸込面積　$S = D\pi h + (D^2 - d^2) \times \frac{\pi}{4}$

ポンプ吸込流速　$V = \frac{Q}{S}$

$$V = \frac{Q}{S} = w_o$$

$$\frac{Q}{D\pi h + (D^2 - d^2) \times \frac{\pi}{4}} = w_o$$

$$D^2 + 4hD - \left(d^2 + \frac{4Q}{\pi w_o} \right) = 0$$

$$D = -2h + \sqrt{(-2h)^2 + \left(d^2 + \frac{4Q}{\pi w_o} \right)}$$

Dが上記の範囲内の吸込流速は，砂の沈降速度を上回る

図１　ポンプ吸込流速が砂の沈降速度と等しくなる直径算出の概要

表２　海水ポンプ諸元及び吸込流速が砂の沈降速度と等しくなる直径

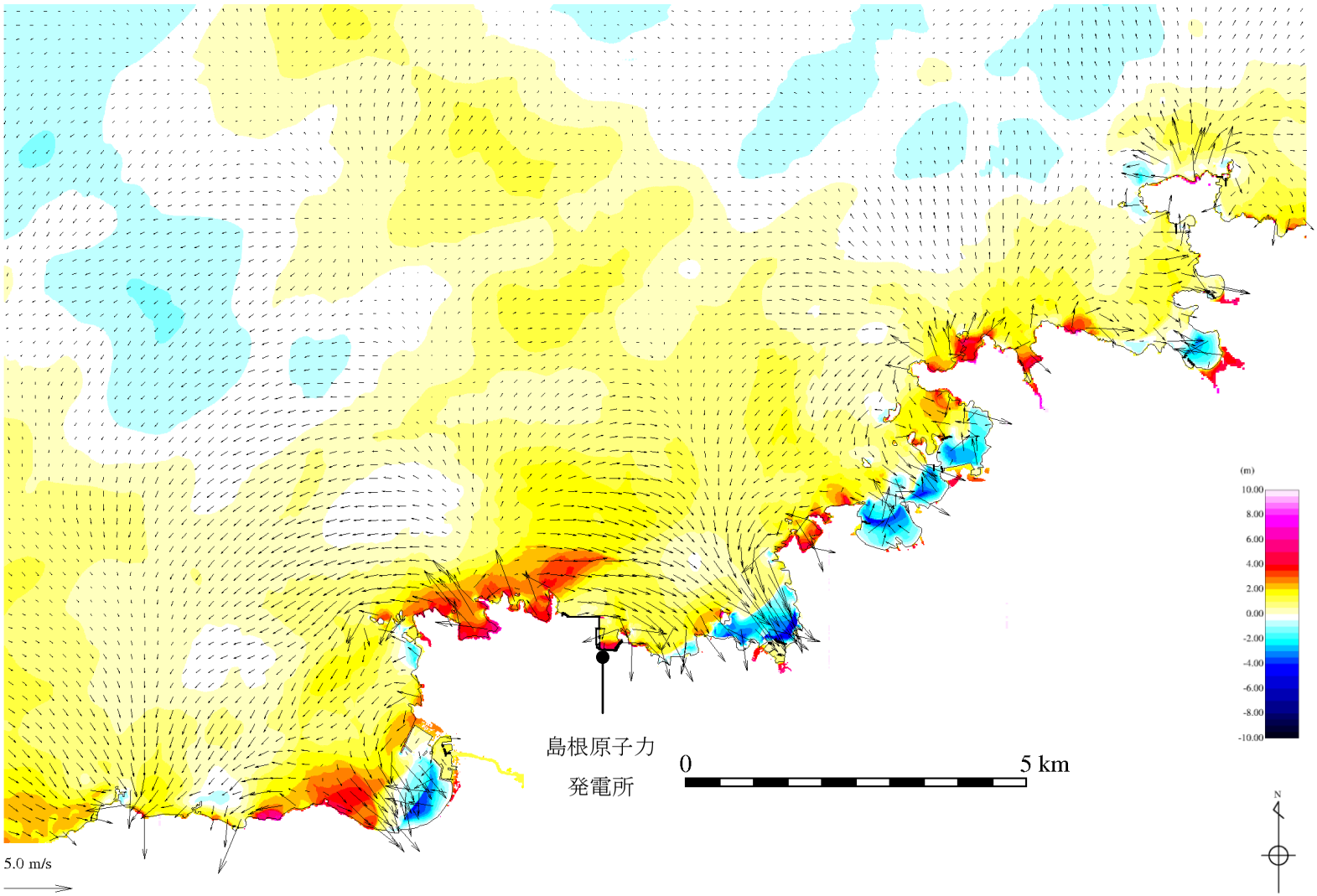
海水ポンプ	流量 Q [m^3/s]	ベルマウス径 d [m]	取水槽床面までの距離 h [m]	吸込流速が砂の沈降速度と等しくなる直径 D [m]
原子炉補機海水系	0.567	0.75	0.50	2.99
高圧炉心スプレイ補機海水系	0.093	0.34	0.50	0.86

水位変動・流向ベクトルについて

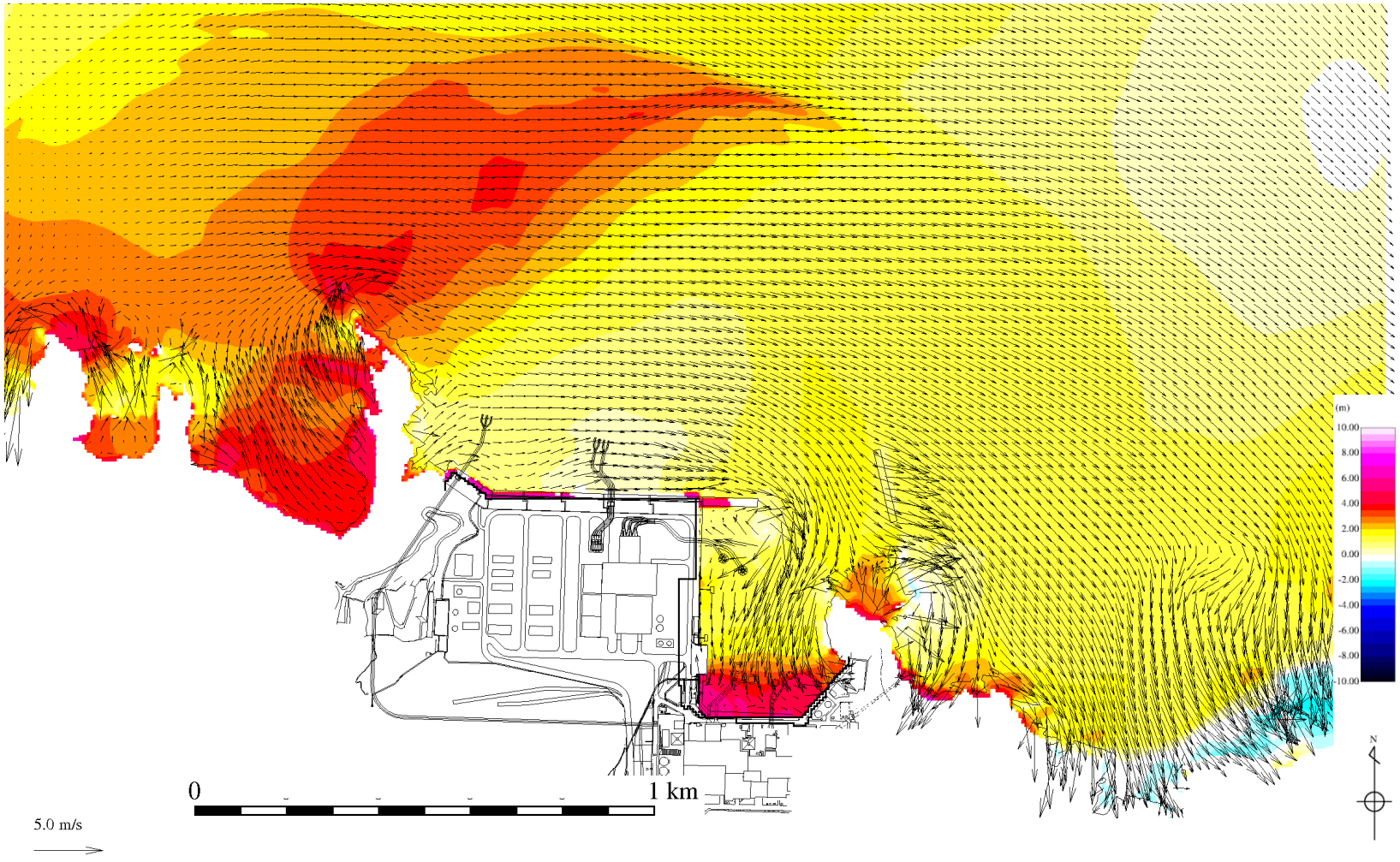
１．概要

島根原子力発電所の基準津波１～６による水位変動・流向ベクトル図について，第１図～第６図に示す。

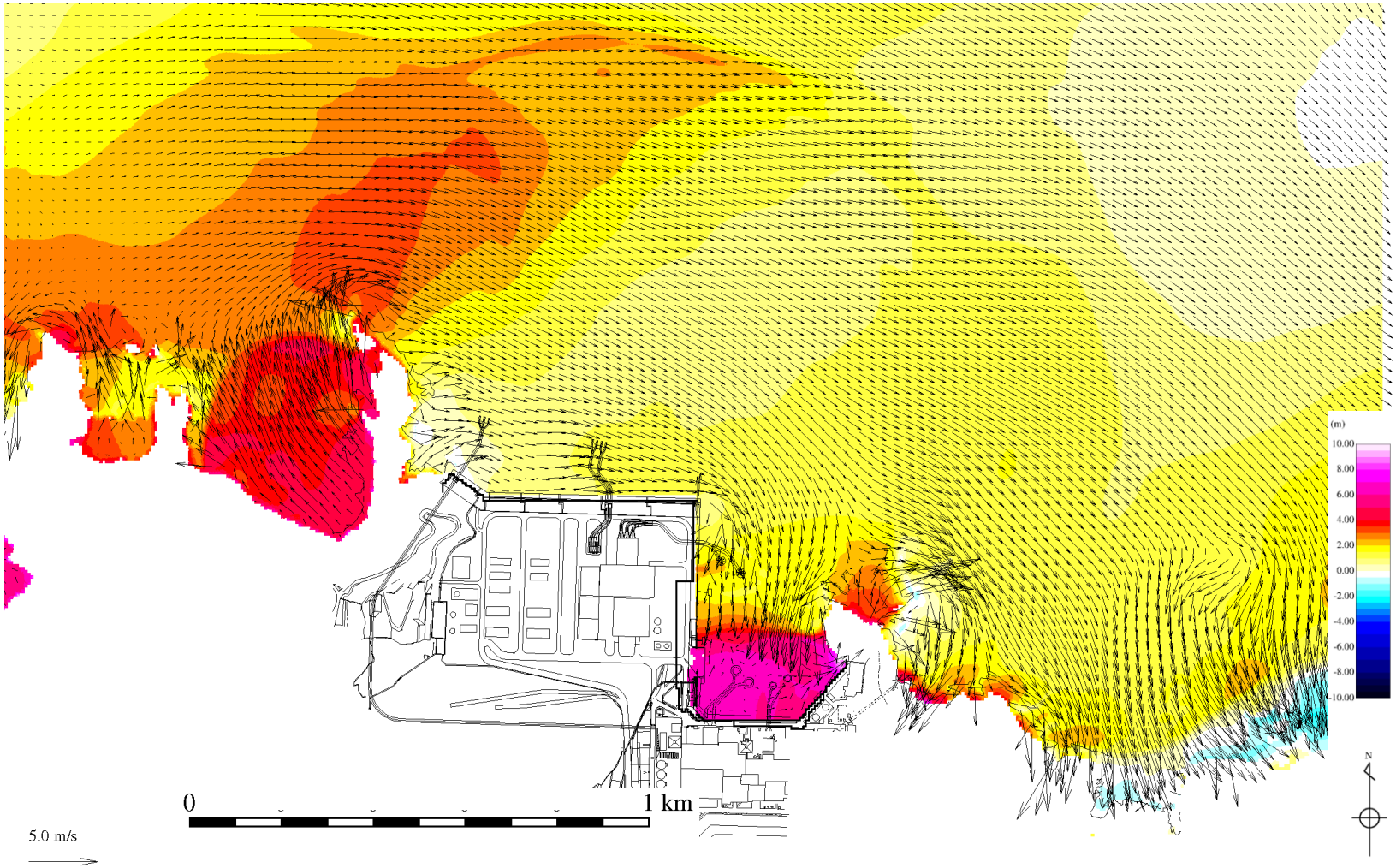
また，水位変動・流向ベクトルの拡大図を参考図【第 1 図(187)　基準津波１の水位変動・流向ベクトル】の例に示す。

時間	発電所周辺海域
193 分	

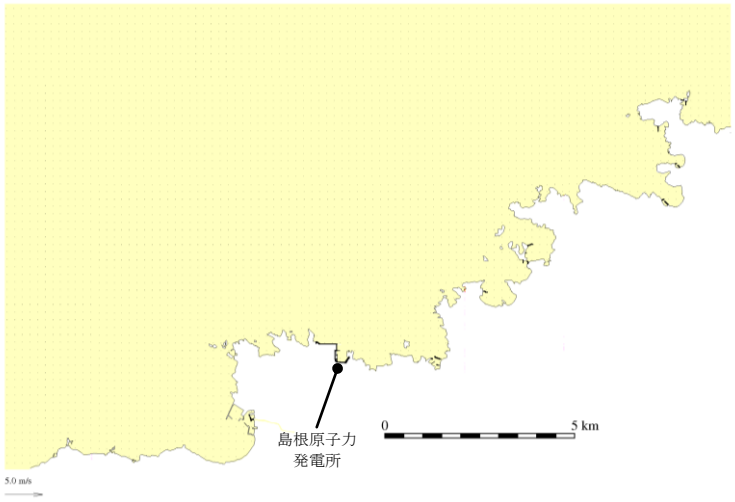
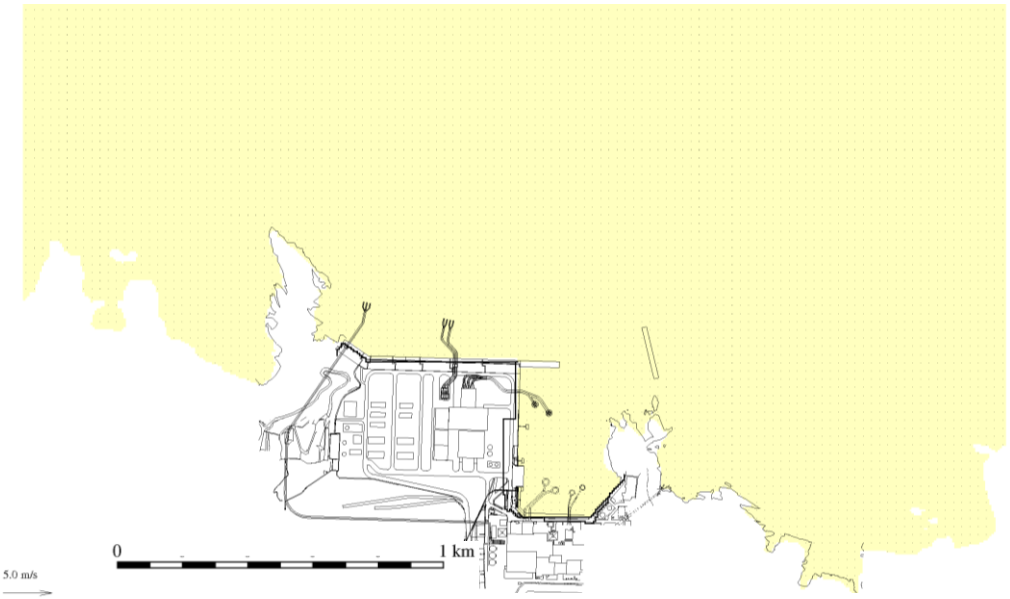
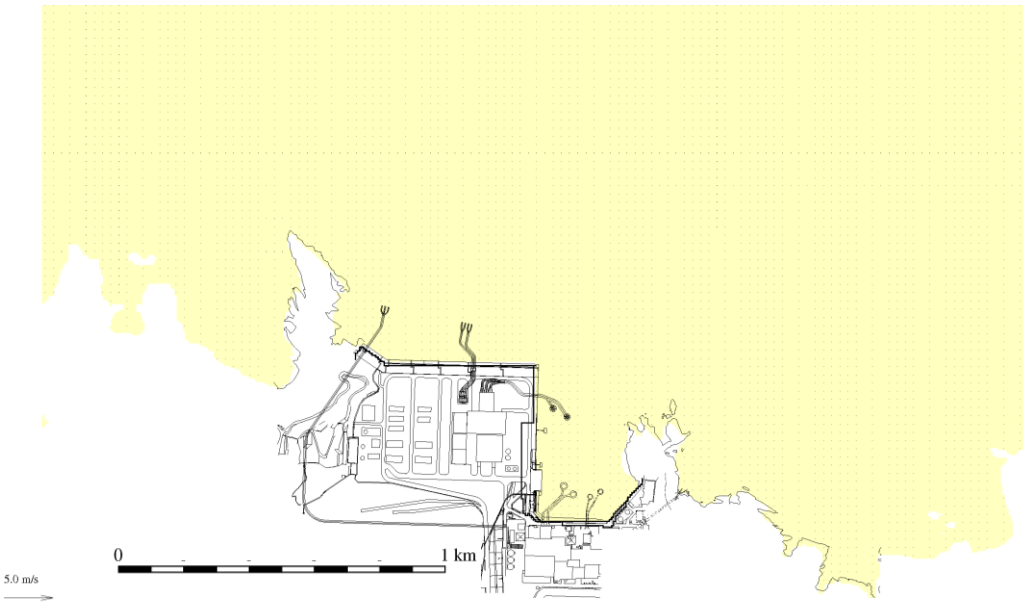
参考図【第 1 図(187)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル】の例

時間	発電所港湾部（防波堤有り）
193 分	

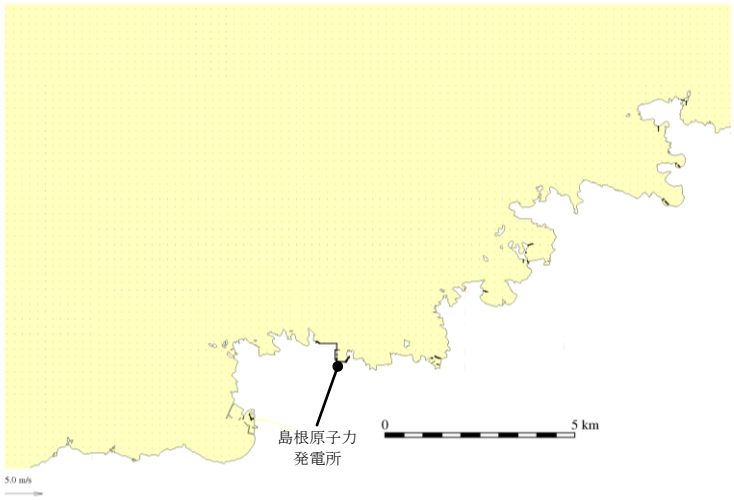
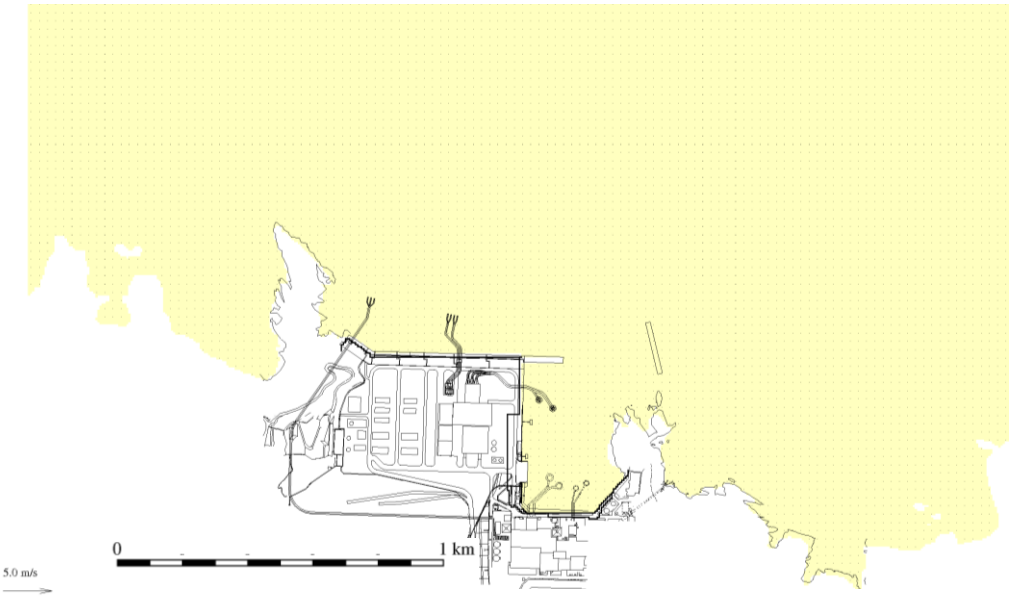
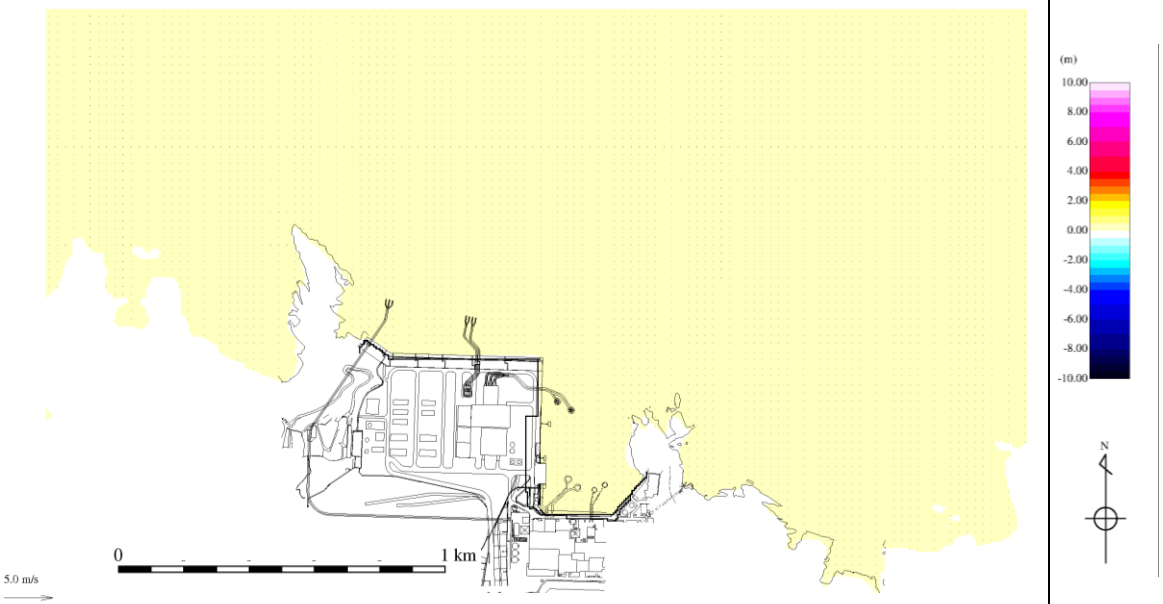
参考図【第 1 図(187)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル】の例

時間	発電所港湾部（防波堤無し）
193 分	

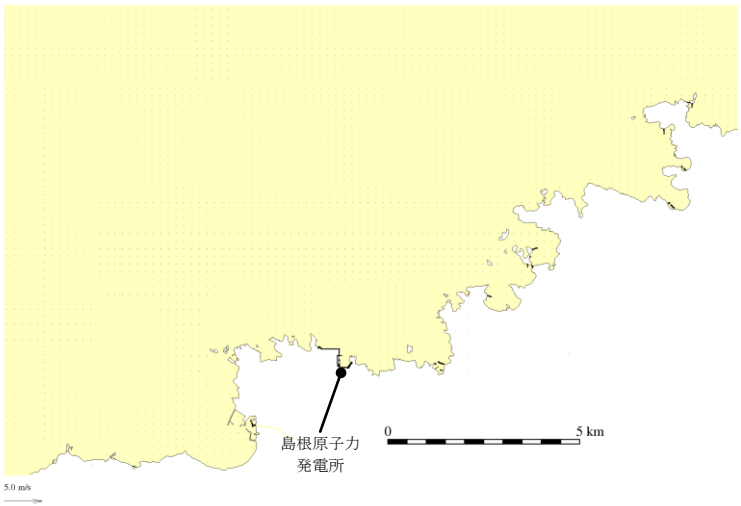
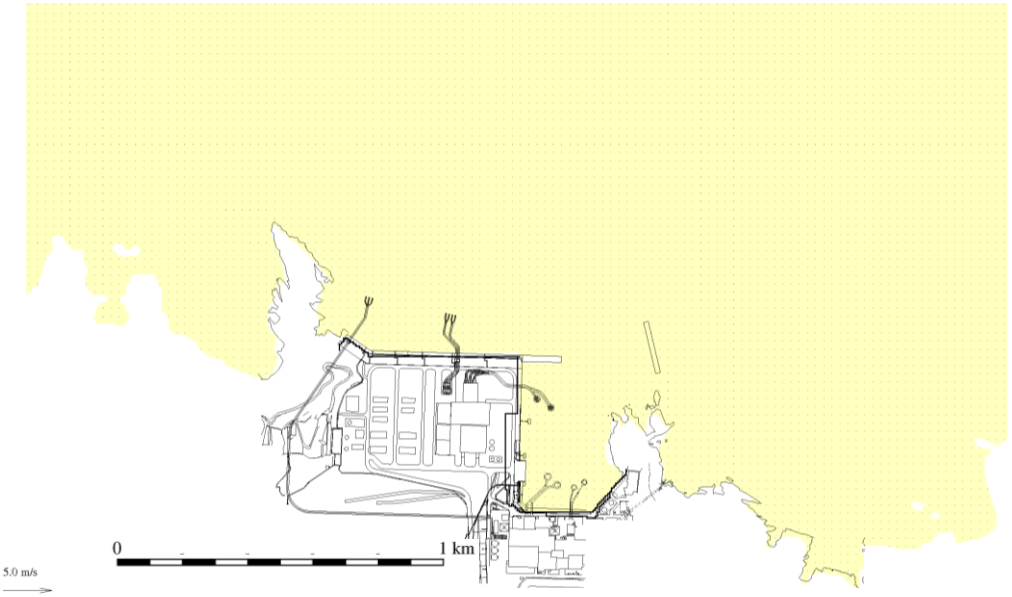
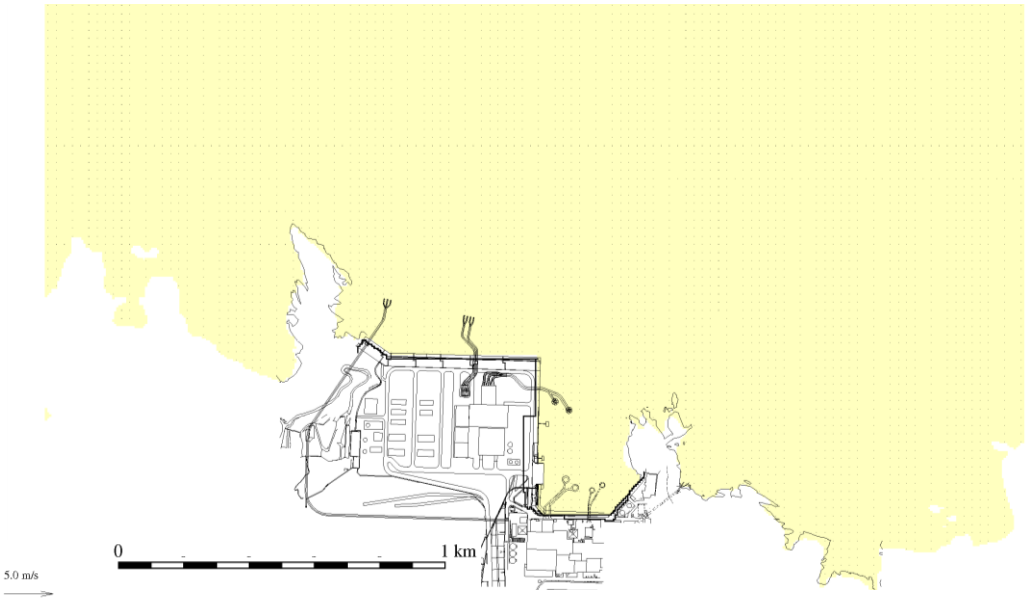
参考図【第 1 図(187)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル】の例

時間	100 分
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

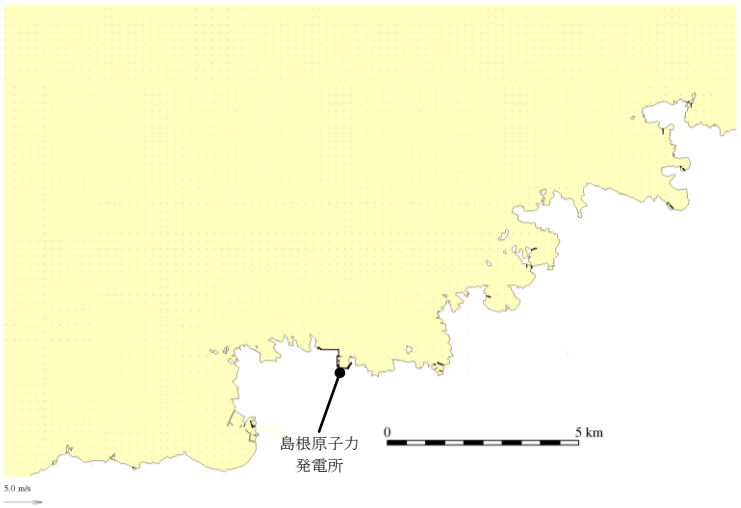
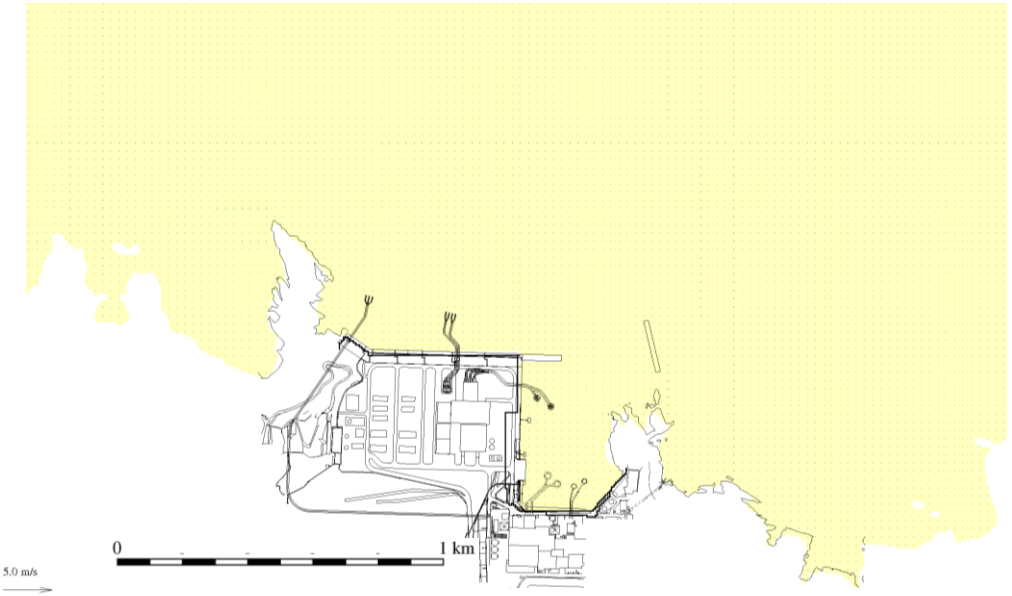
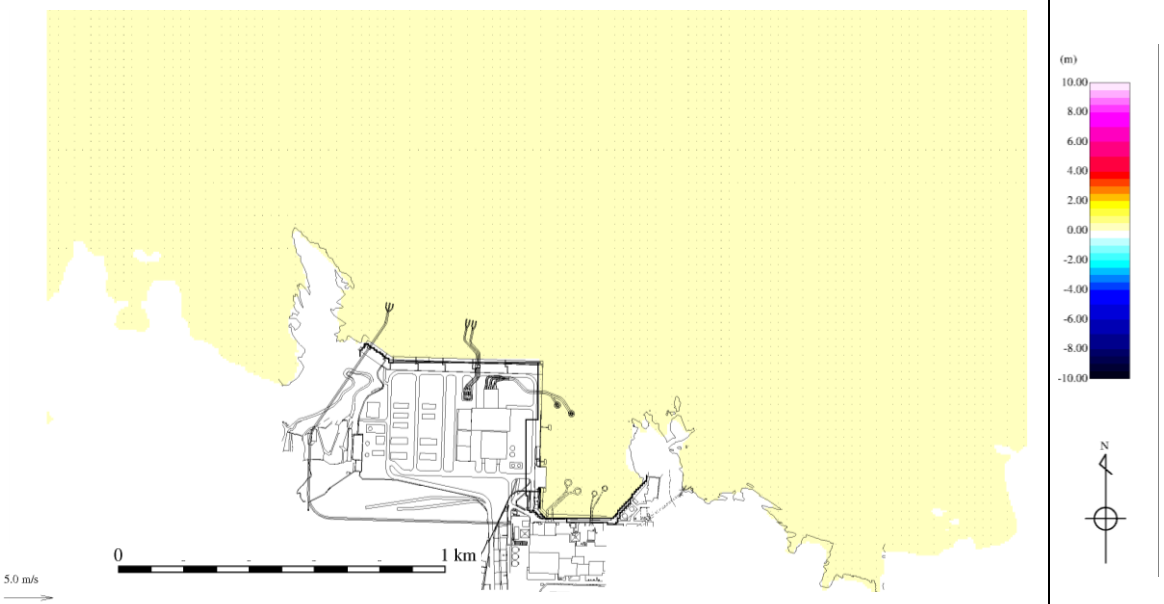
第 1 図(1)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

時間	100 分 30 秒
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

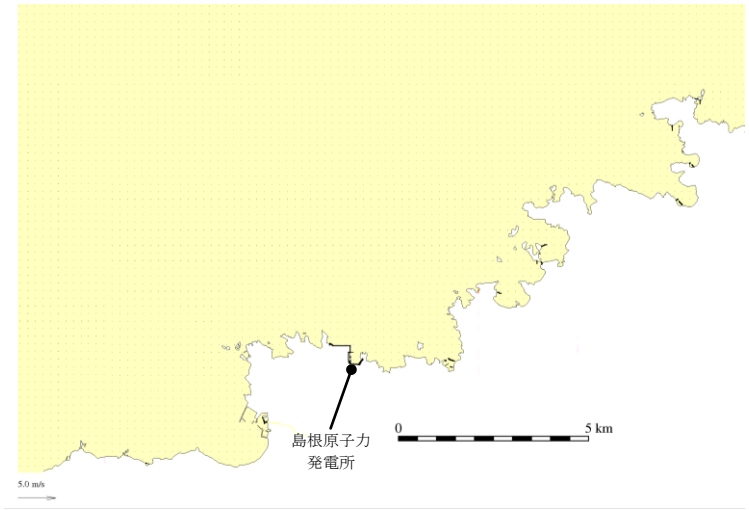
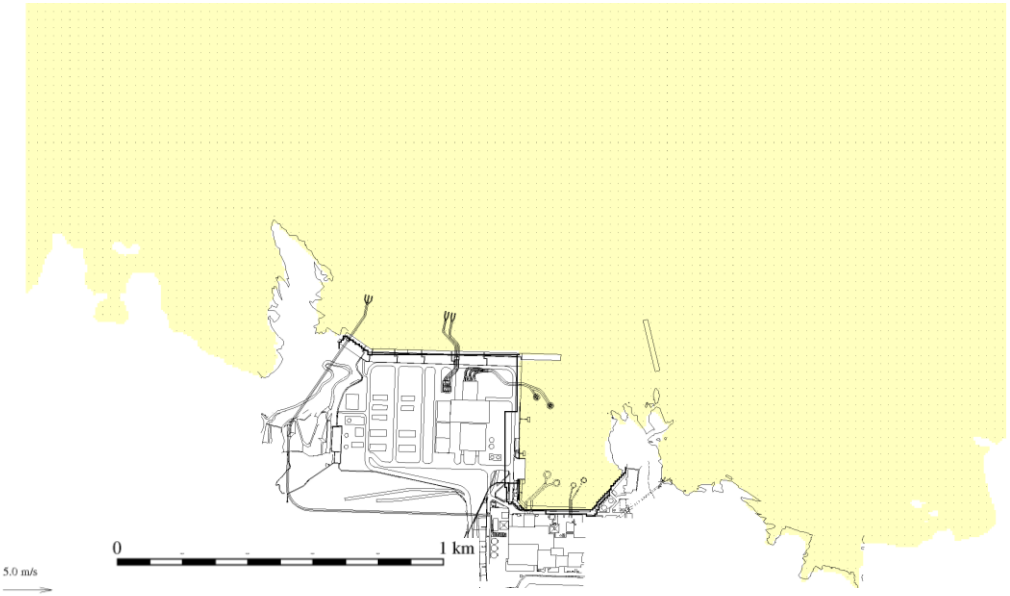
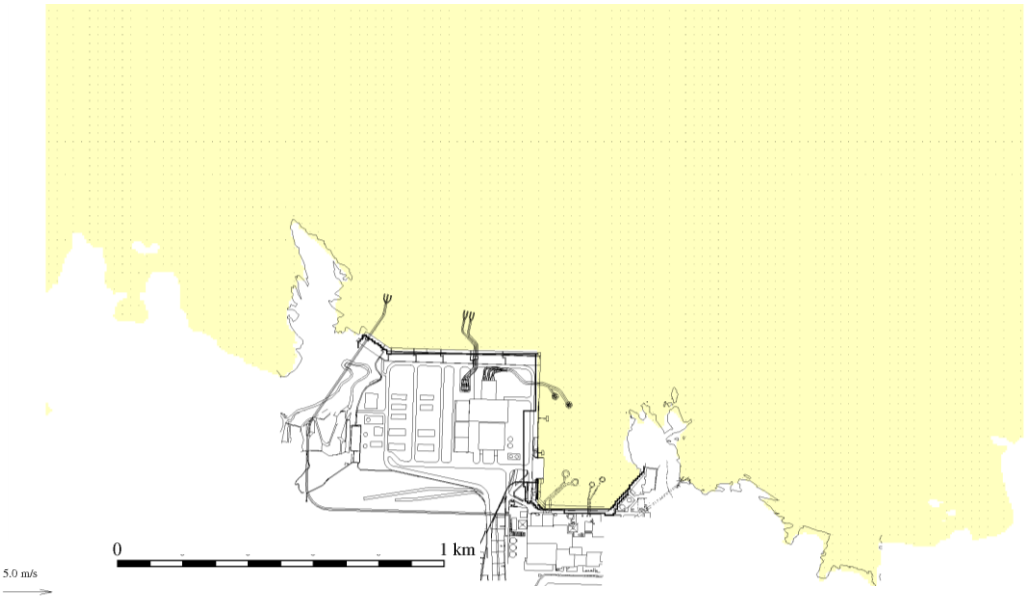
第 1 図(2)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

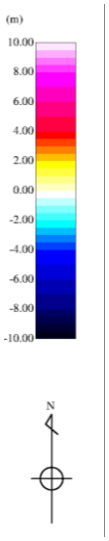
時間	101 分
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

第 1 図(3)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

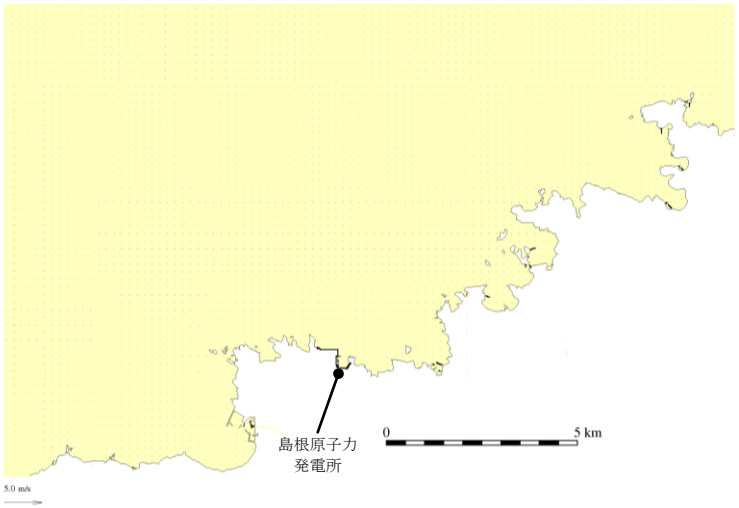
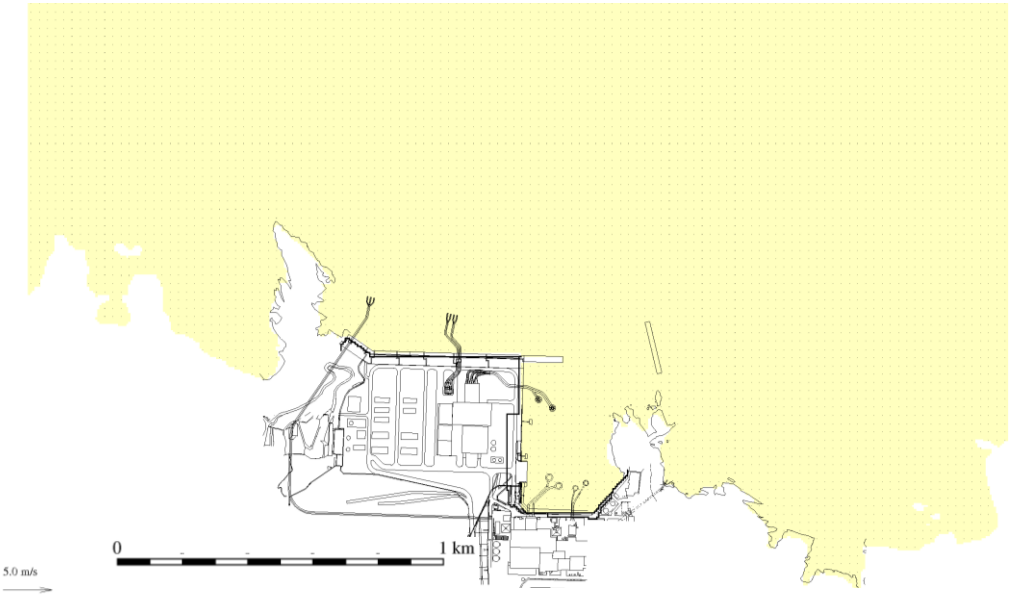
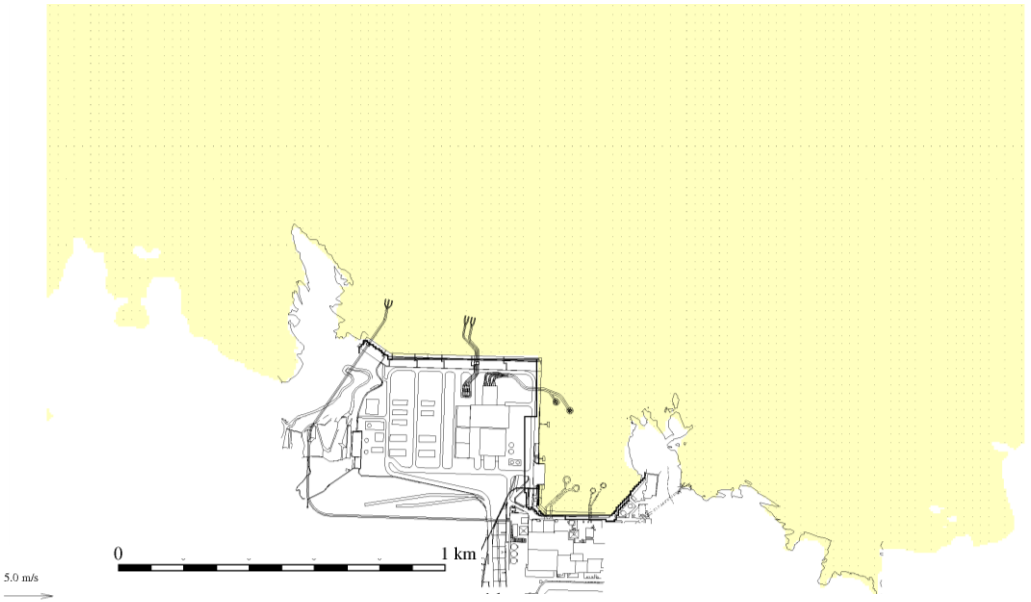
時間	101 分 30 秒
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

第 1 図(4)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

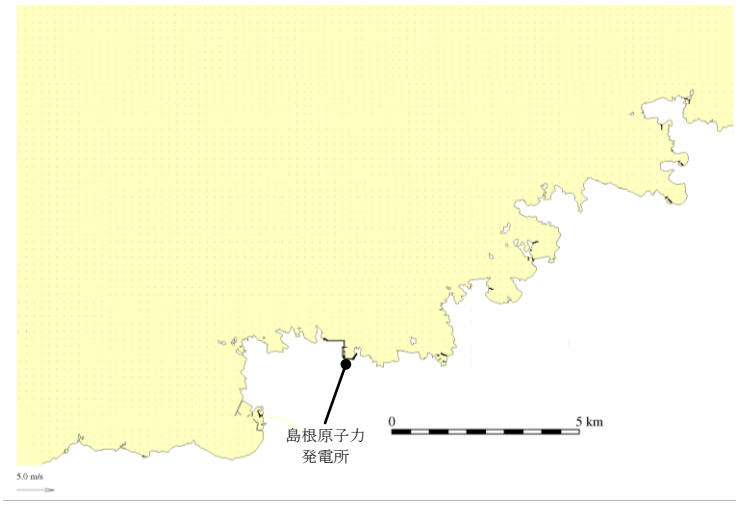
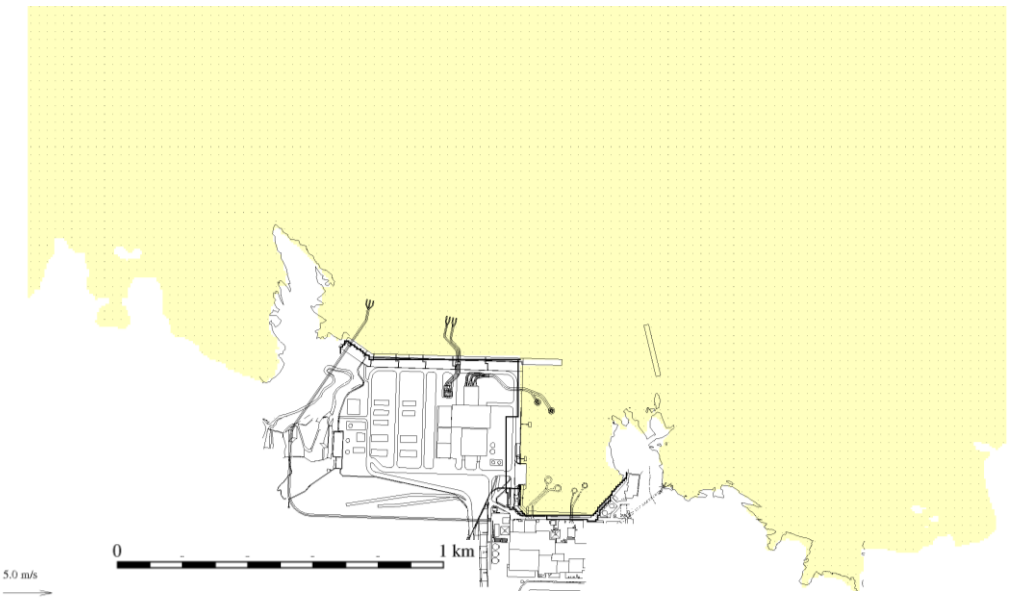
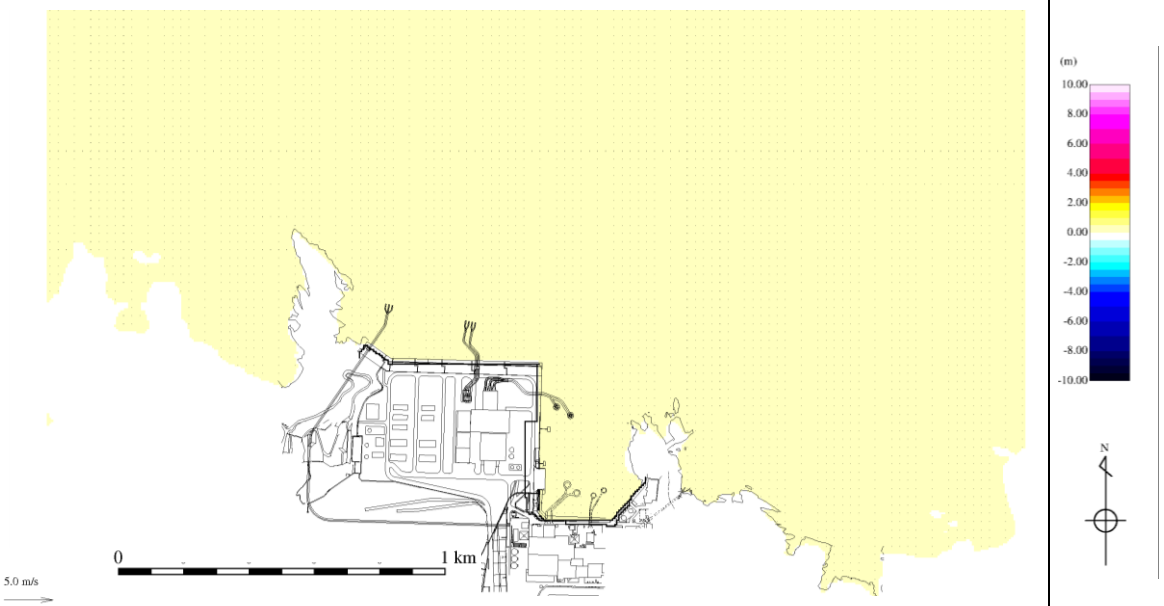
時間	102 分
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	



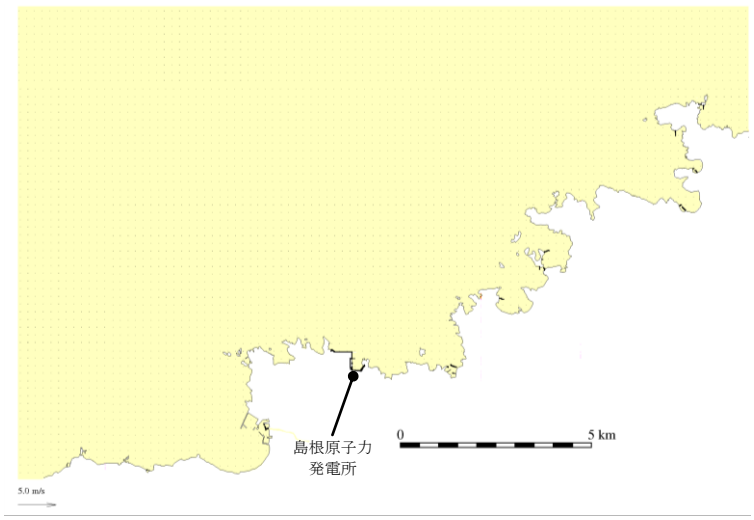
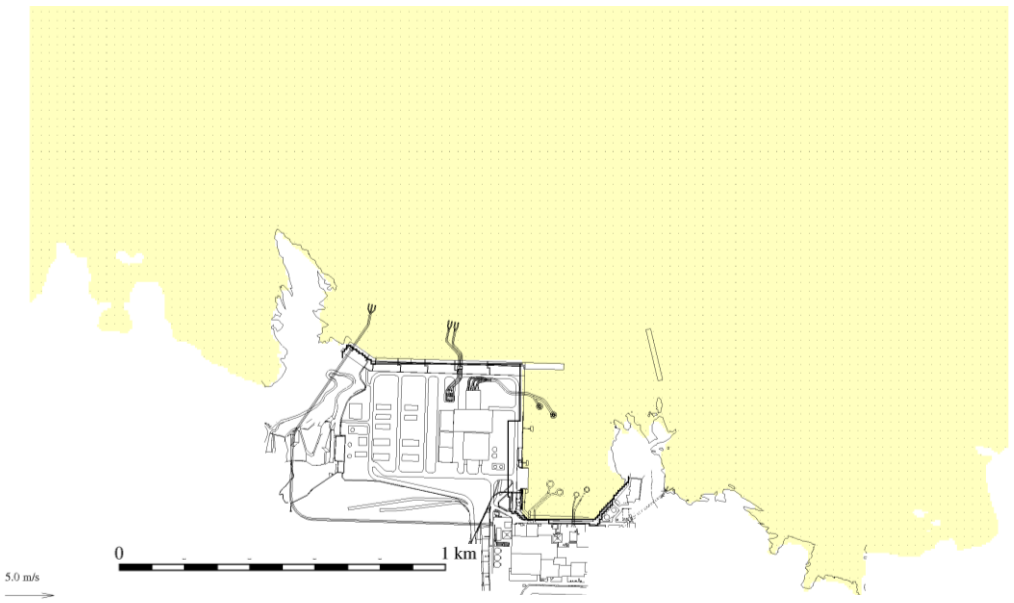
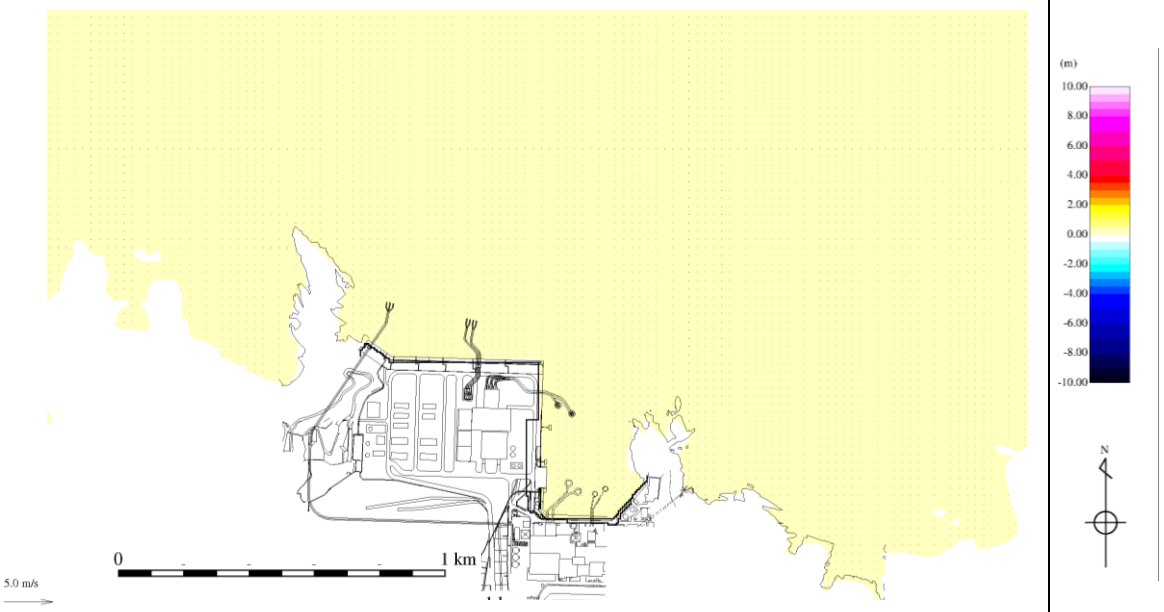
第 1 図(5)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

時間	102 分 30 秒
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

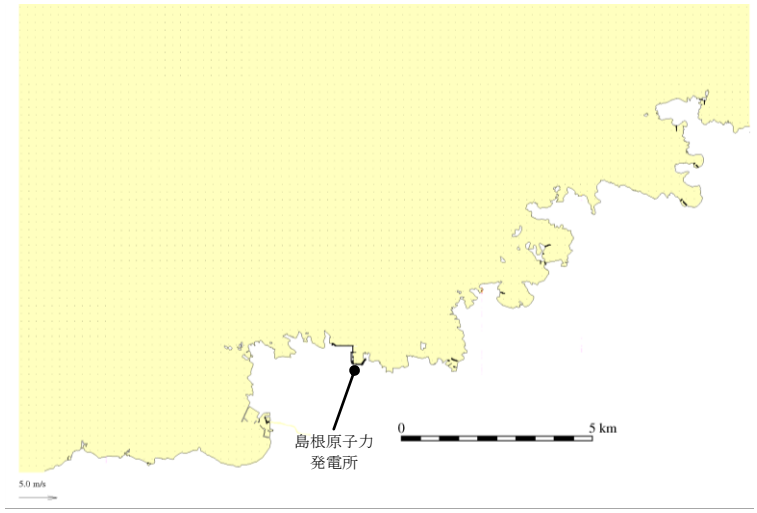
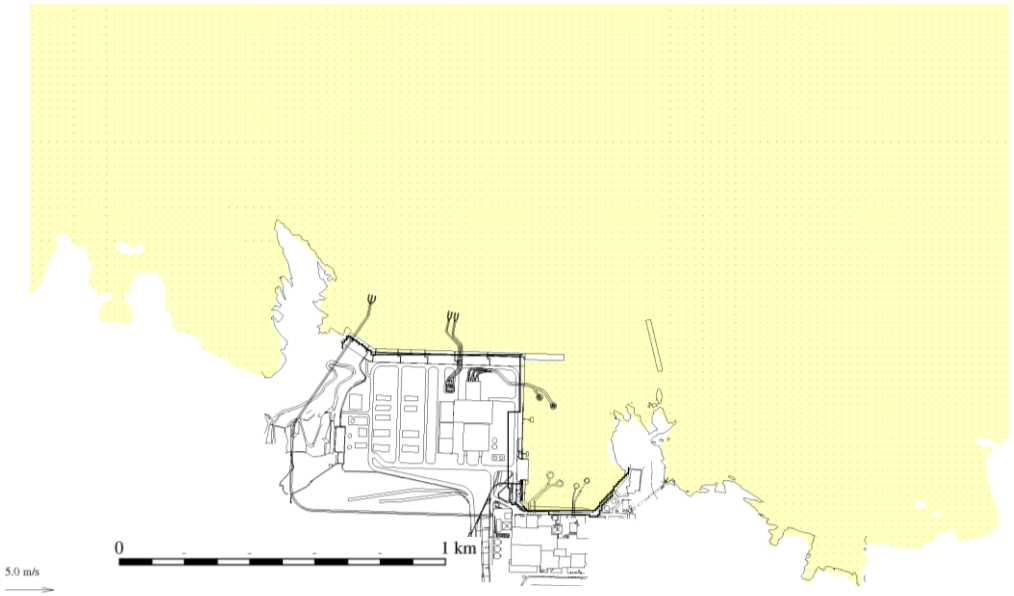
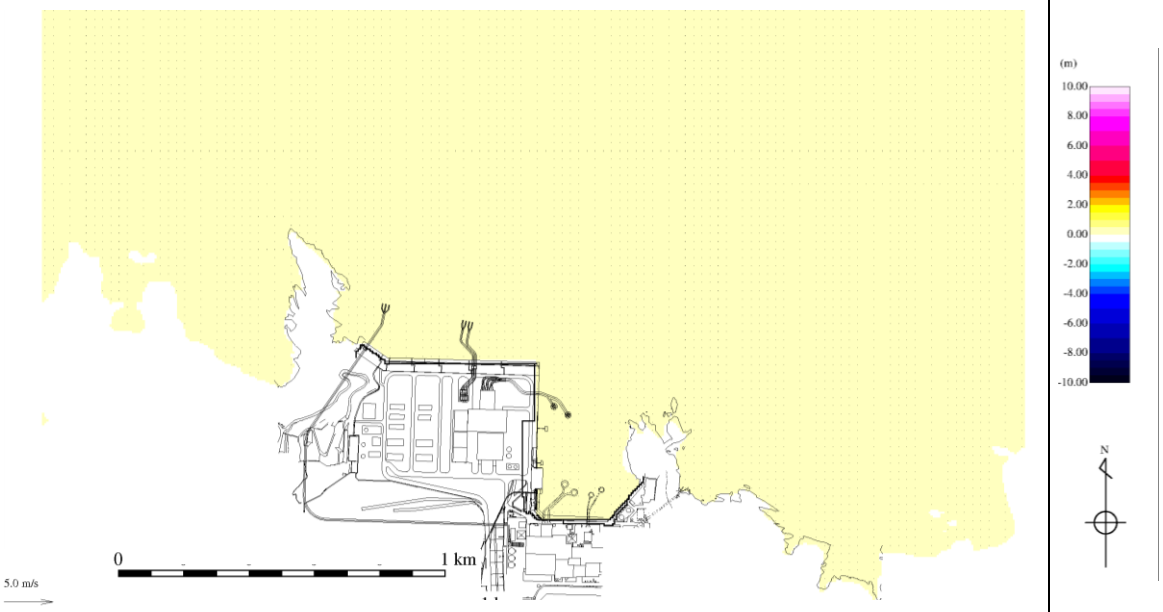
第 1 図(6)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

時間	103 分
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

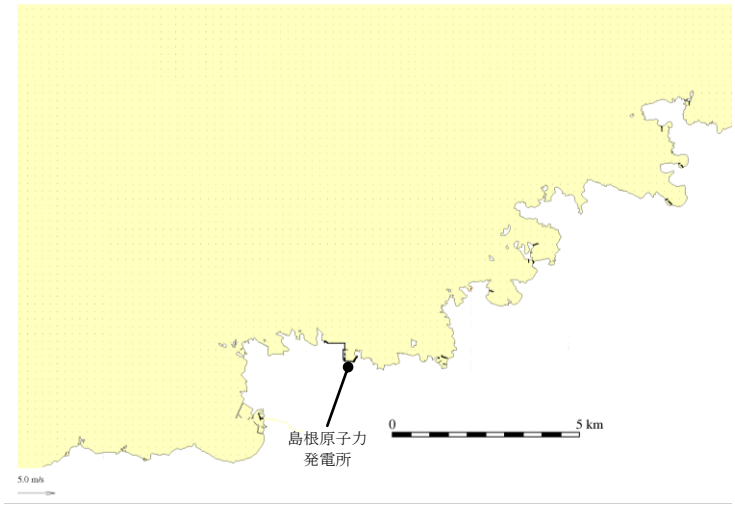
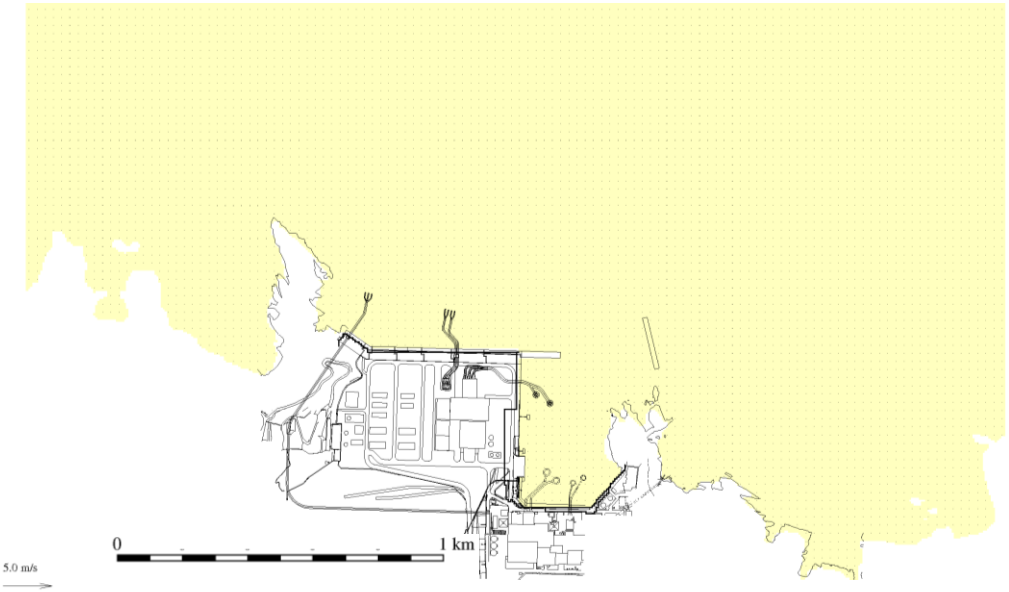
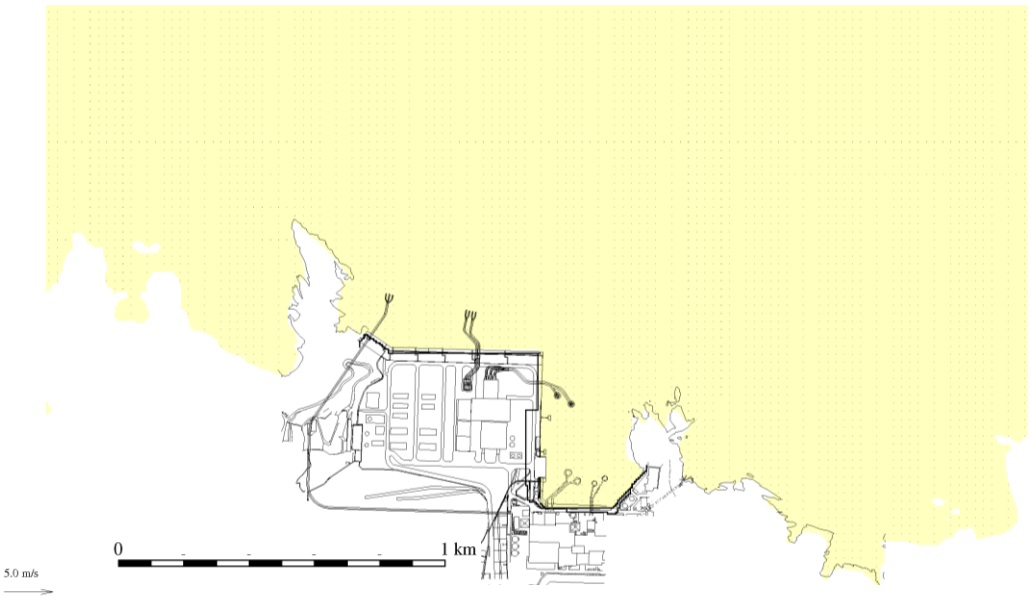
第 1 図(7)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

時間	103 分 30 秒
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

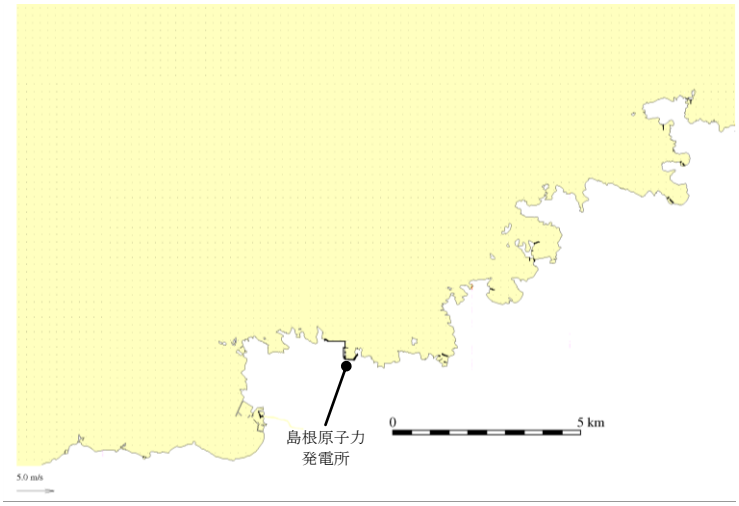
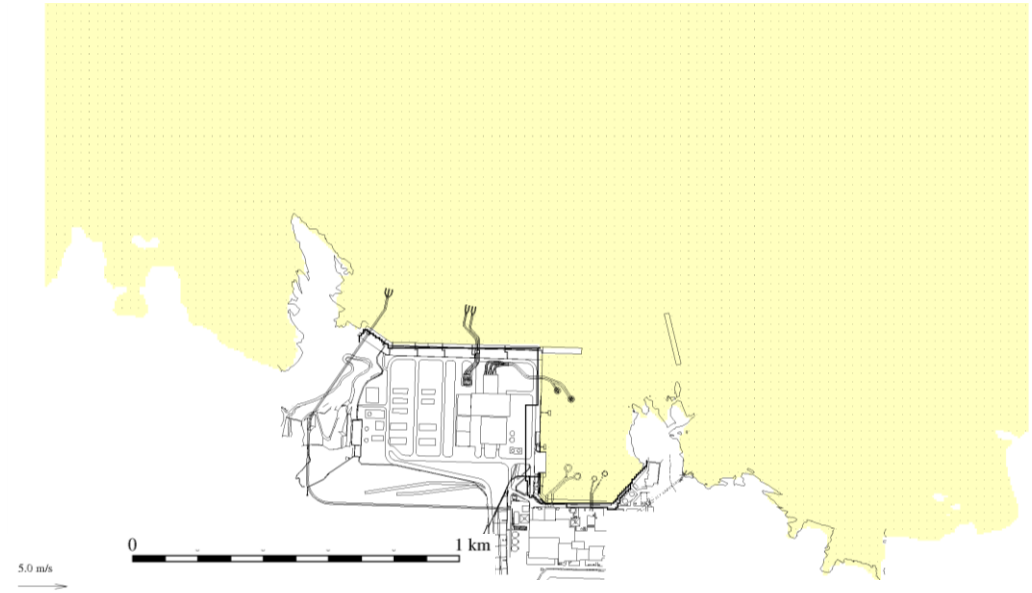
第 1 図(8)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

時間	104 分
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

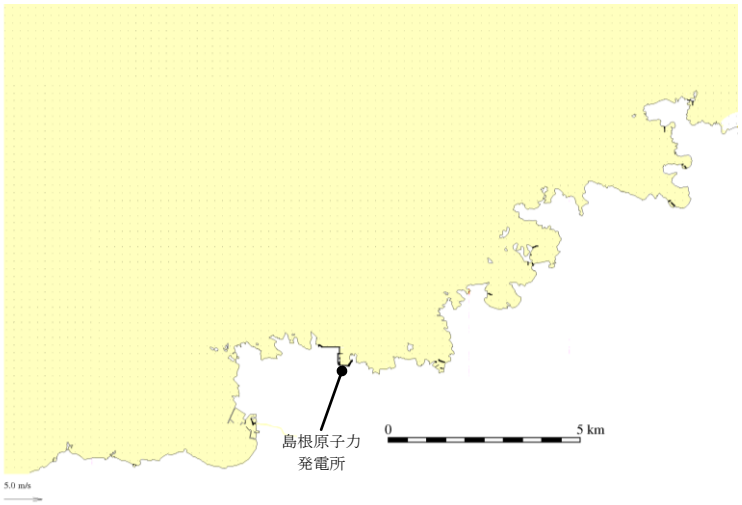
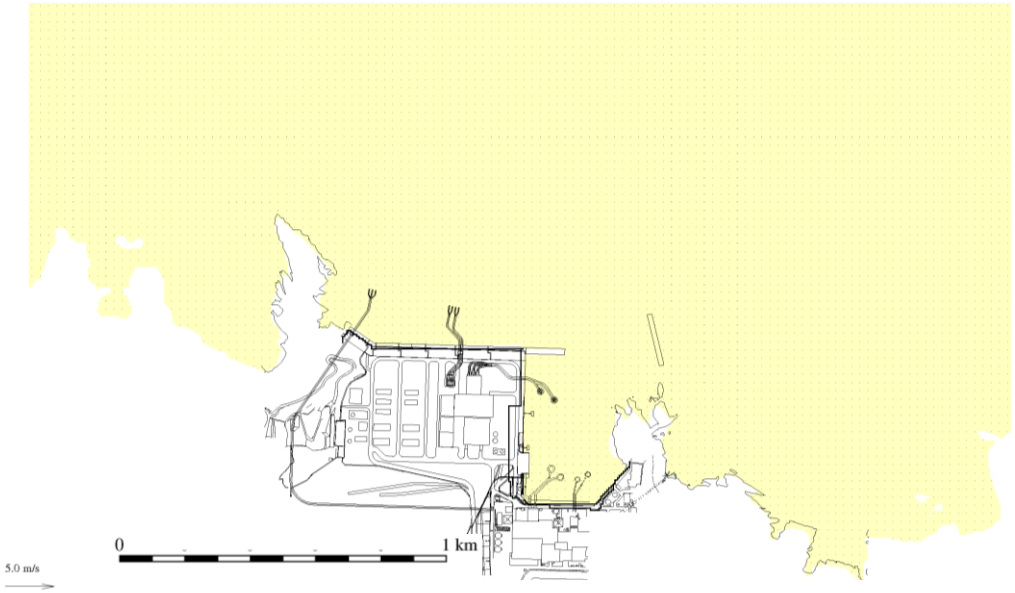
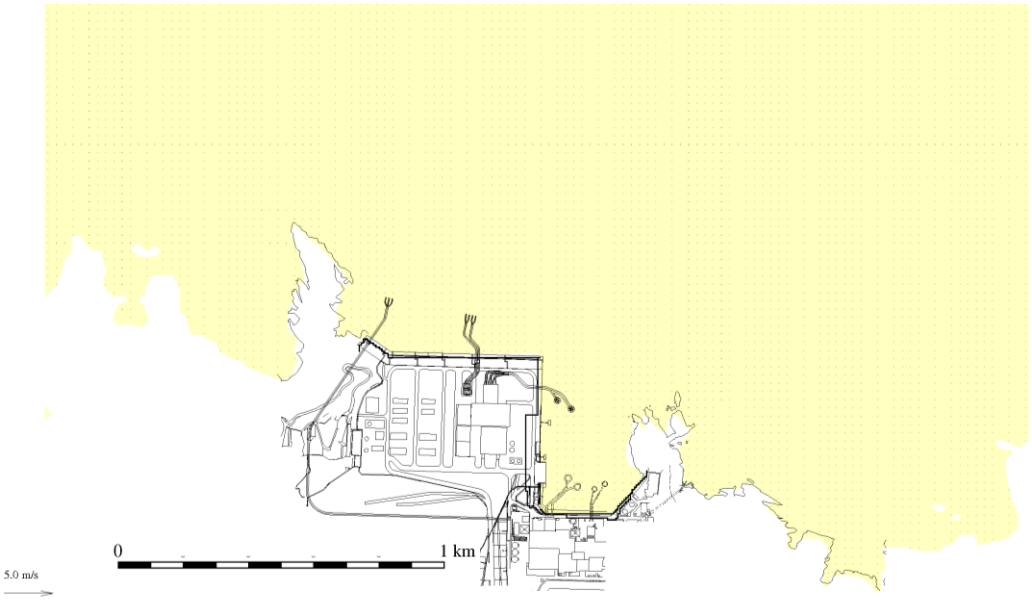
第 1 図(9)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

時間	104 分 30 秒
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

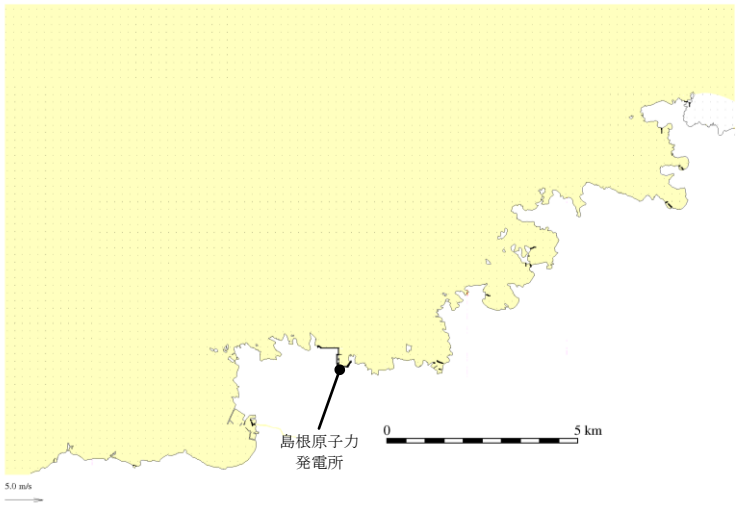
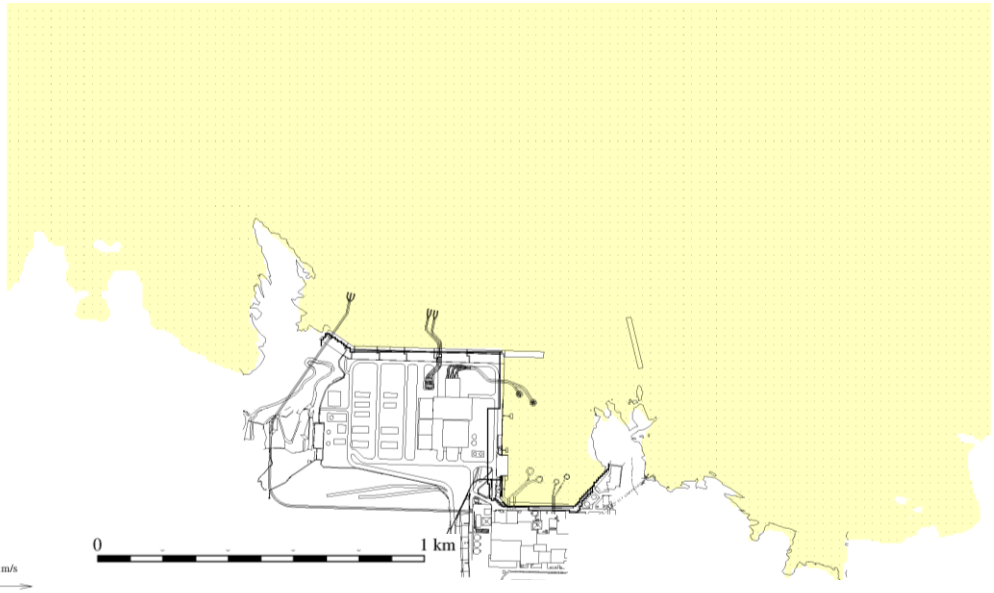
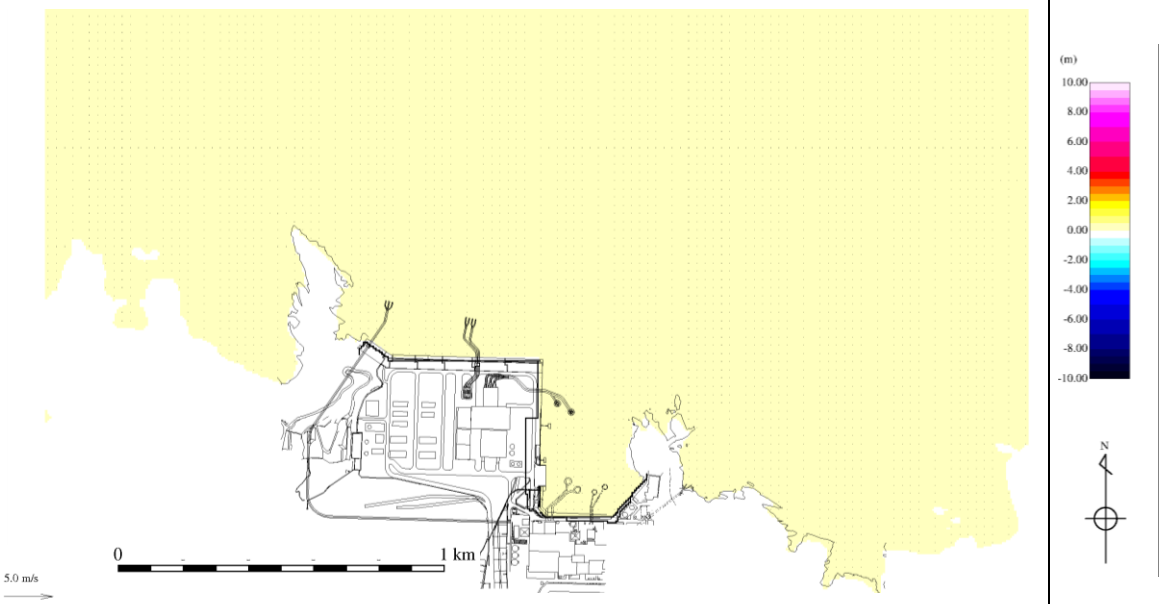
第 1 図(10)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

時間	105 分
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

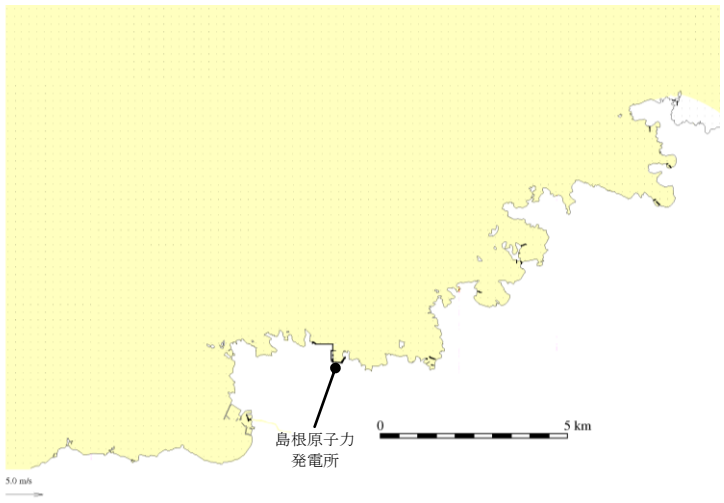
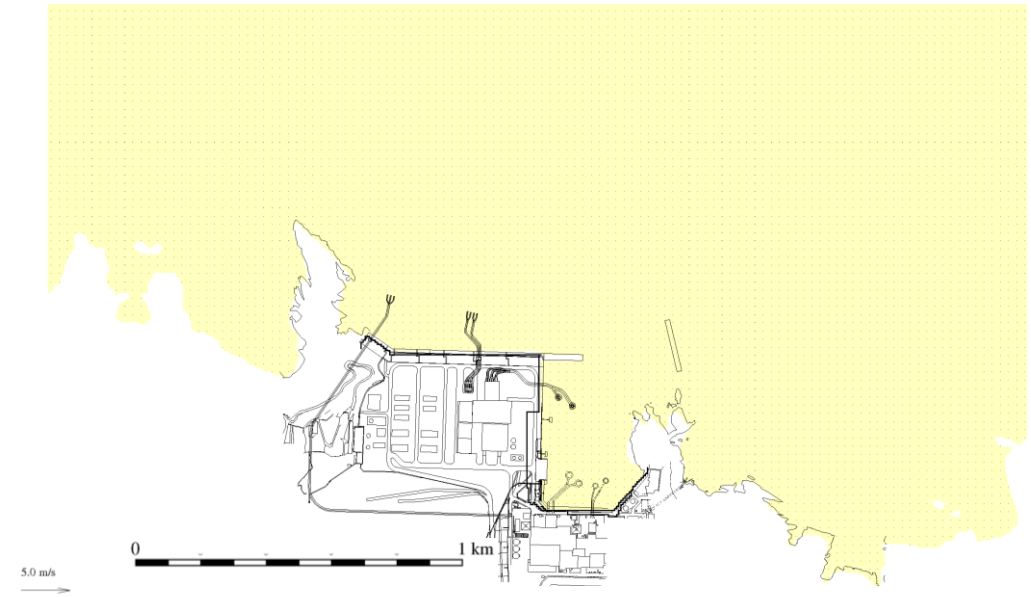
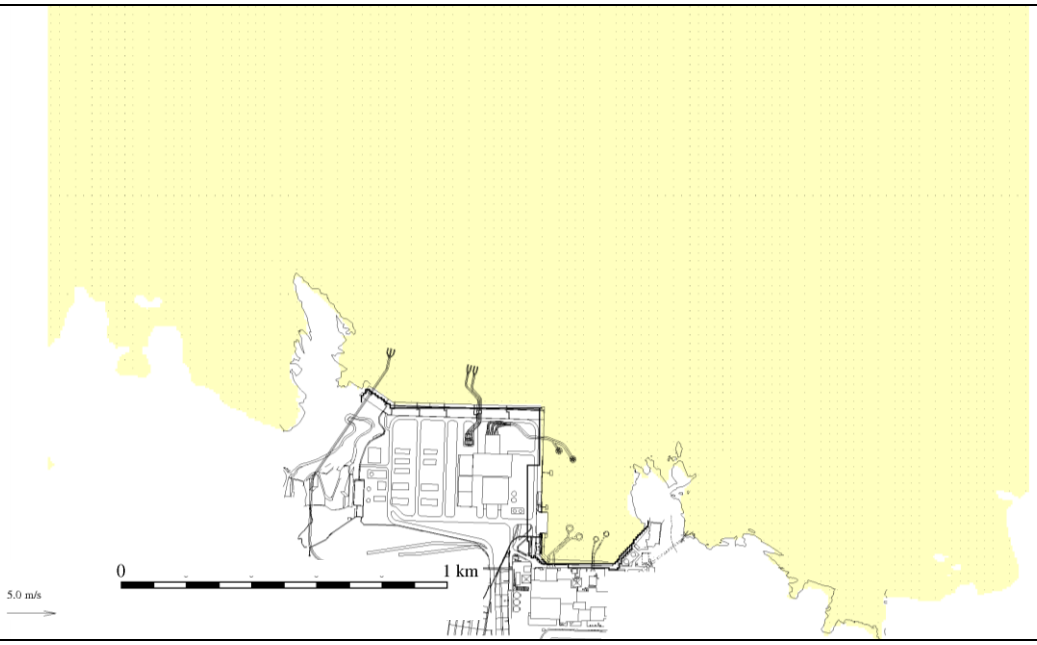
第 1 図(11)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

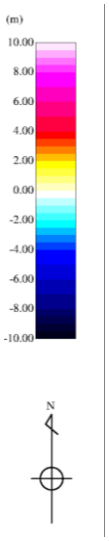
時間	105 分 30 秒
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

第 1 図(12)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

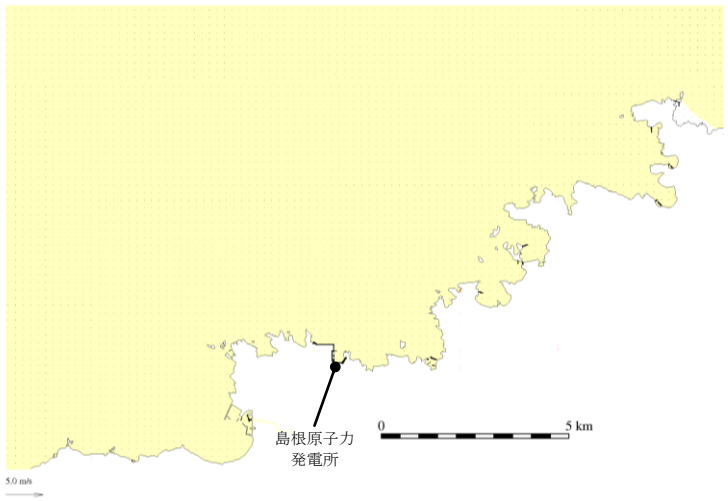
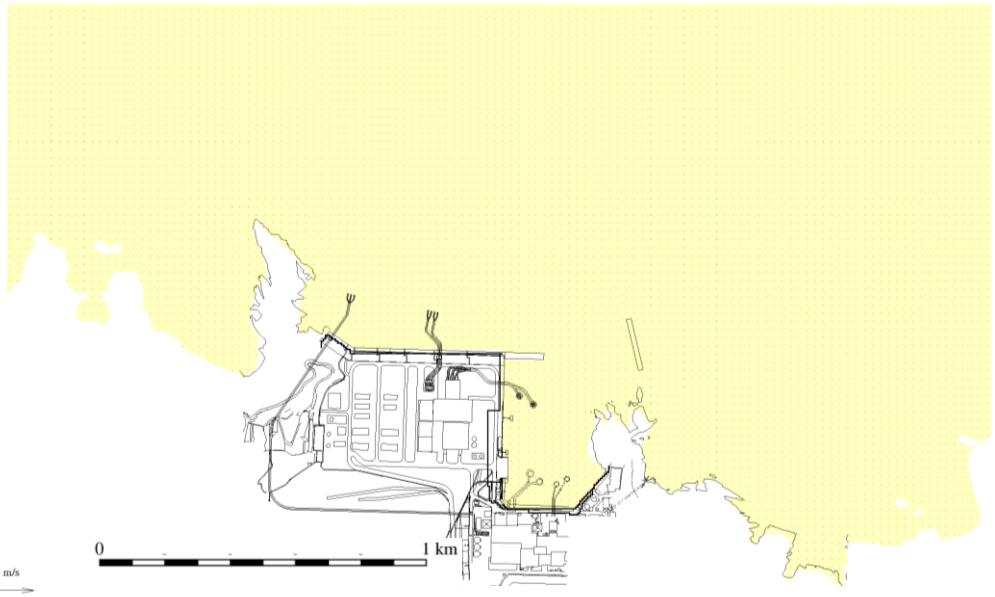
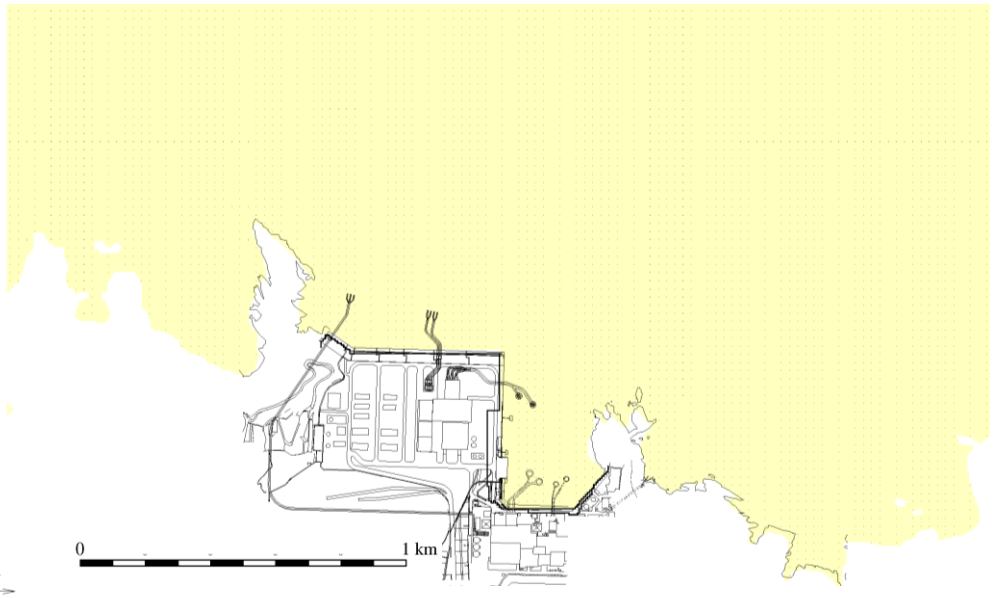
時間	106 分
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

第 1 図(13)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

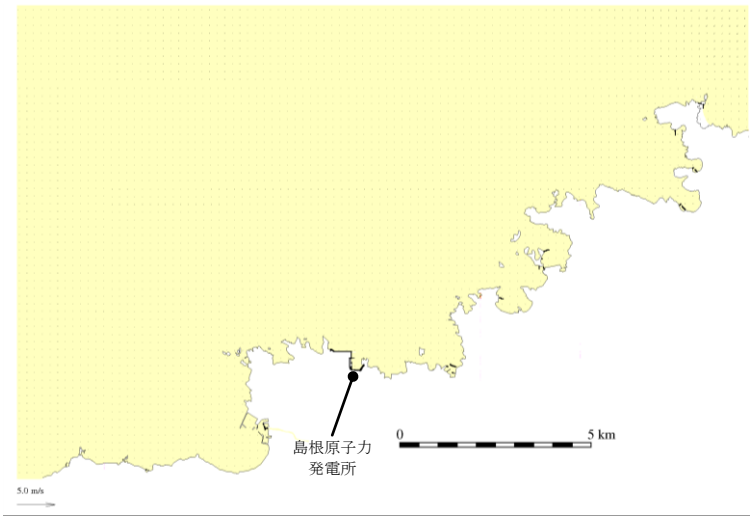
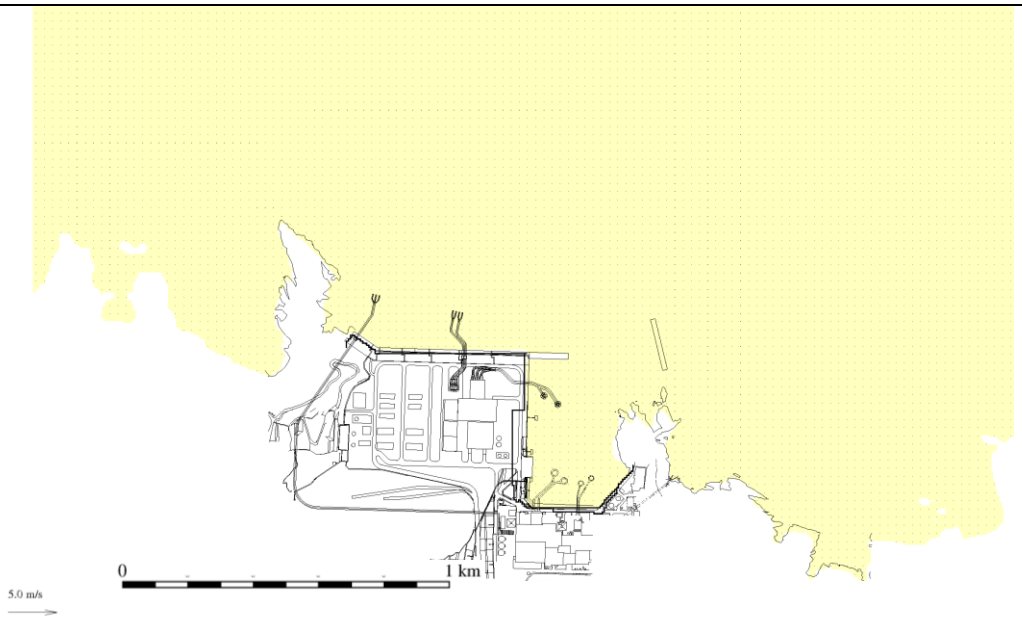
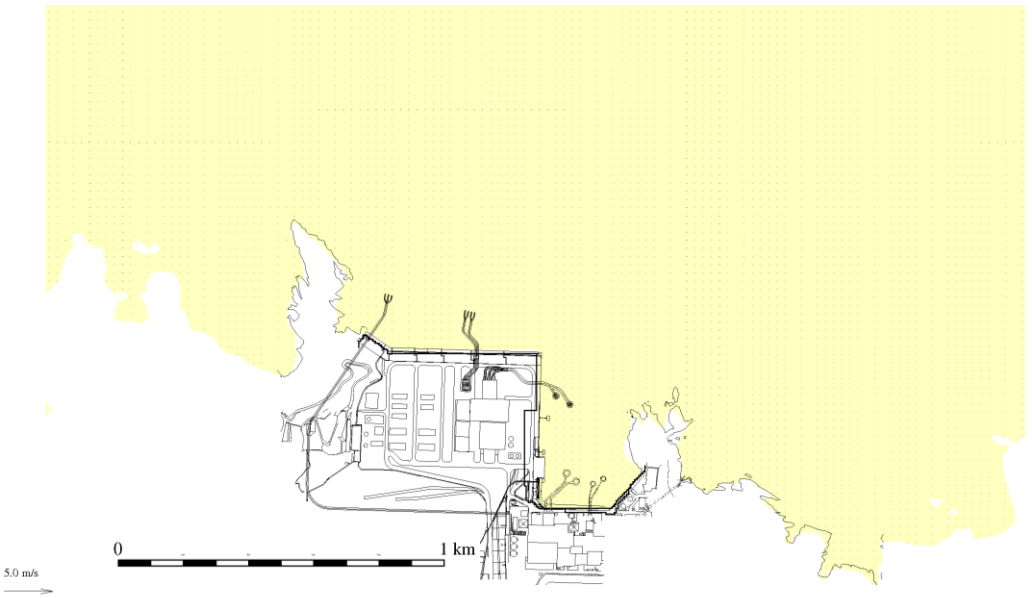
時間	106 分 30 秒
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	



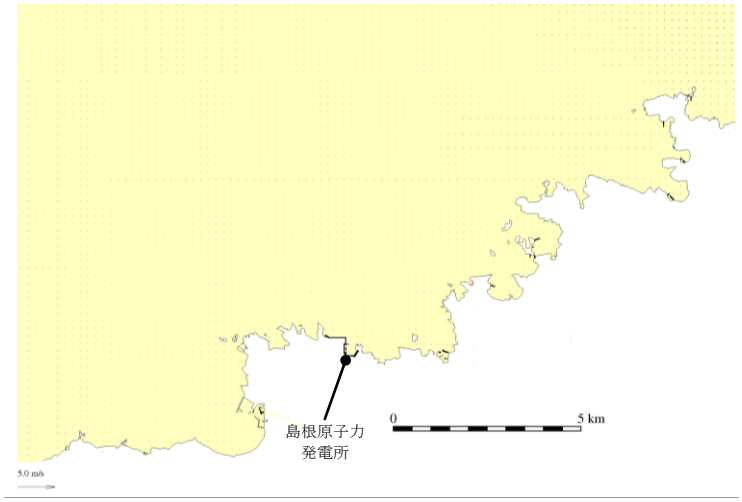
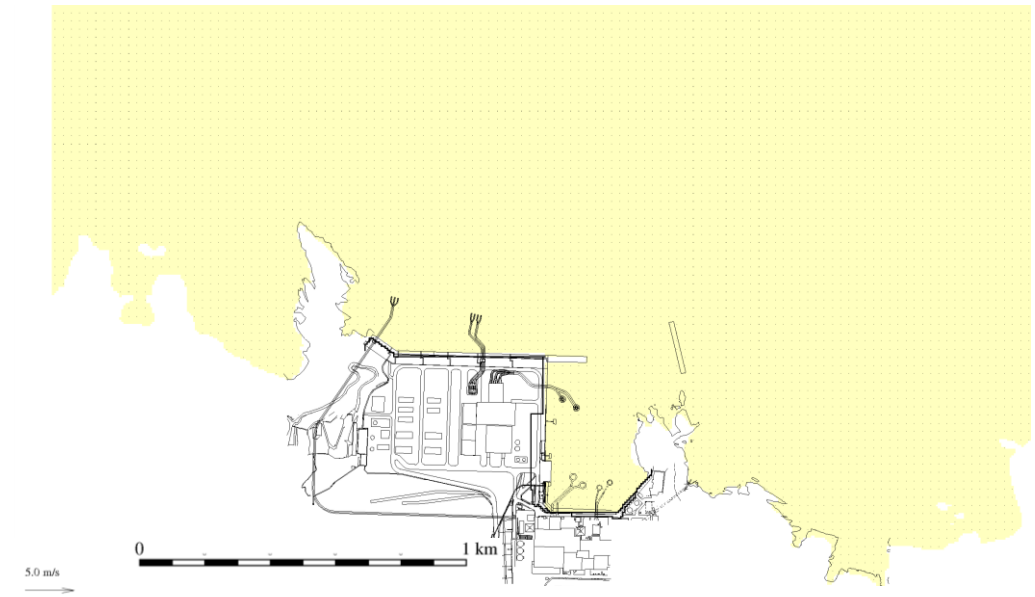
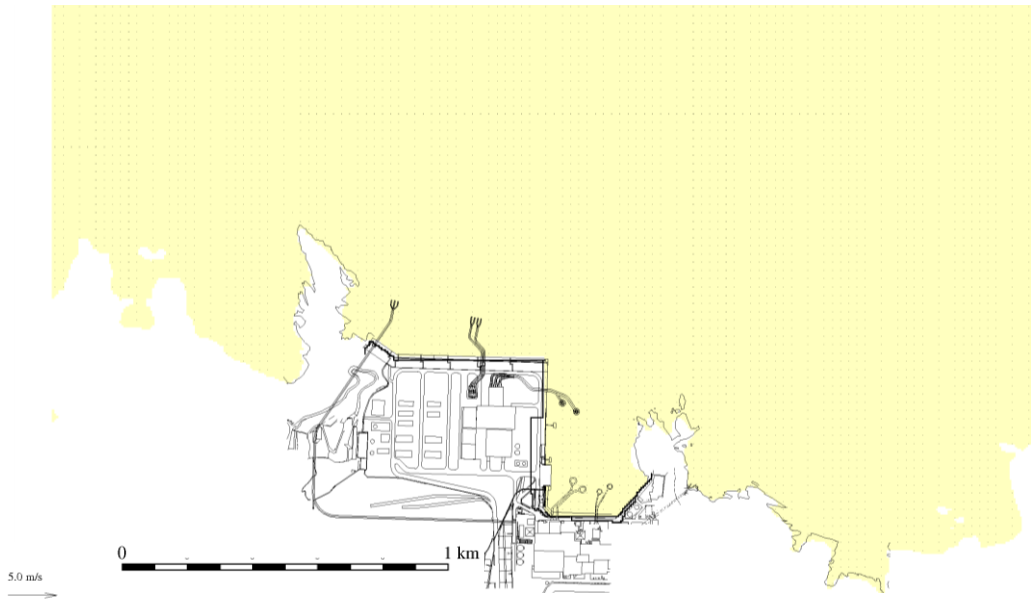
第 1 図(14)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

時間	107 分
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

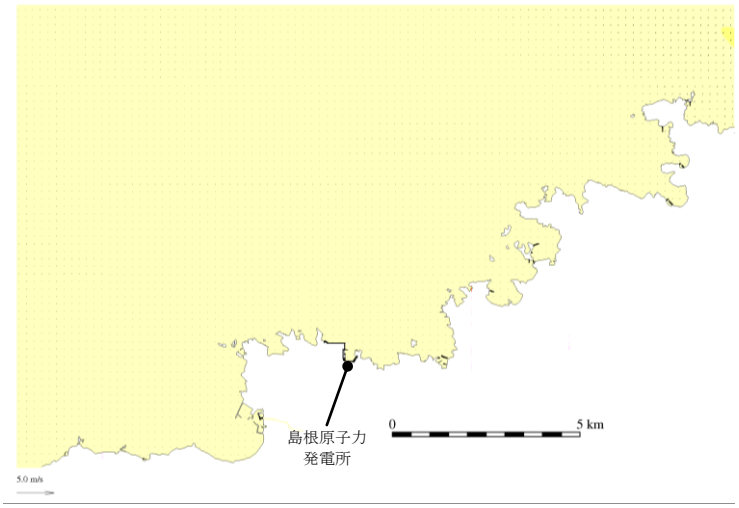
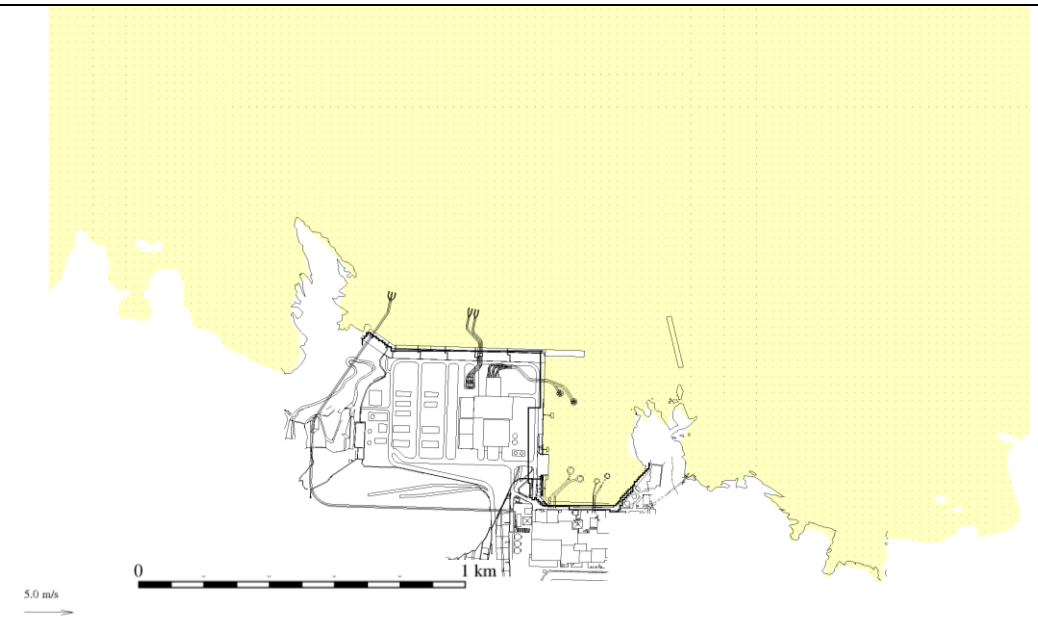
第 1 図(15)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

時間	107 分 30 秒
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

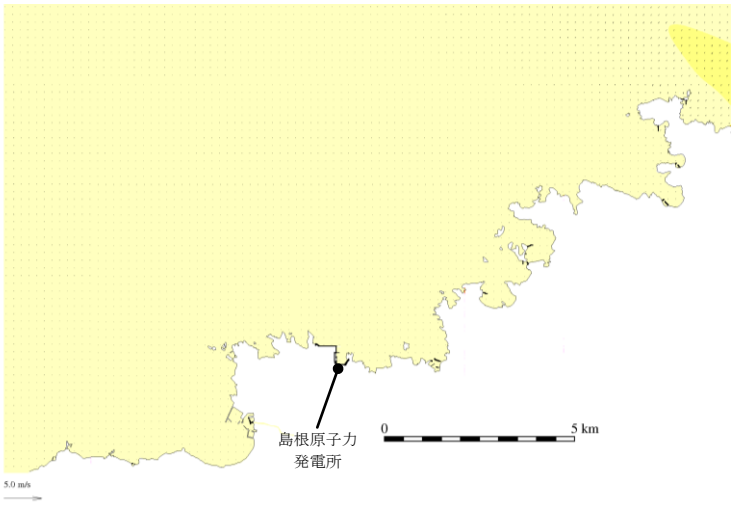
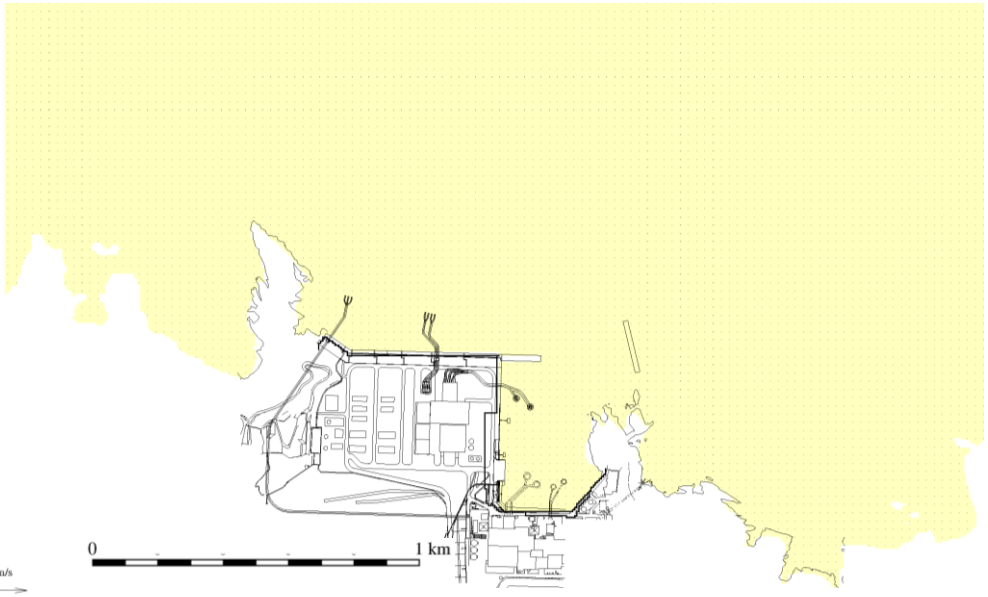
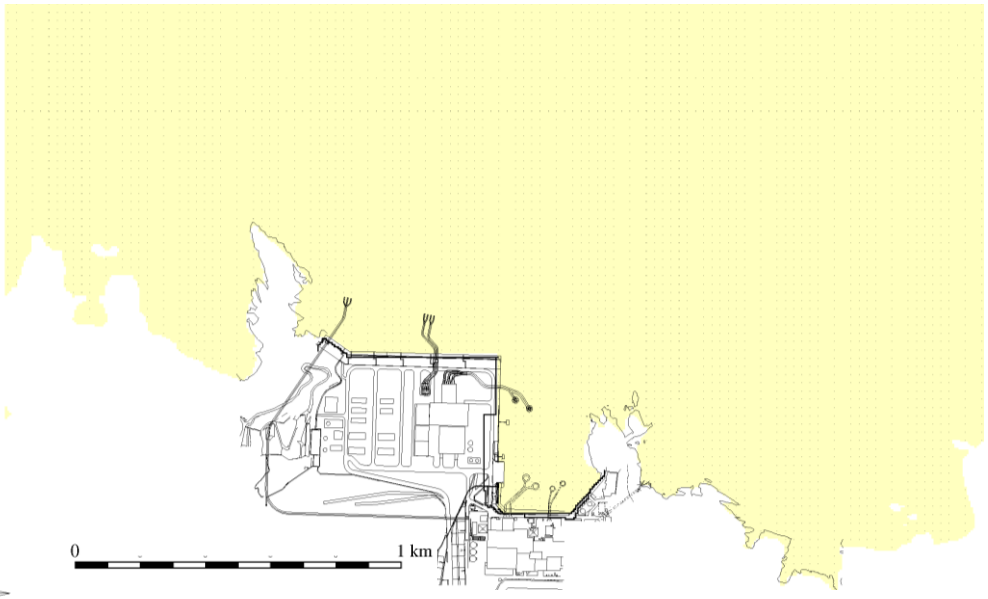
第 1 図(16)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

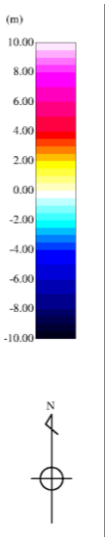
時間	108 分
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

第 1 図(17)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

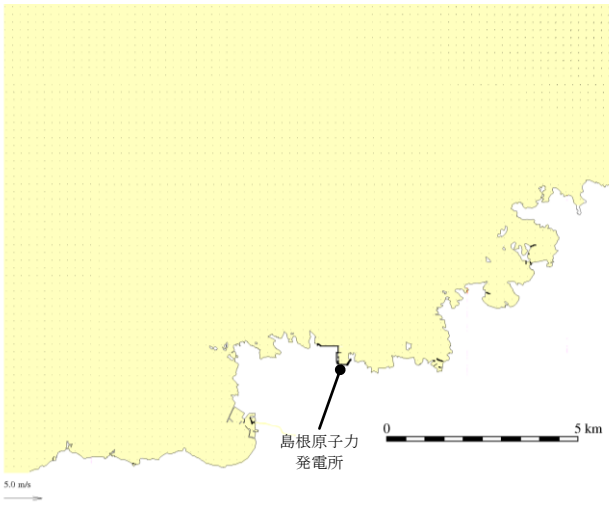
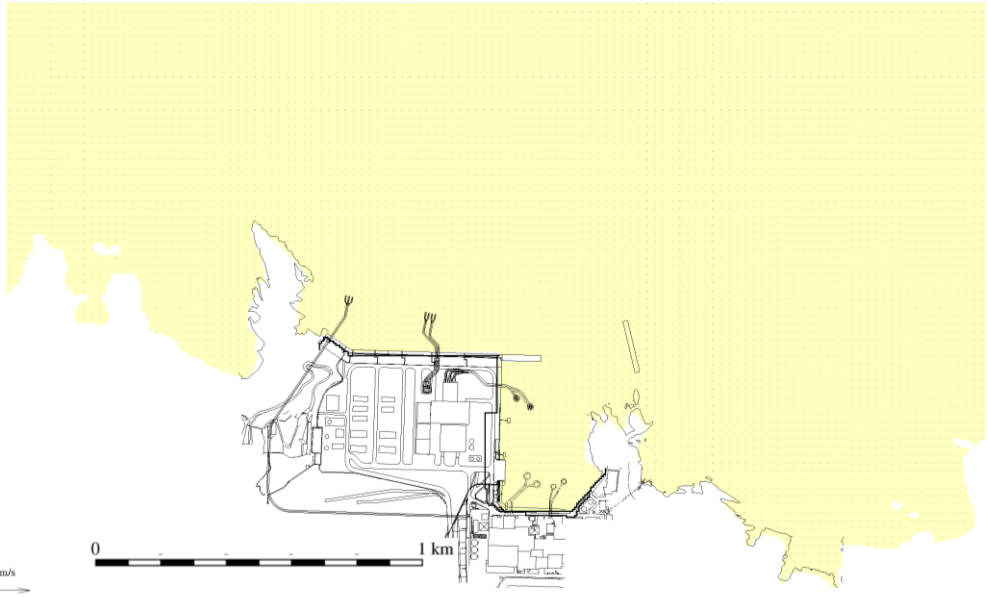
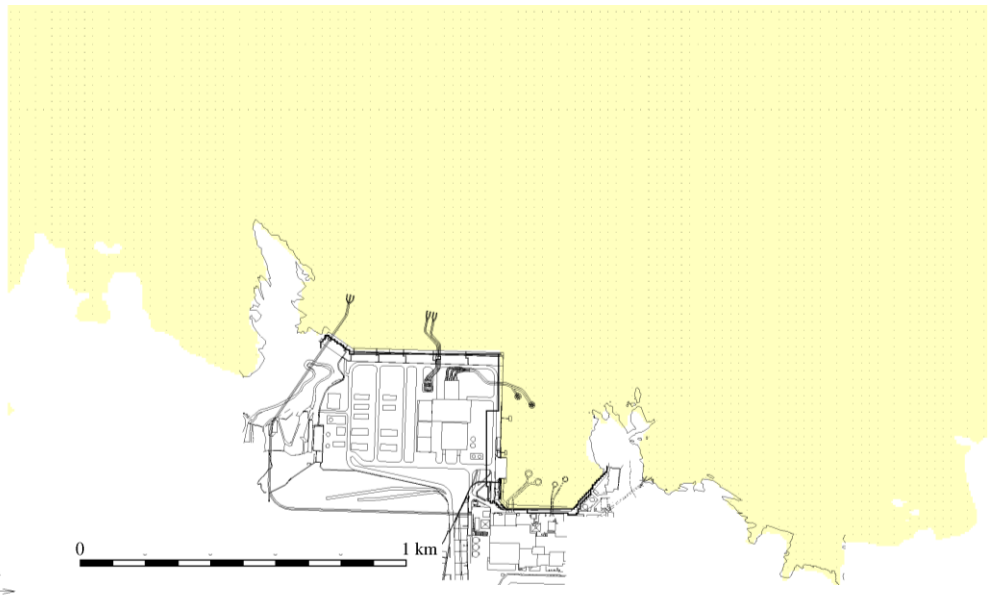
時間	108 分 30 秒
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

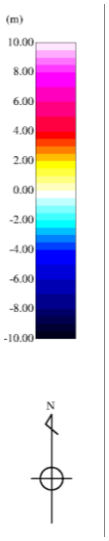
第 1 図(18)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

時間	109 分
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

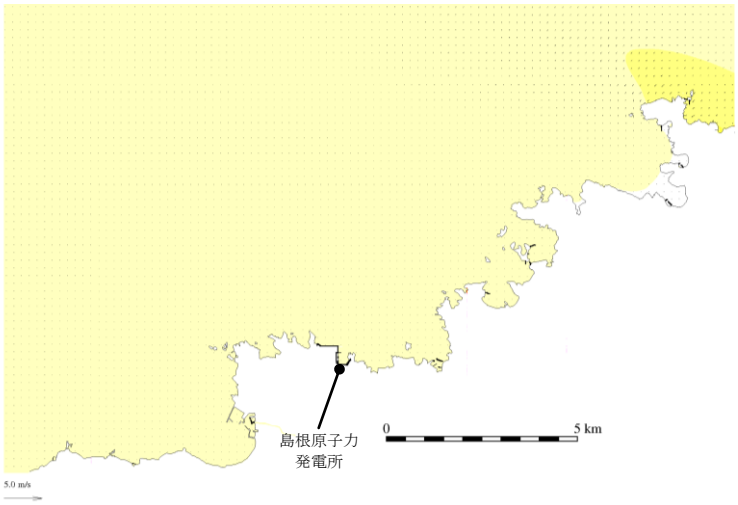
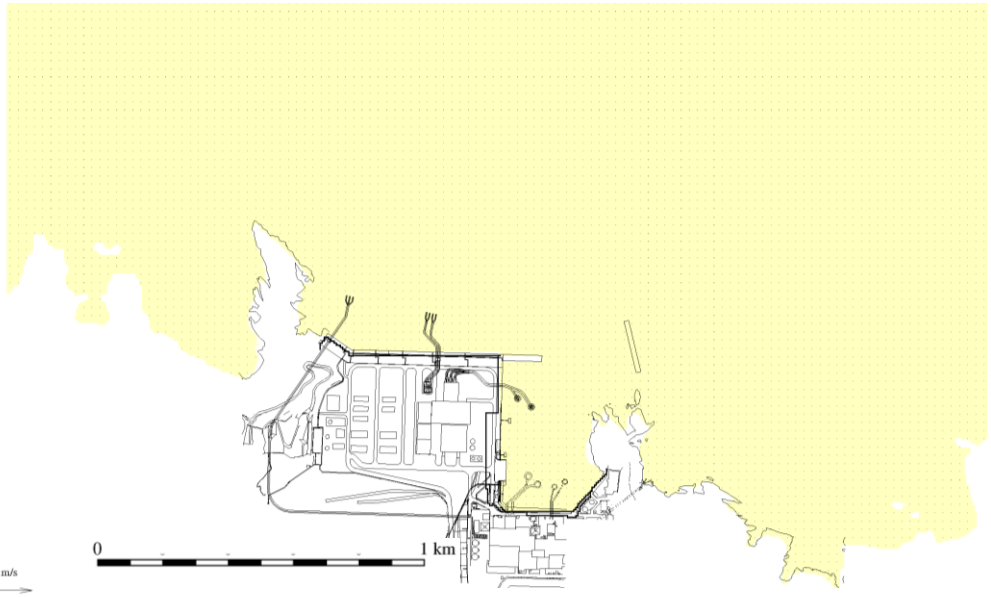
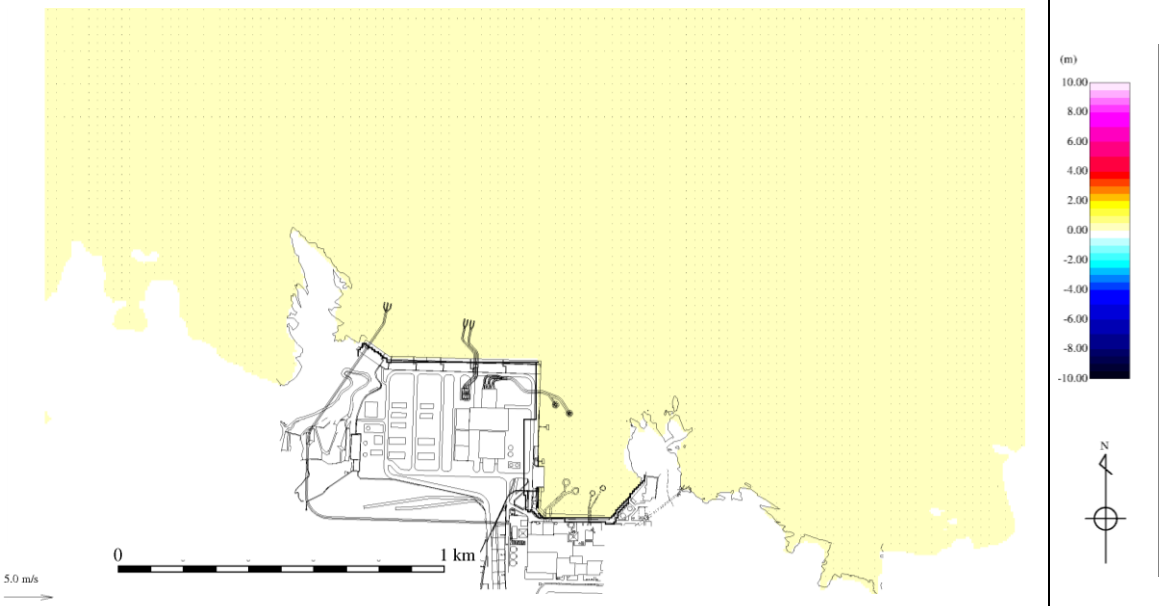


第 1 図(19)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

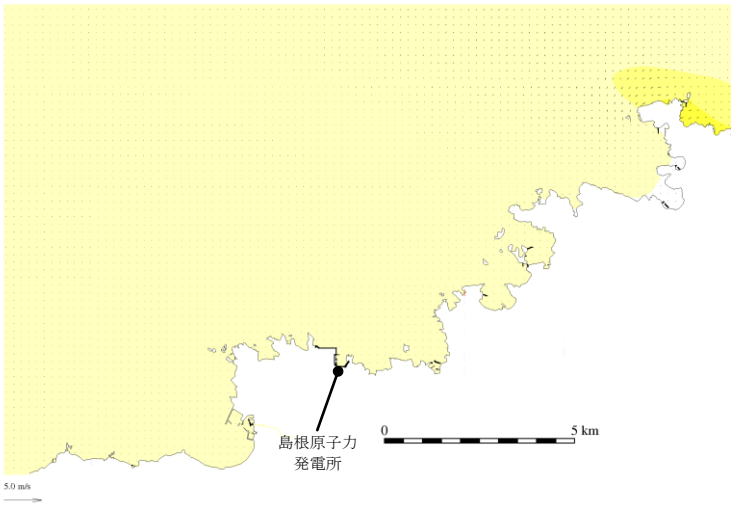
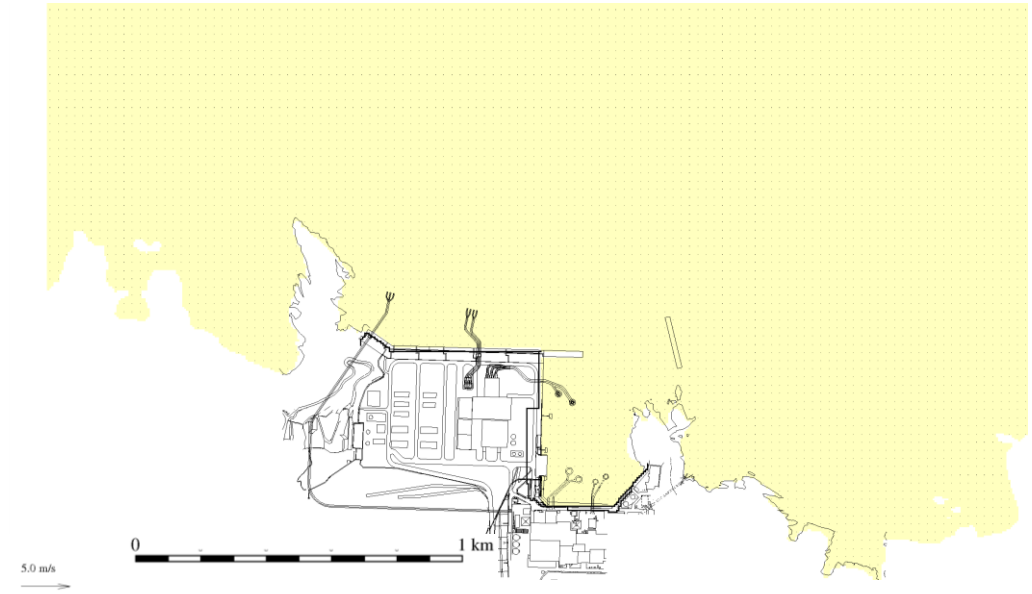
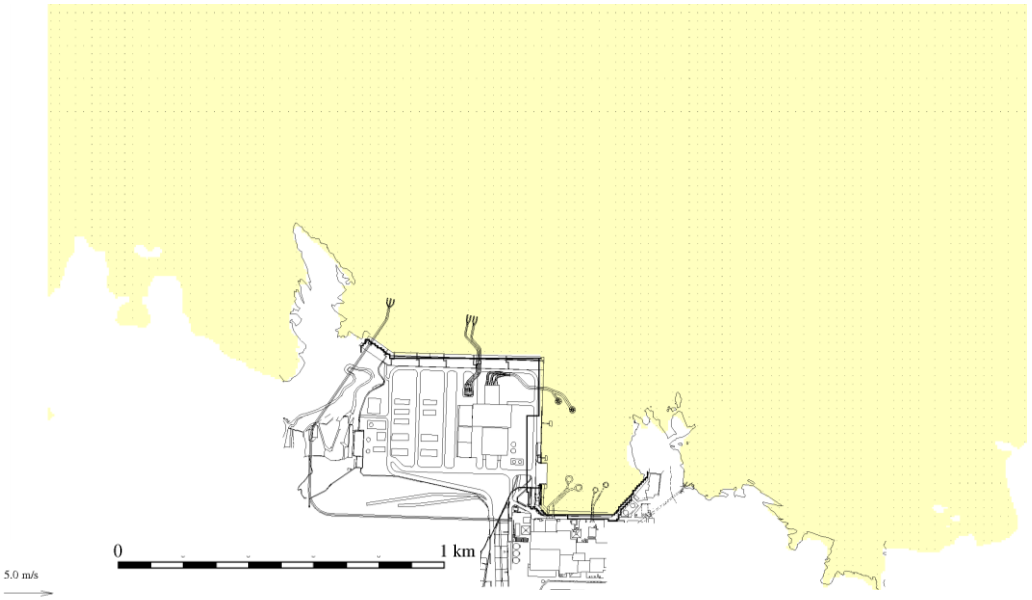
時間	109 分 30 秒
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	



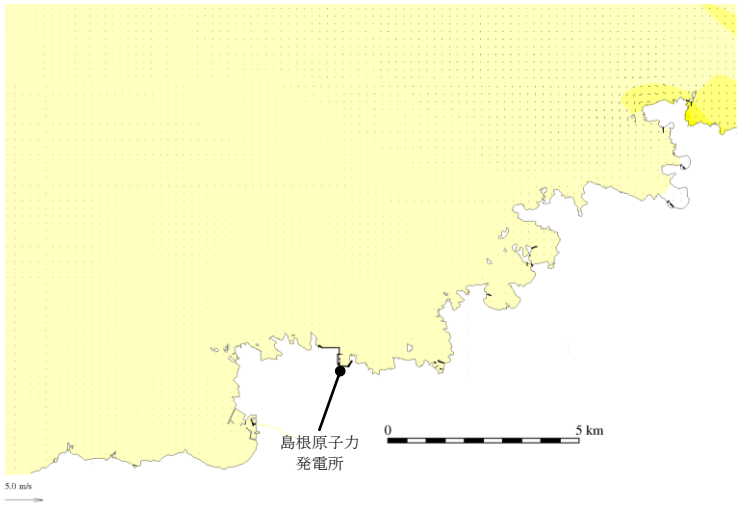
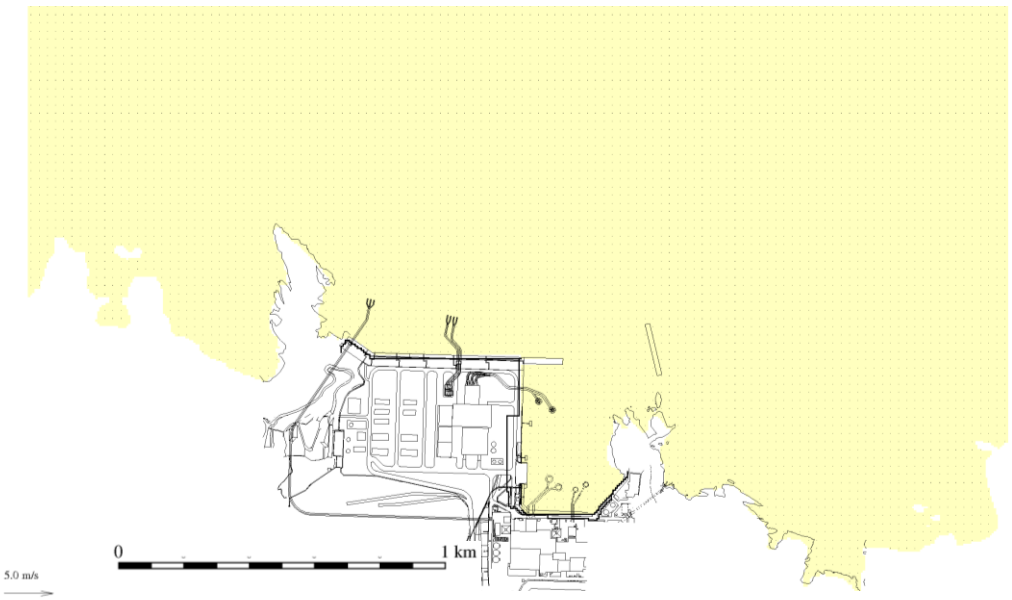
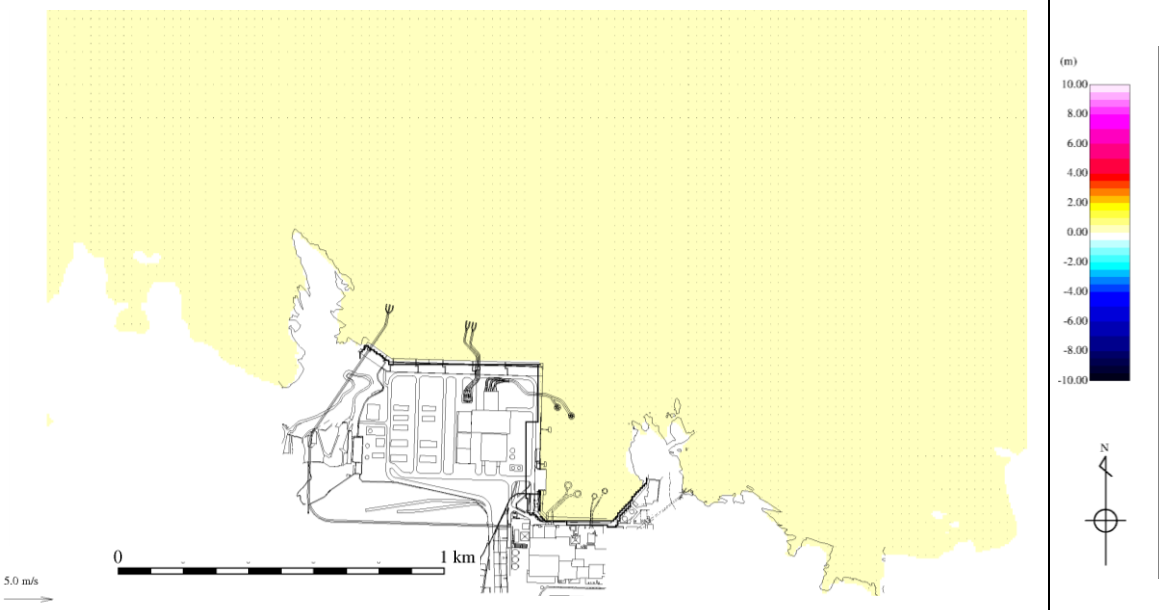
第 1 図(20)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

時間	110 分
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

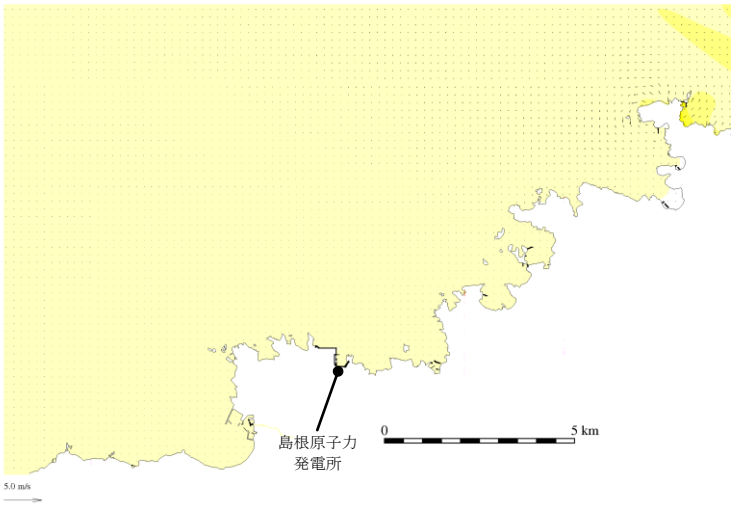
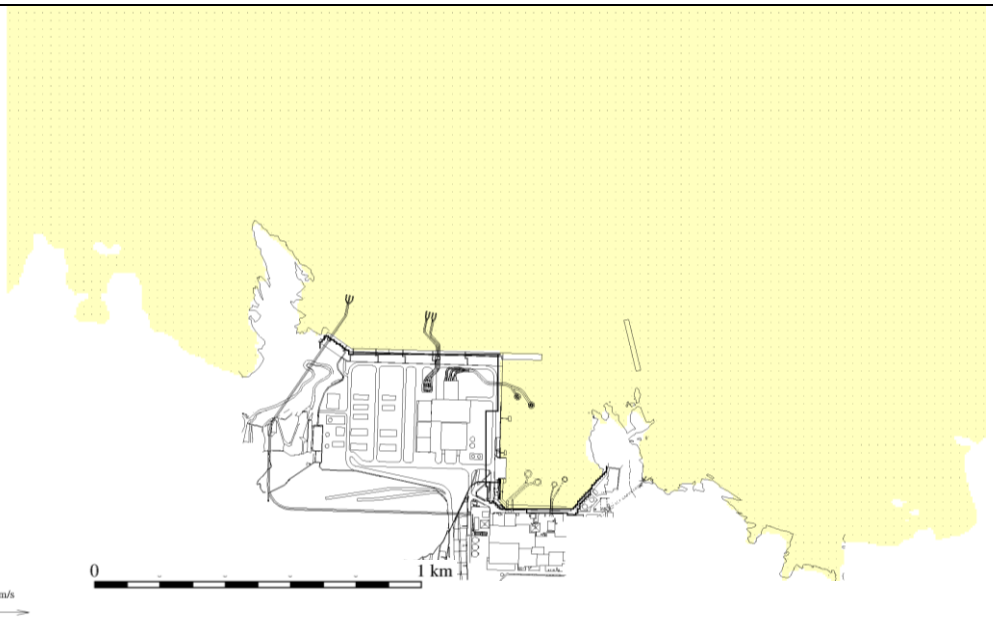
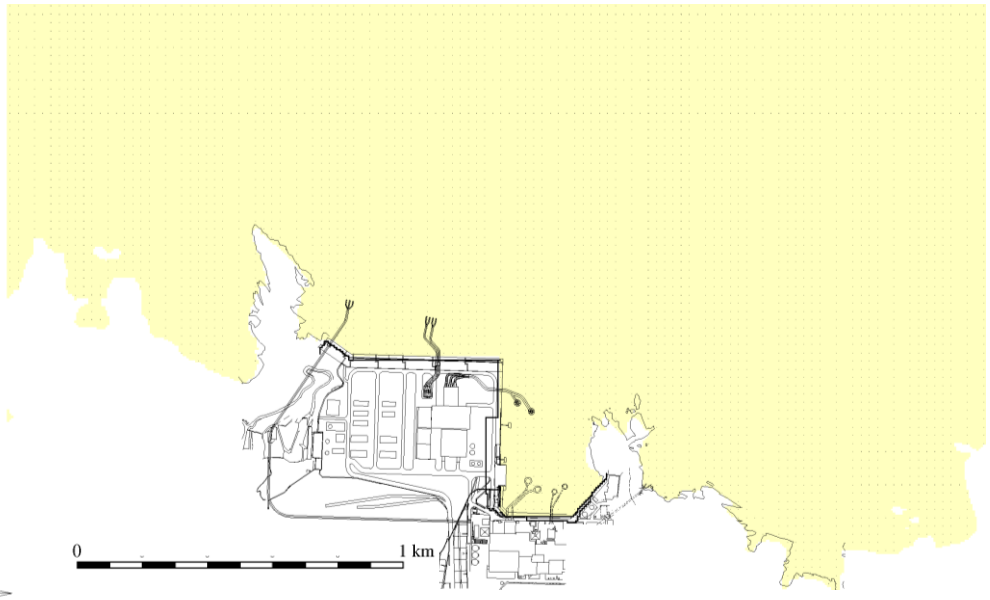
第 1 図(21)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

時間	110 分 30 秒
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

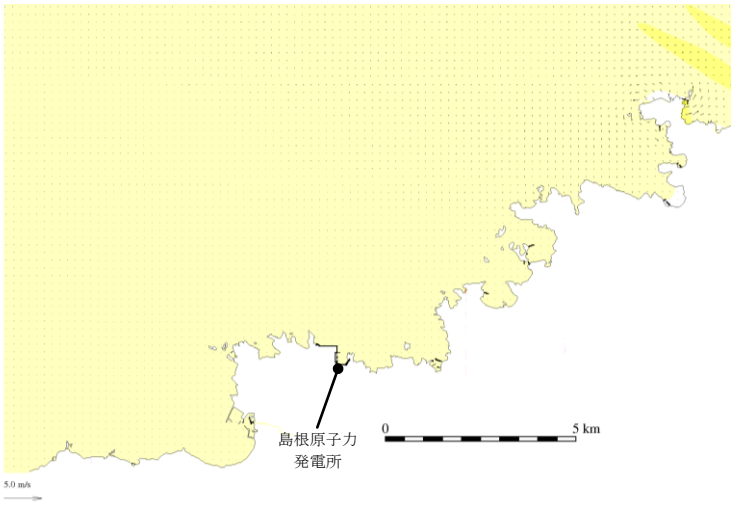
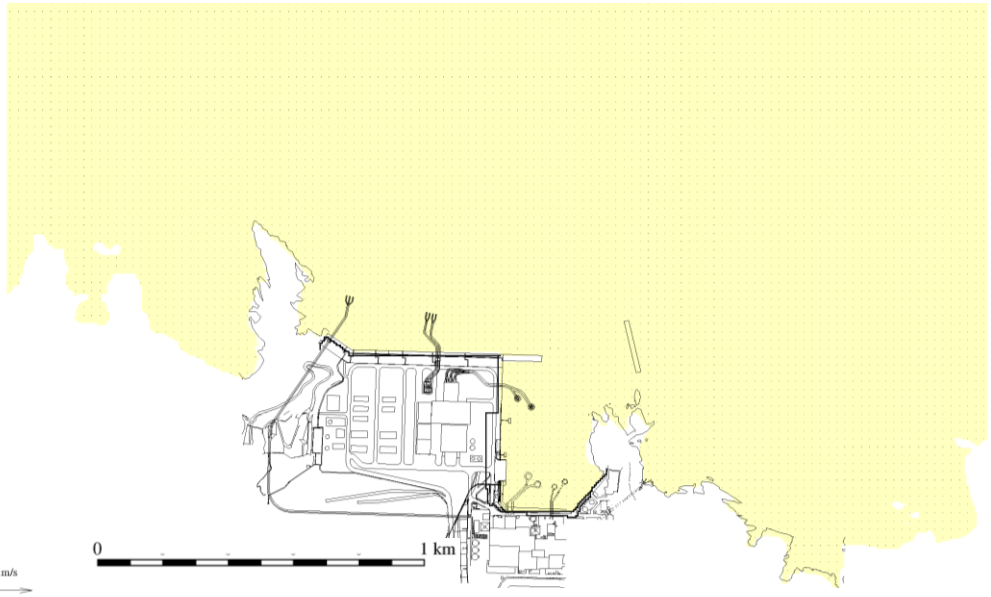
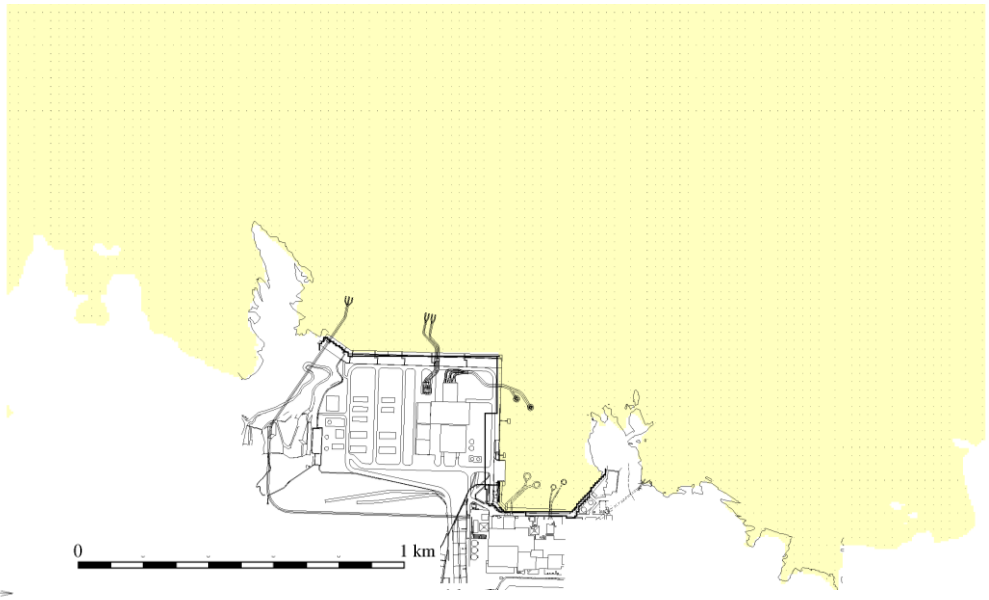
第 1 図(22)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

時間	111 分
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

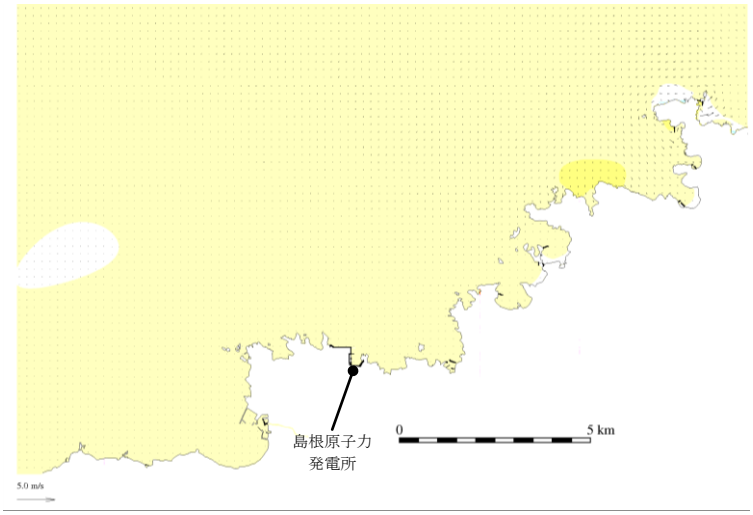
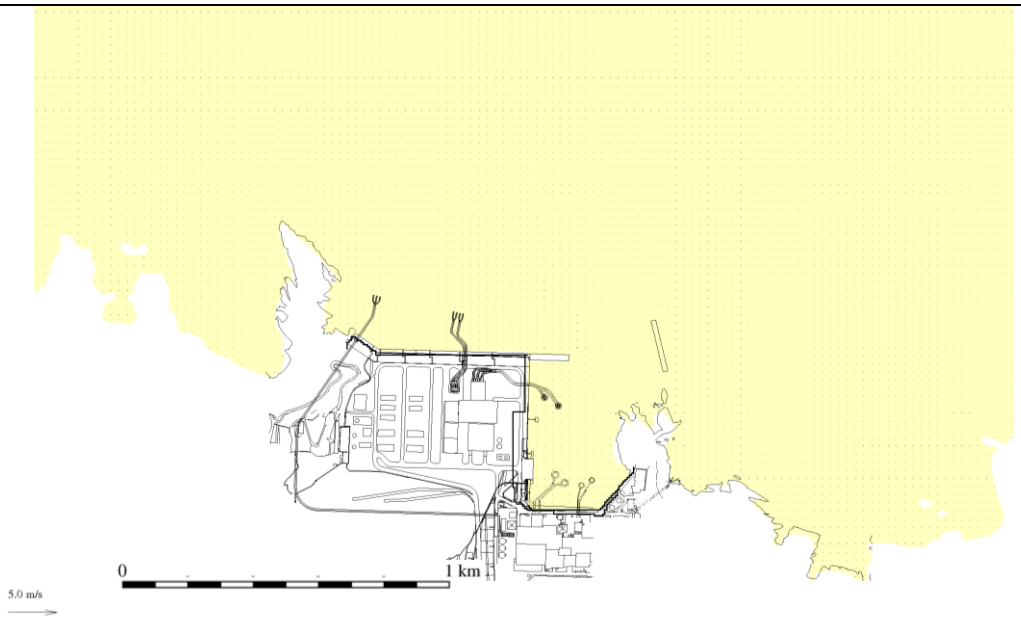
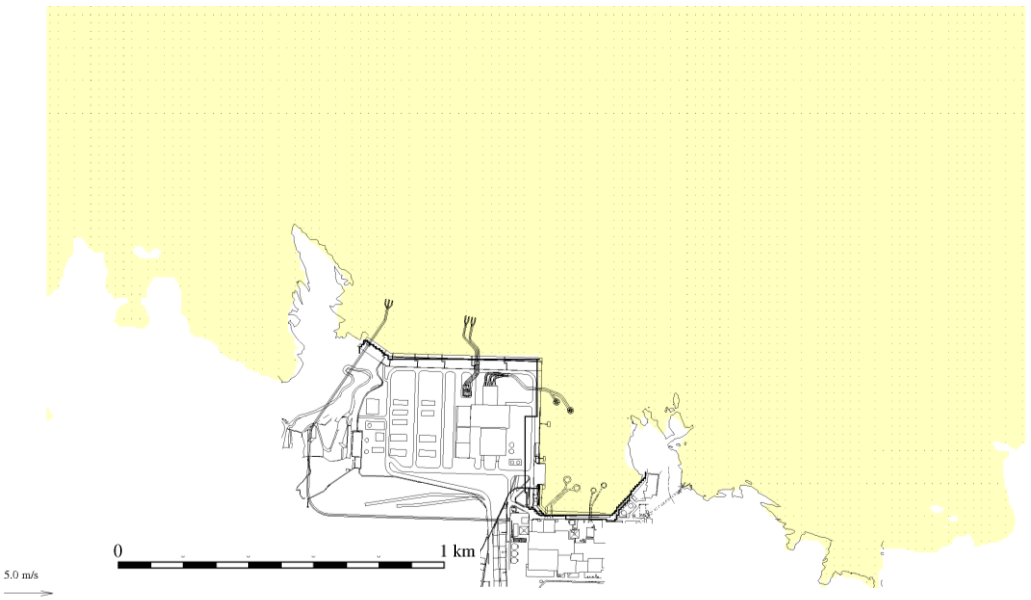
第 1 図(23)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

時間	111 分 30 秒
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

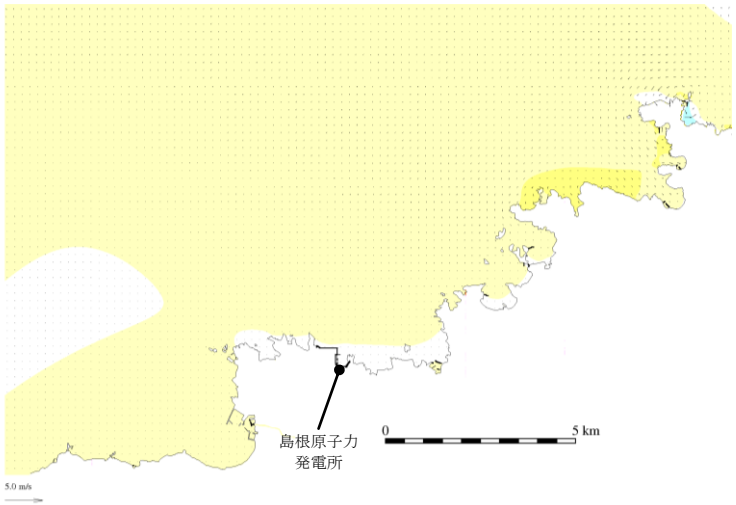
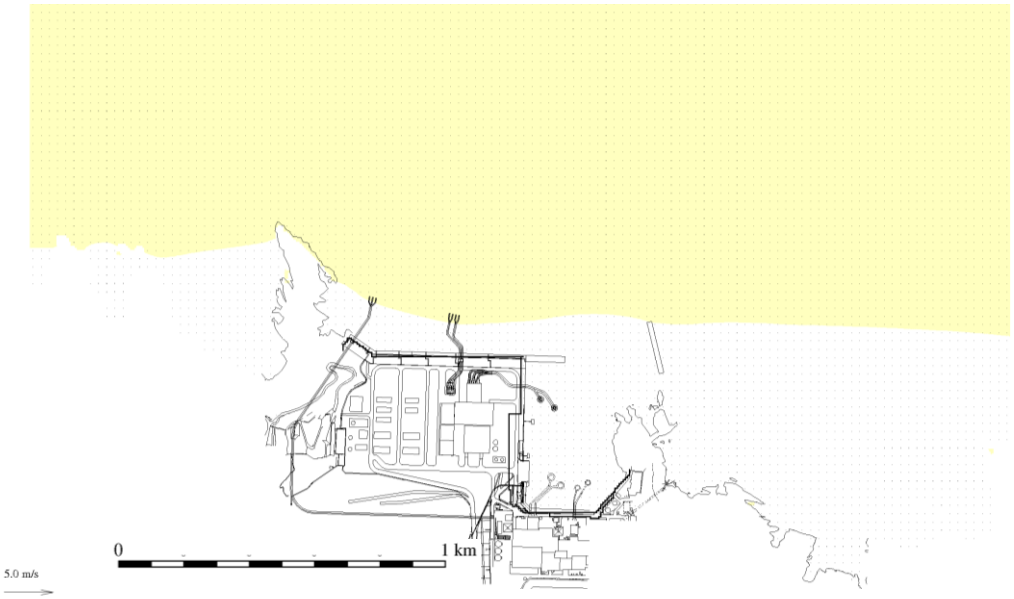
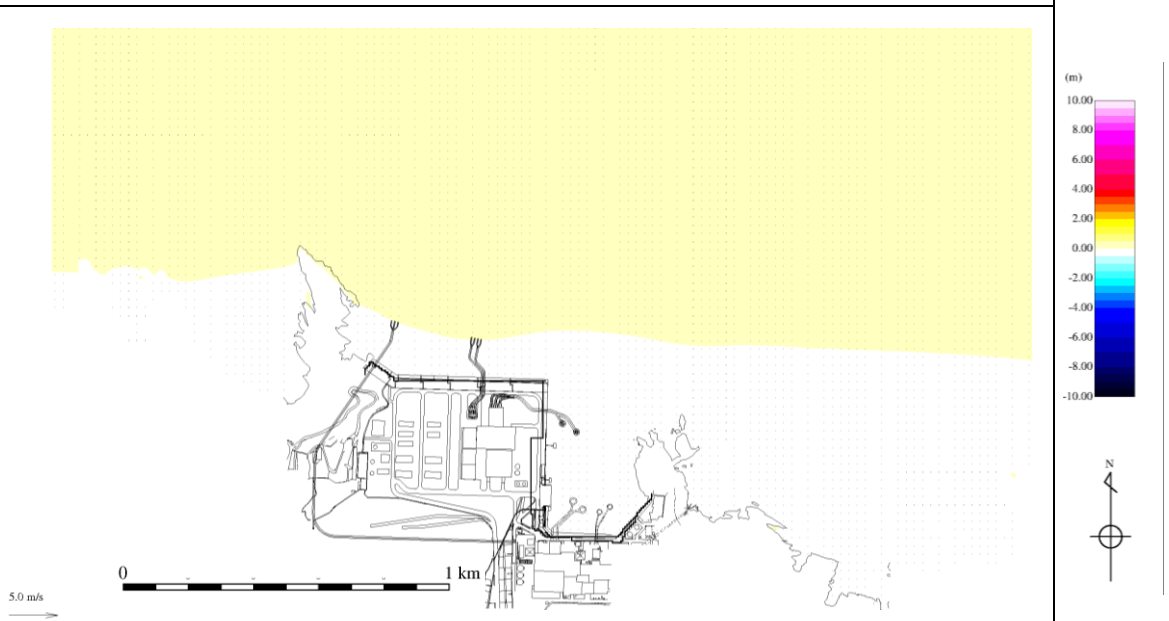
第 1 図(24)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

時間	112 分
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

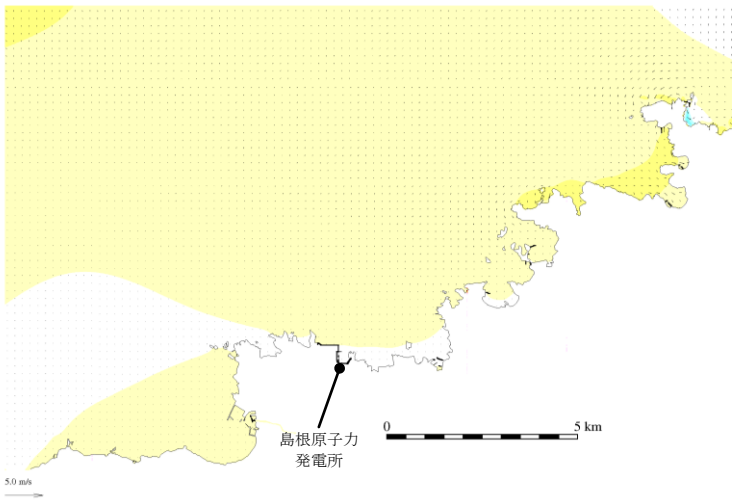
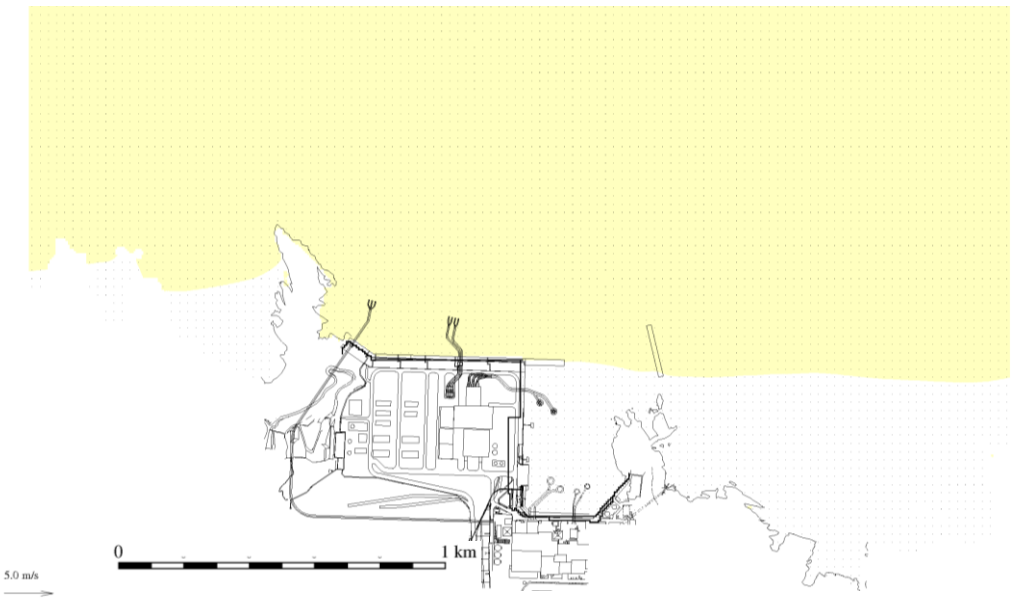
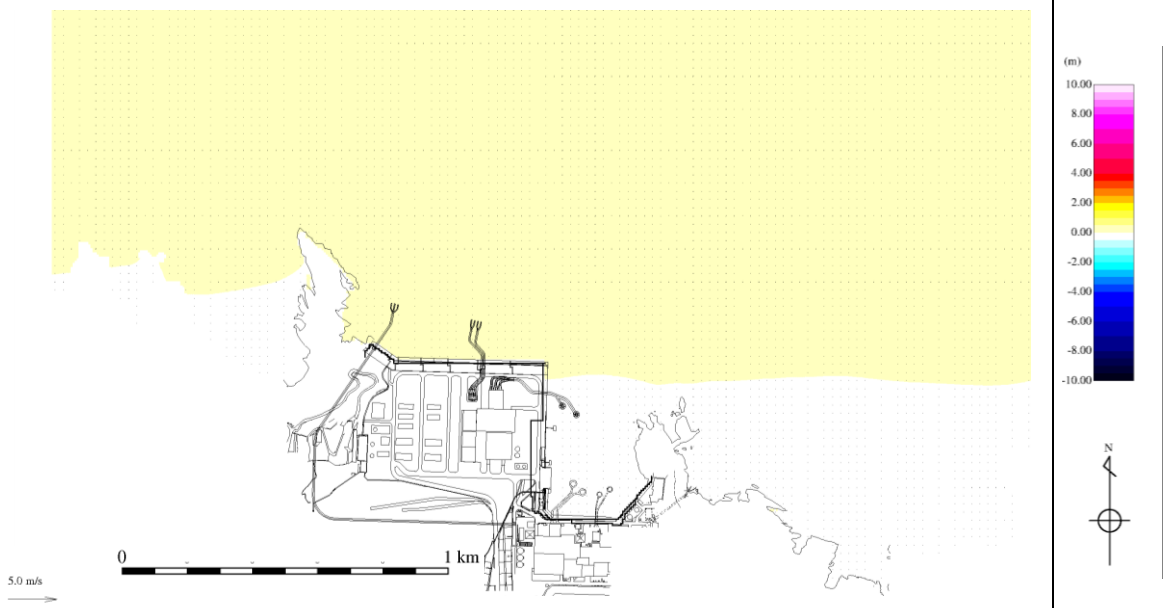
第 1 図(25)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

時間	112 分 30 秒
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

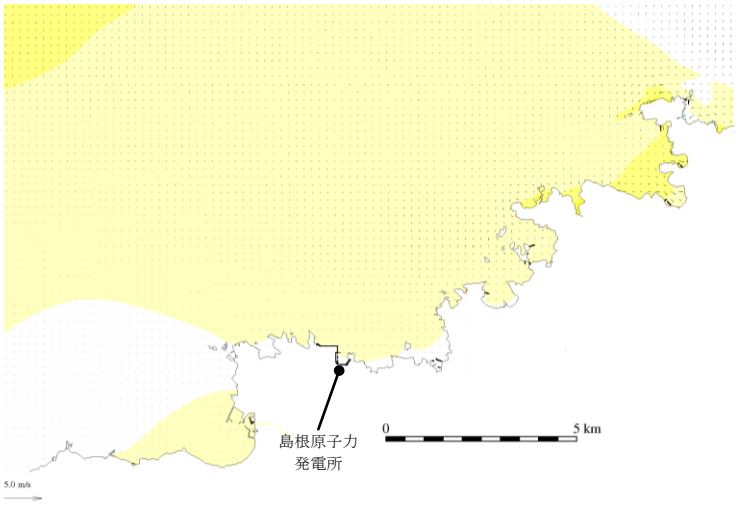
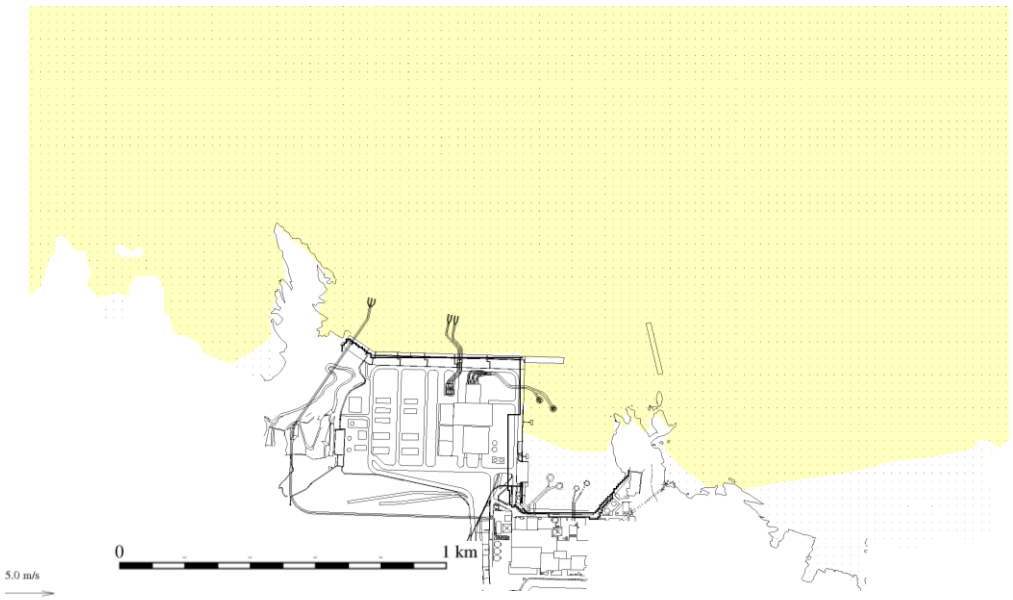
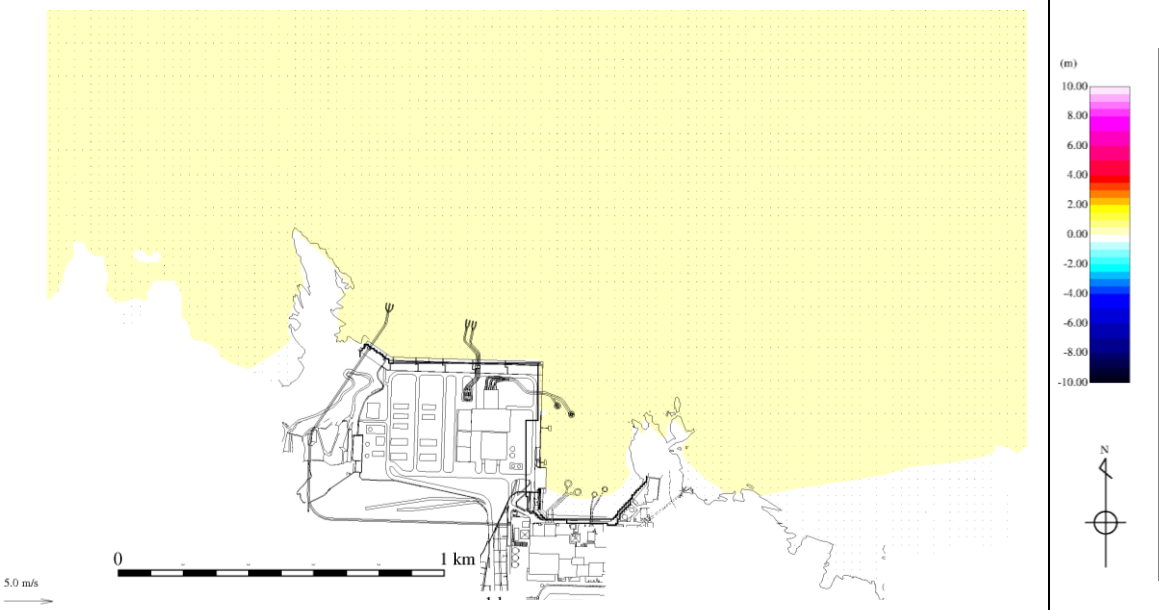
第 1 図(26)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

時間	113 分
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

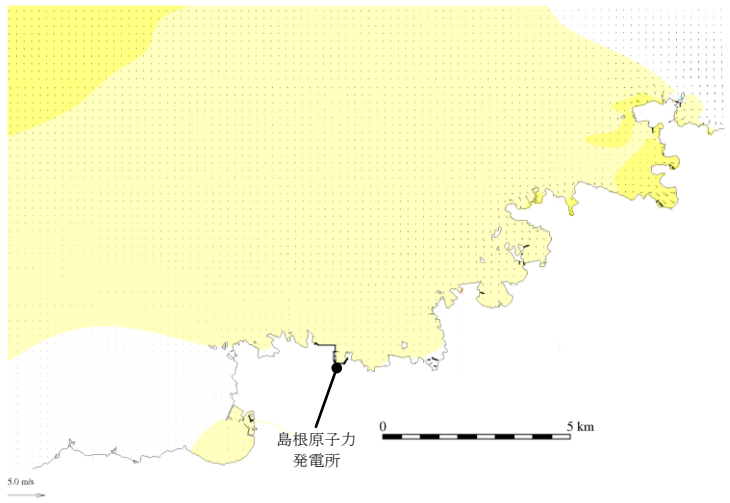
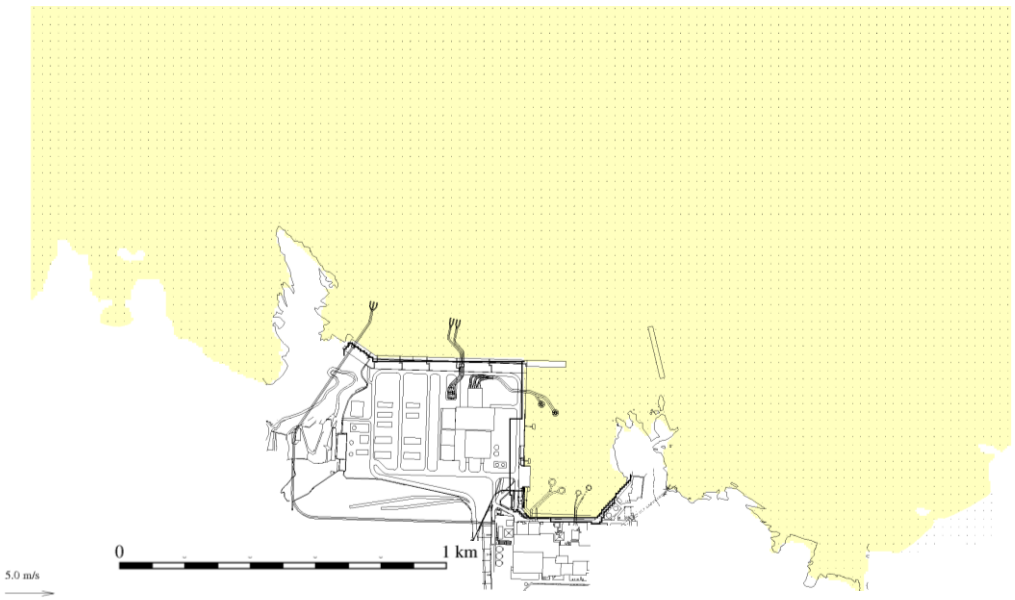
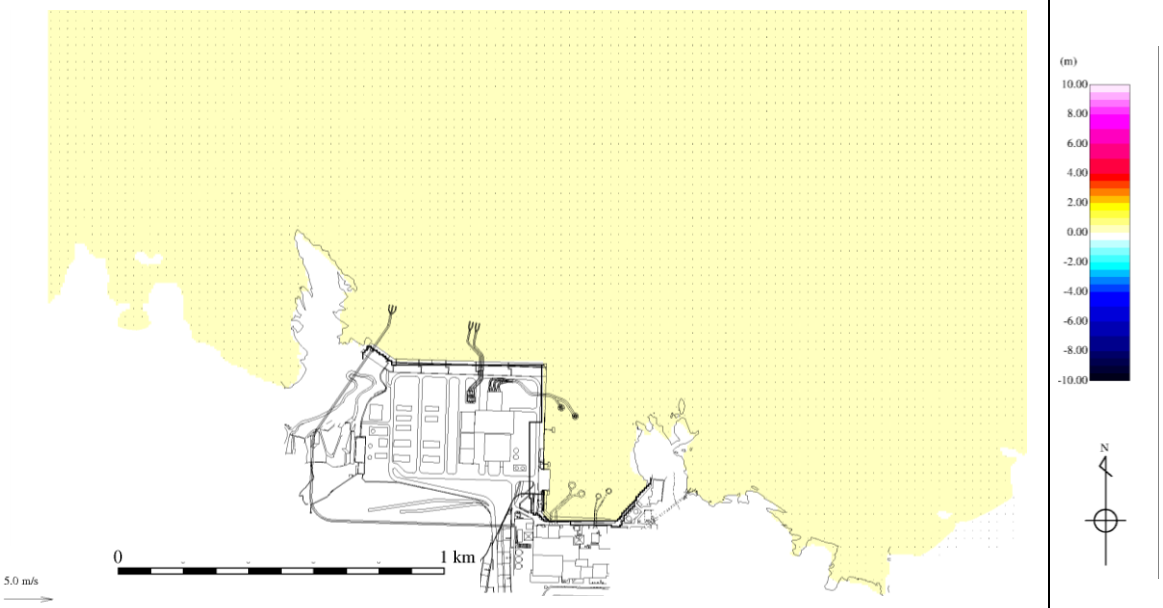
第 1 図(27)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

時間	113 分 30 秒
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

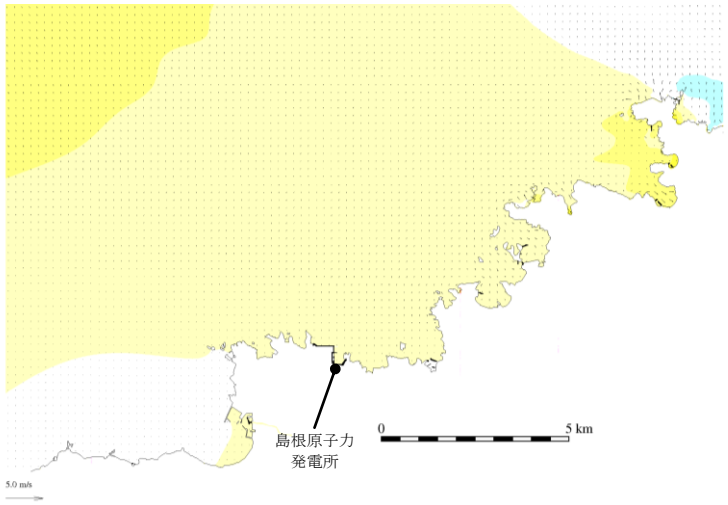
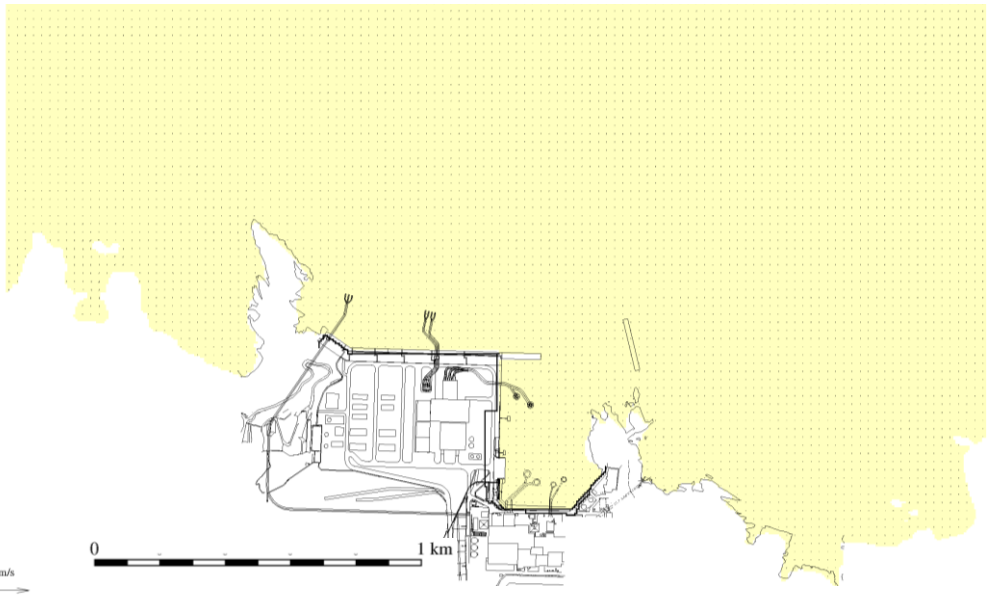
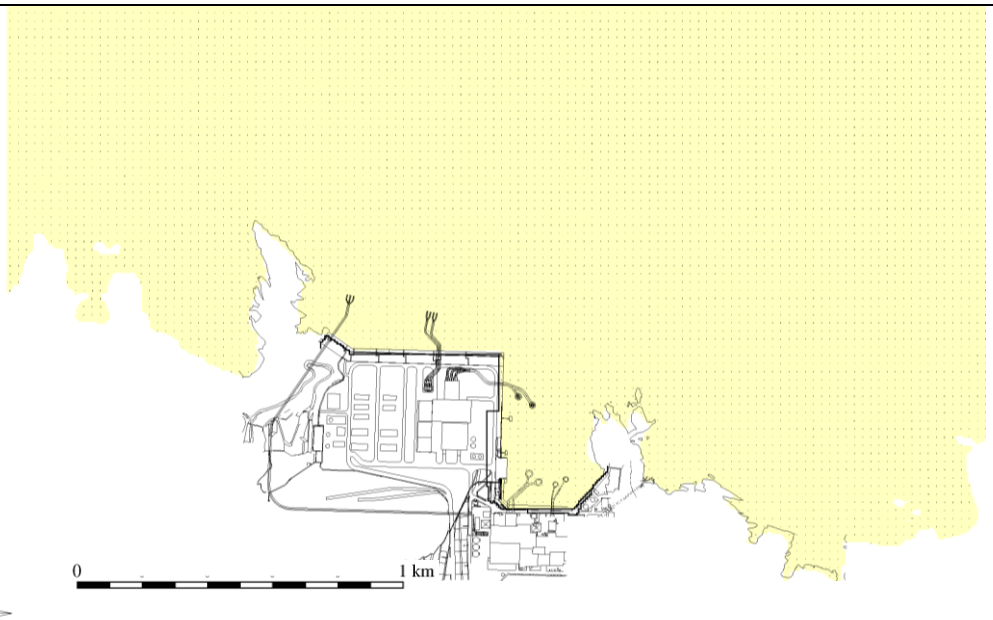
第 1 図(28)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

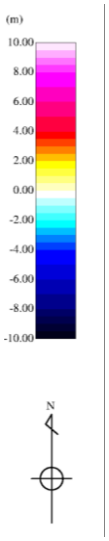
時間	114 分
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

第 1 図(29)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

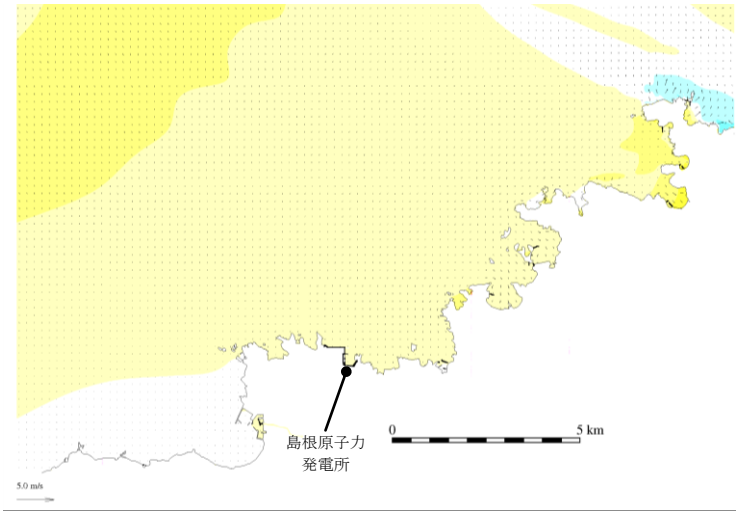
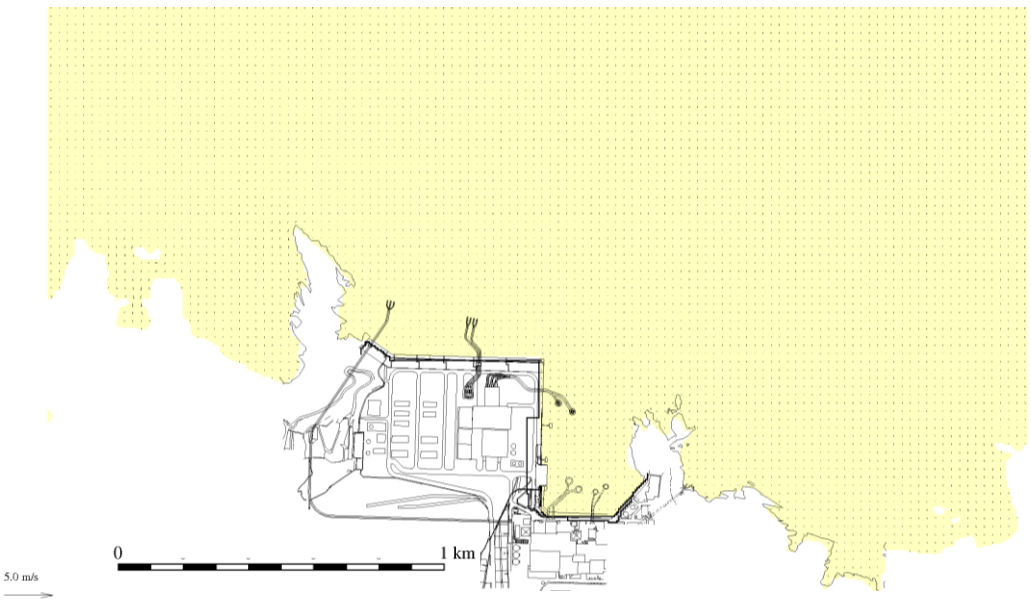
時間	114 分 30 秒
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

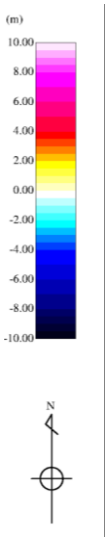
第 1 図(30)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

時間	115 分
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

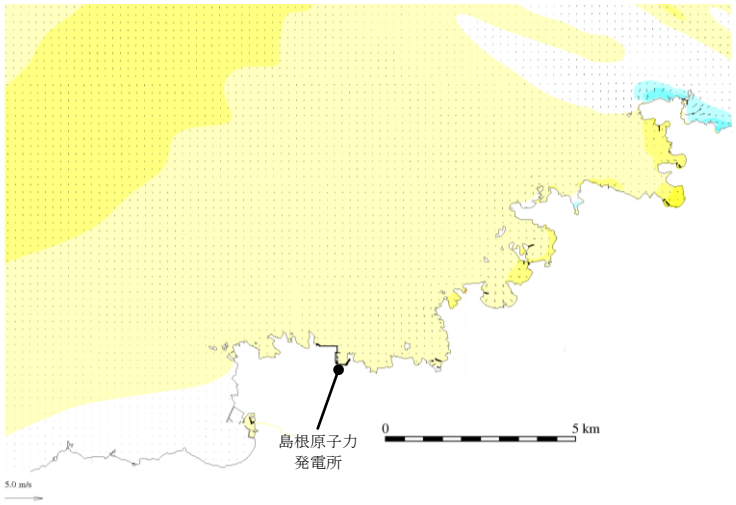
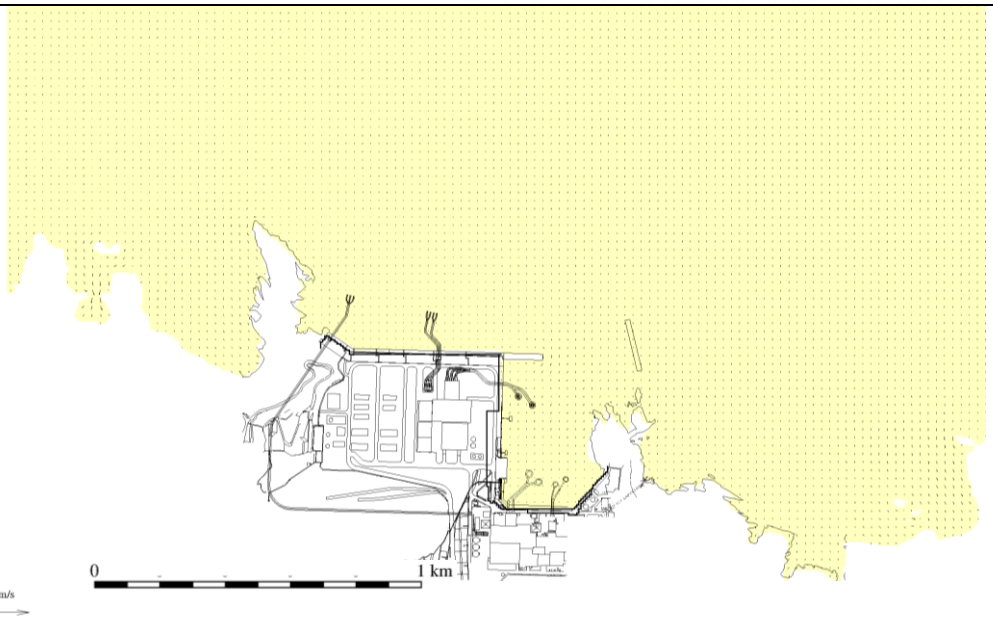
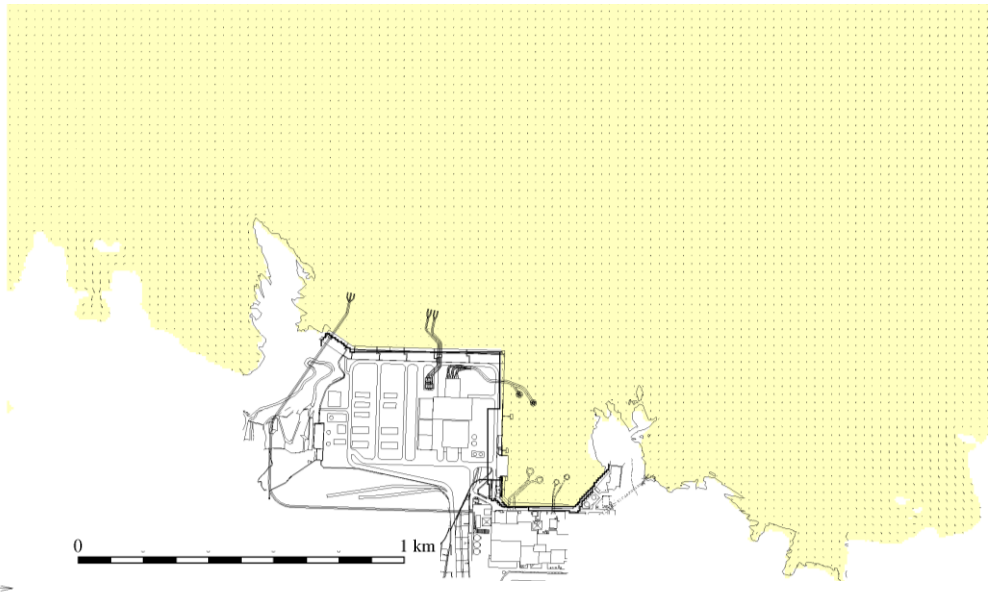


第 1 図(31)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

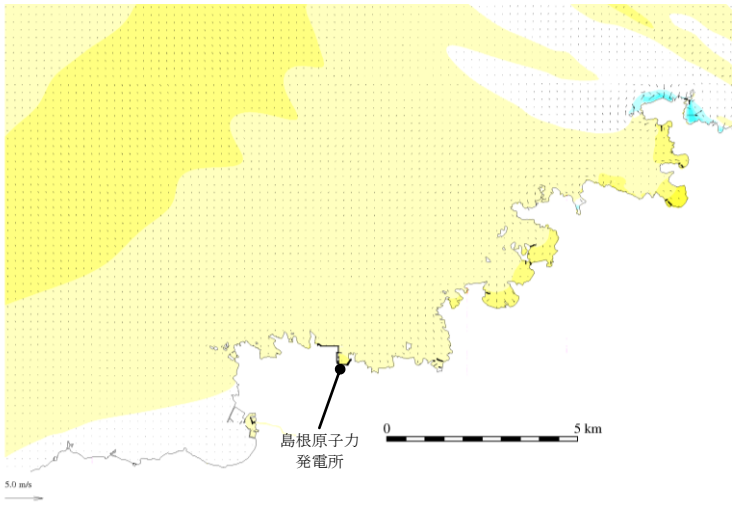
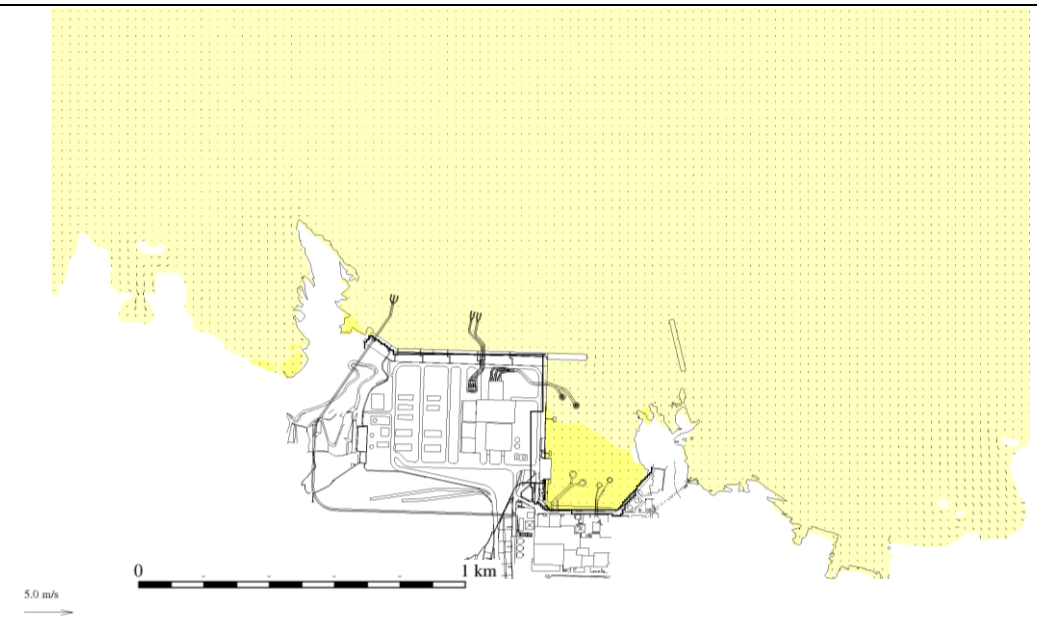
時間	115 分 30 秒
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	



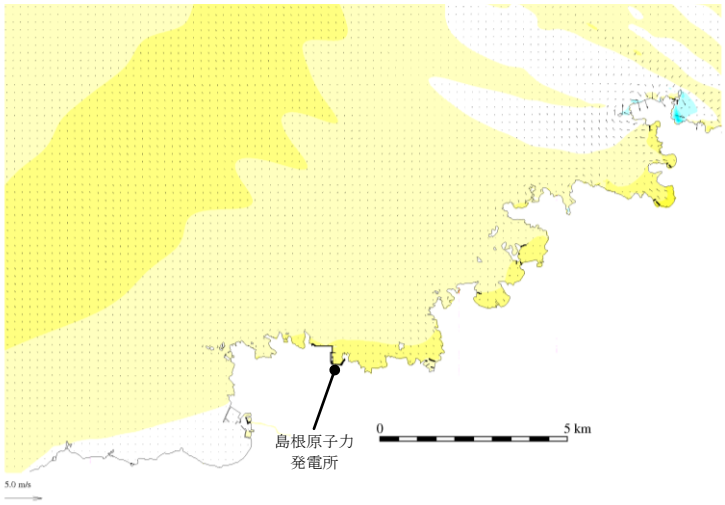
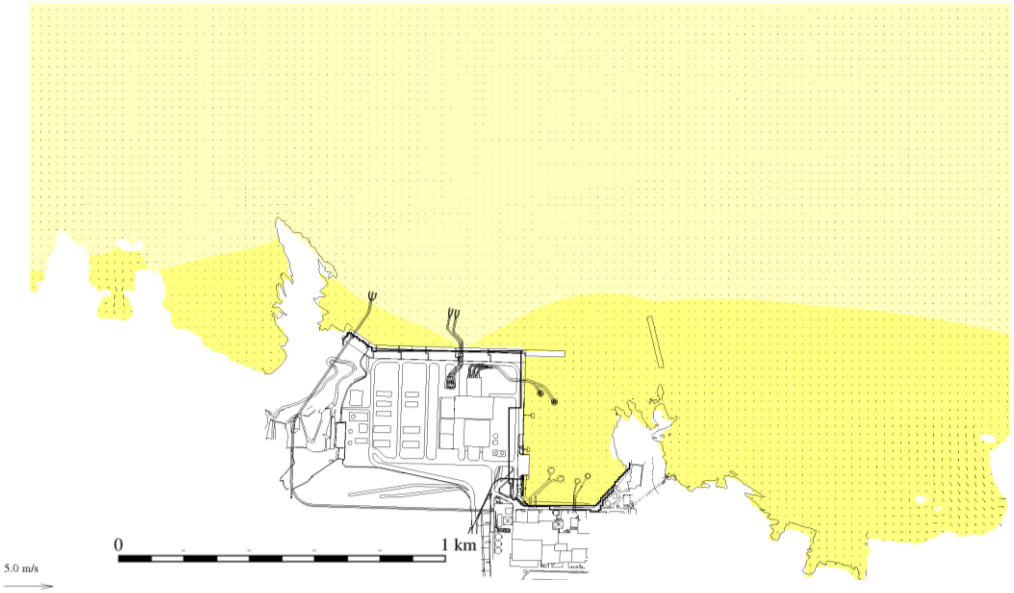
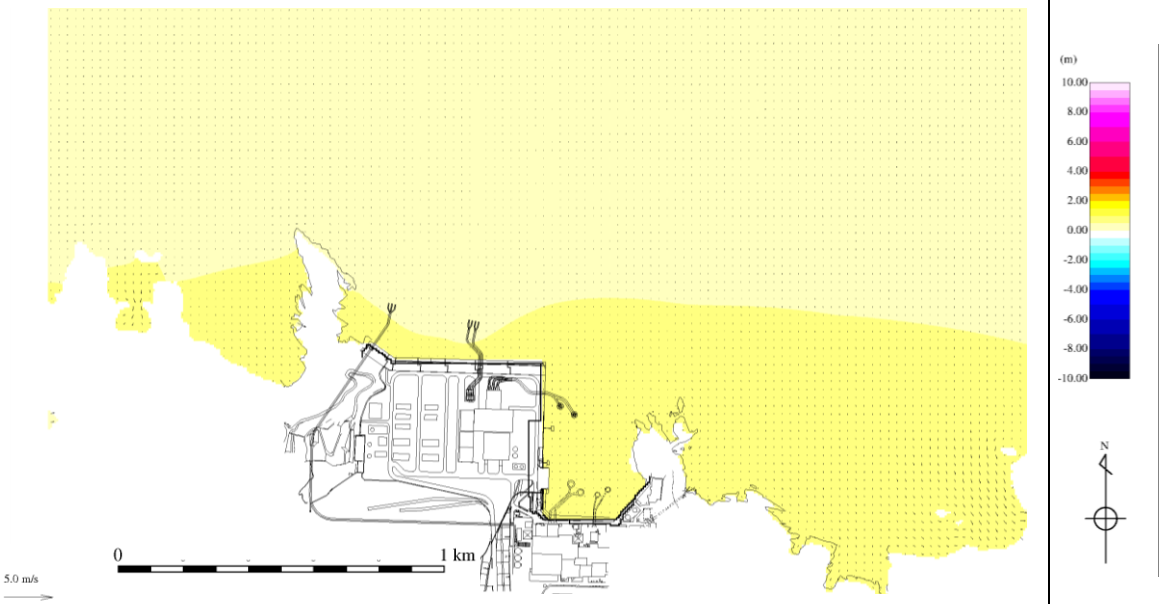
第 1 図(32)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

時間	116 分
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

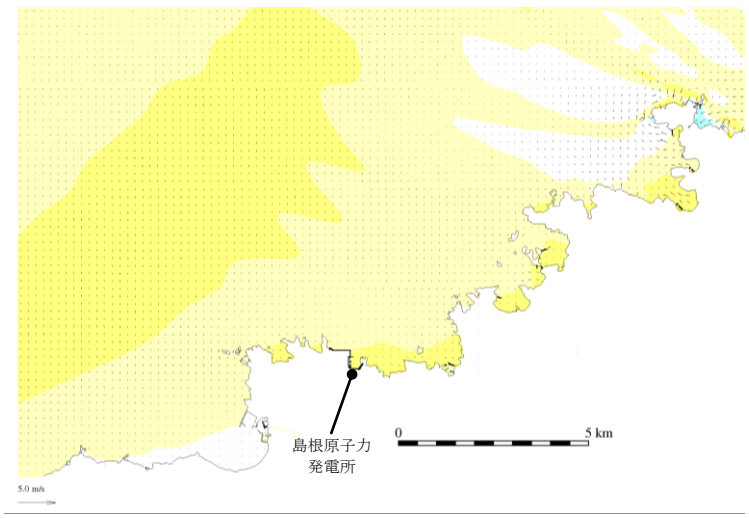
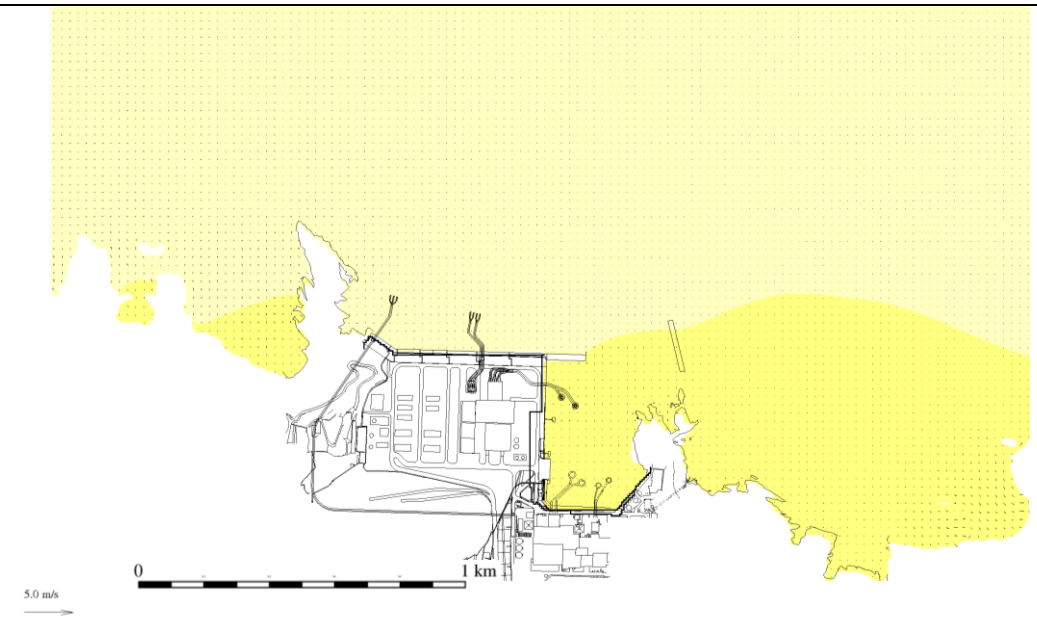
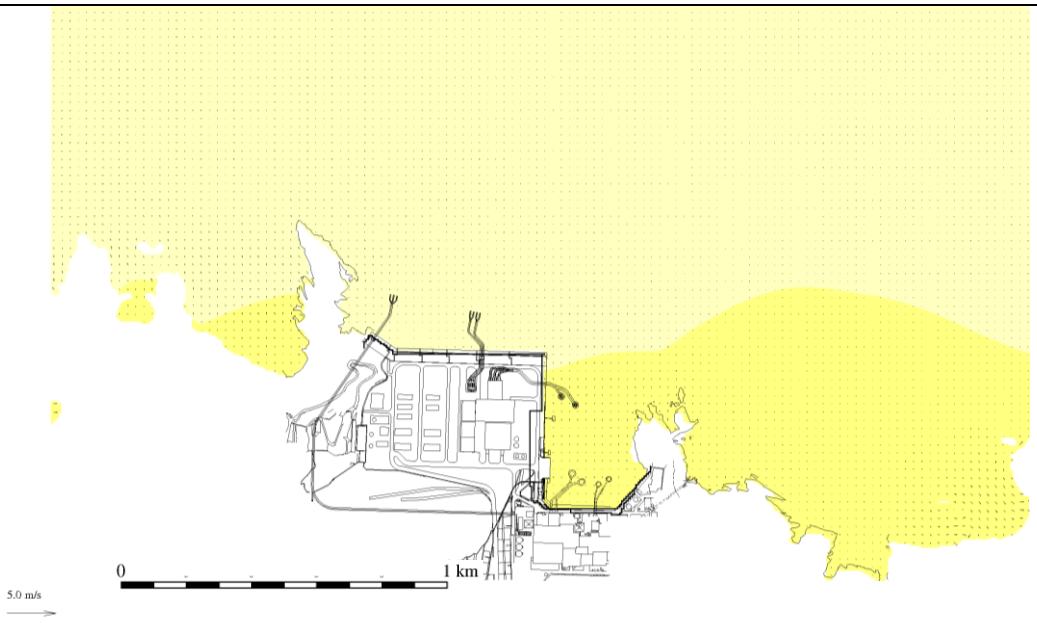
第 1 図(33)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

時間	116 分 30 秒
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

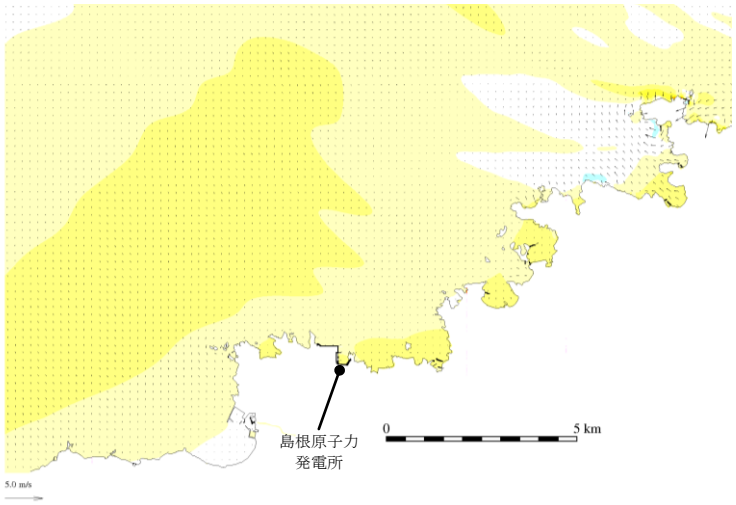
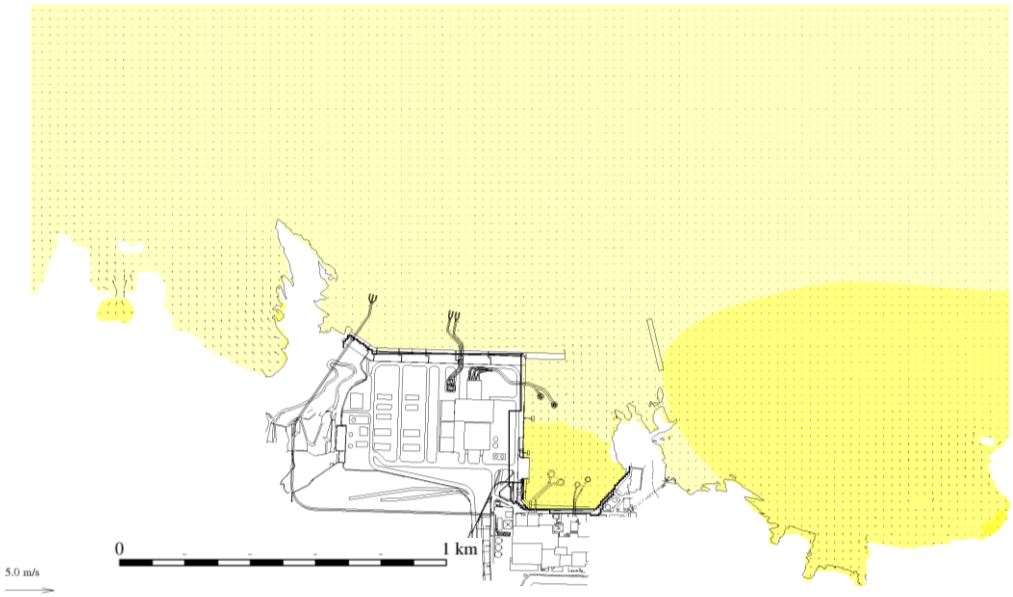
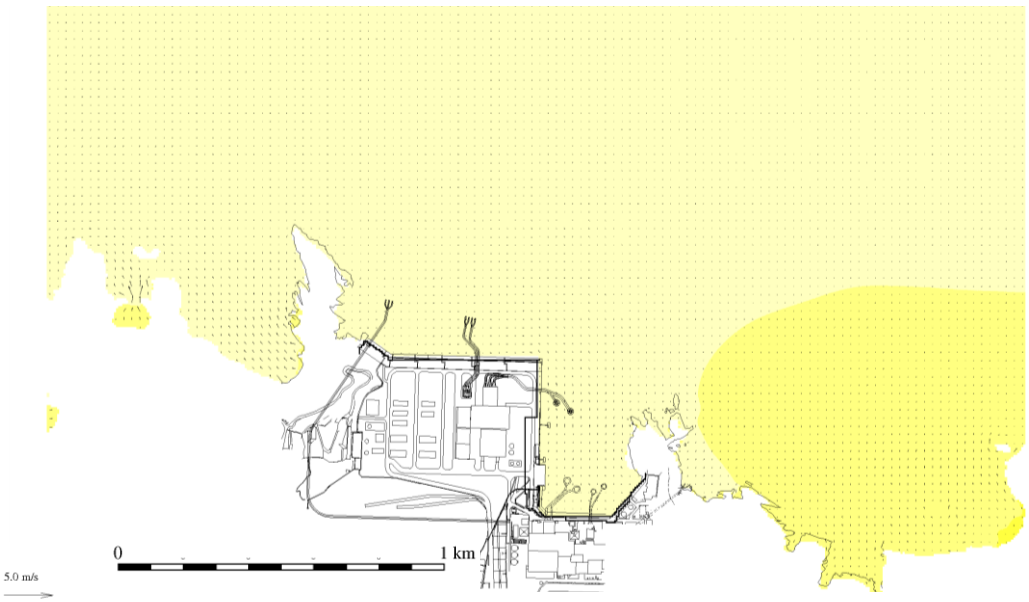
第 1 図(34)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

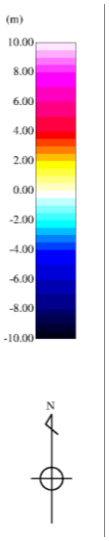
時間	117 分
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

第 1 図(35)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

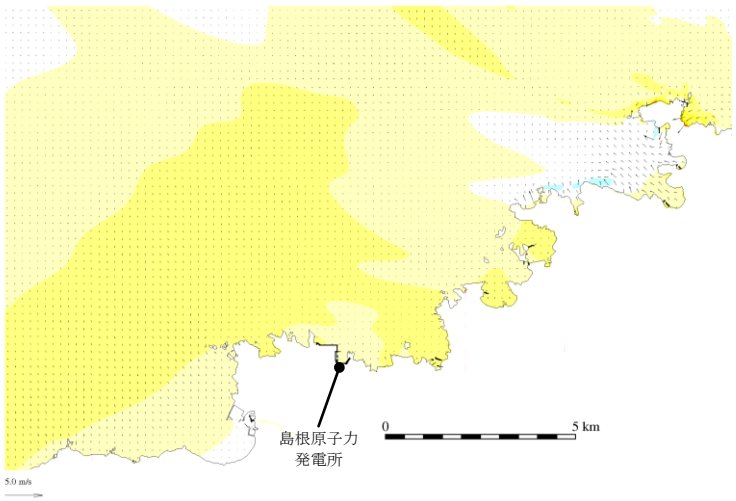
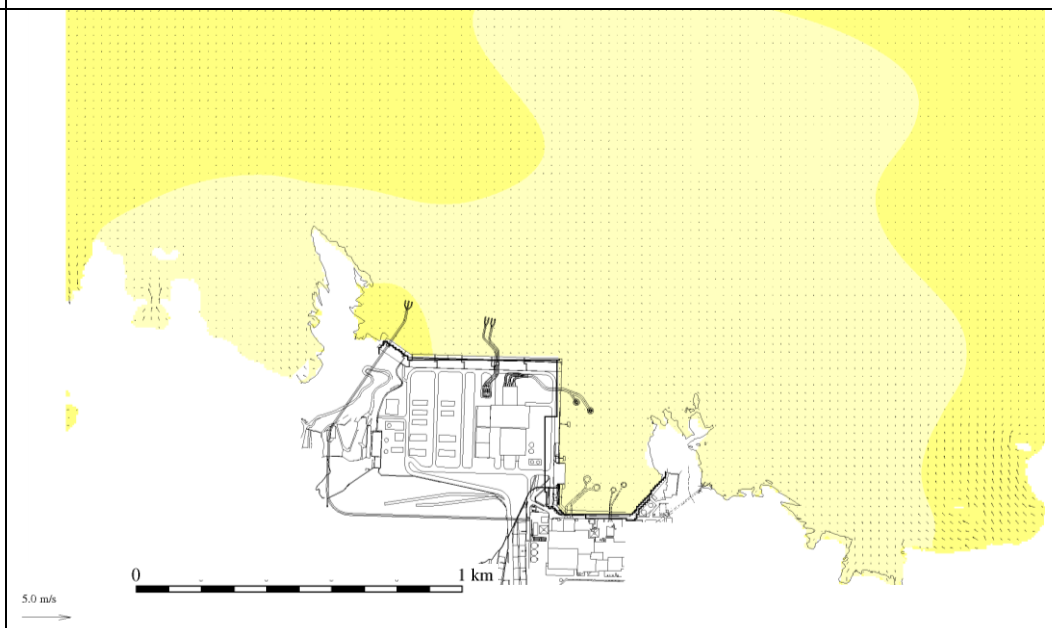
時間	117 分 30 秒
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

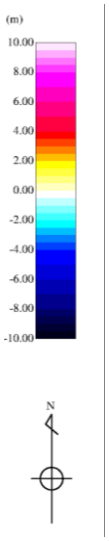
第 1 図(36)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

時間	118 分
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

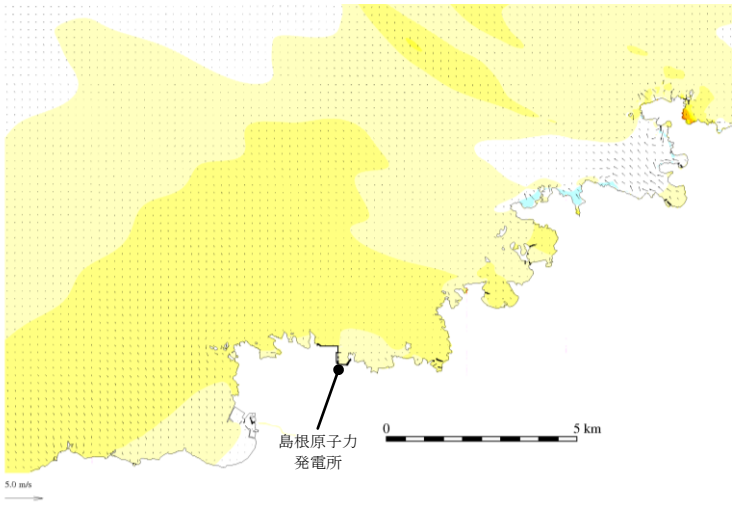
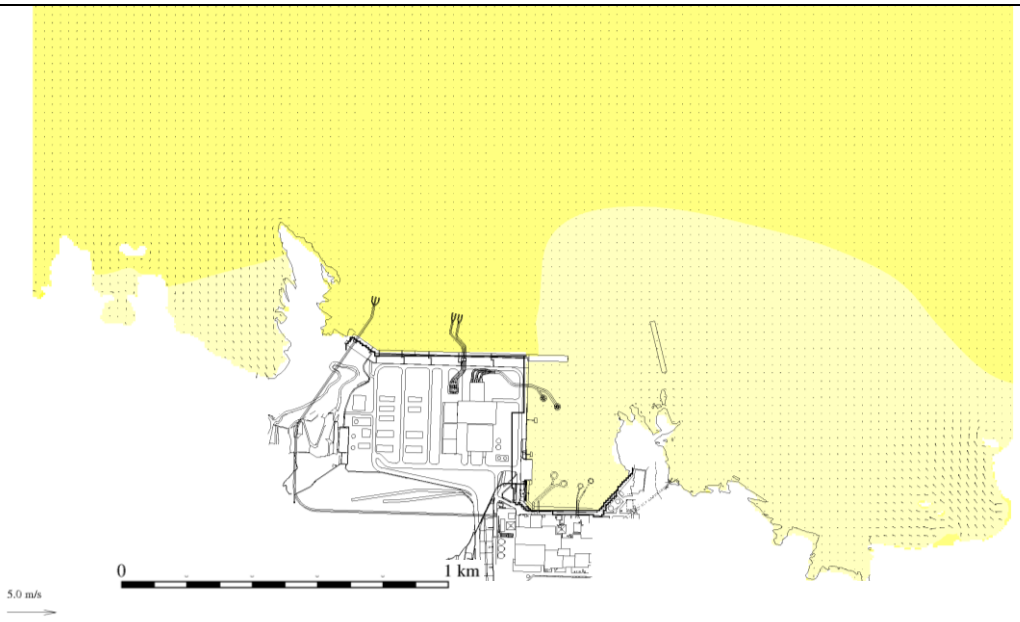
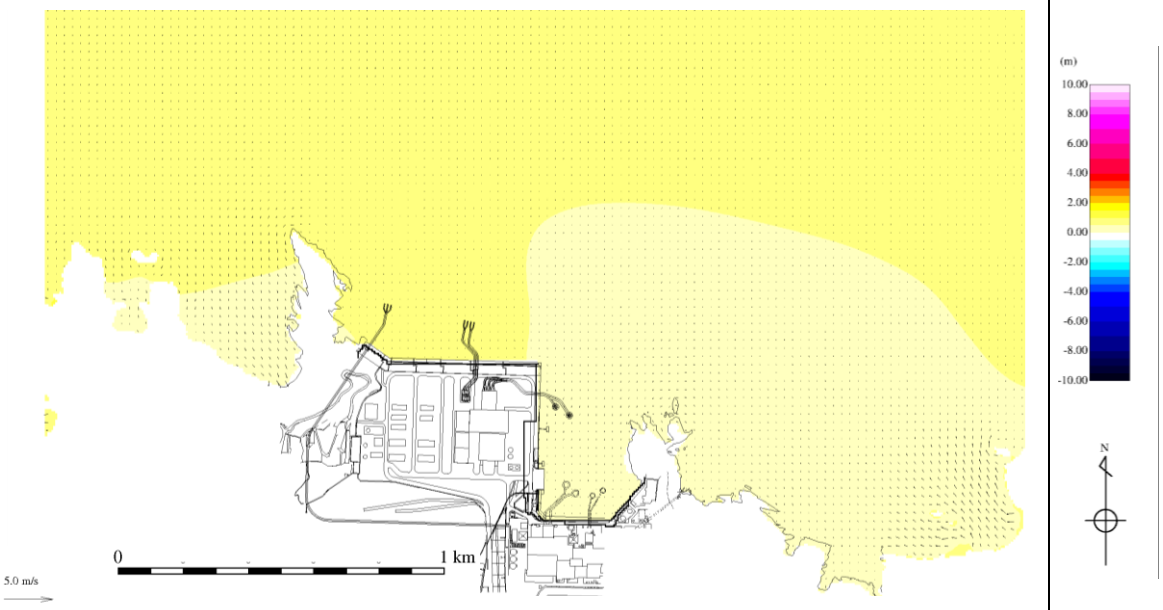


第 1 図(37)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

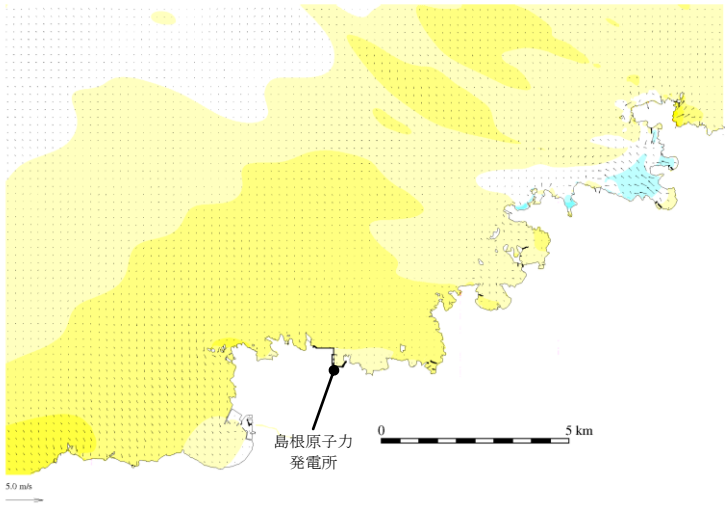
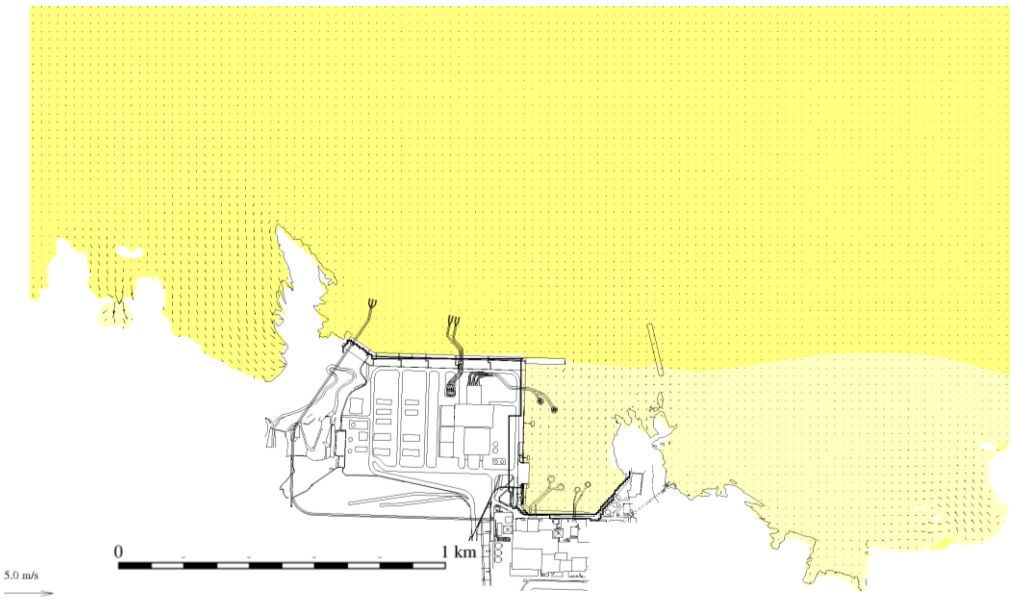
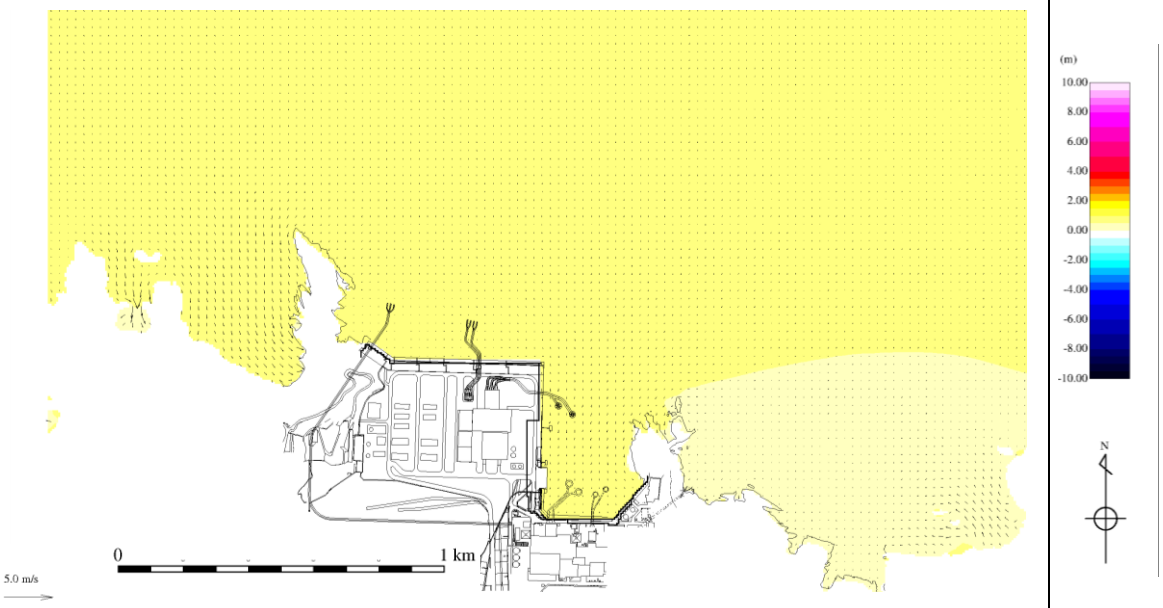
時間	118 分 30 秒
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	



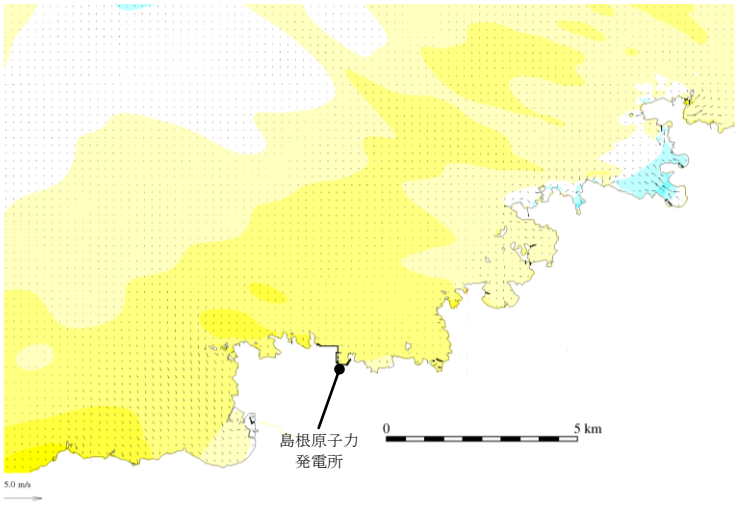
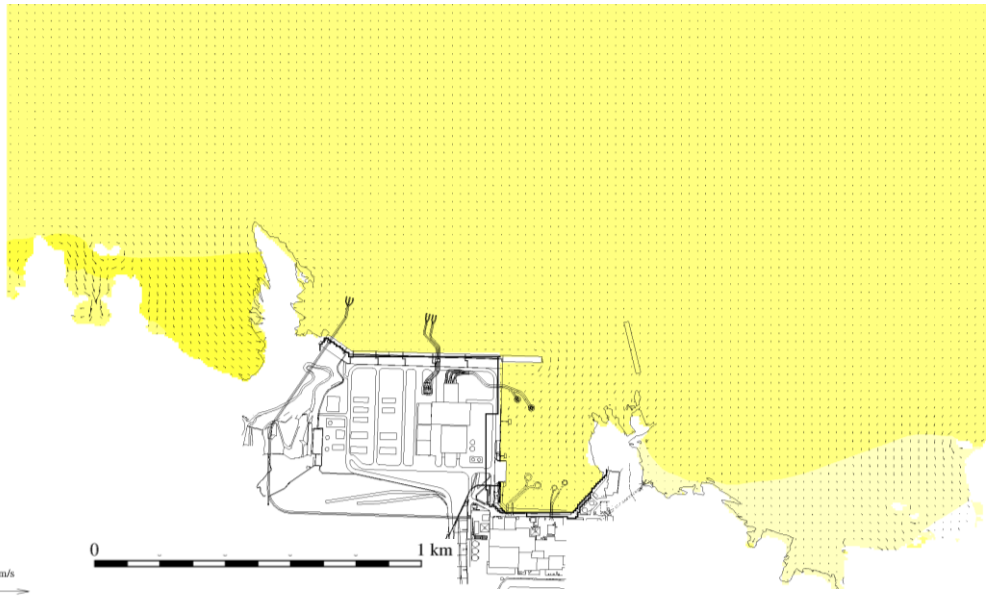
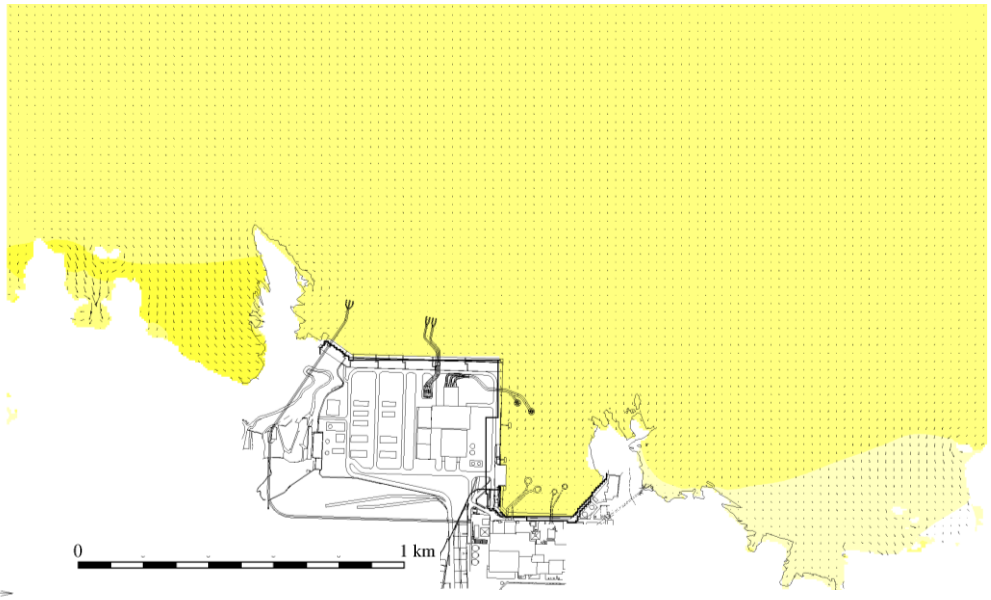
第 1 図(38)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

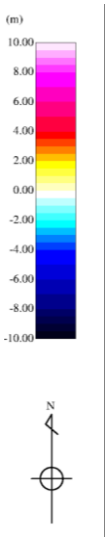
時間	119 分
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

第 1 図(39)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

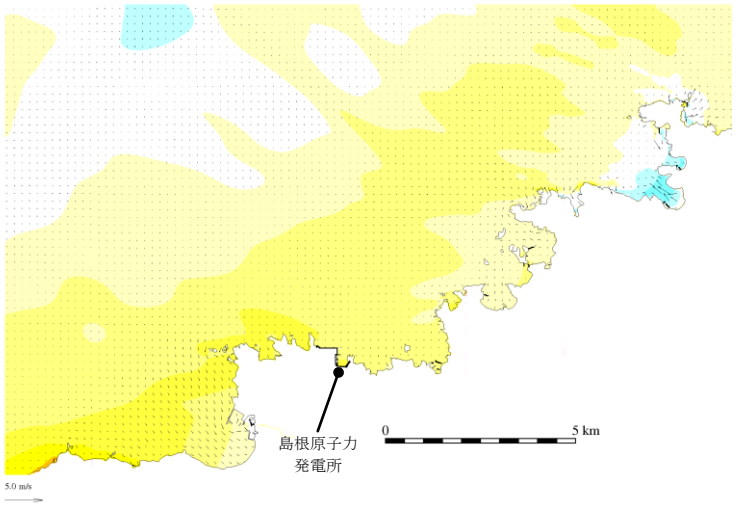
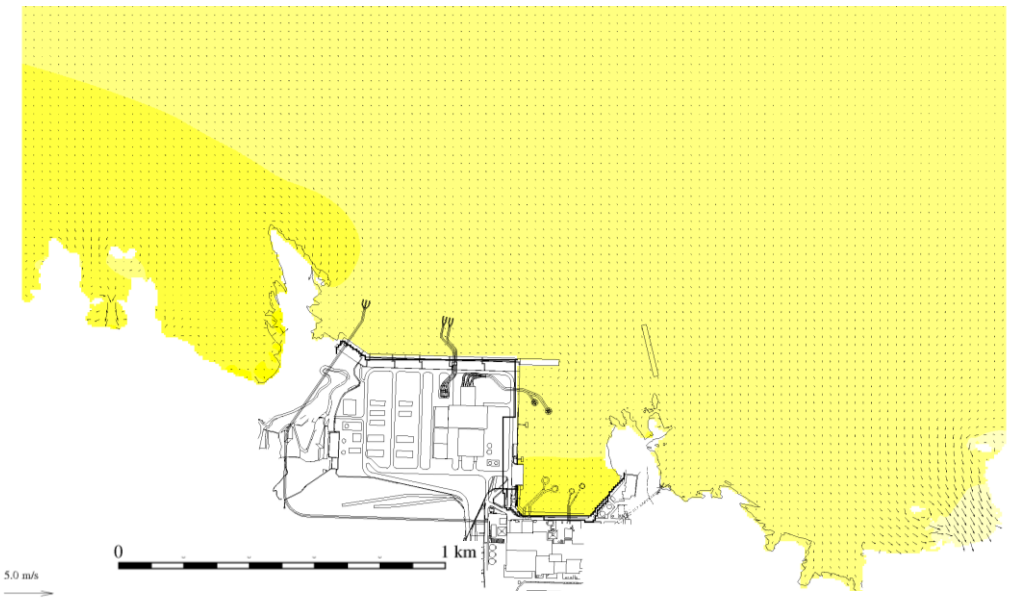
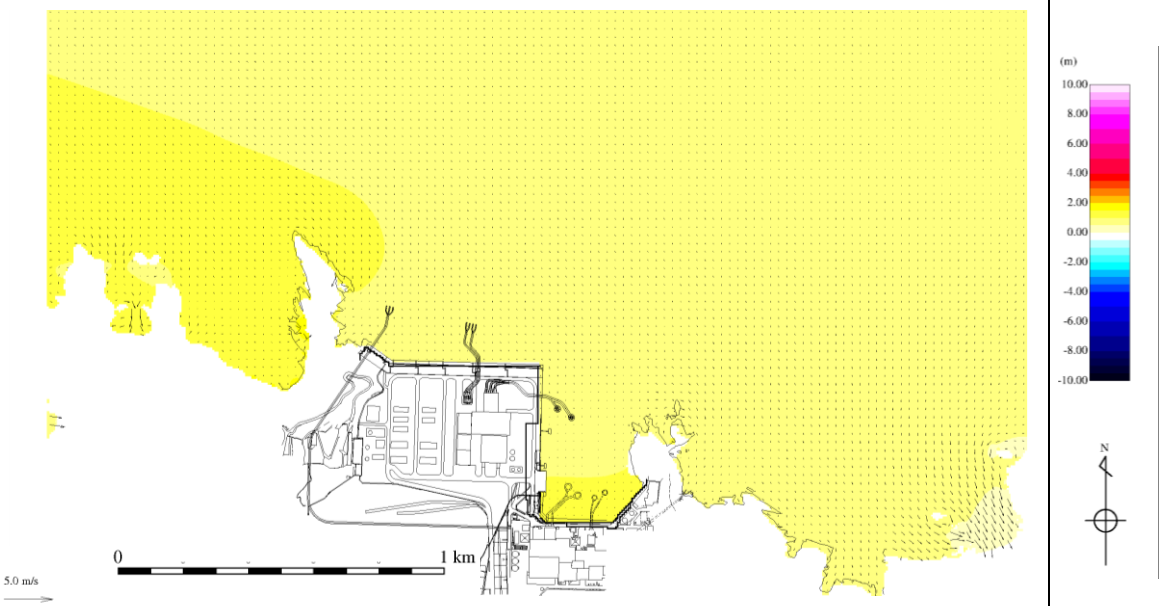
時間	119 分 30 秒
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

第 1 図(40)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

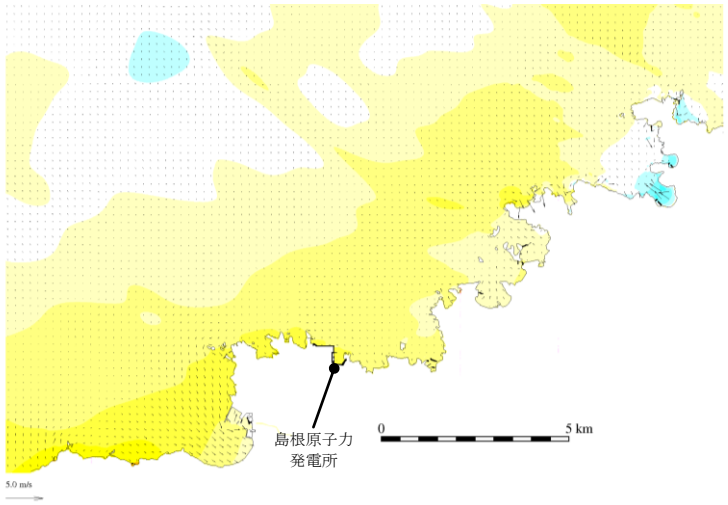
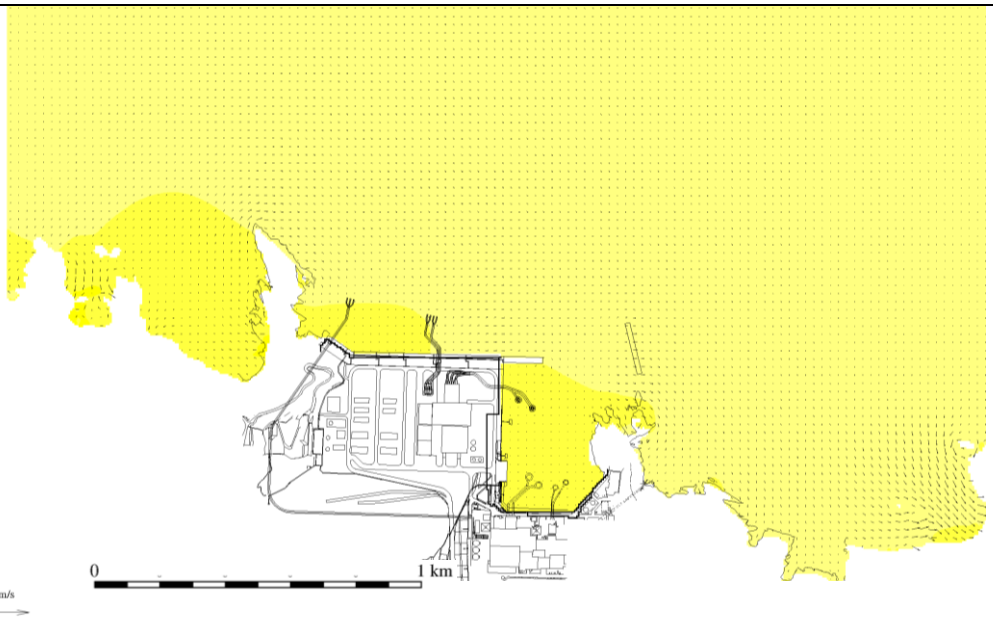
時間	120 分
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	



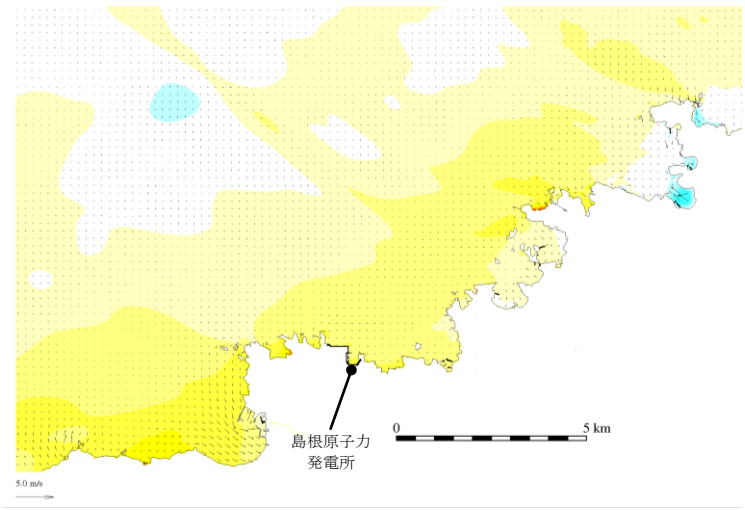
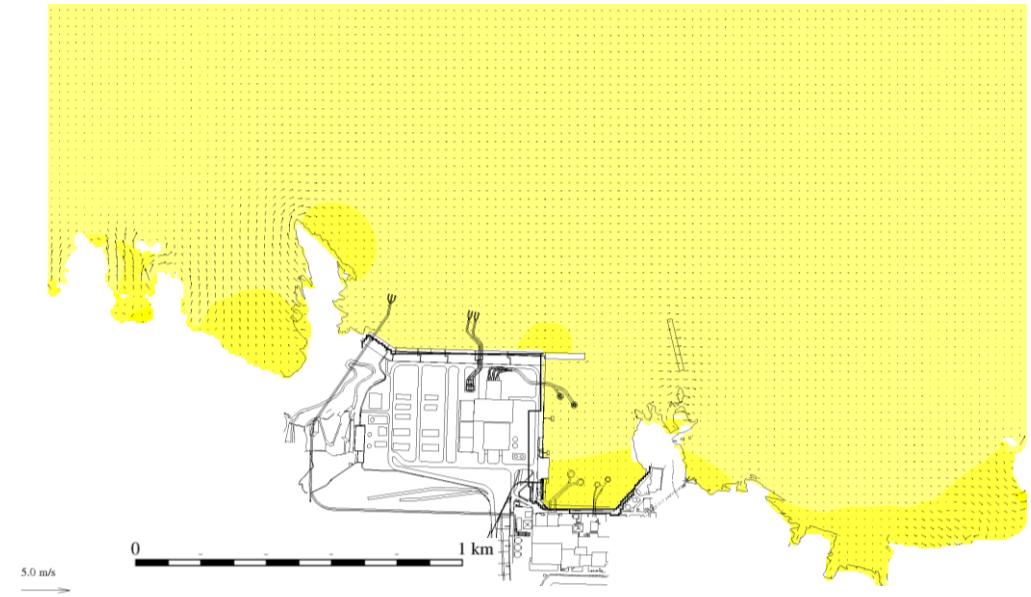
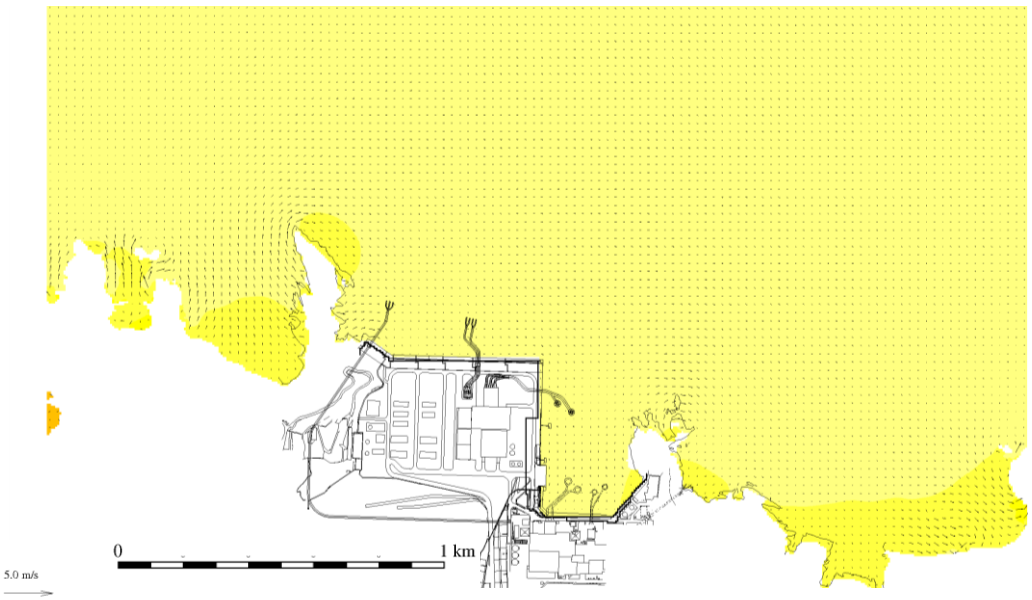
第 1 図(41)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

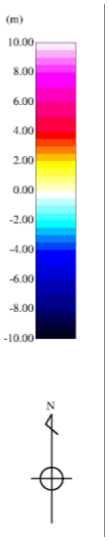
時間	120 分 30 秒
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

第 1 図(42)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

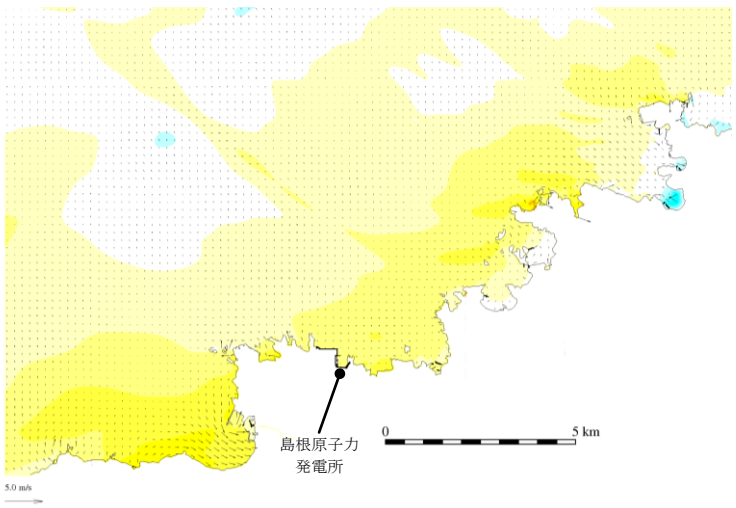
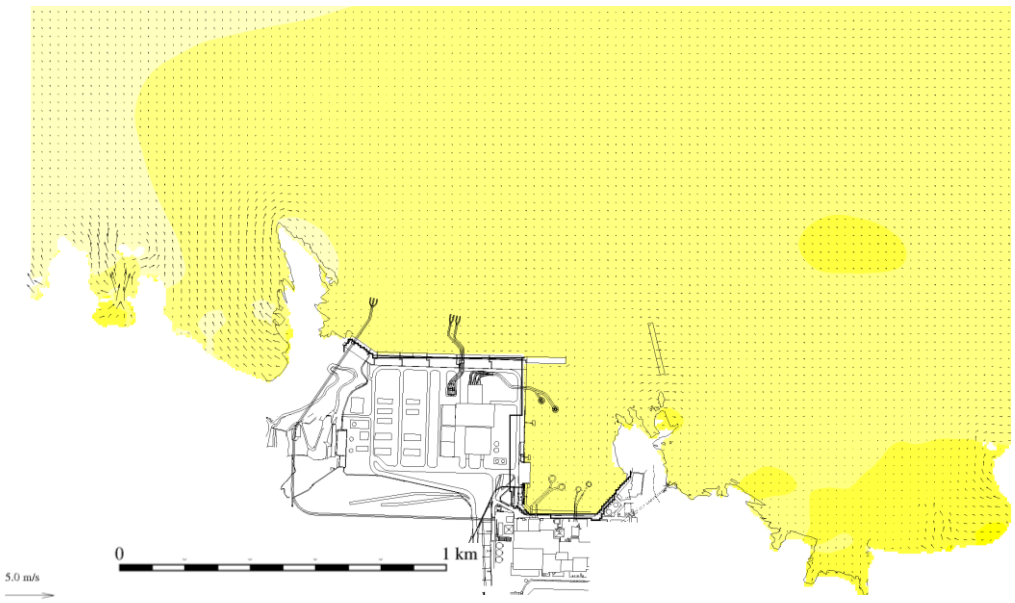
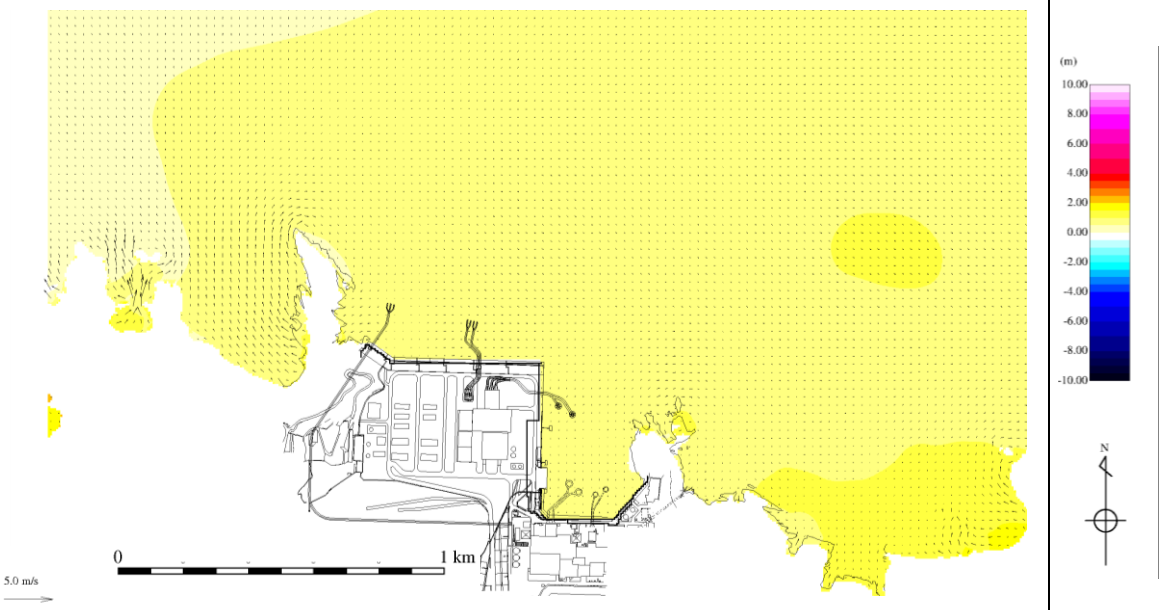
時間	121 分
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

第 1 図(43)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

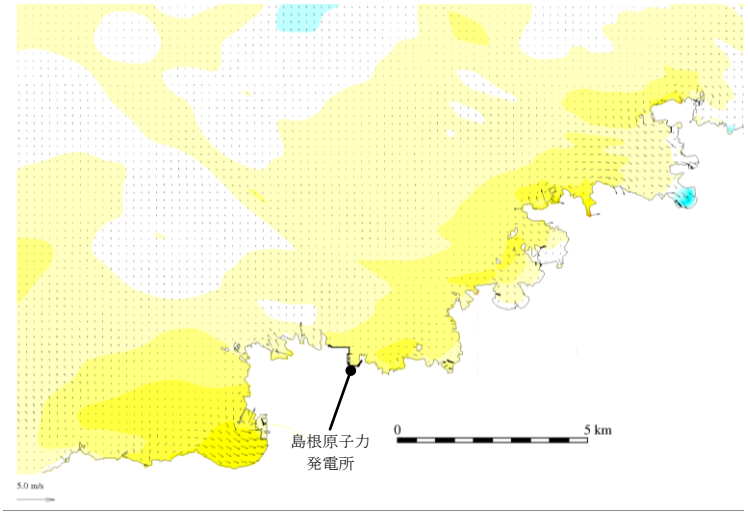
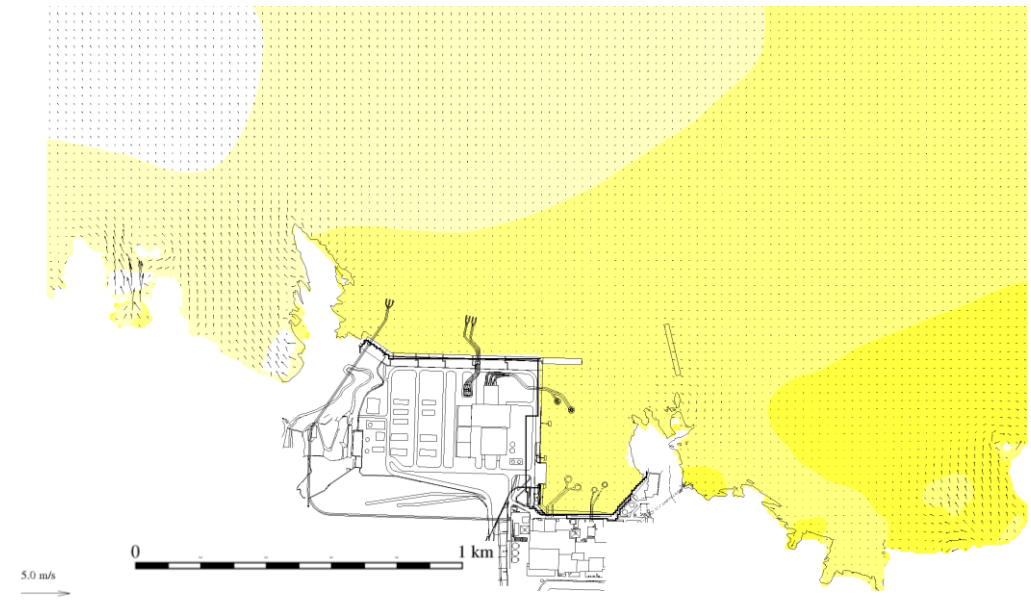
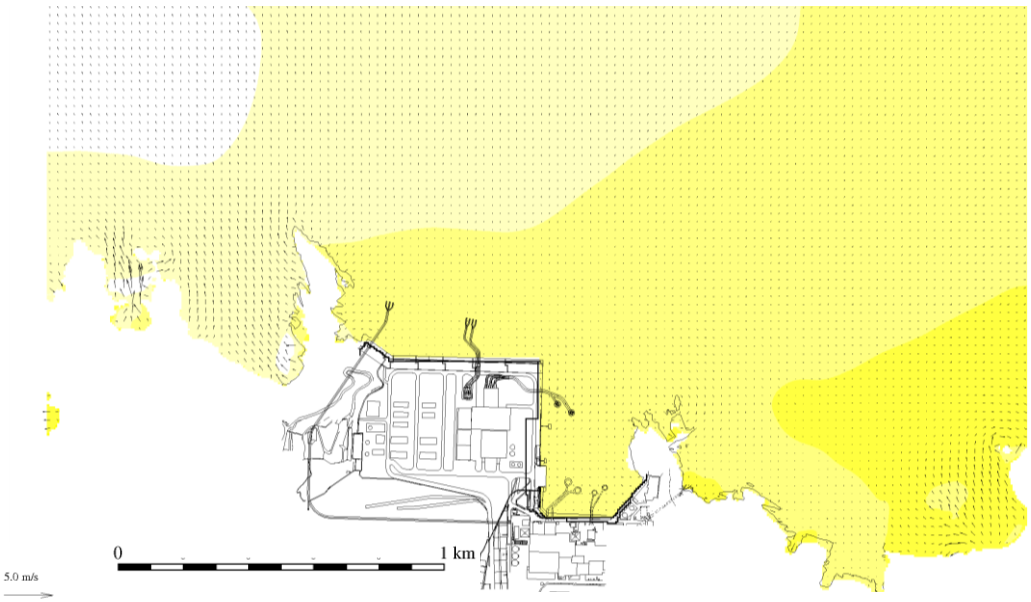
時間	121 分 30 秒
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	



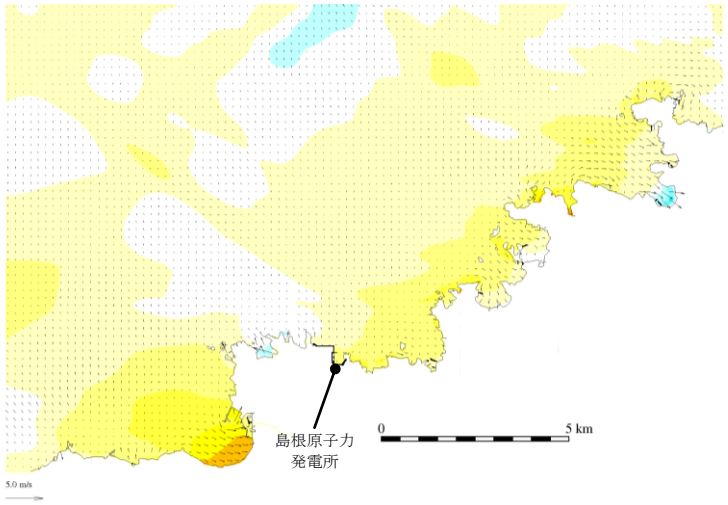
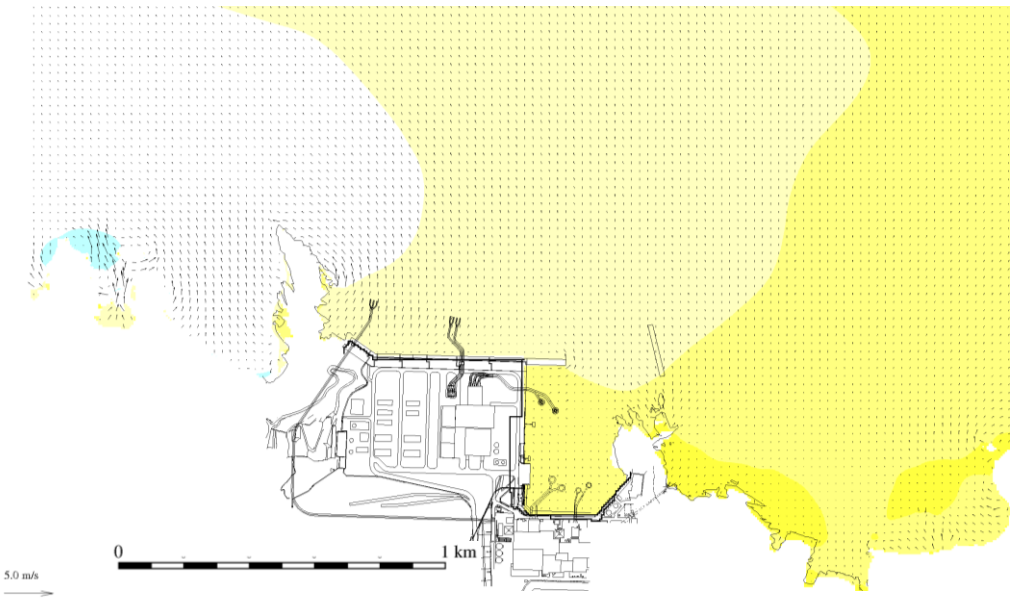
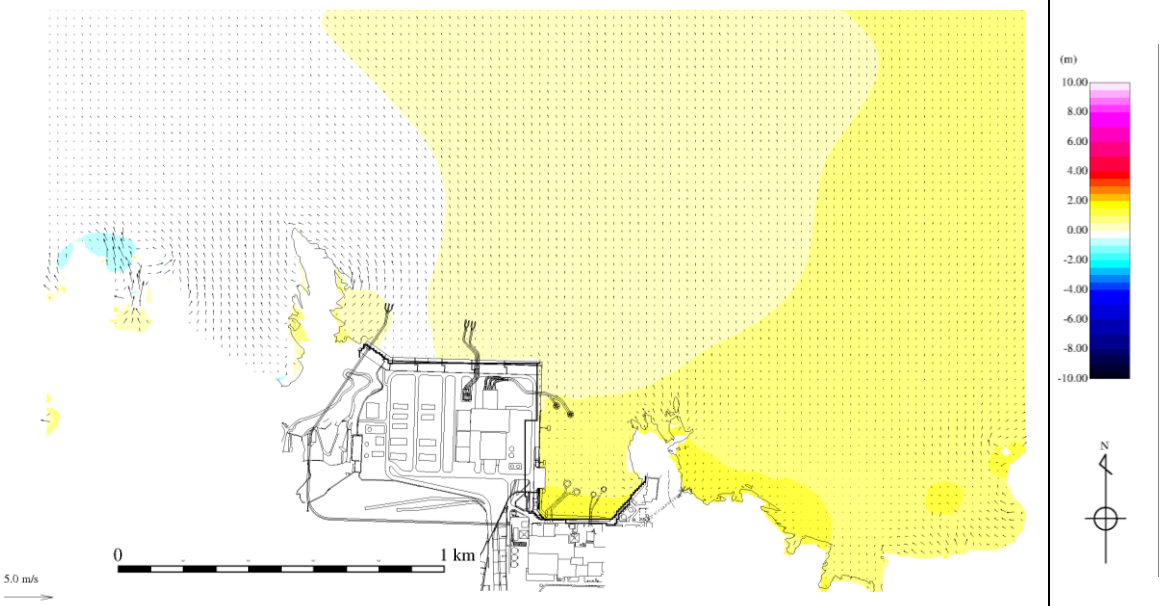
第 1 図(44)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

時間	122 分
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

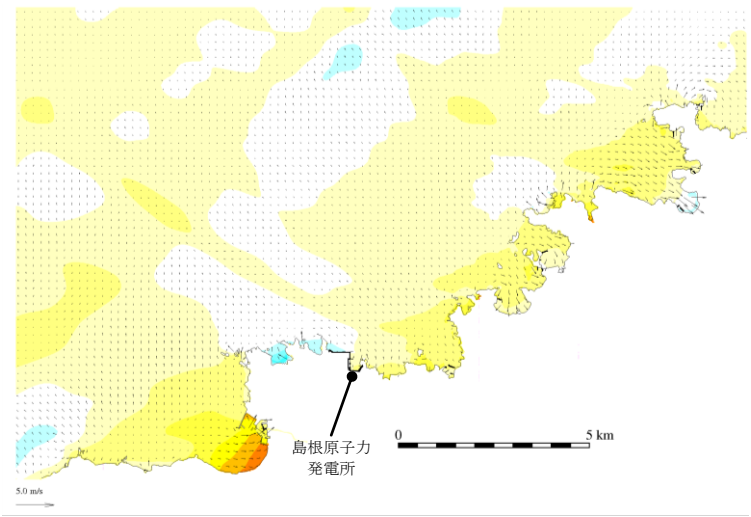
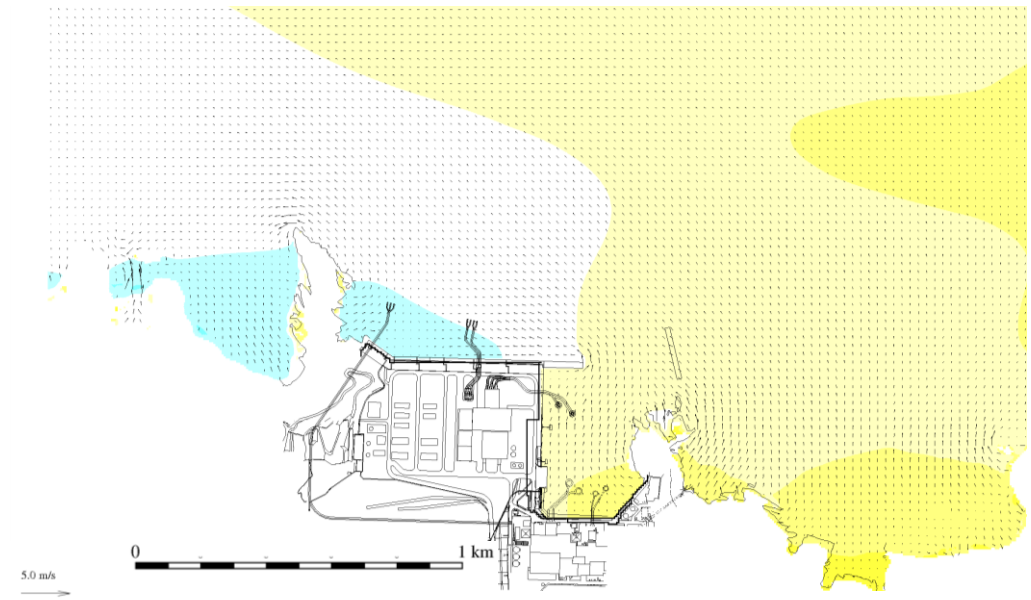
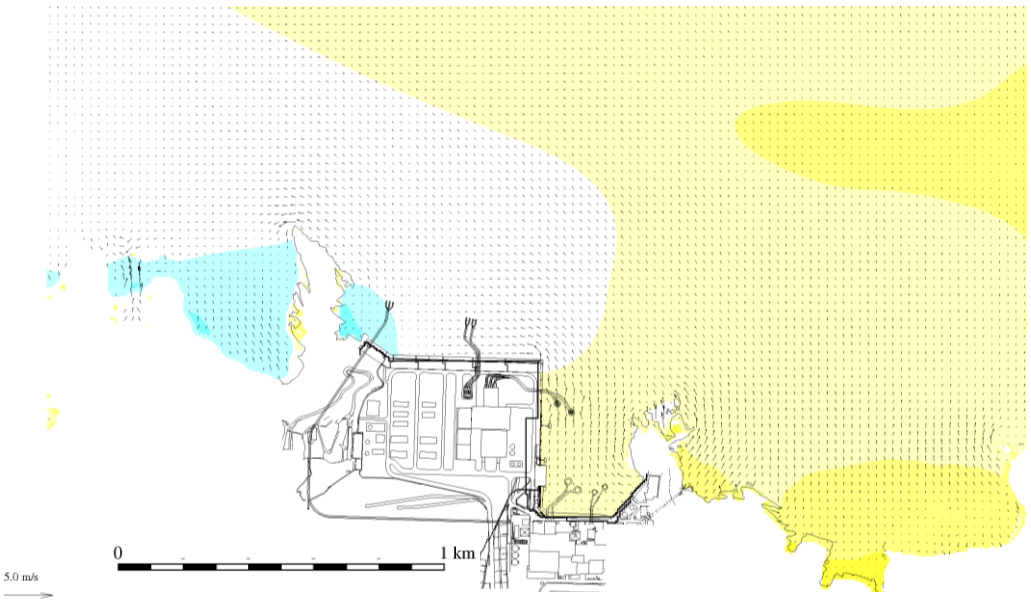
第 1 図(45)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

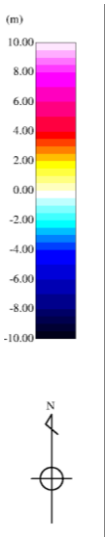
時間	122 分 30 秒
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

第 1 図(46)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

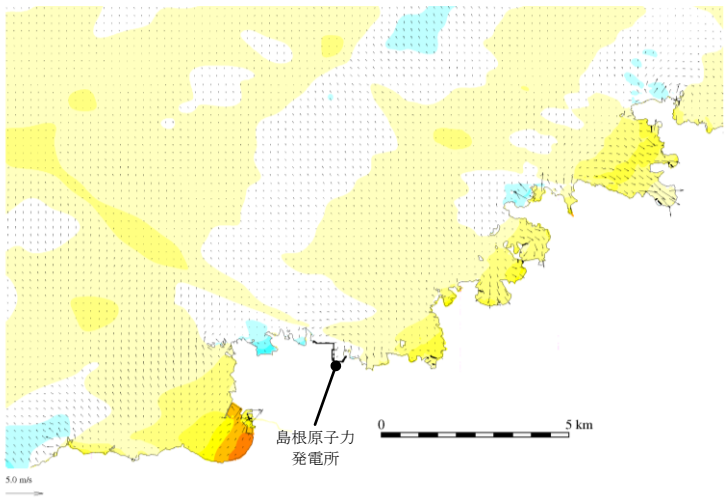
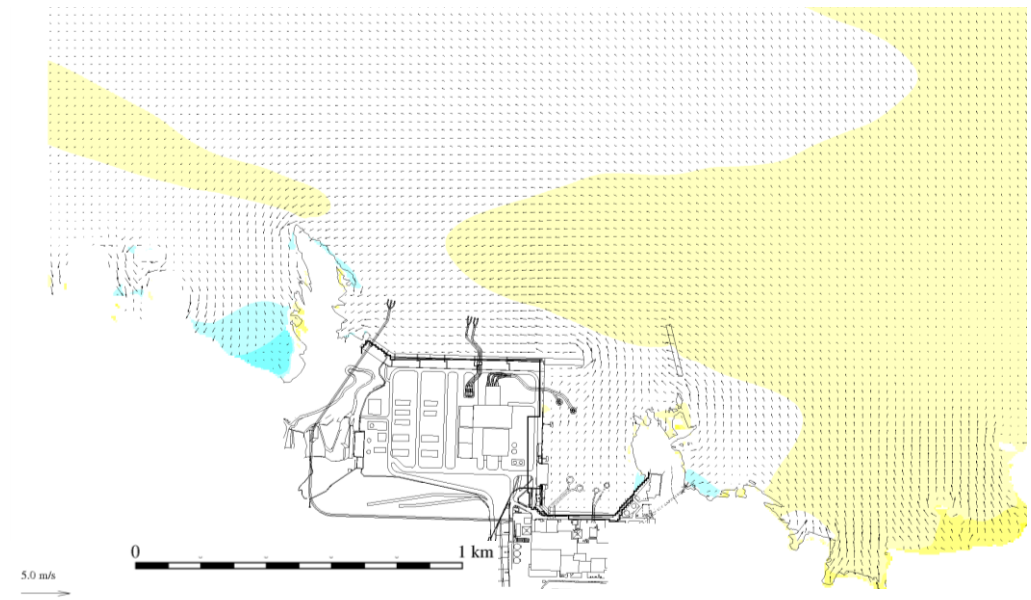
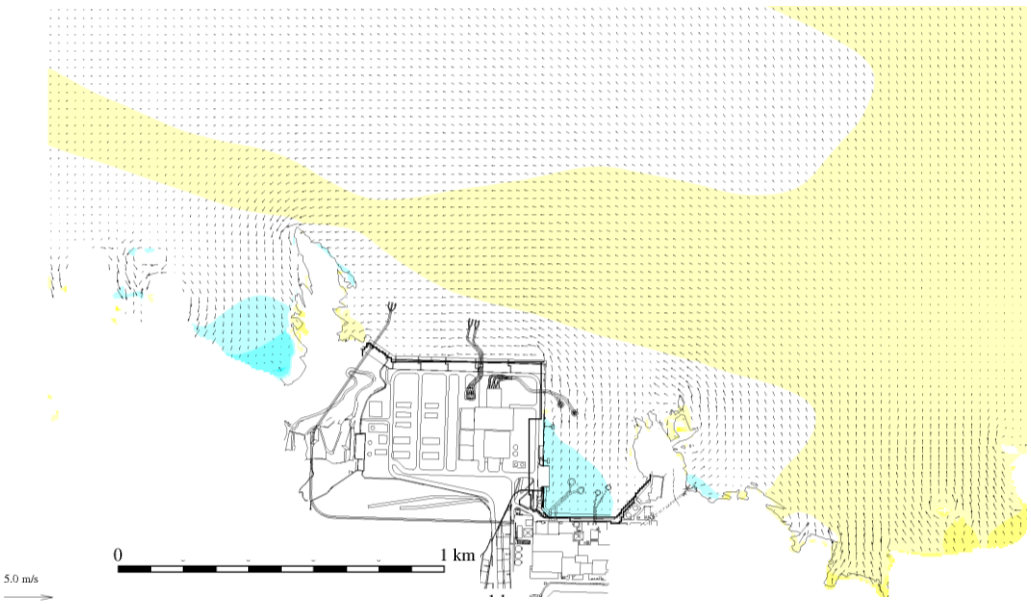
時間	123 分
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

第 1 図(47)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

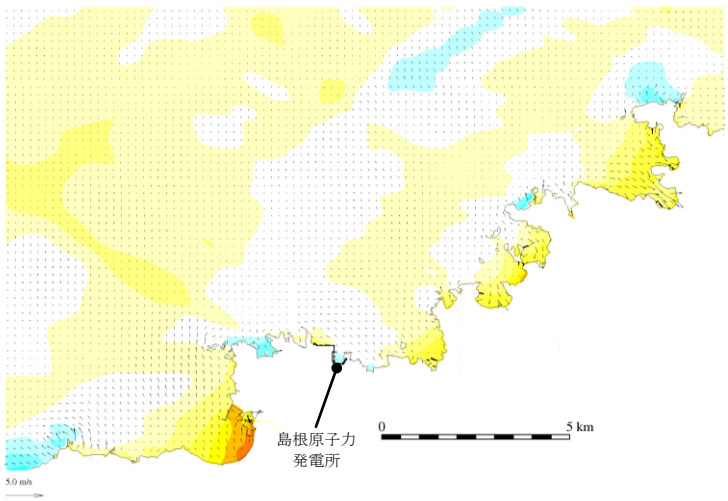
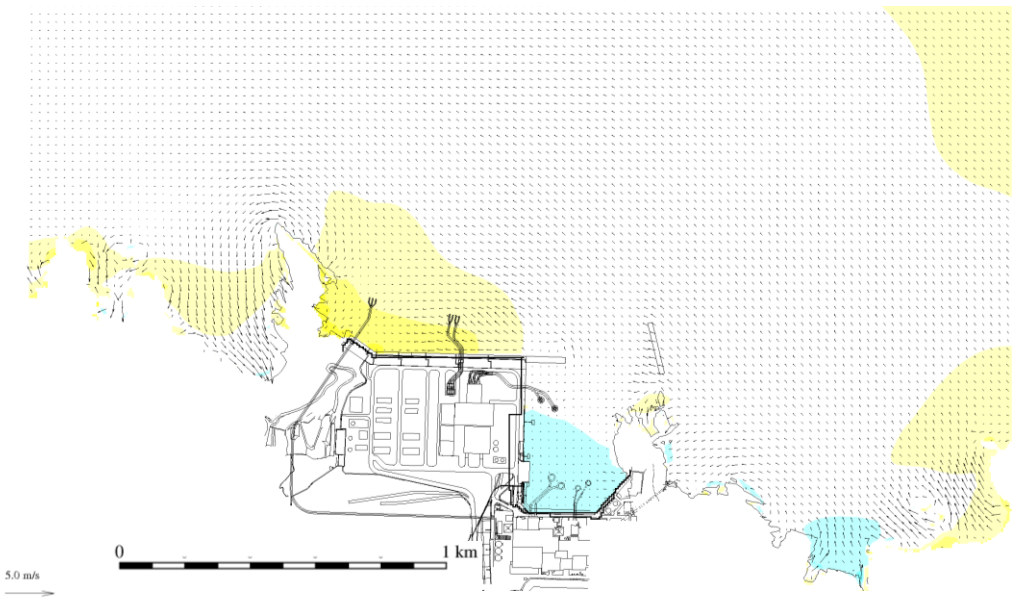
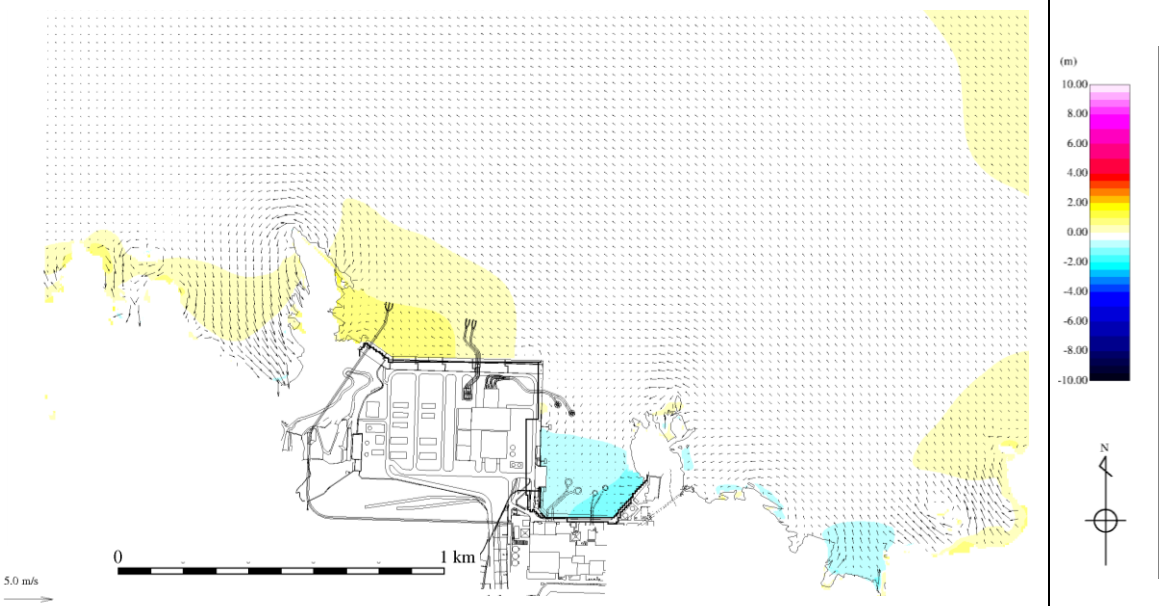
時間	123 分 30 秒
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	



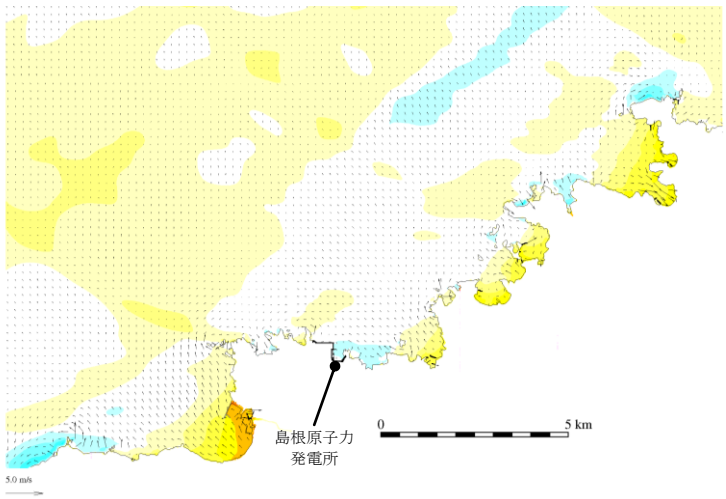
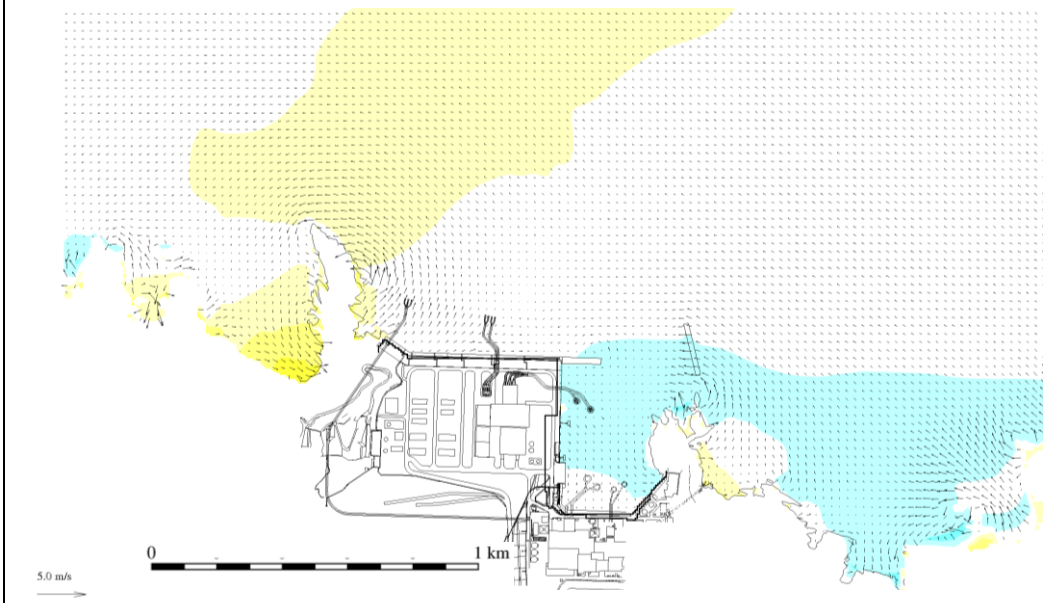
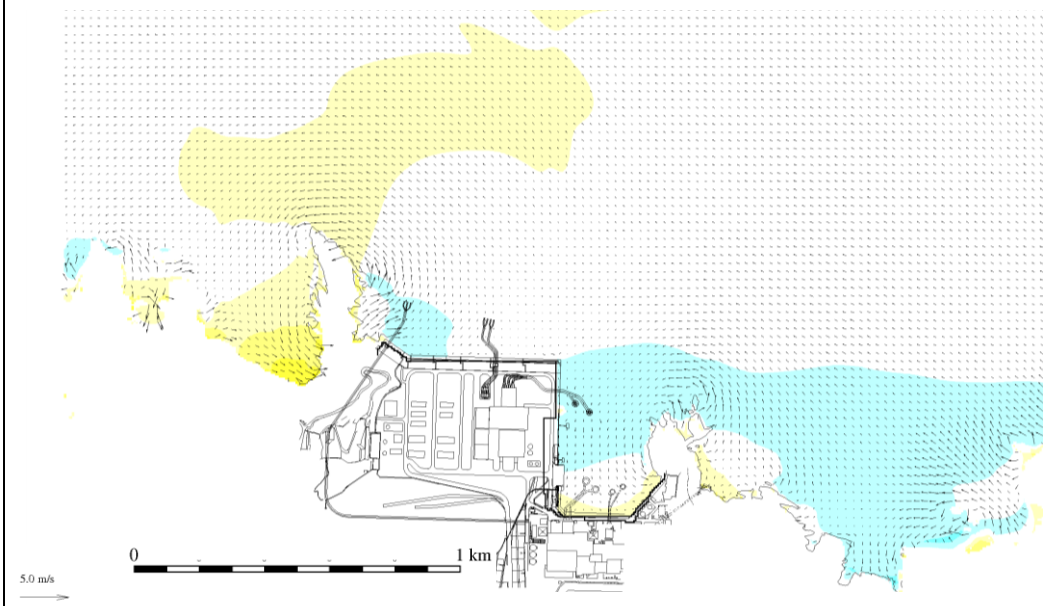
第 1 図(48)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

時間	124 分
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

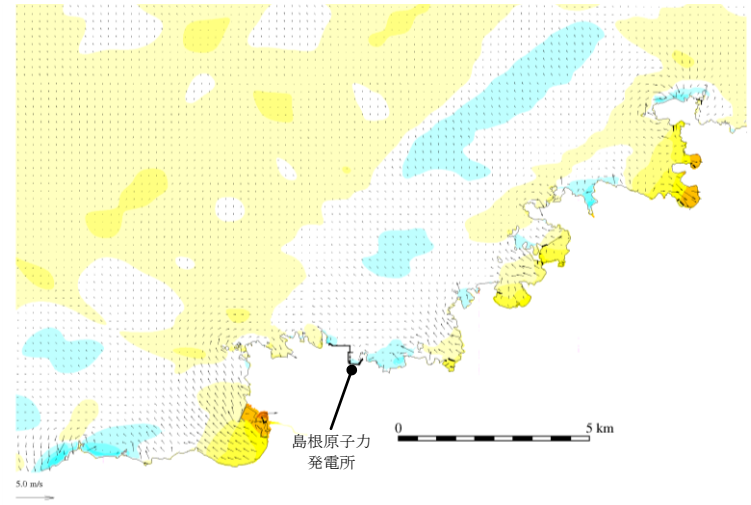
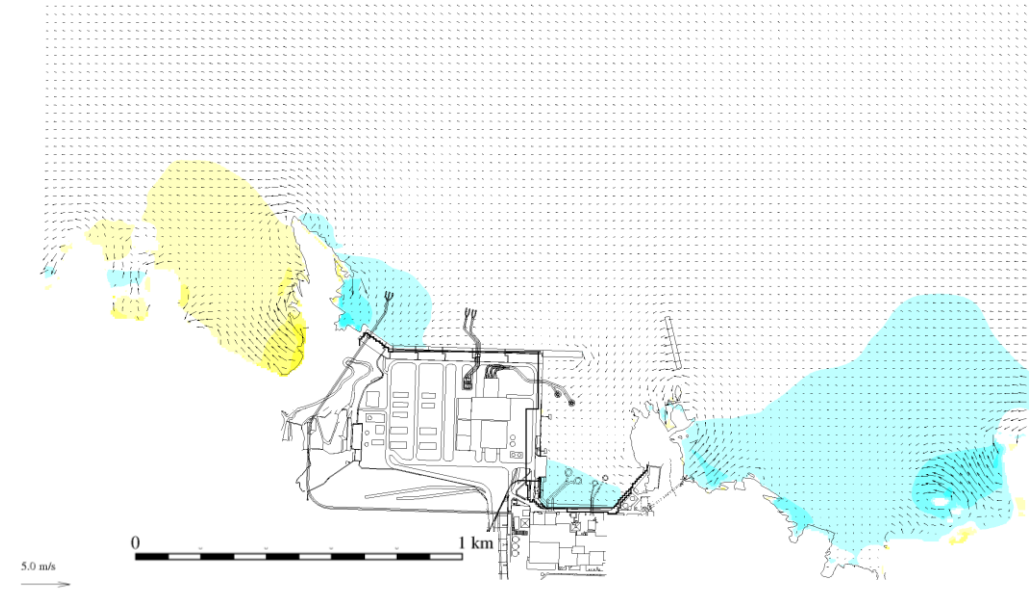
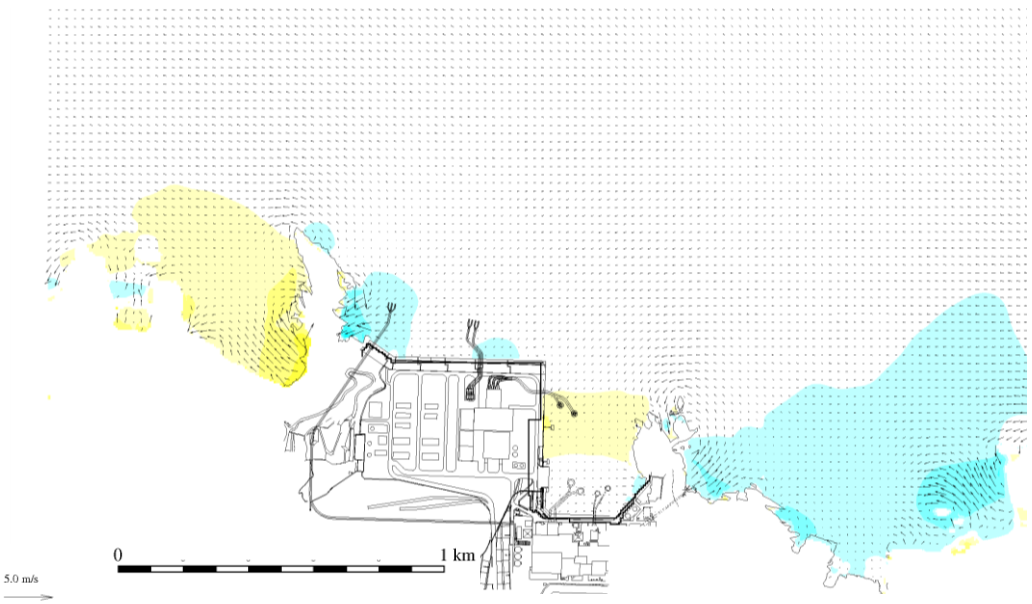
第 1 図(49)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

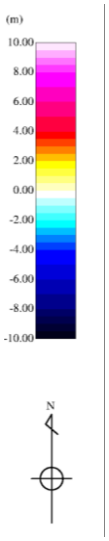
時間	124 分 30 秒
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

第 1 図(50)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

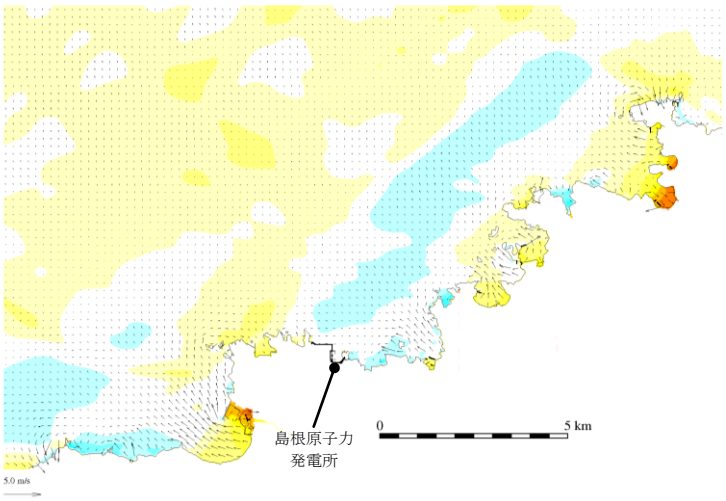
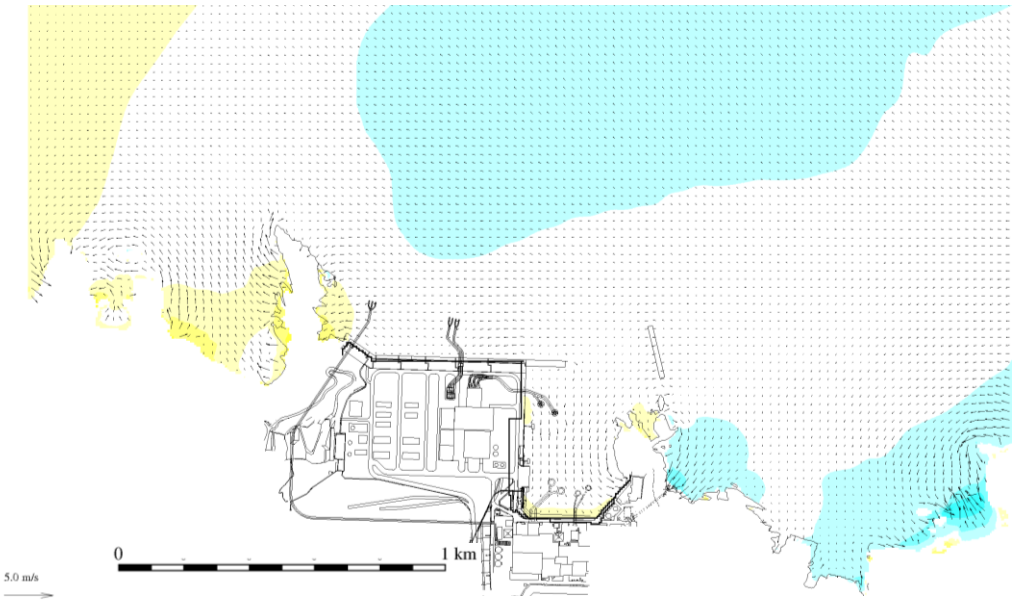
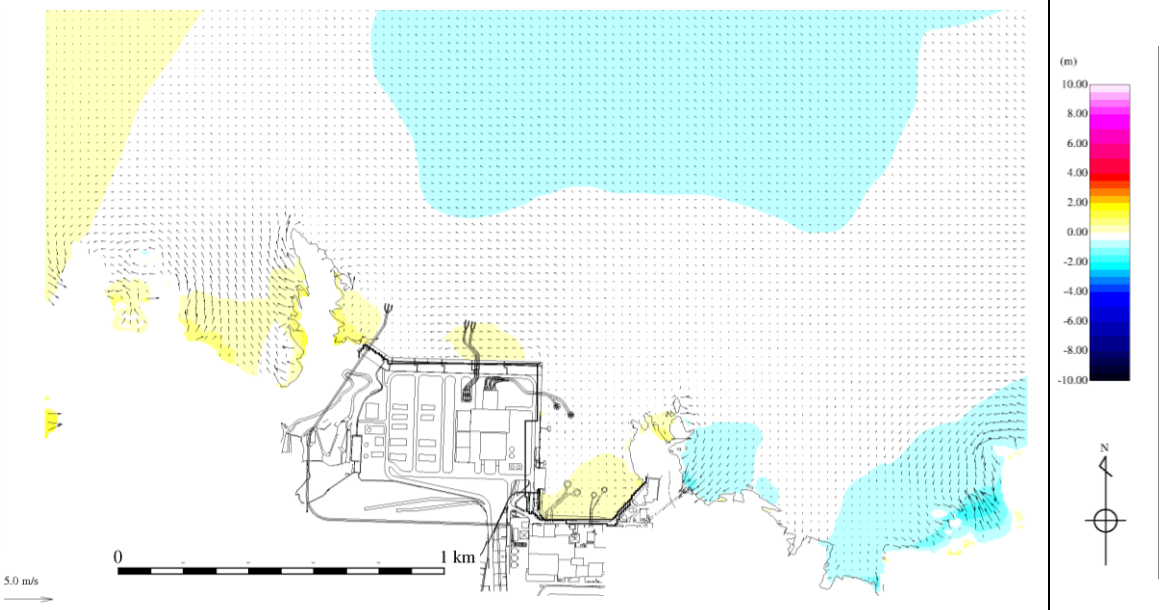
時間	125 分
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

第 1 図(51)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

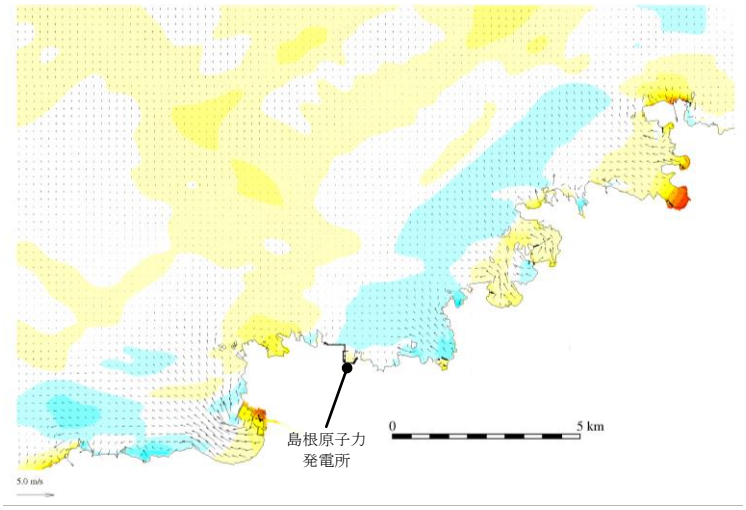
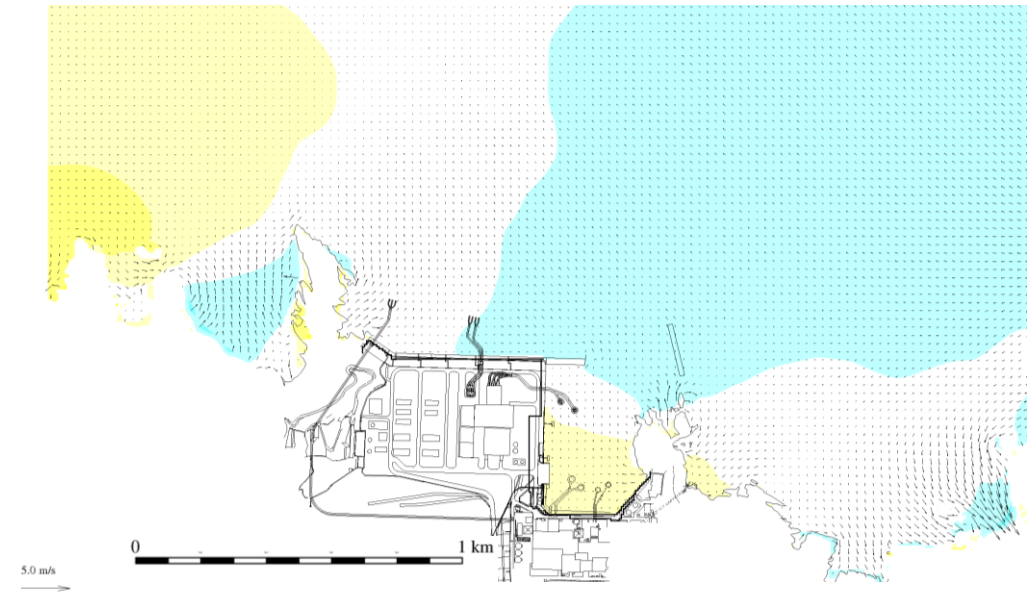
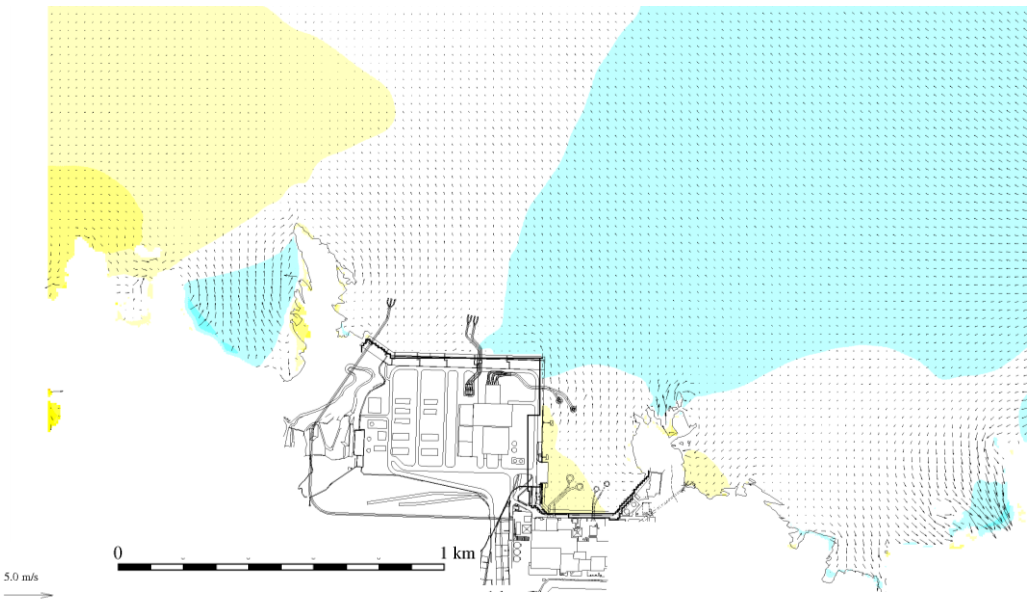
時間	125 分 30 秒
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	



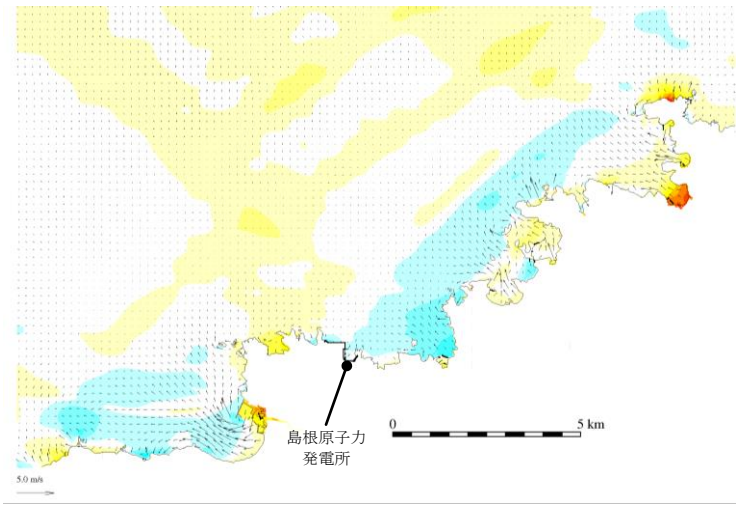
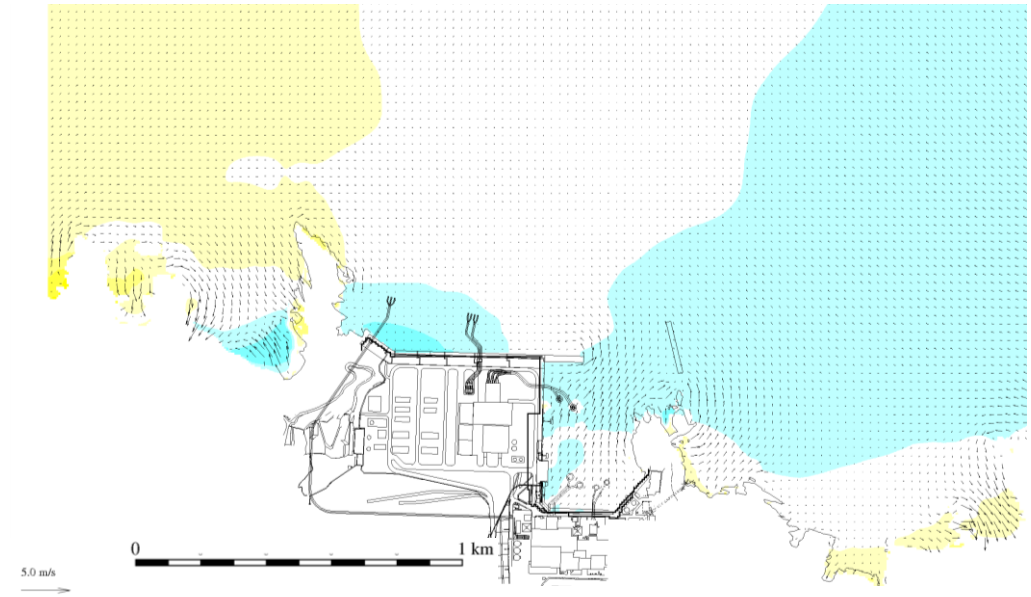
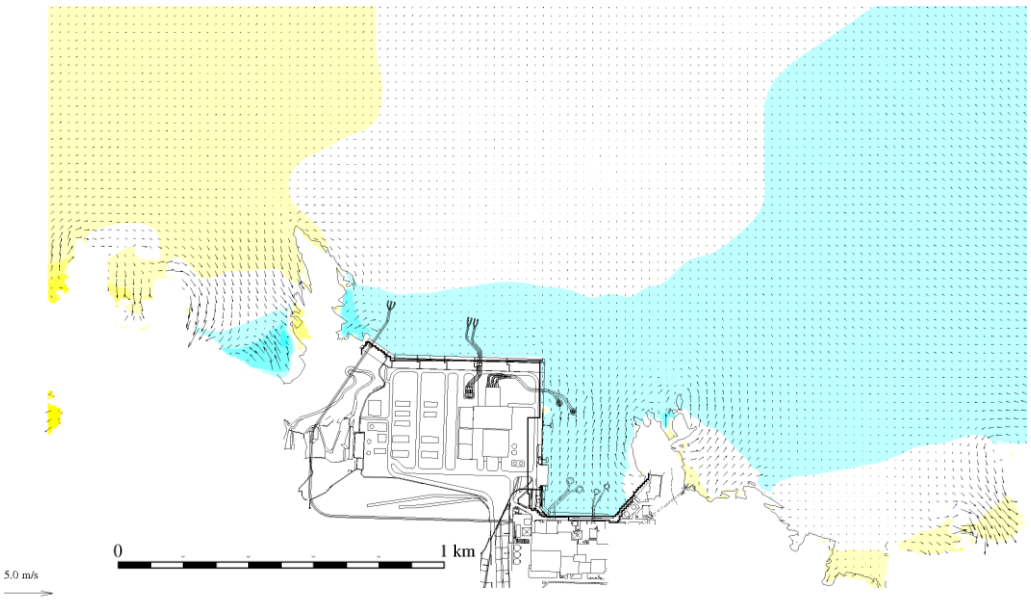
第 1 図(52)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

時間	126 分
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

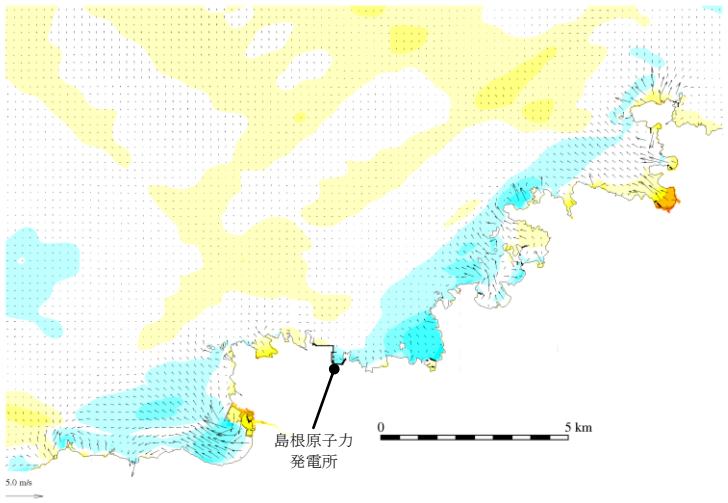
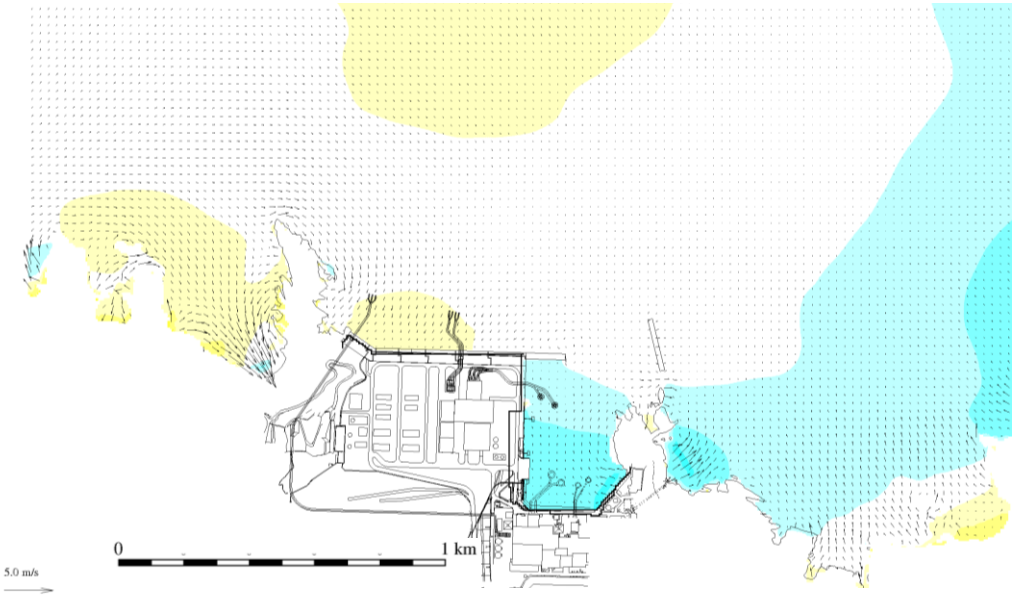
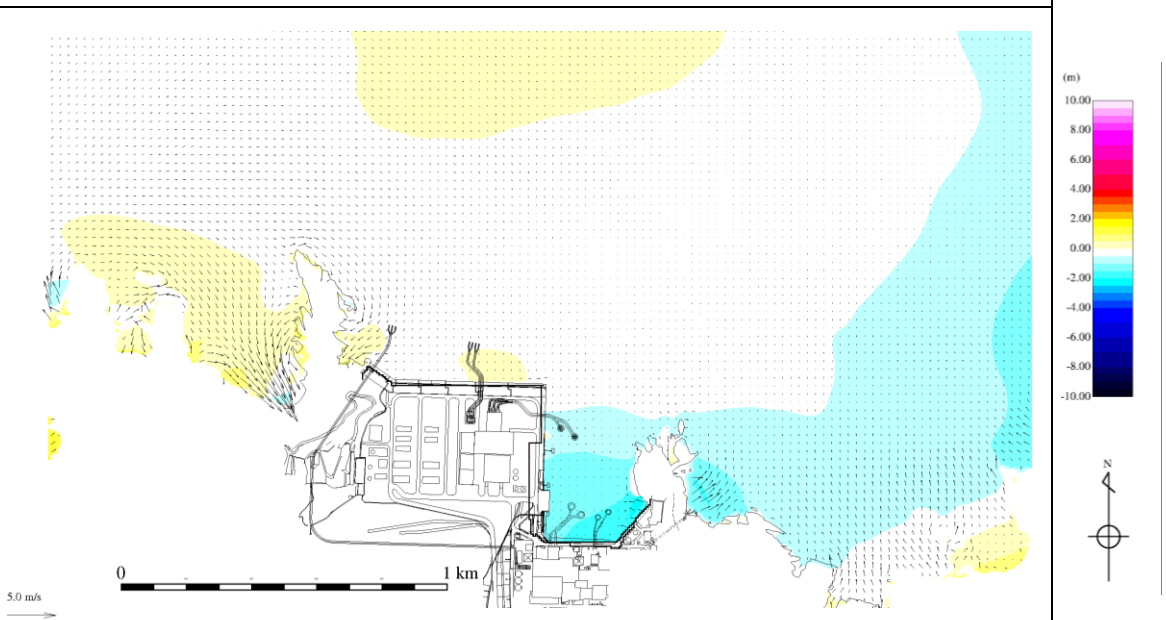
第 1 図(53)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

時間	126 分 30 秒
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

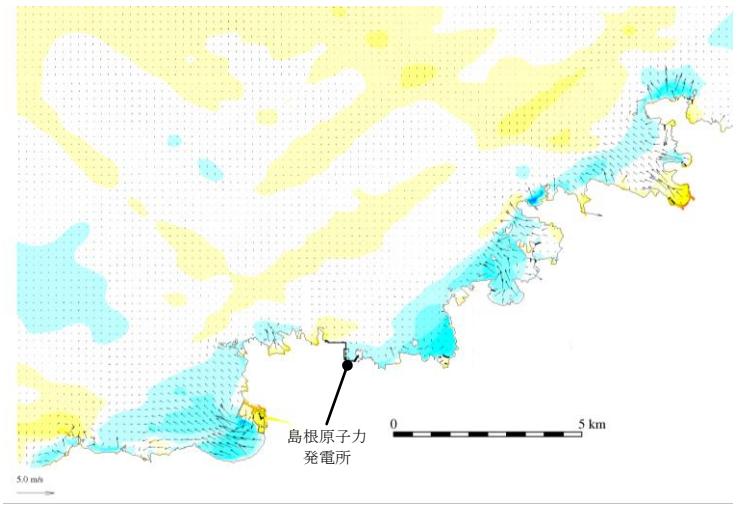
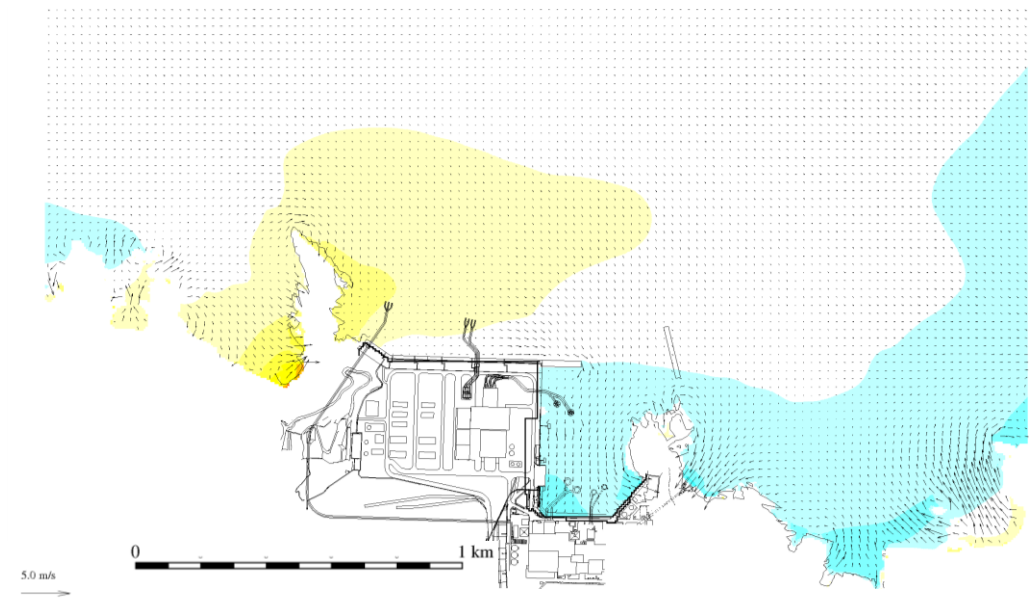
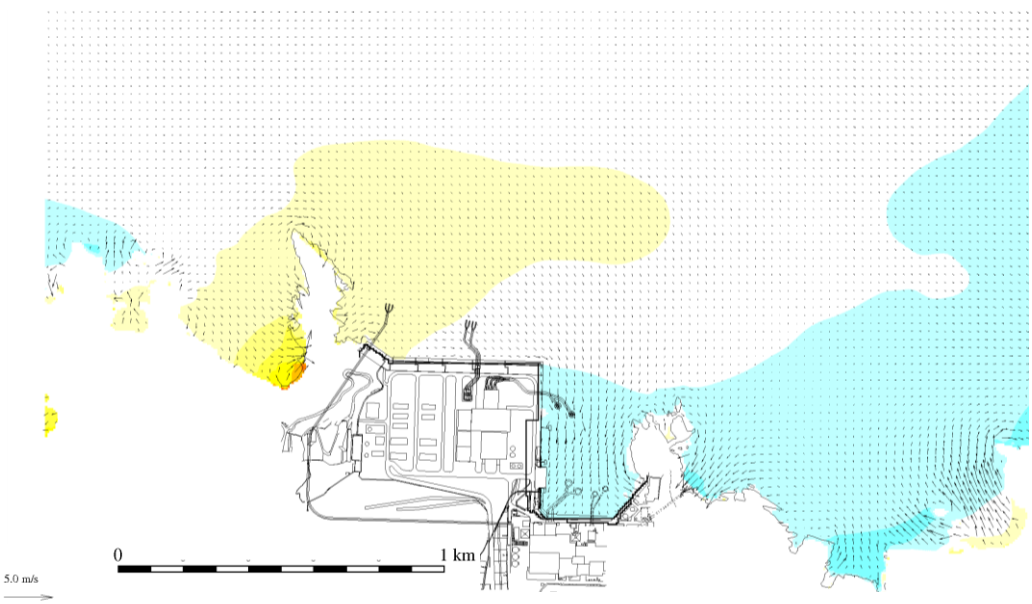
第 1 図(54)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

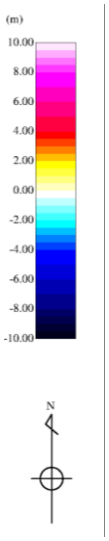
時間	127 分
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

第 1 図(55)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

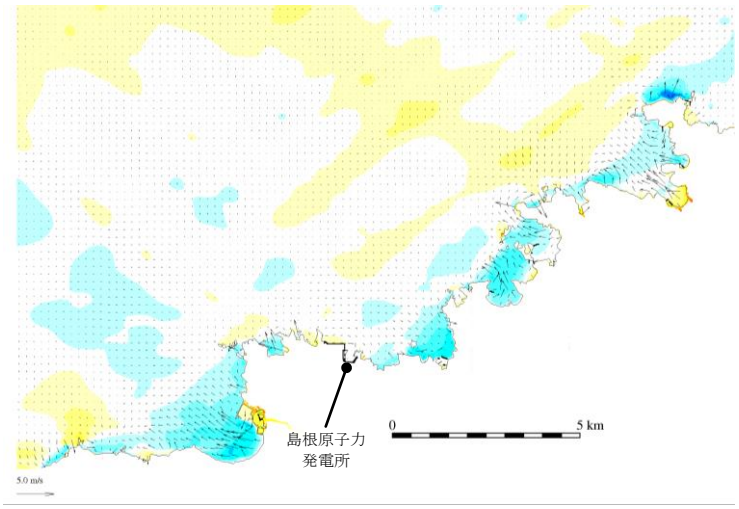
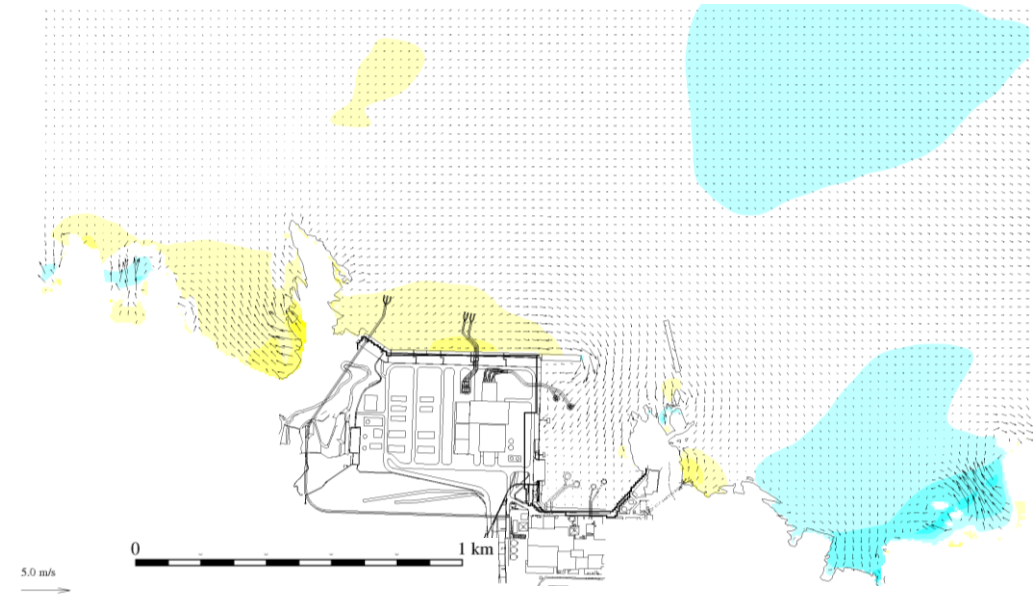
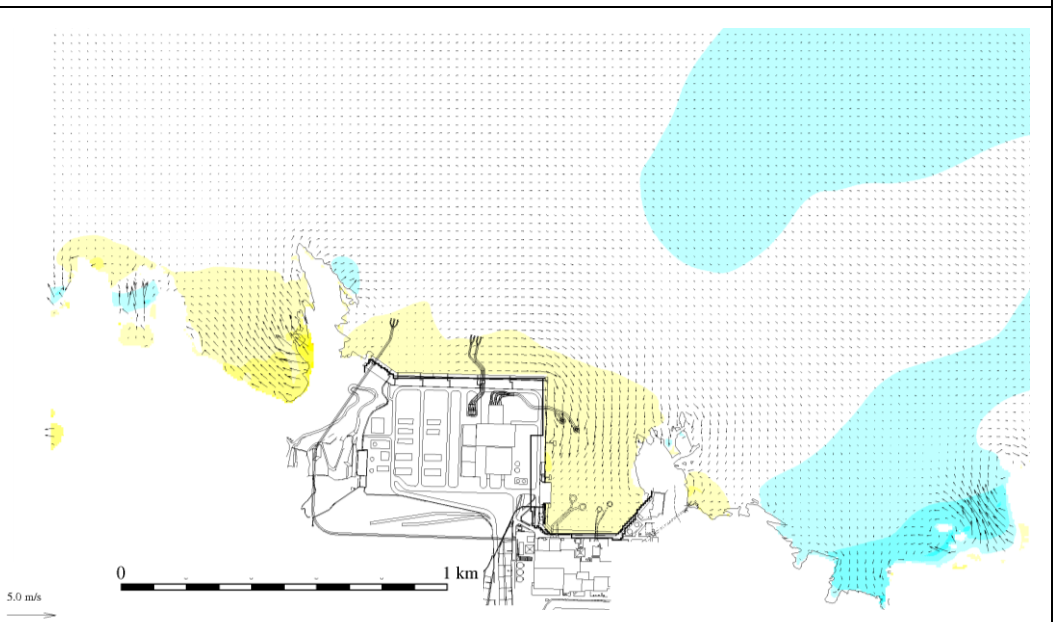
時間	127 分 30 秒
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

第 1 図(56)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

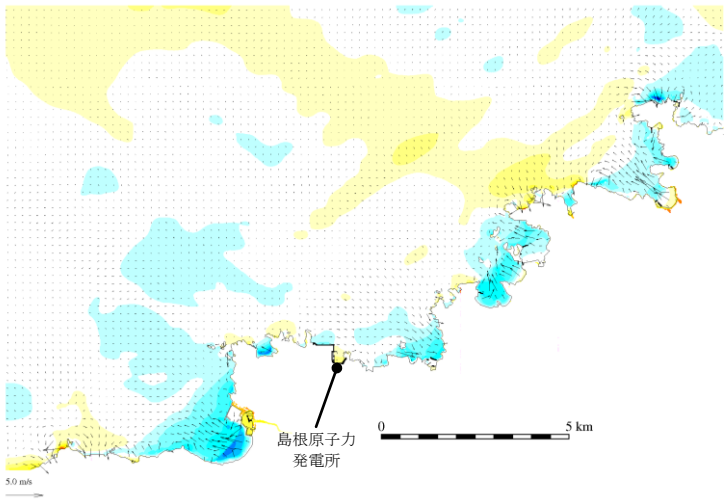
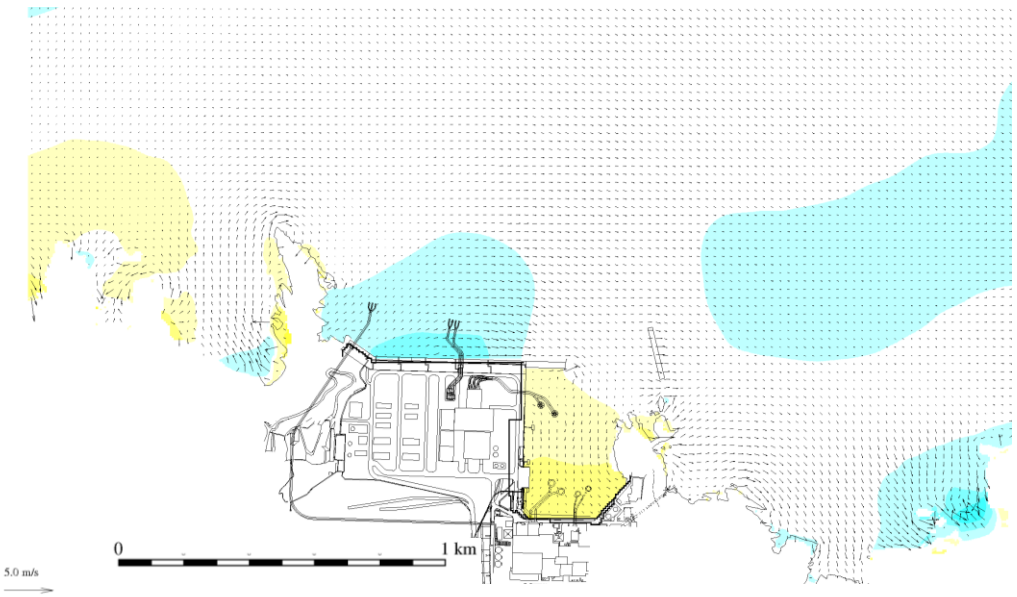
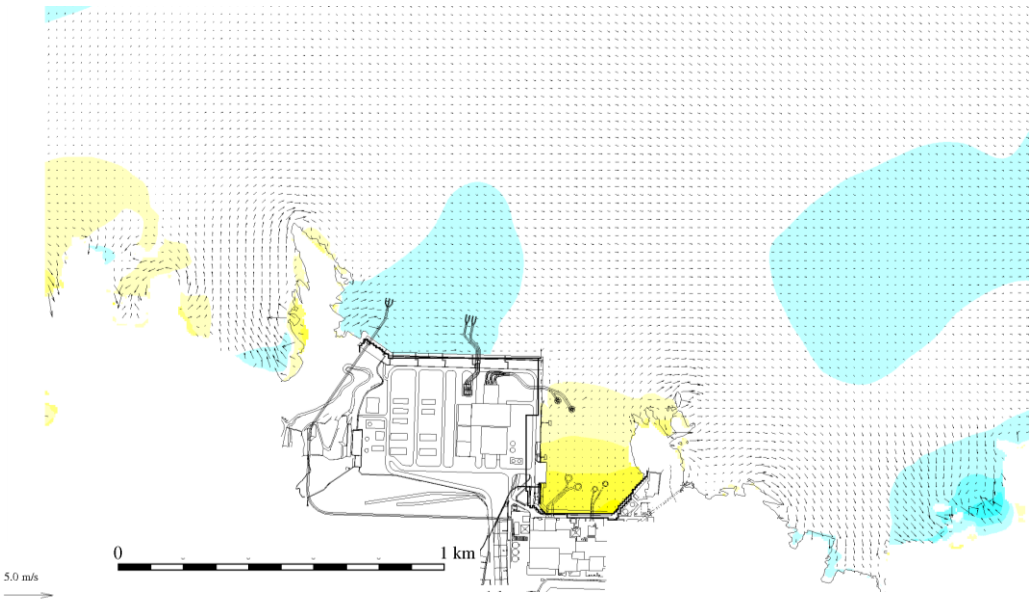
時間	128 分
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	



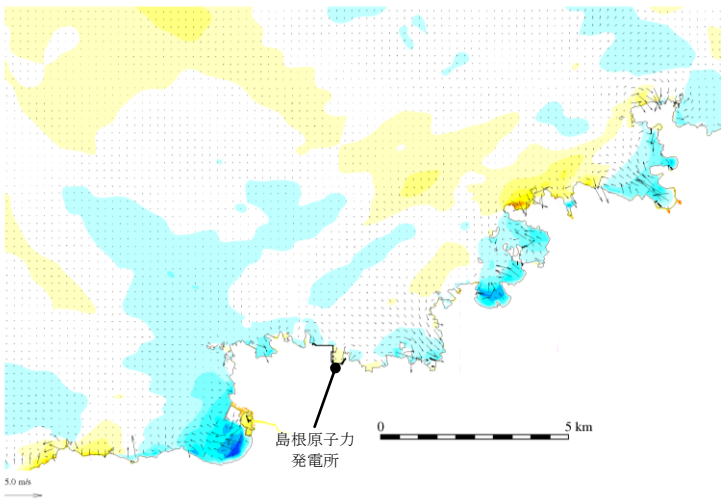
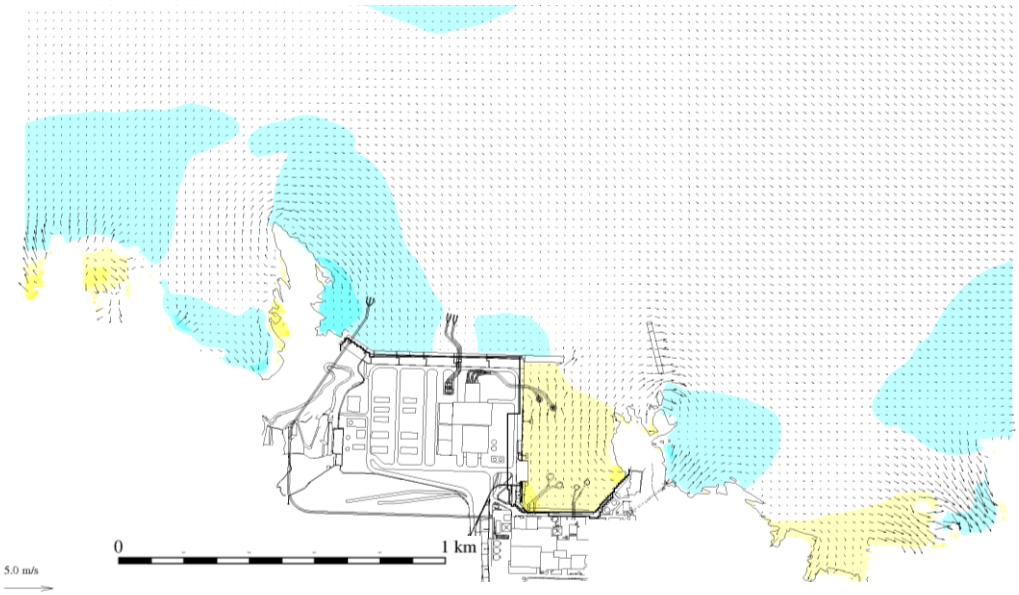
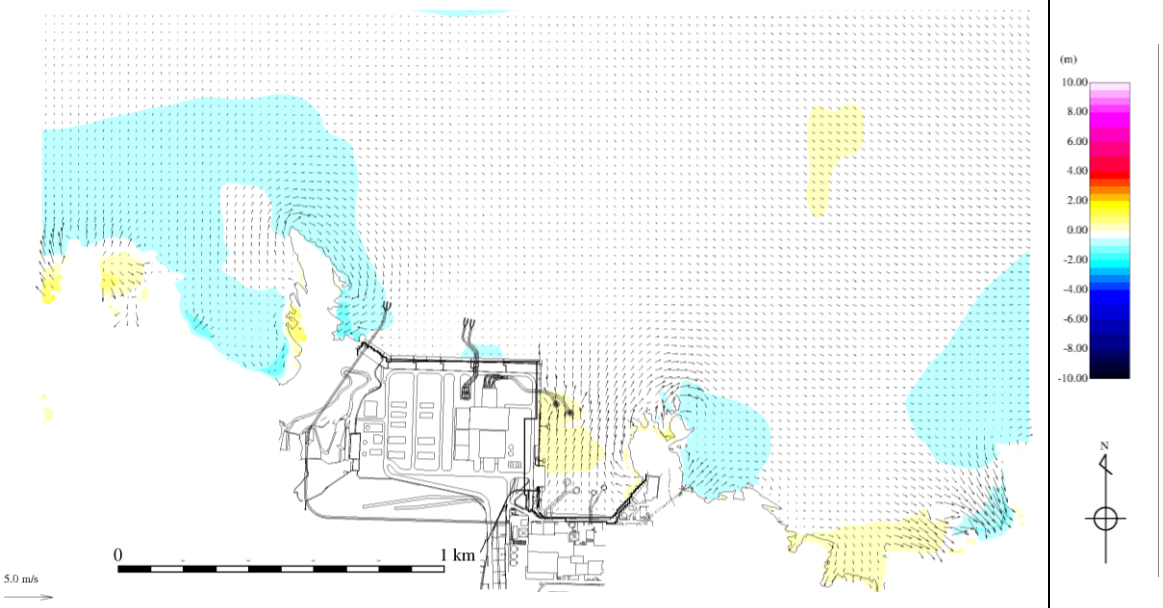
第 1 図(57)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

時間	128 分 30 秒
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

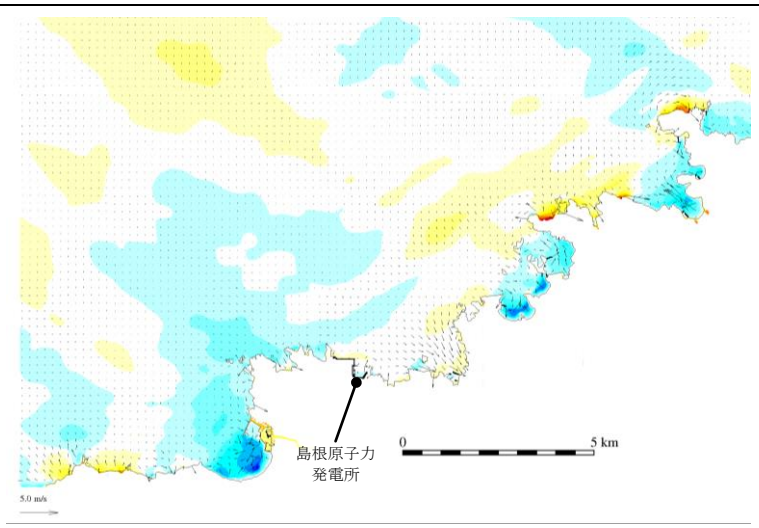
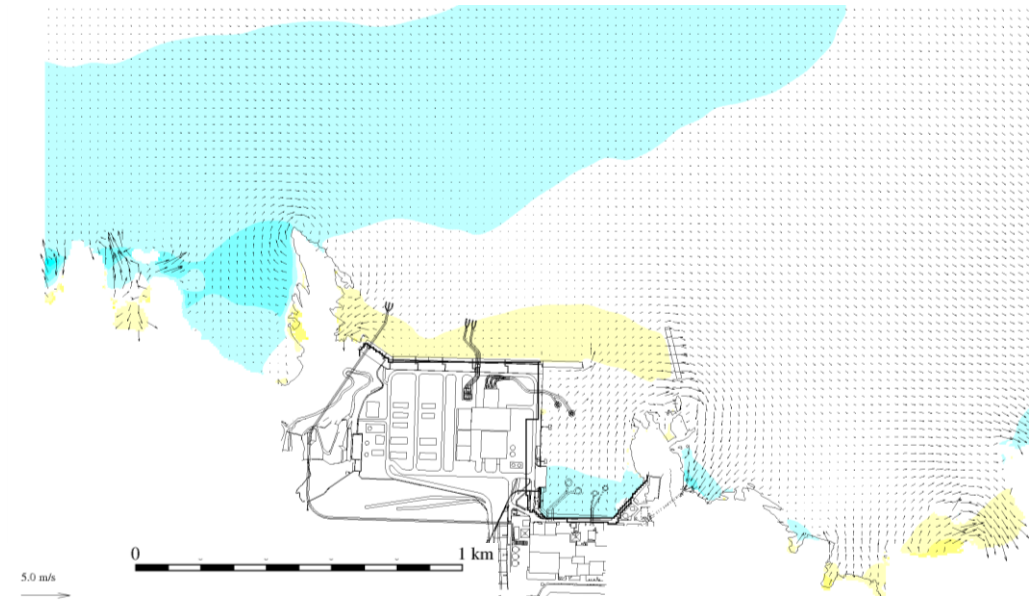
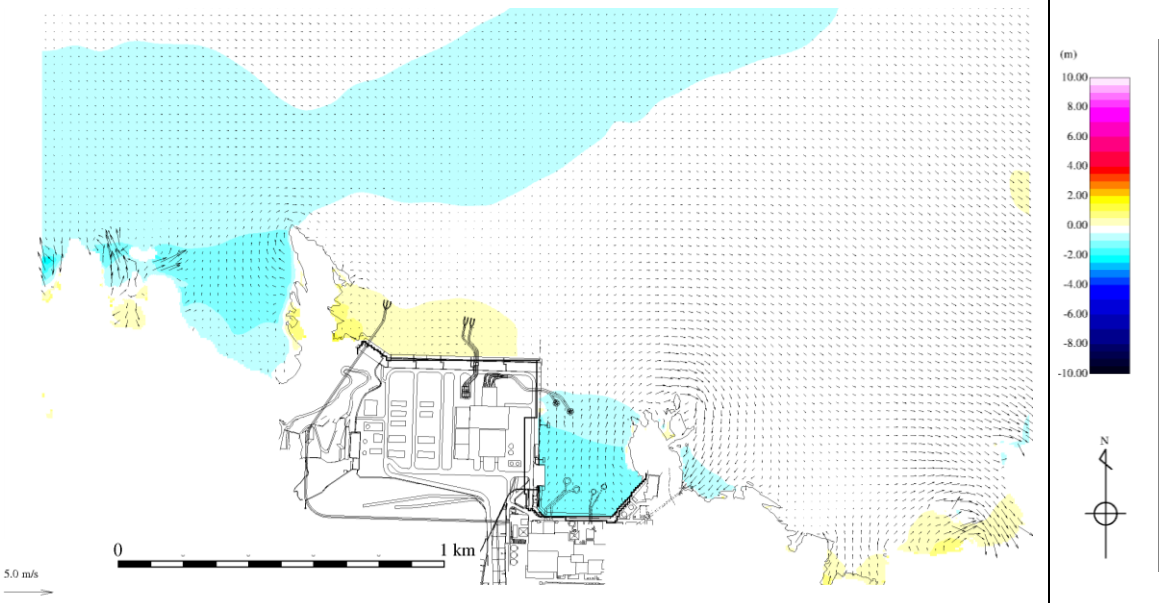
第 1 図(58)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

時間	129 分
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

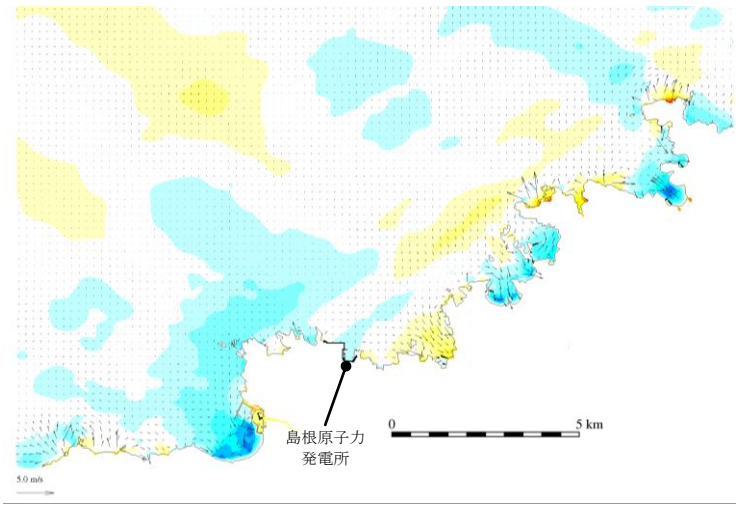
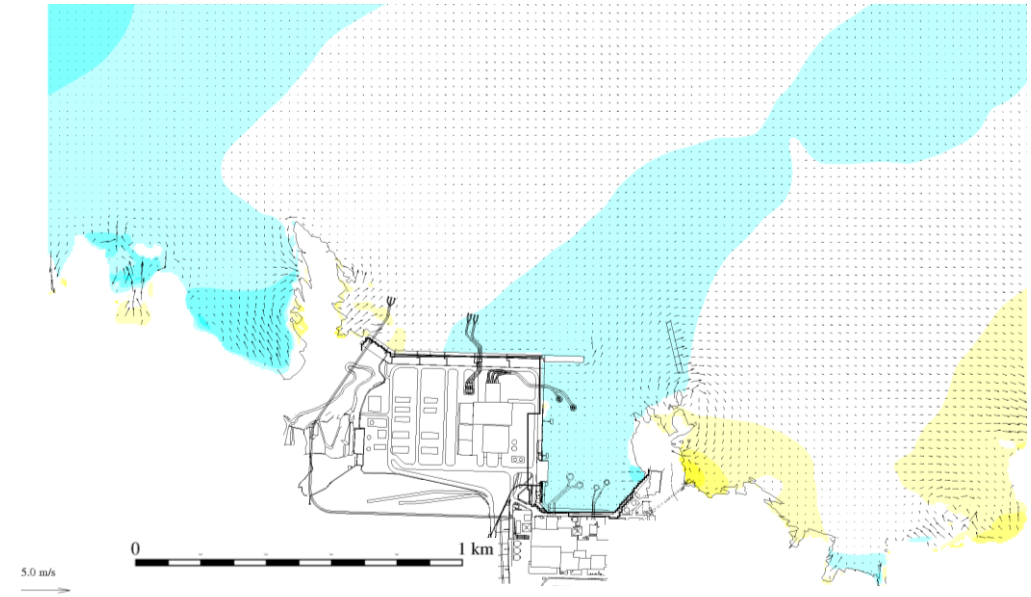
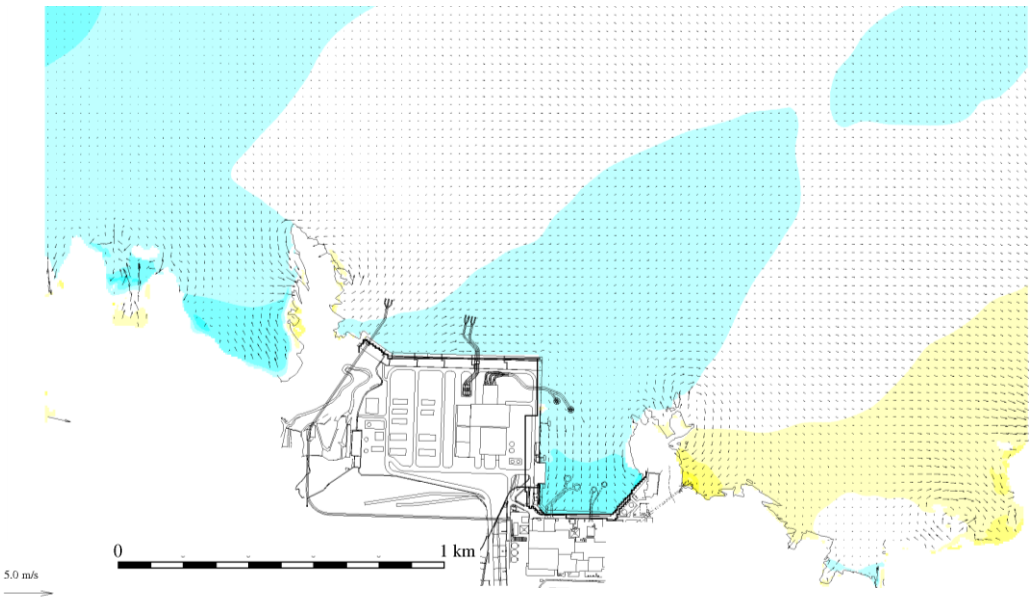
第 1 図(59)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

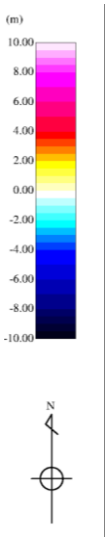
時間	129 分 30 秒
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

第 1 図(60)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

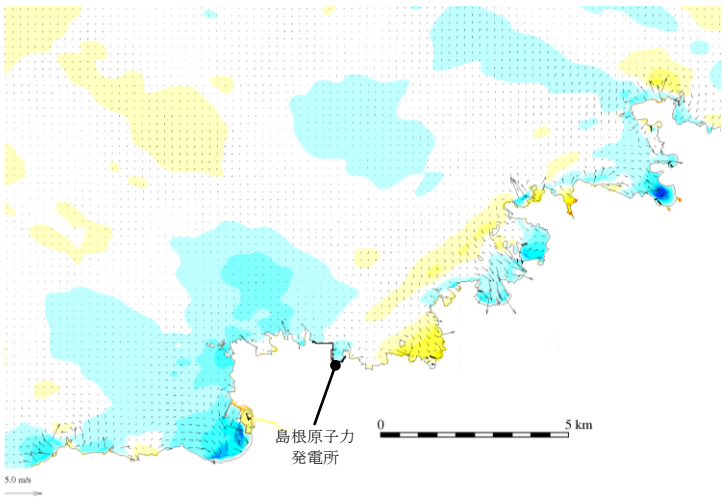
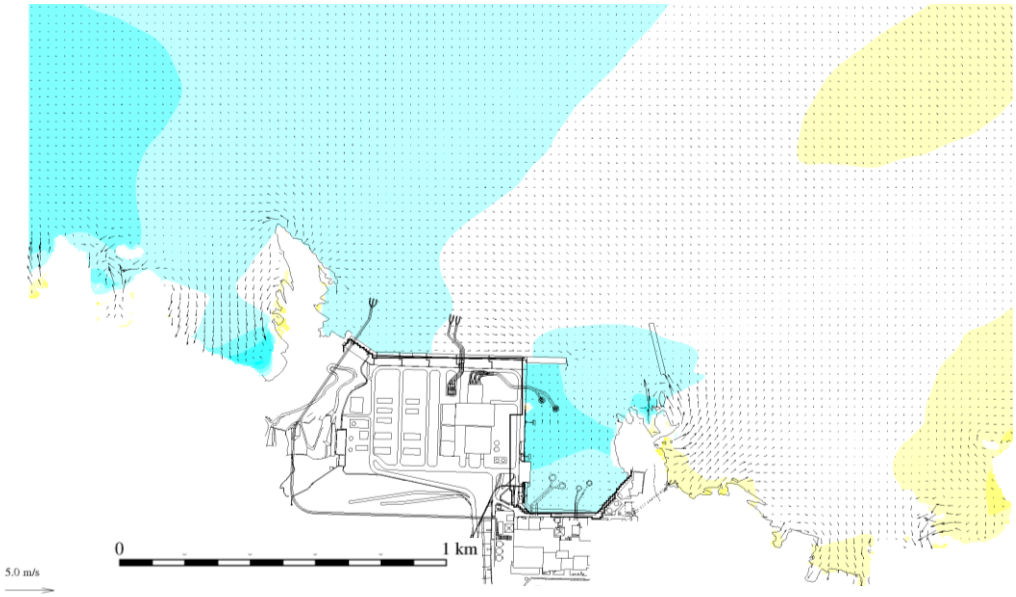
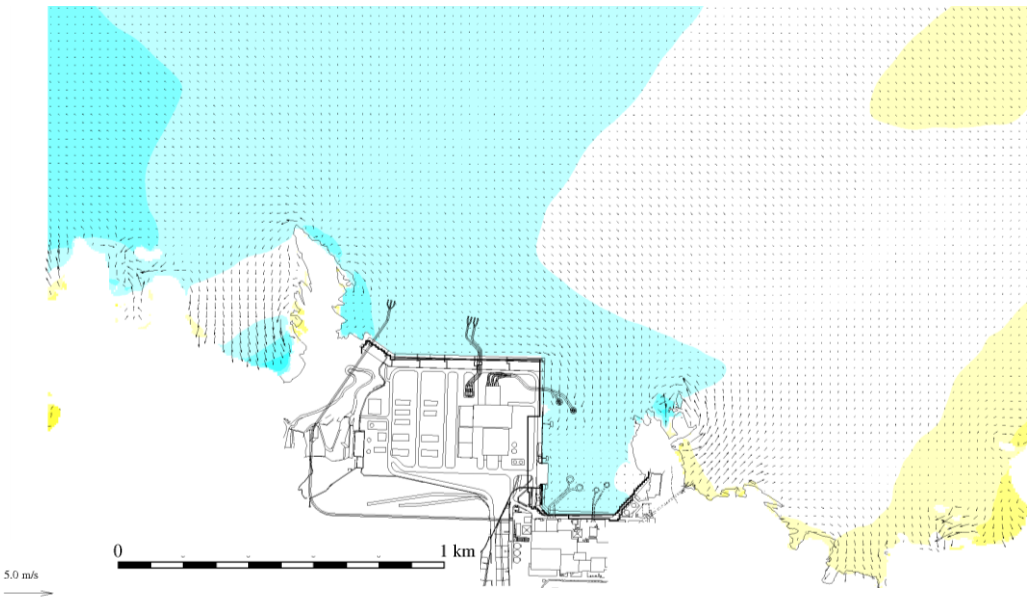
時間	130 分
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

第 1 図(61)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

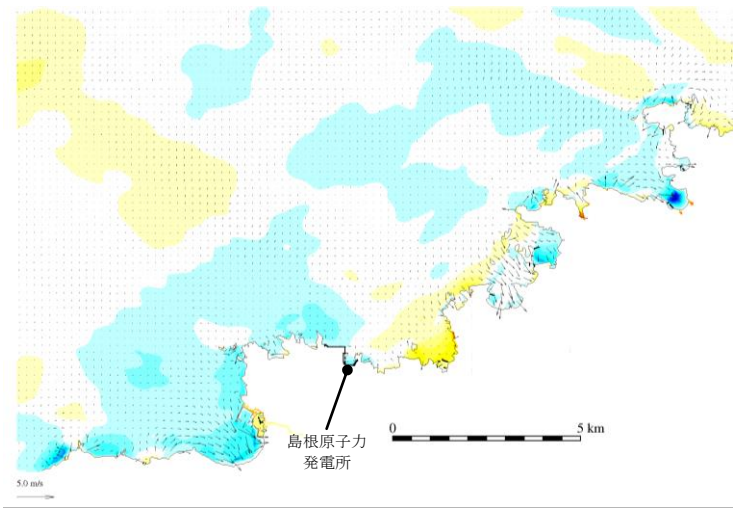
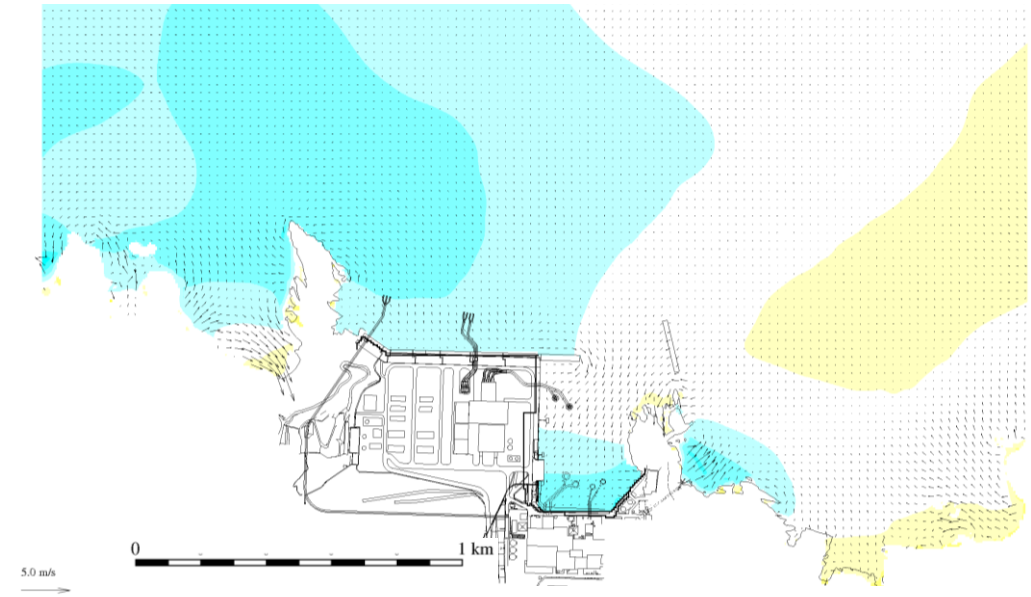
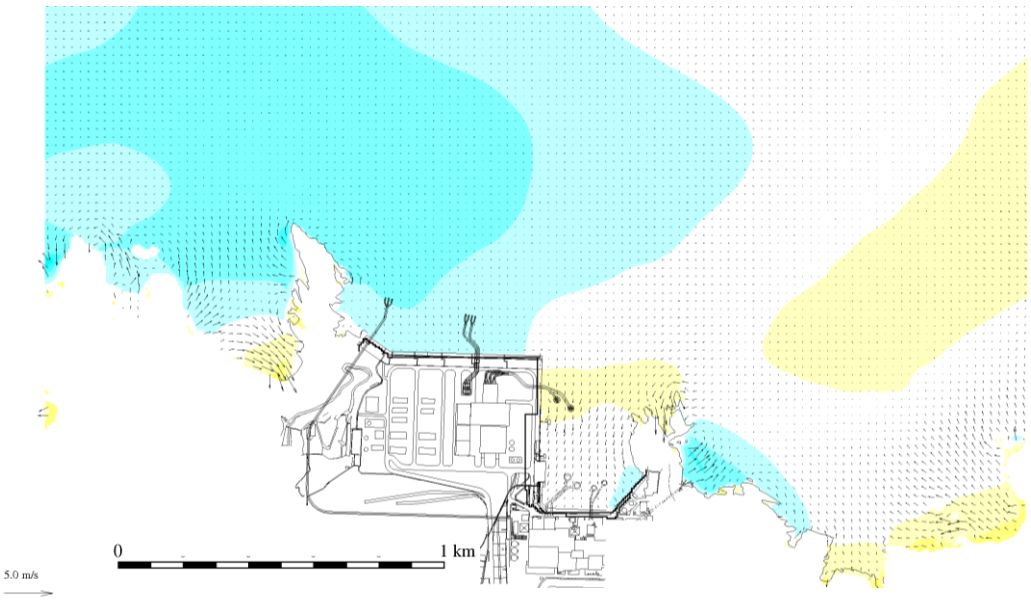
時間	130 分 30 秒
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	



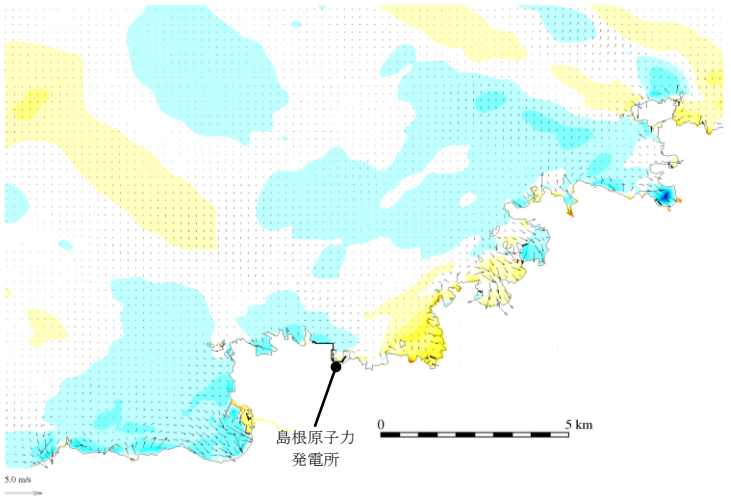
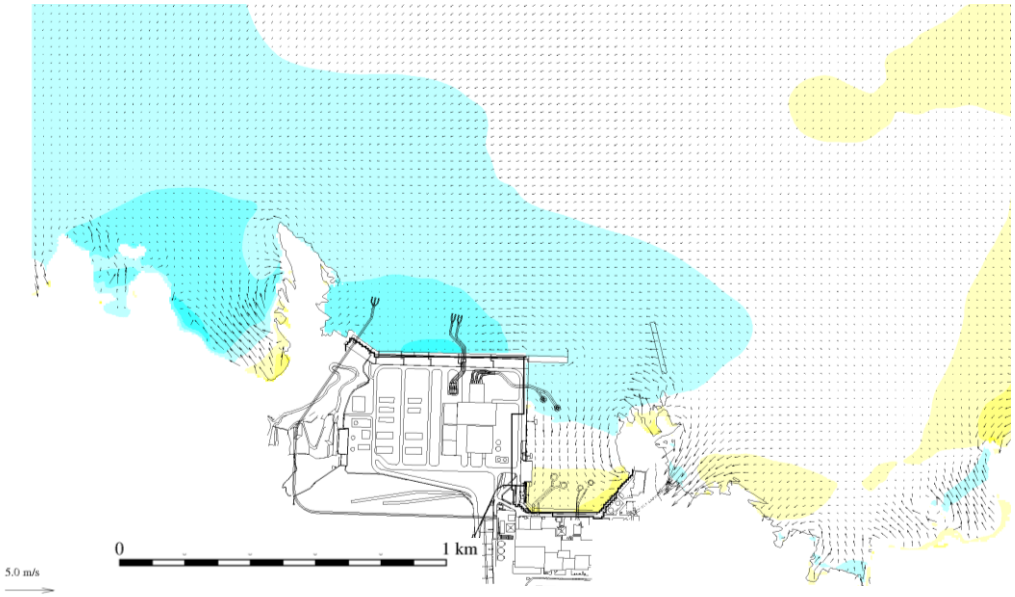
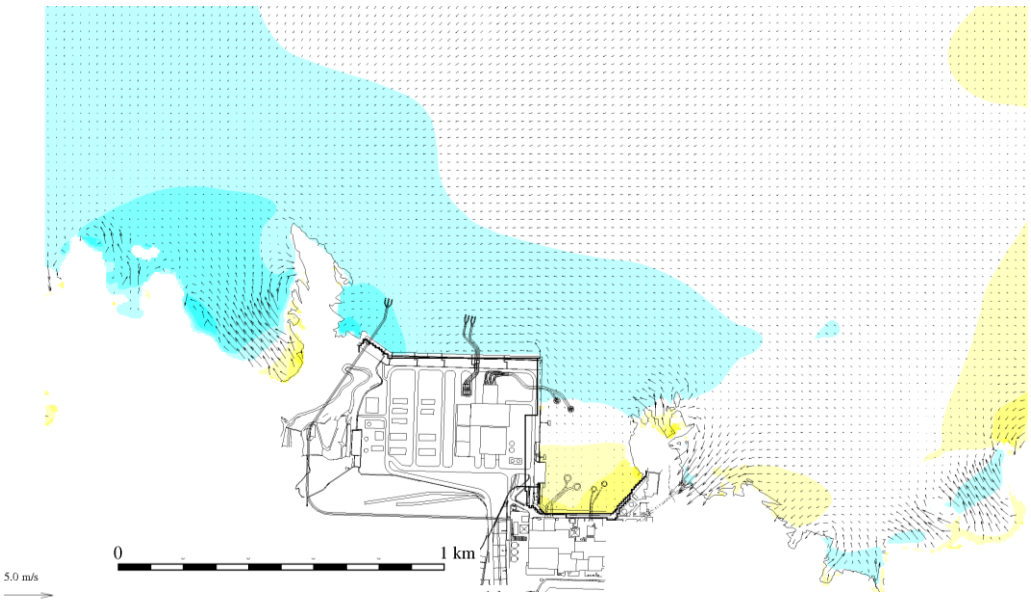
第 1 図(62)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

時間	131 分
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

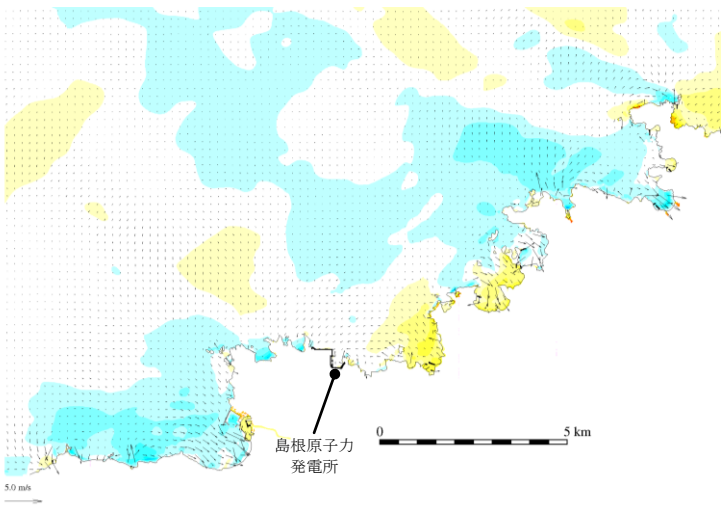
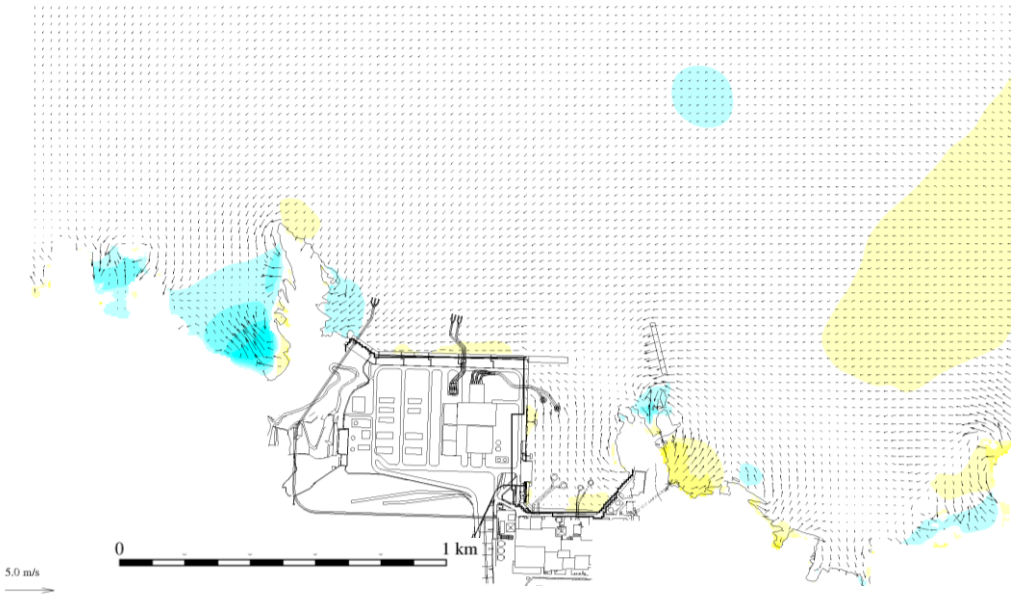
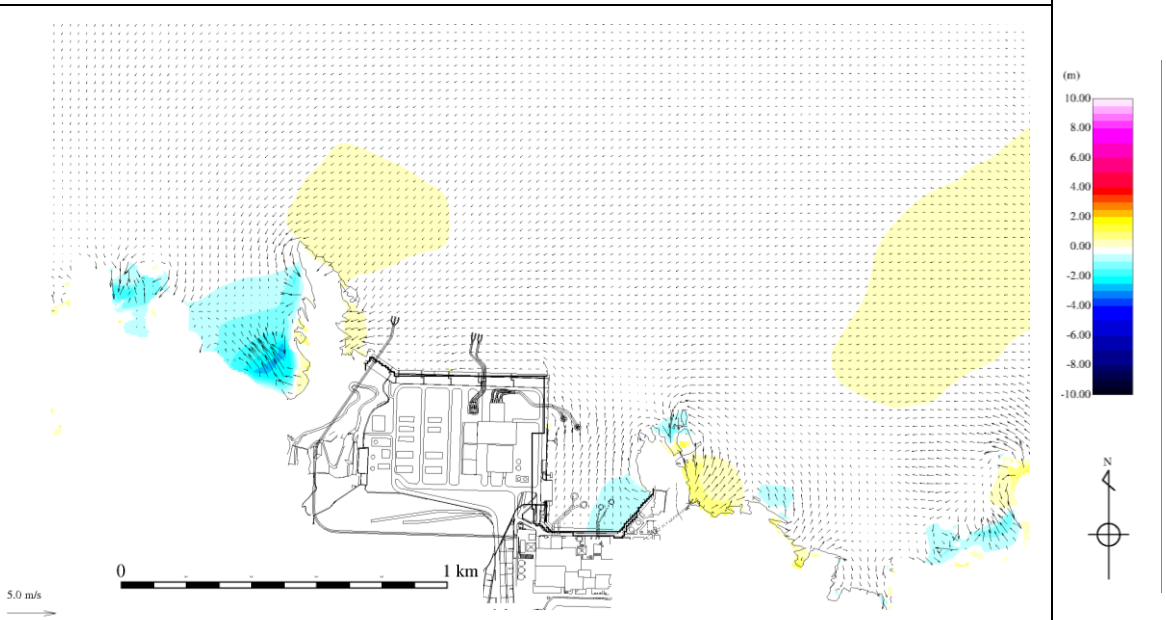
第 1 図(63)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

時間	131 分 30 秒
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

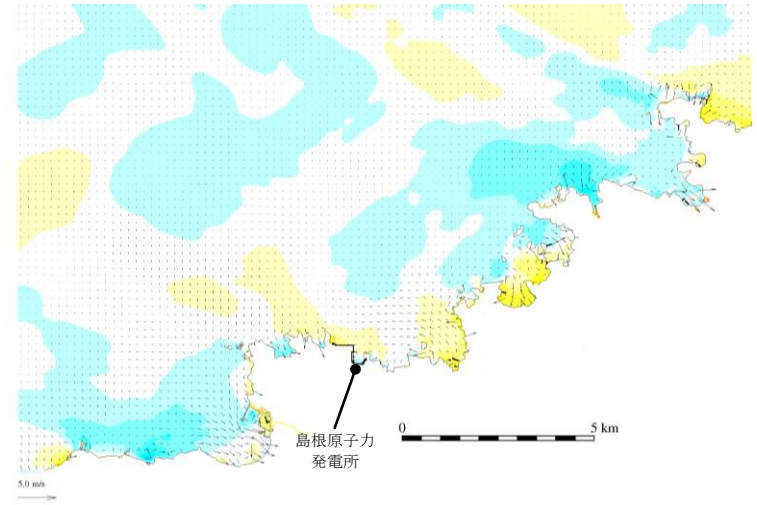
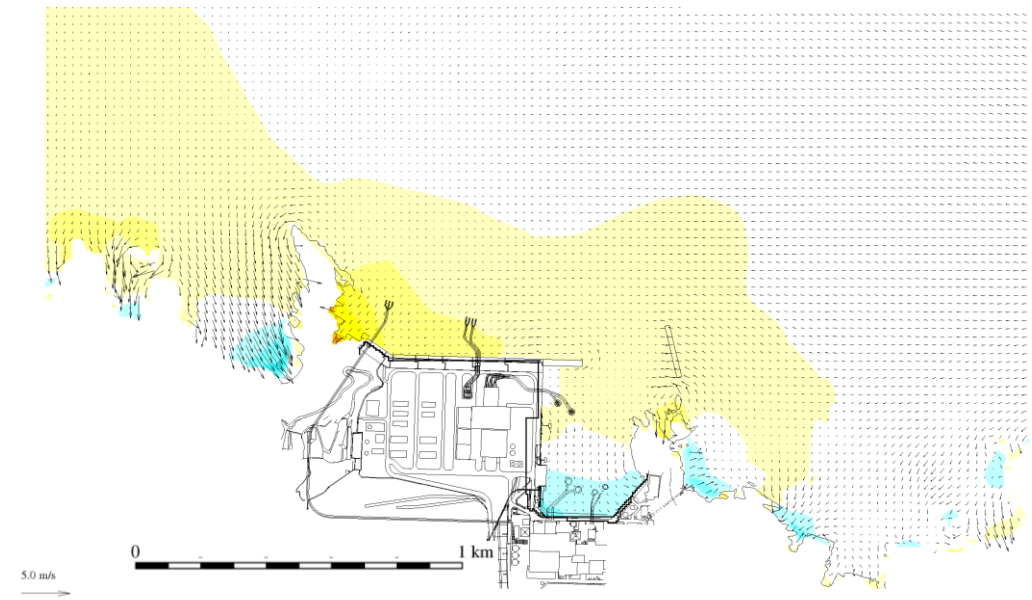
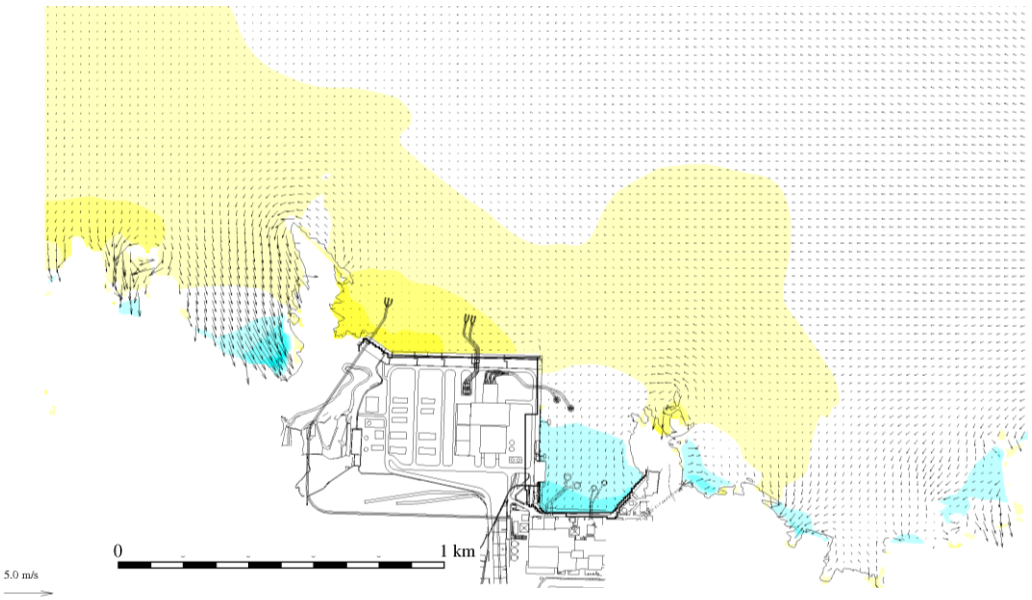
第 1 図(64)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

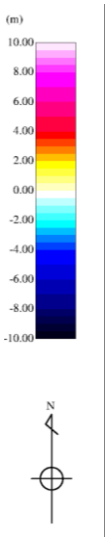
時間	132 分
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

第 1 図(65)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

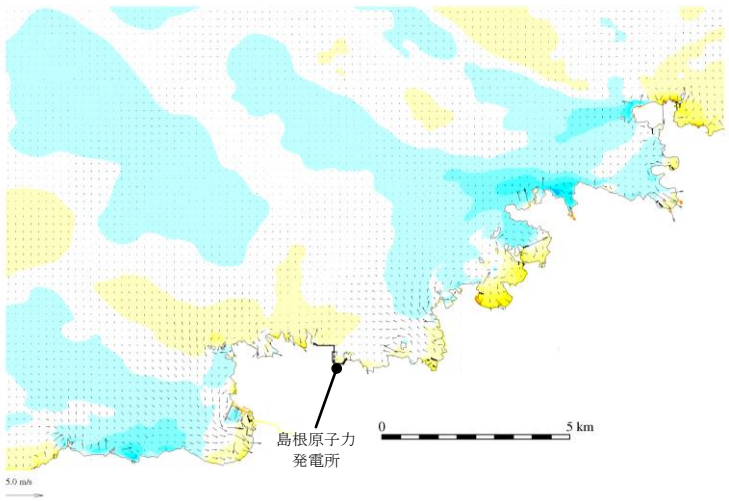
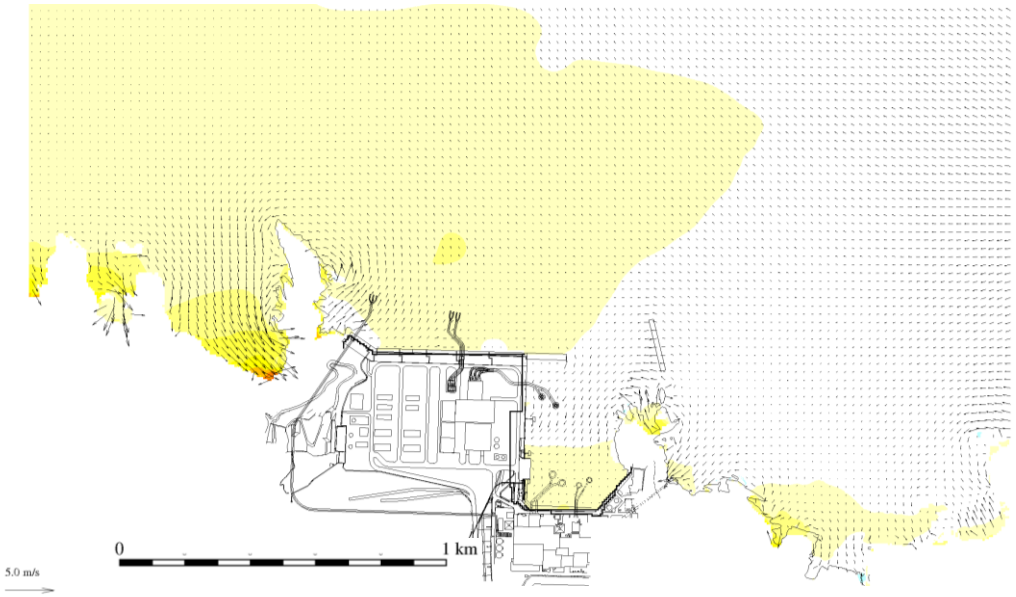
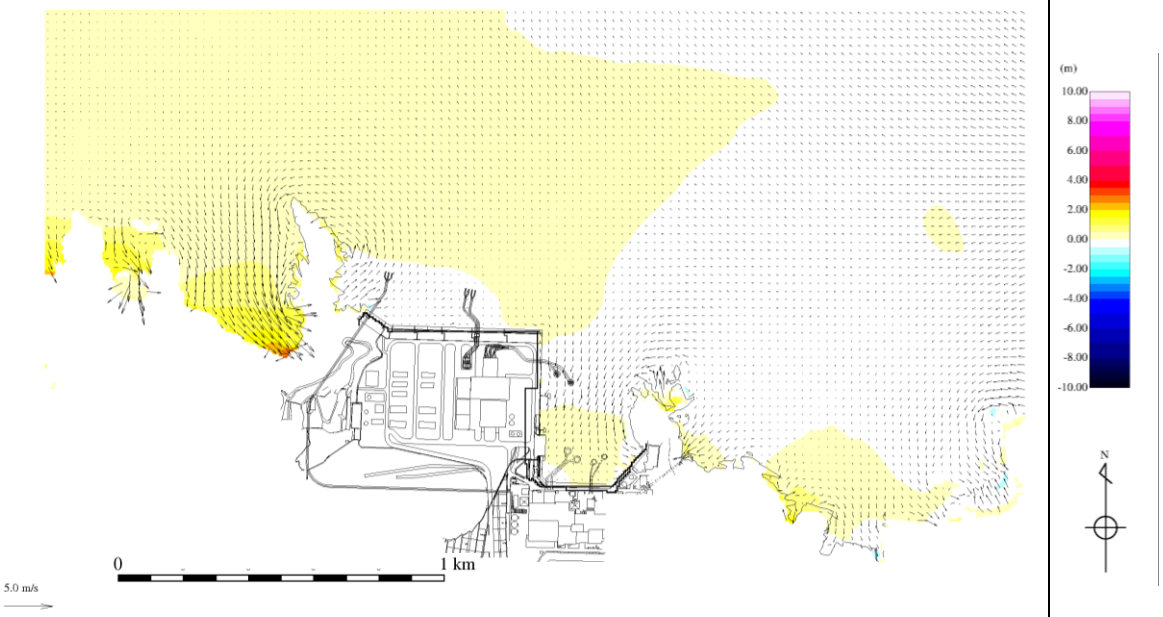
時間	132 分 30 秒
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

第 1 図(66)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

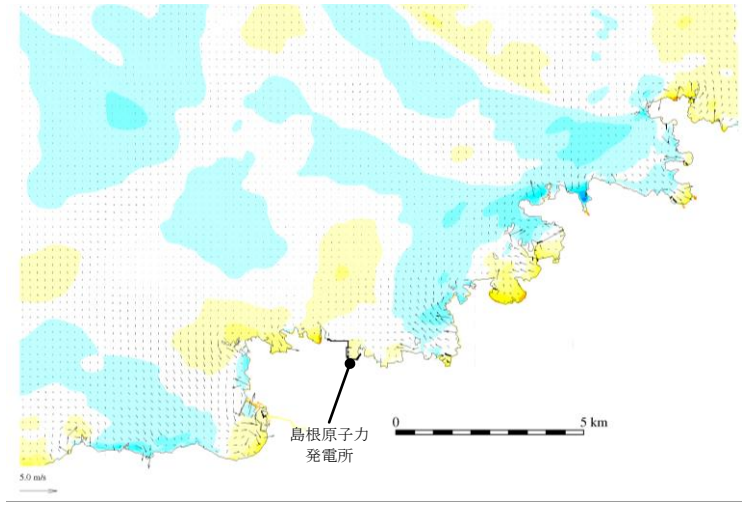
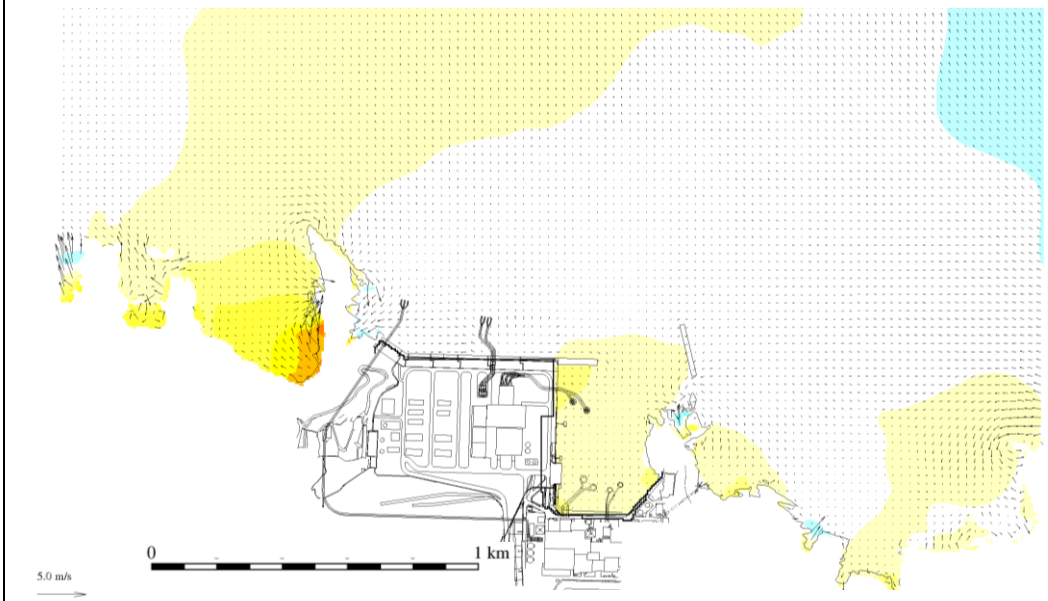
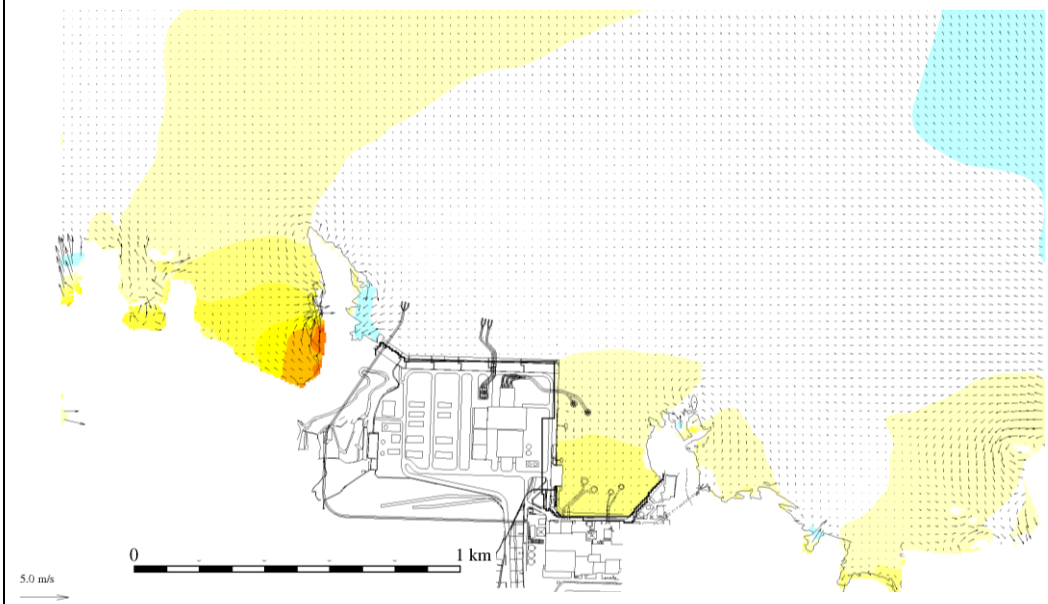
時間	133 分
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

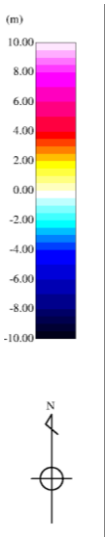


第 1 図(67)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

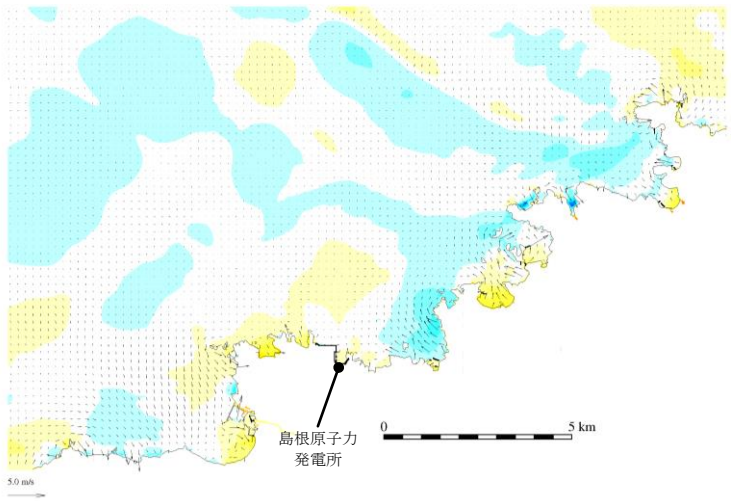
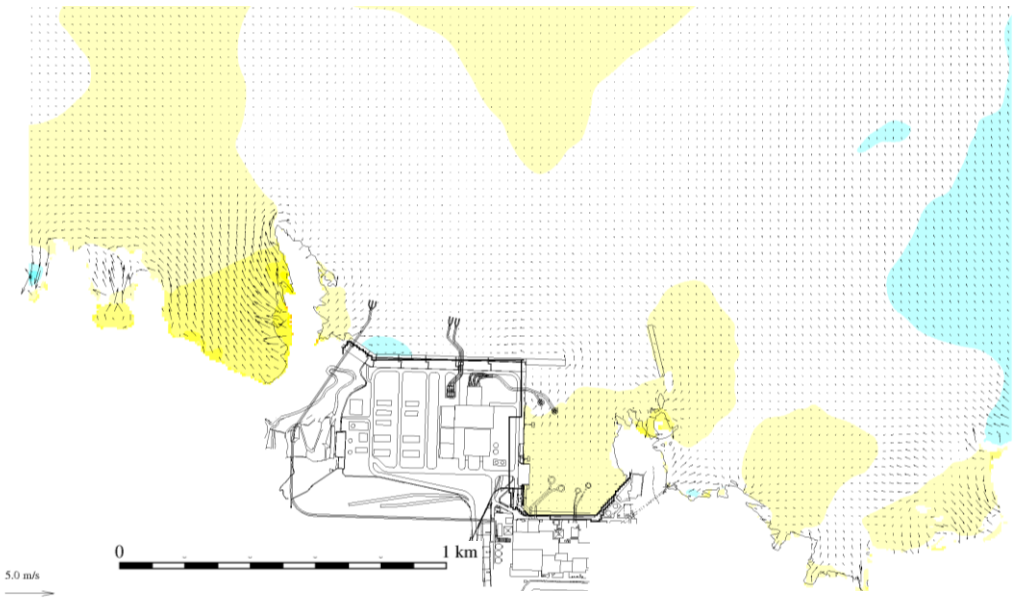
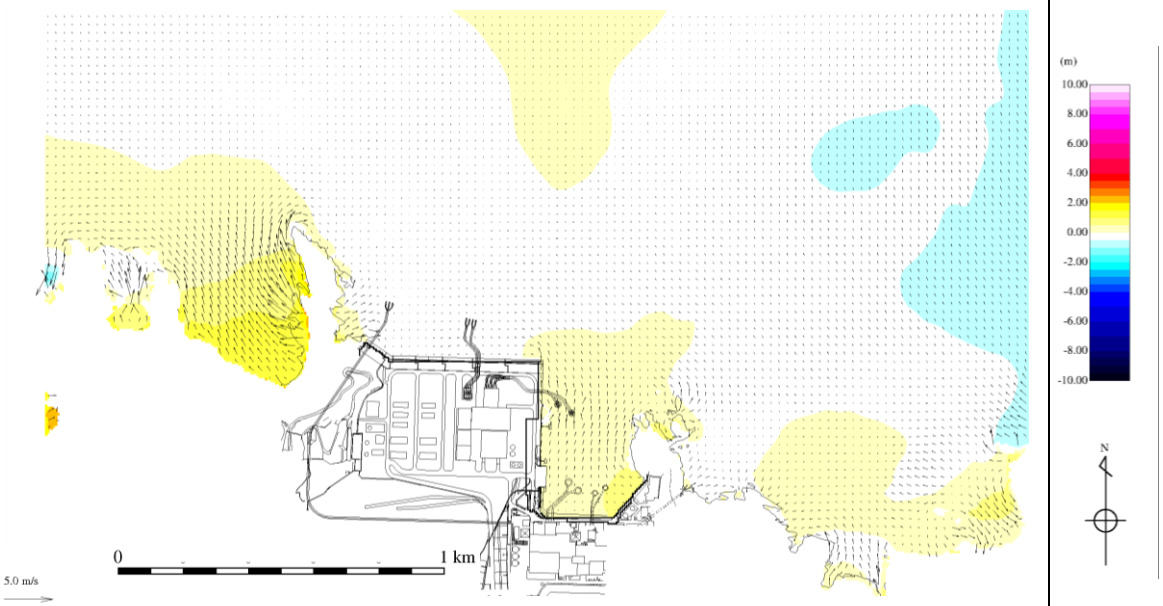
時間	133 分 30 秒
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

第 1 図(68)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

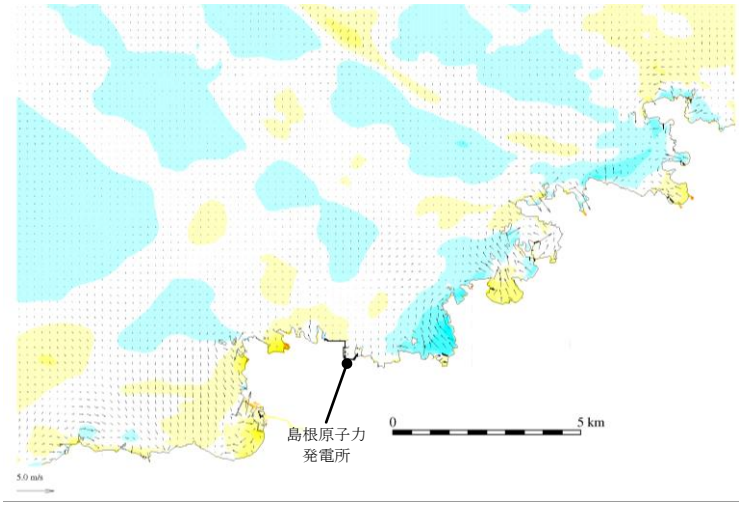
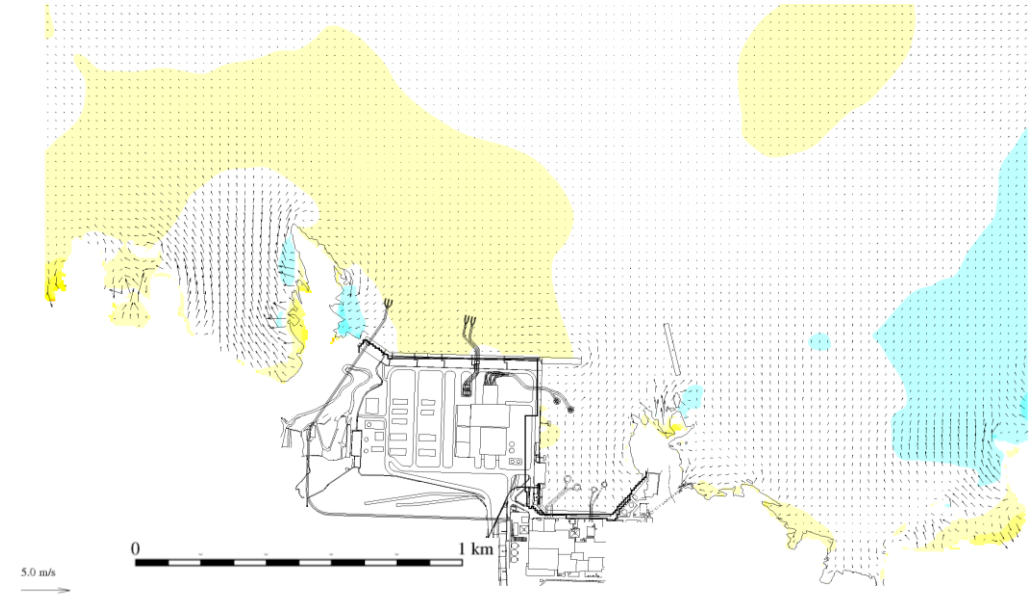
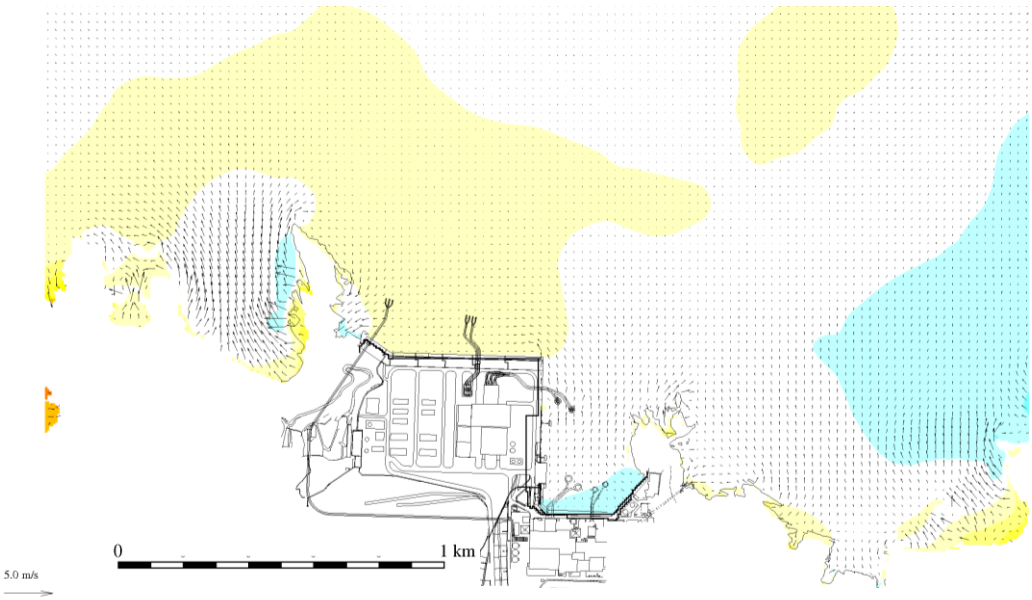
時間	134 分
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	



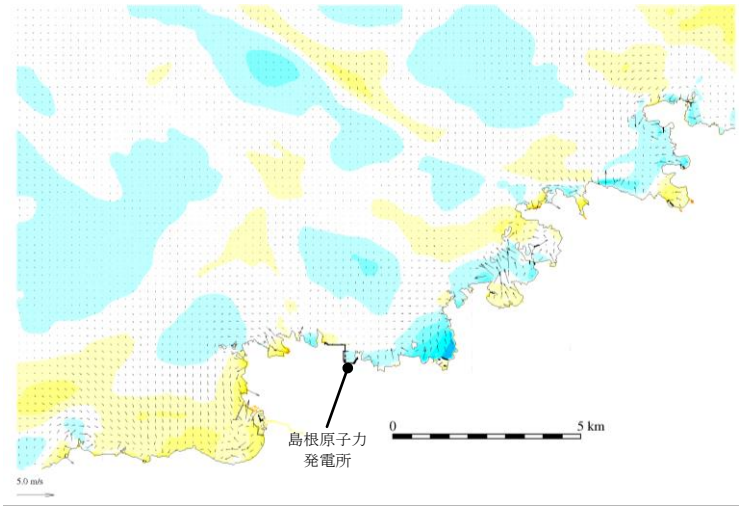
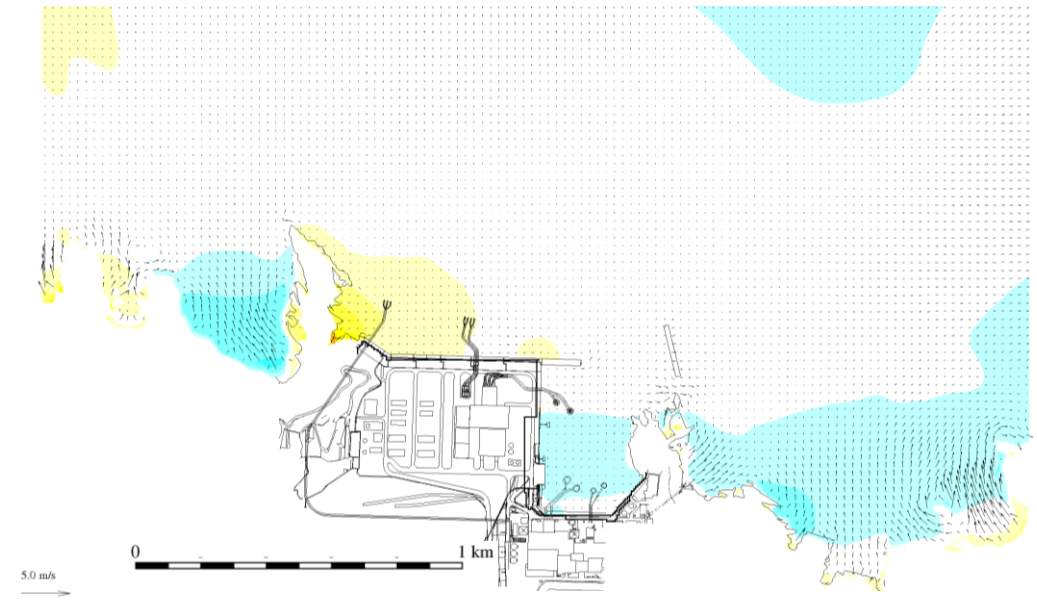
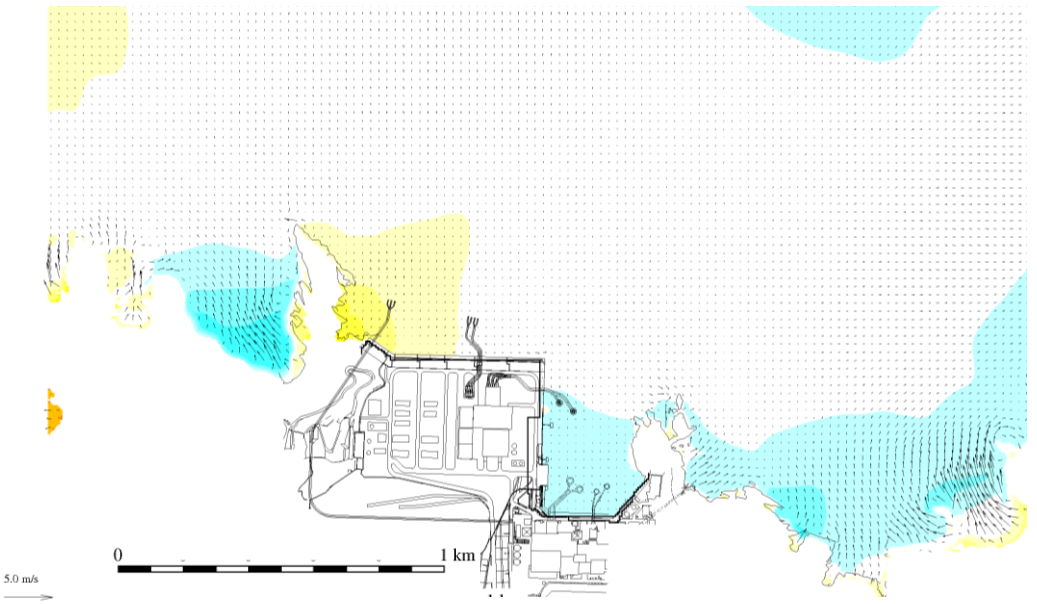
第 1 図(69)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

時間	134 分 30 秒
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

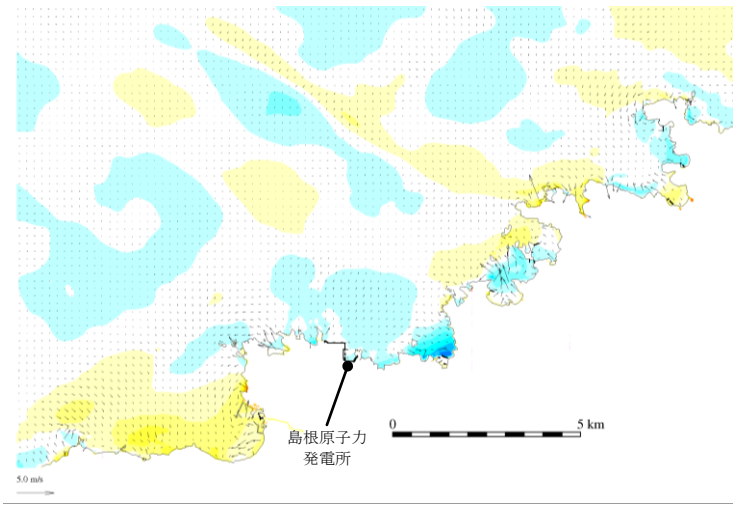
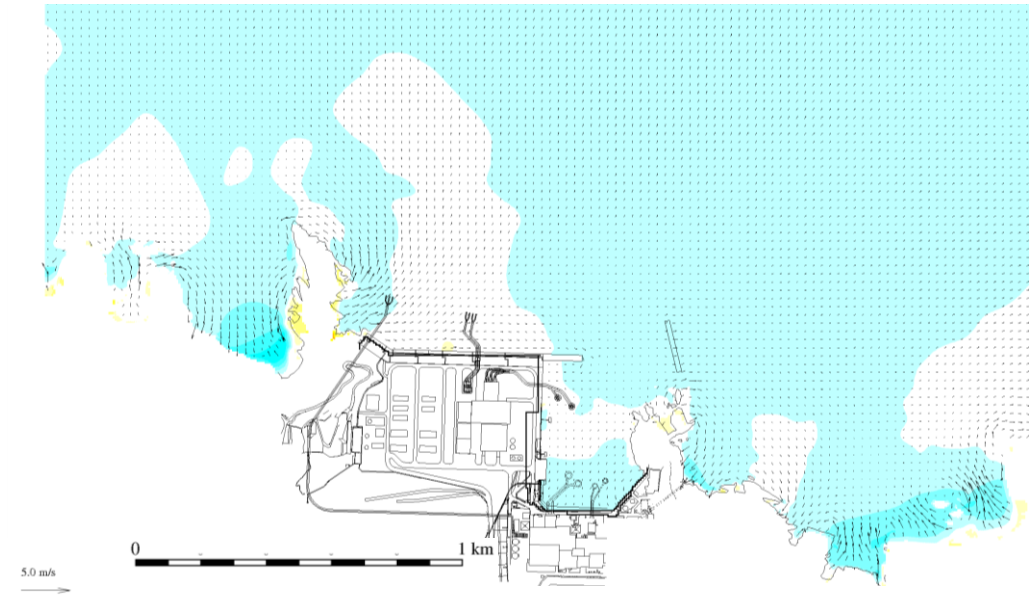
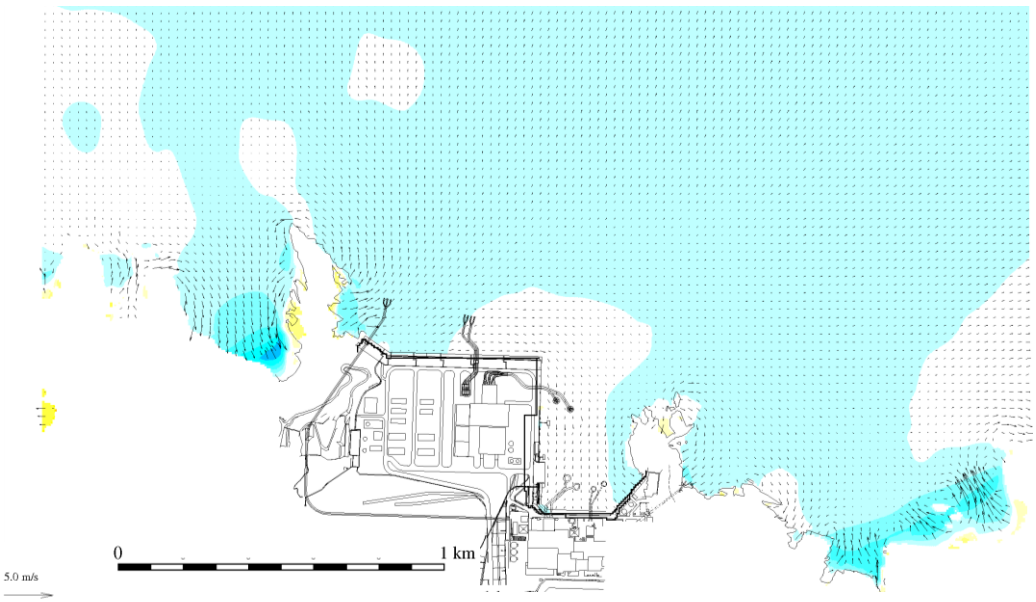
第 1 図(70)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

時間	135 分
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

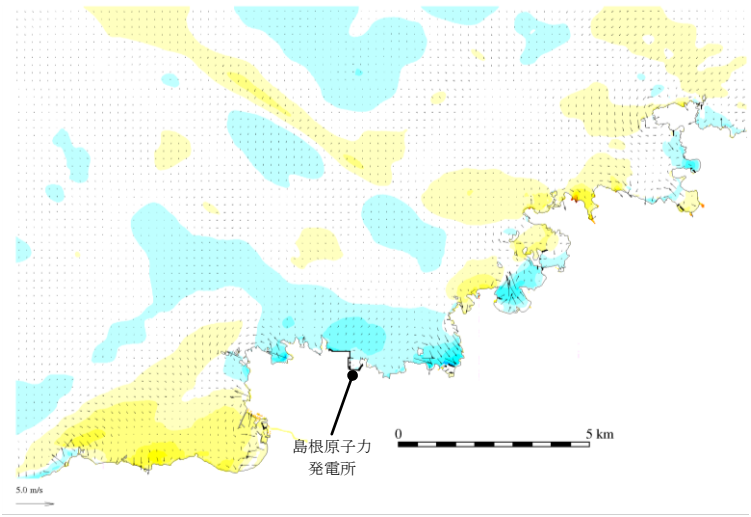
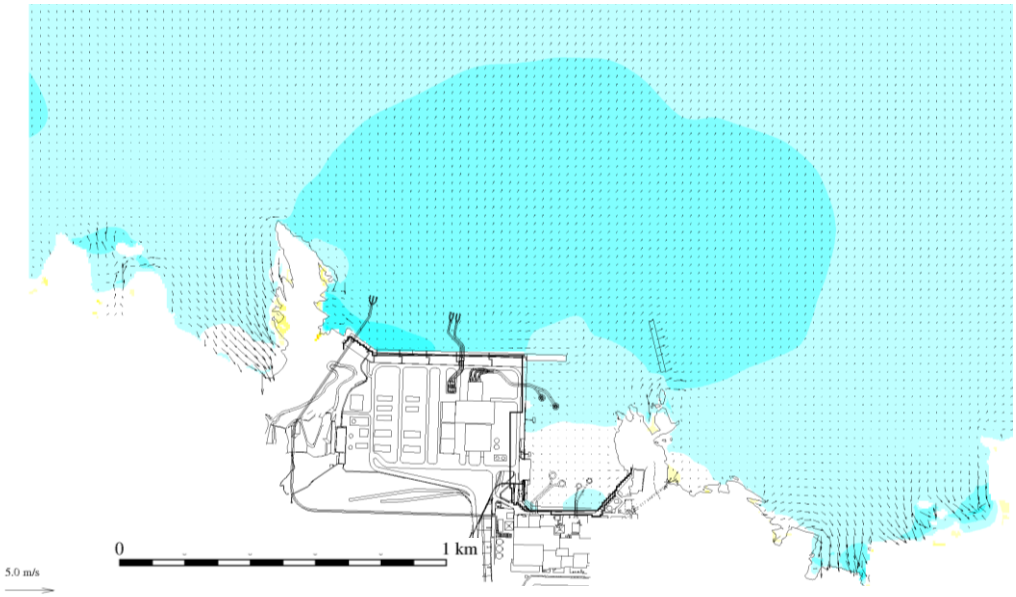
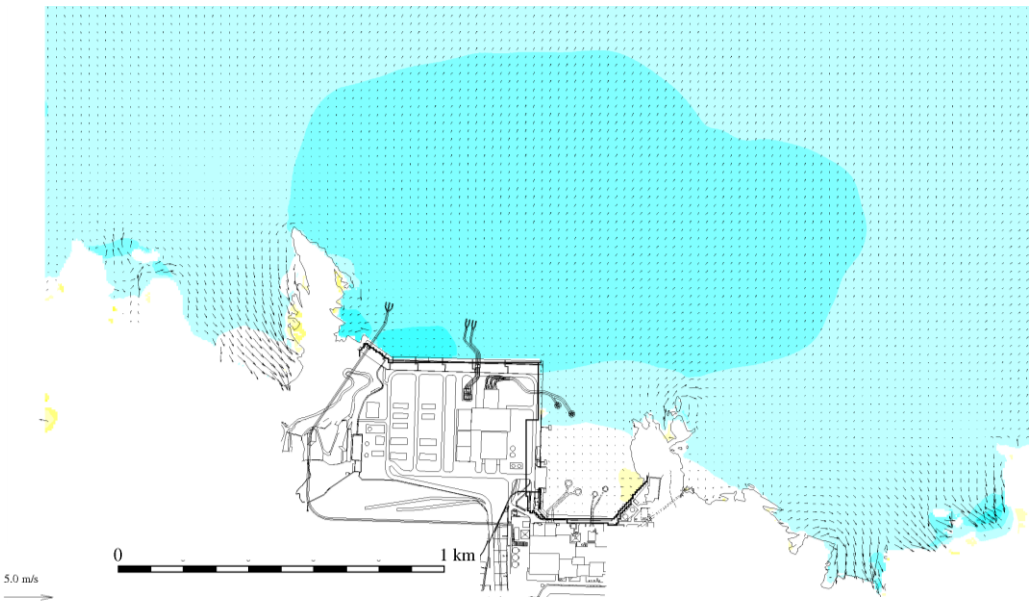
第 1 図(71)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

時間	135 分 30 秒
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

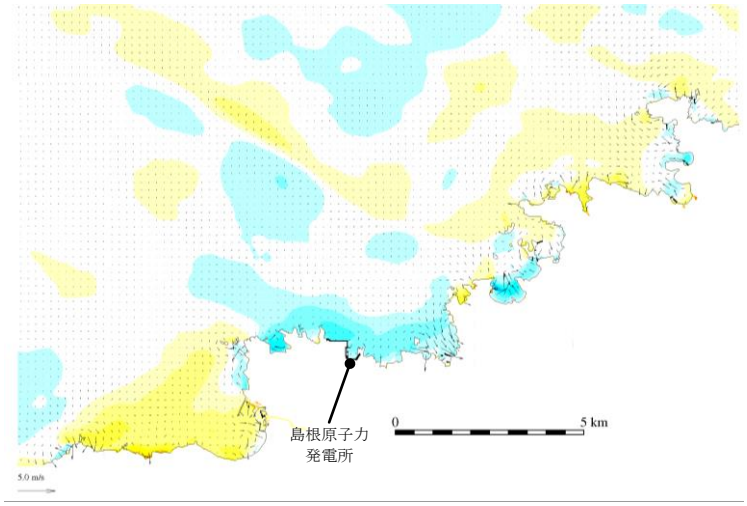
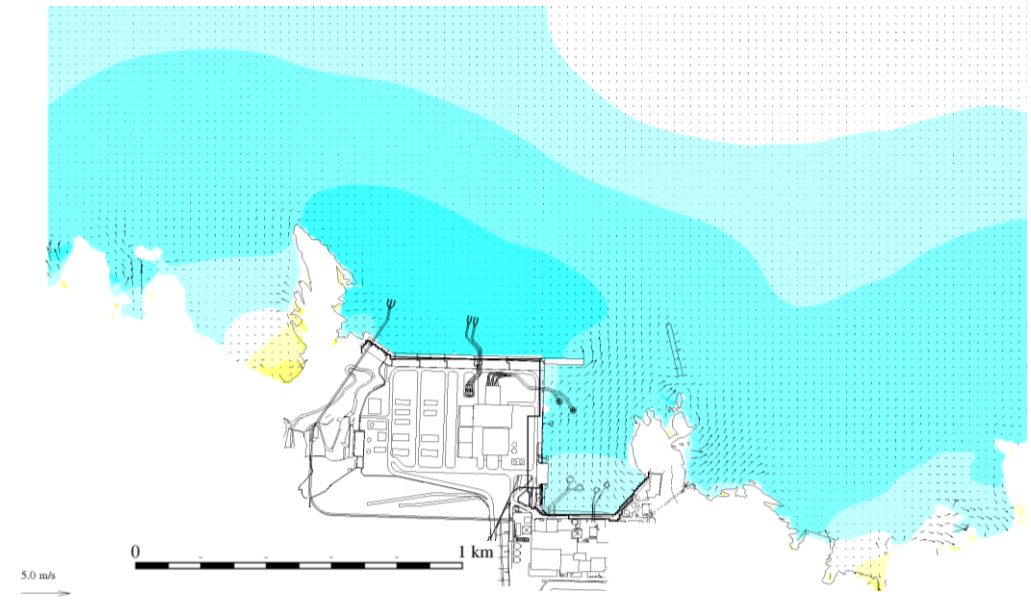
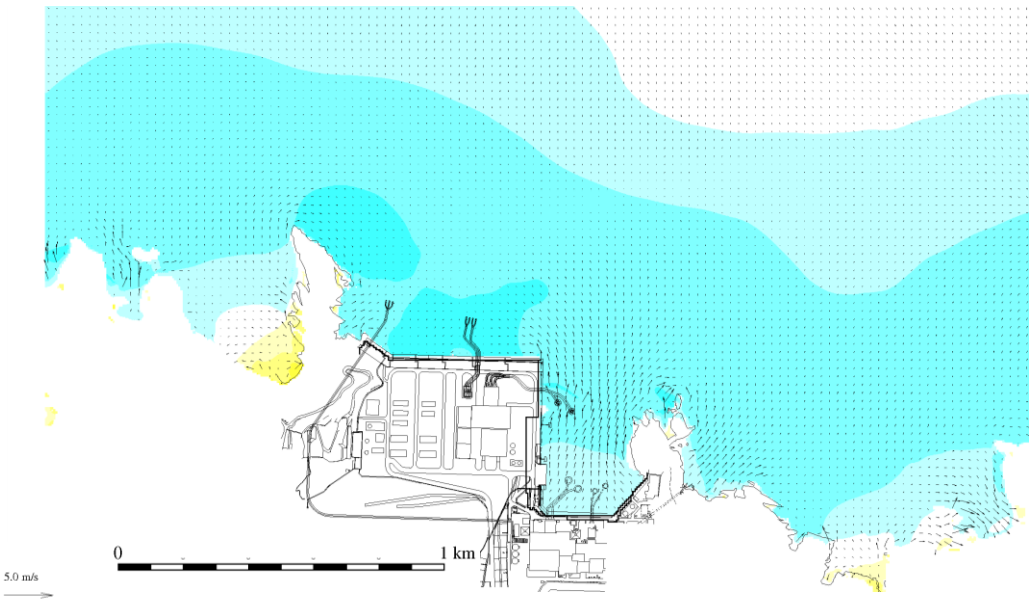
第 1 図(72)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

時間	136 分
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

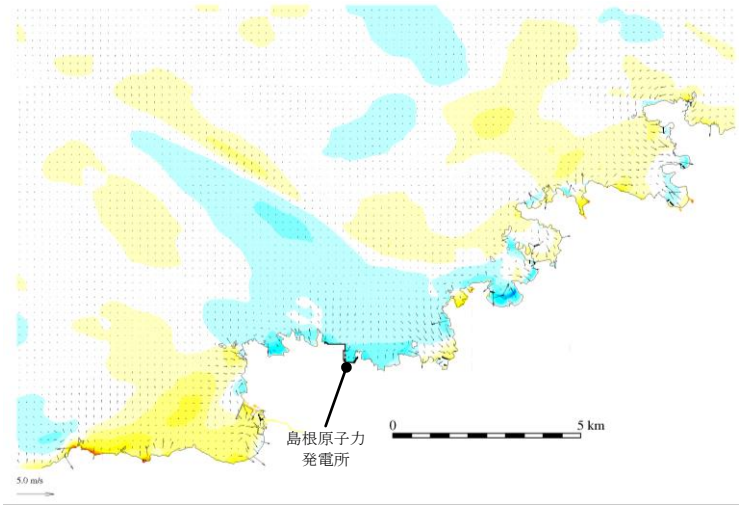
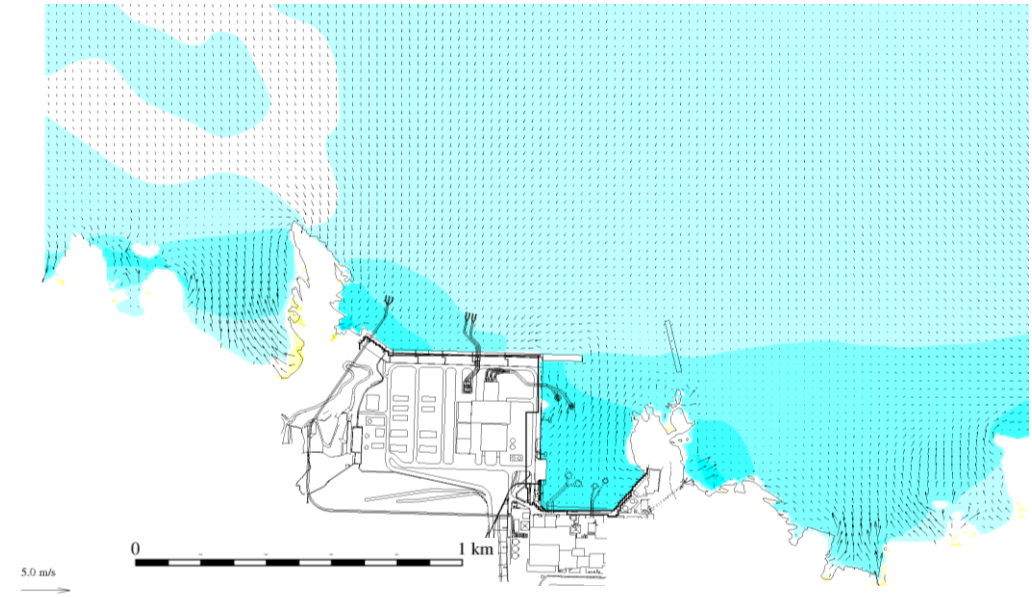
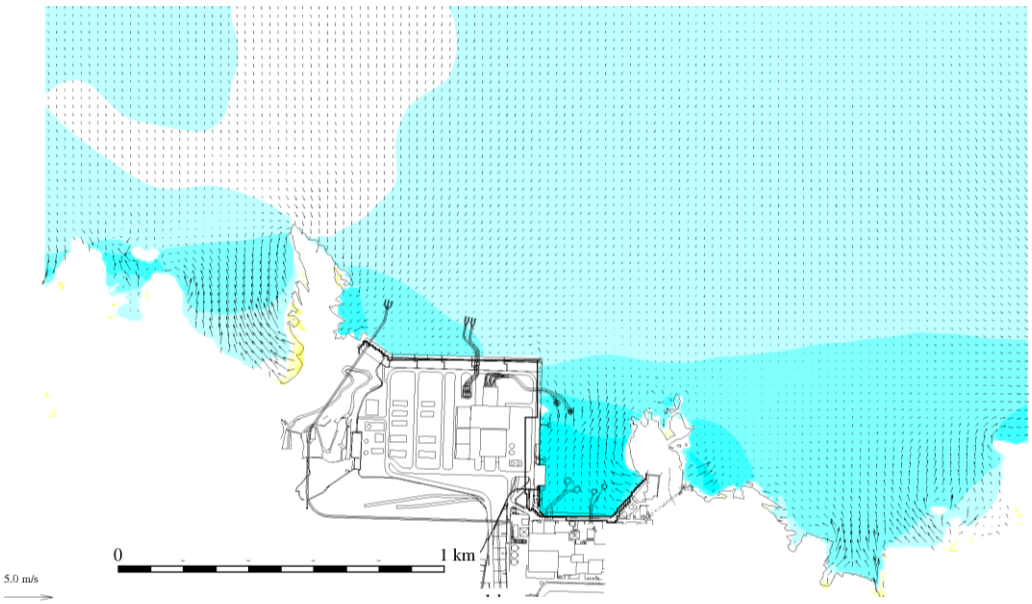
第 1 図(73)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

時間	136 分 30 秒
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

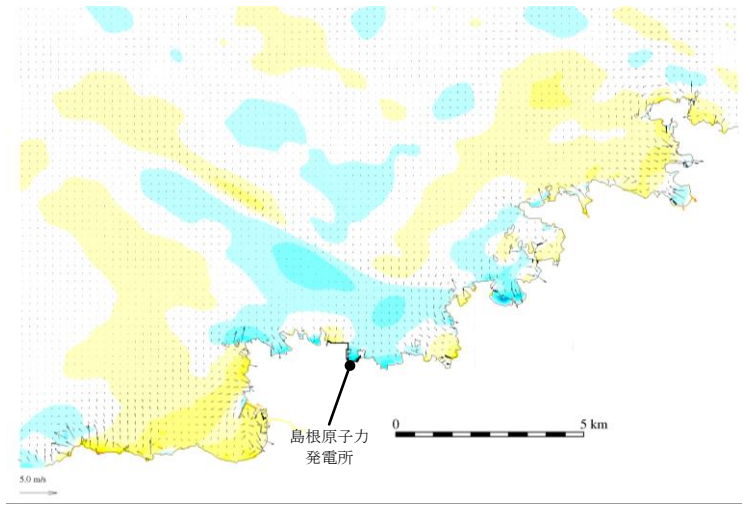
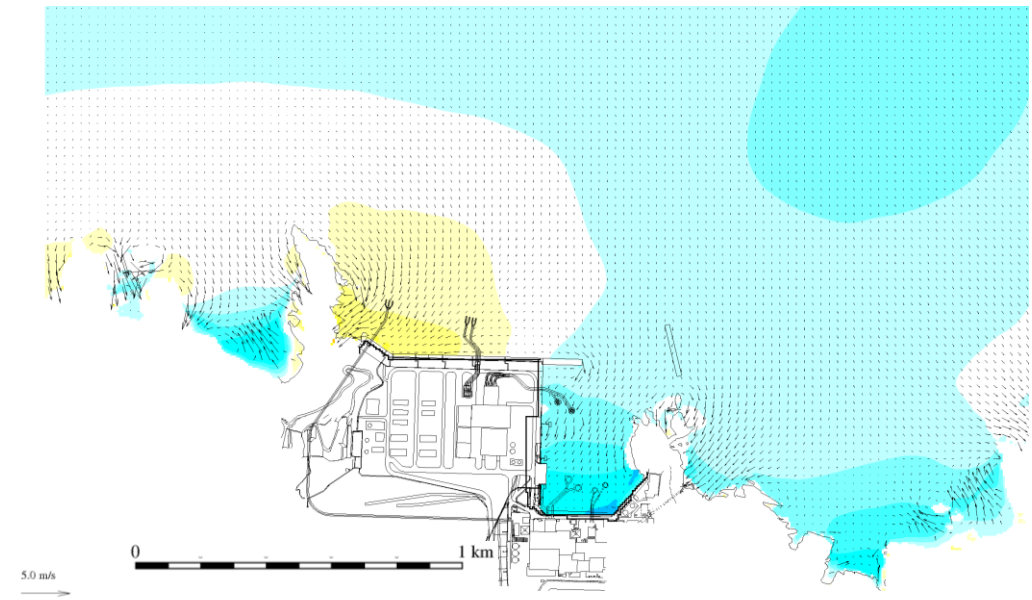
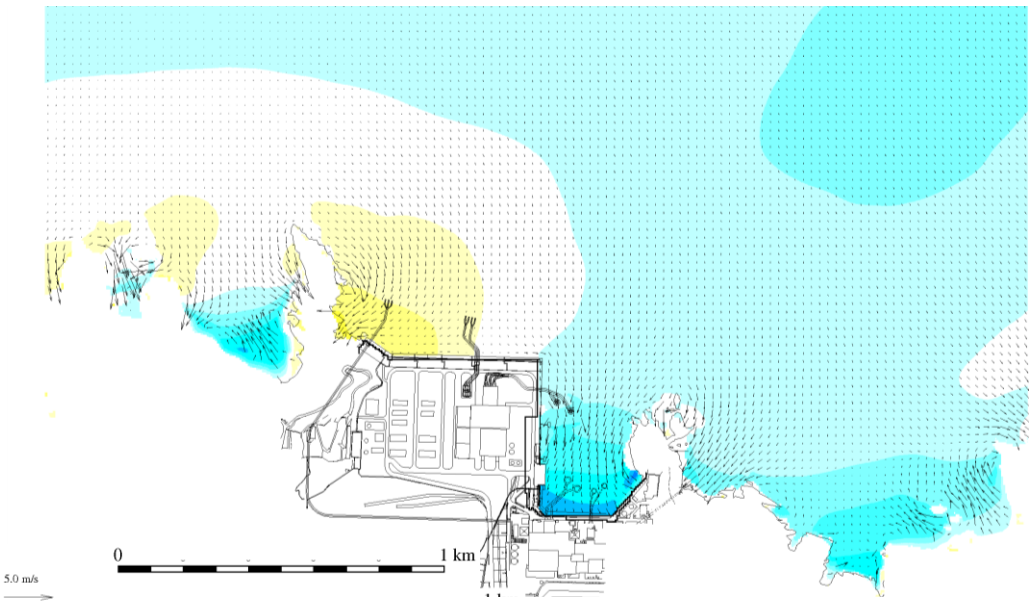
第 1 図(74)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

時間	137 分
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

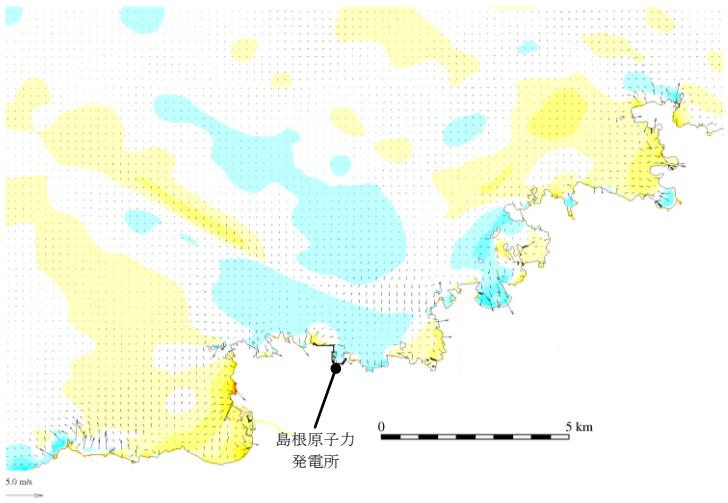
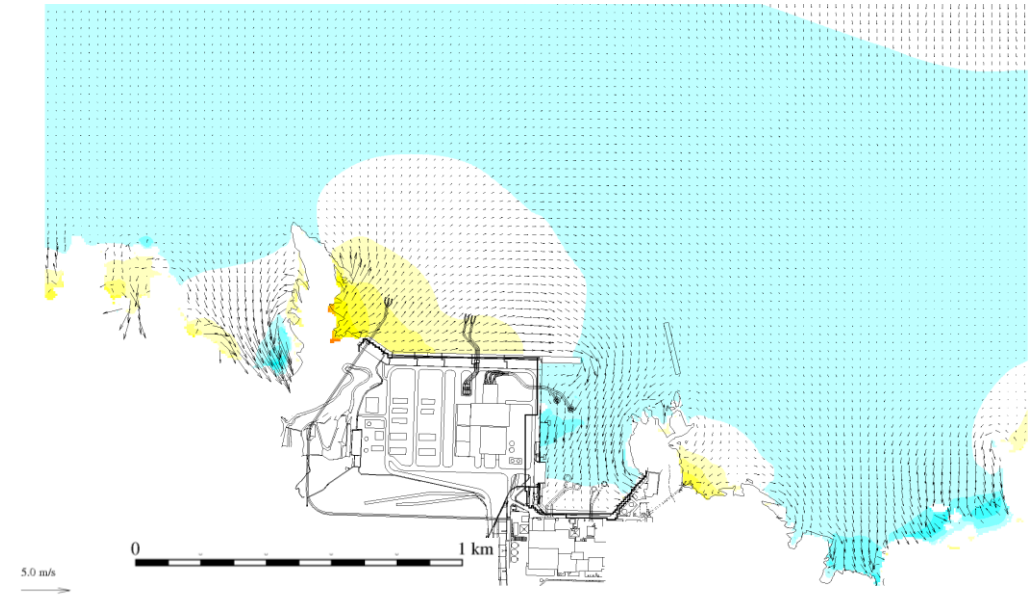
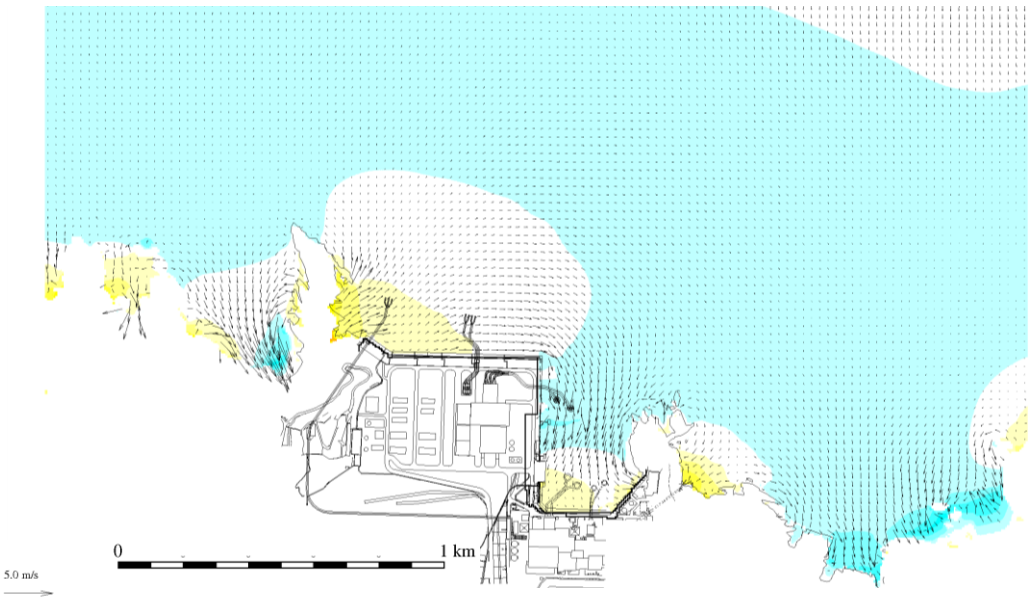
第 1 図(75)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

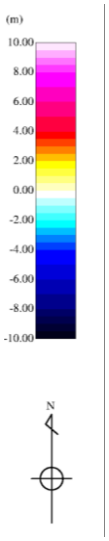
時間	137 分 30 秒
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

第 1 図(76)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

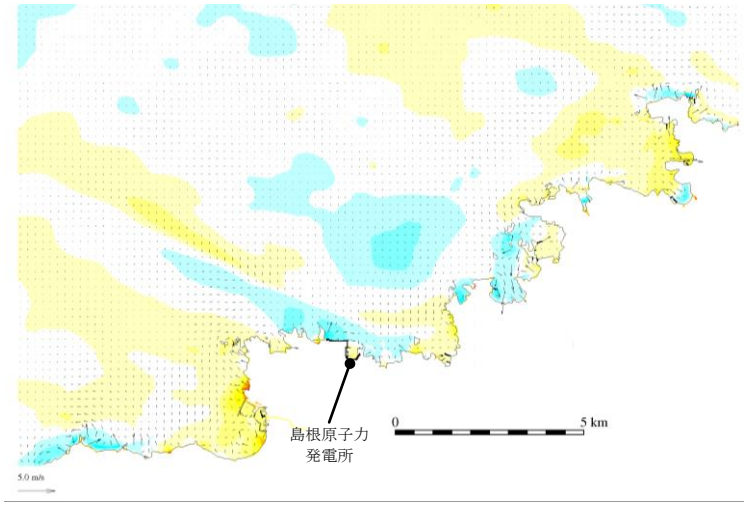
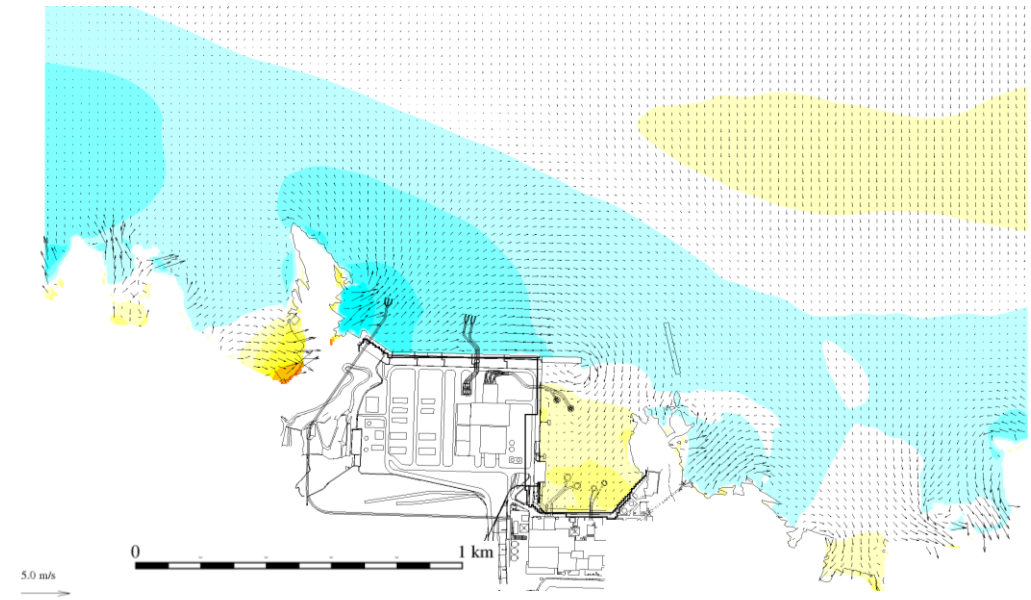
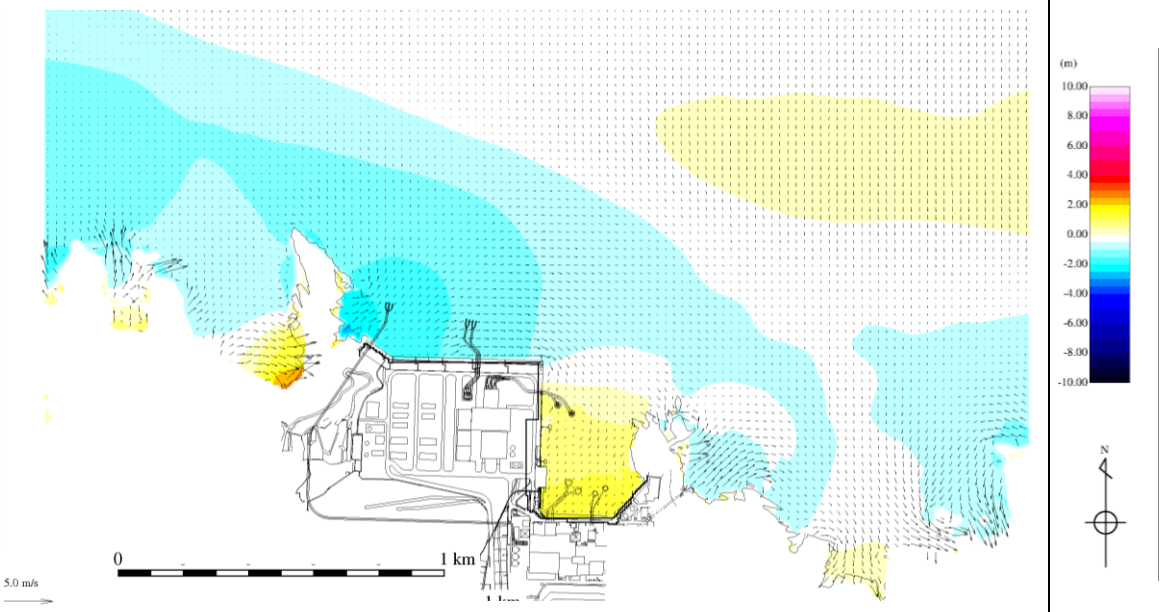
時間	138 分
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

第 1 図(77)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

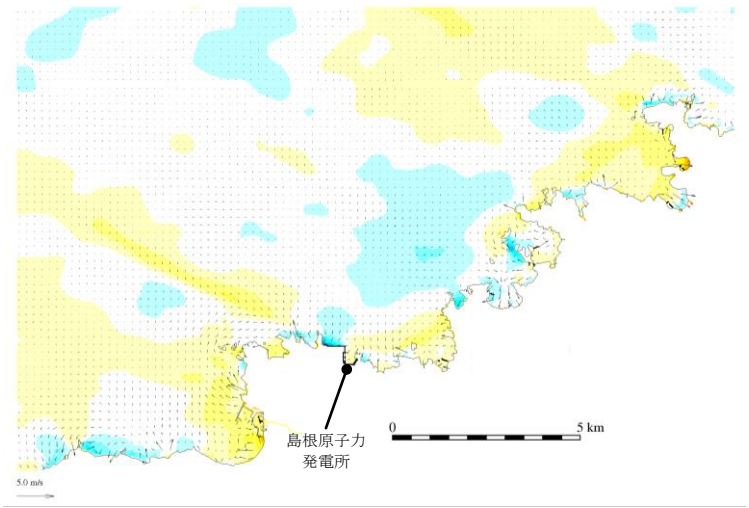
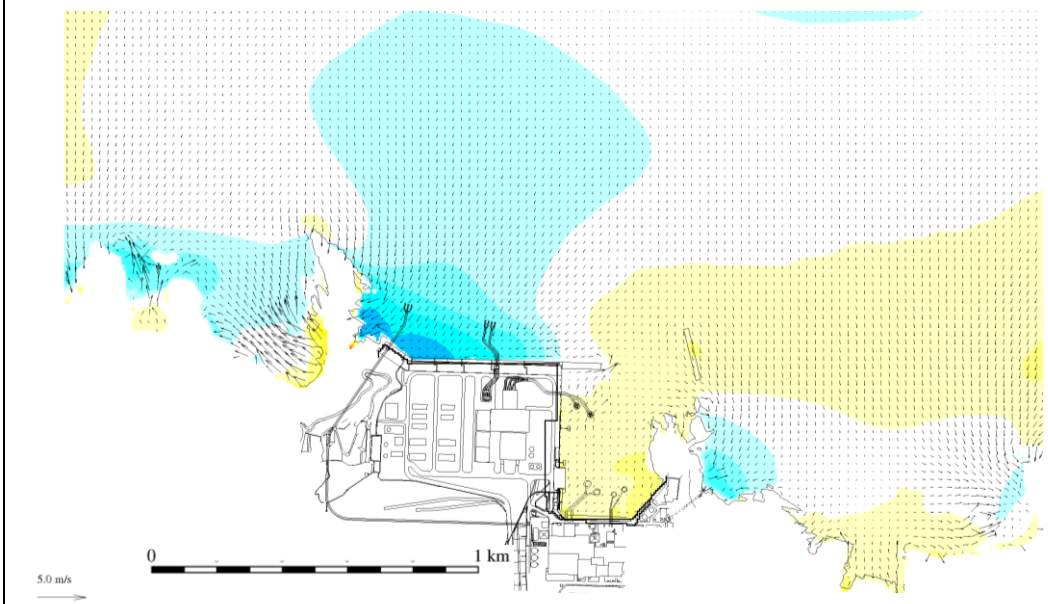
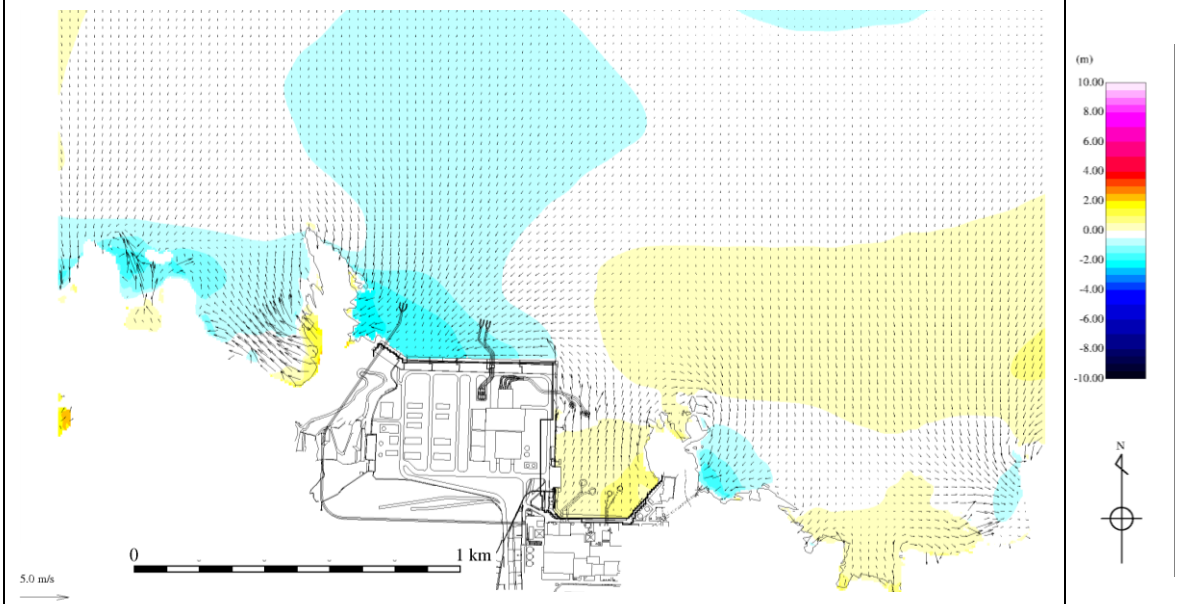
時間	138 分 30 秒
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	



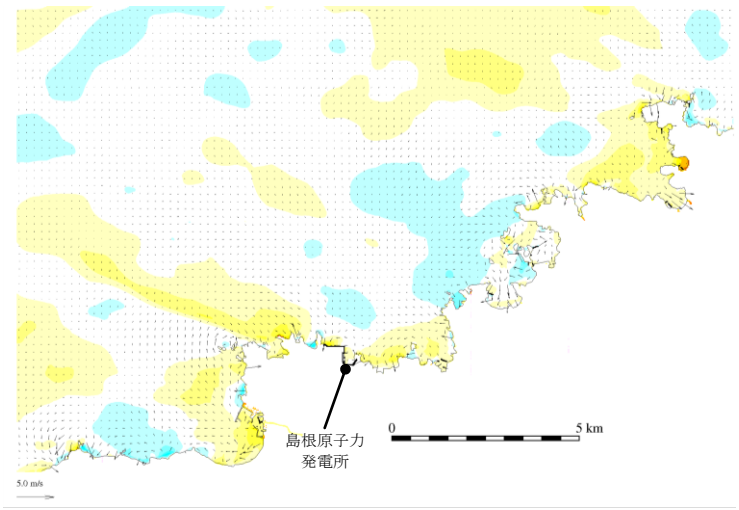
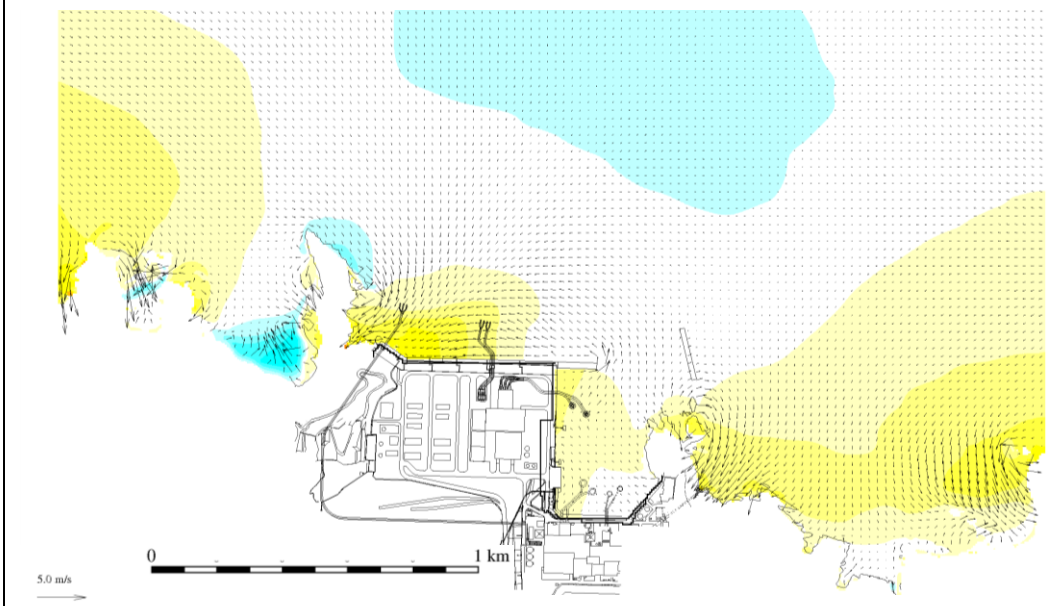
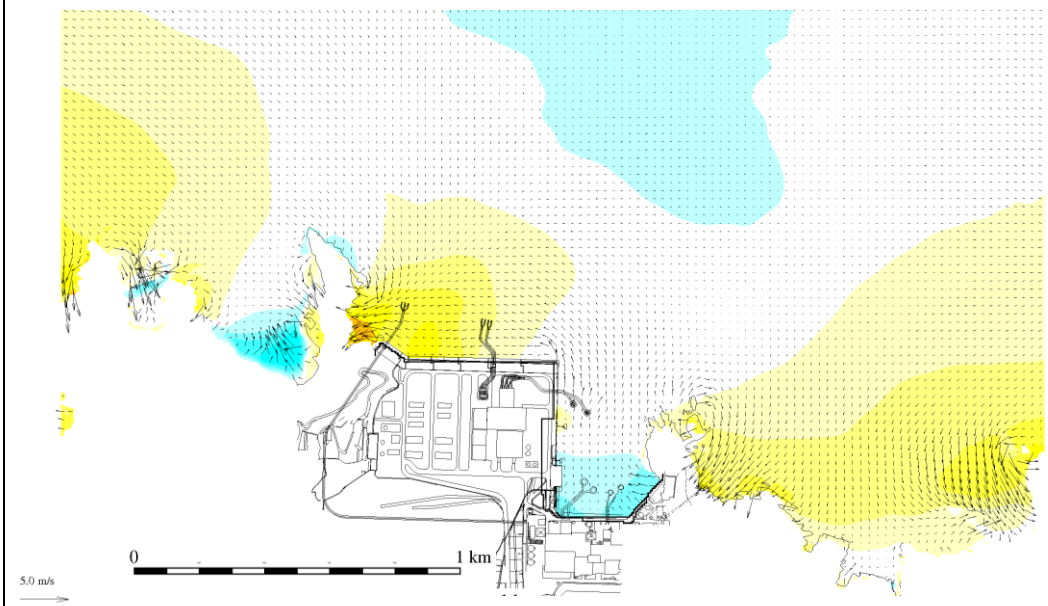
第 1 図(78)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

時間	139 分
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

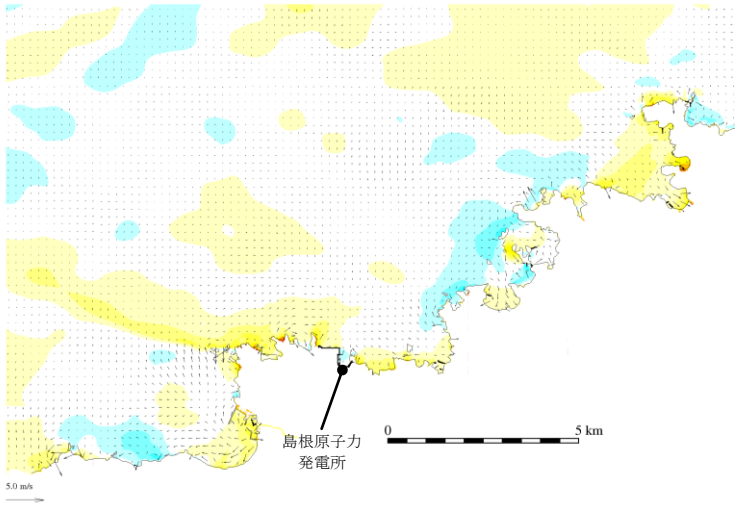
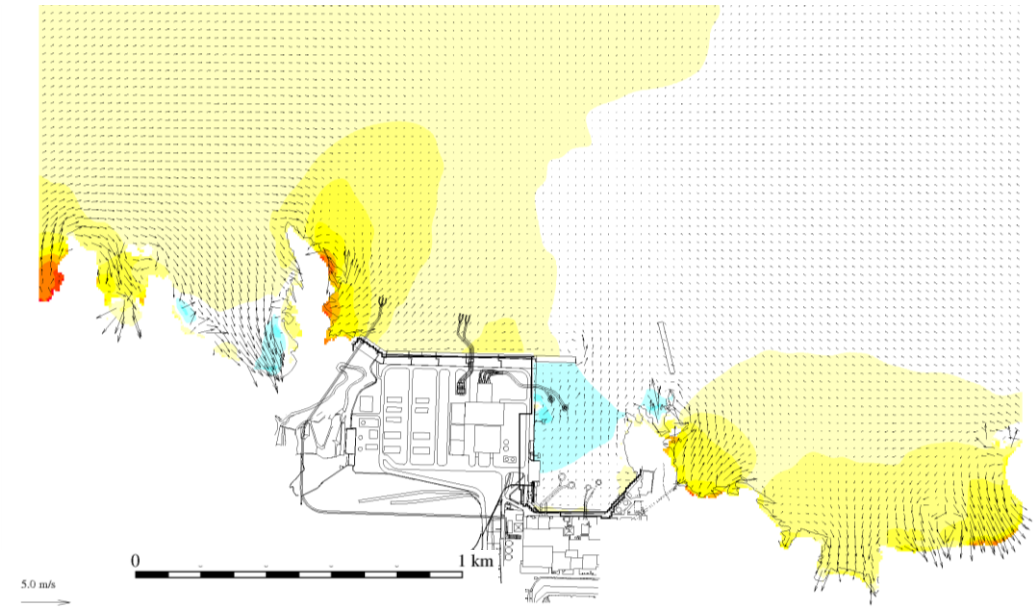
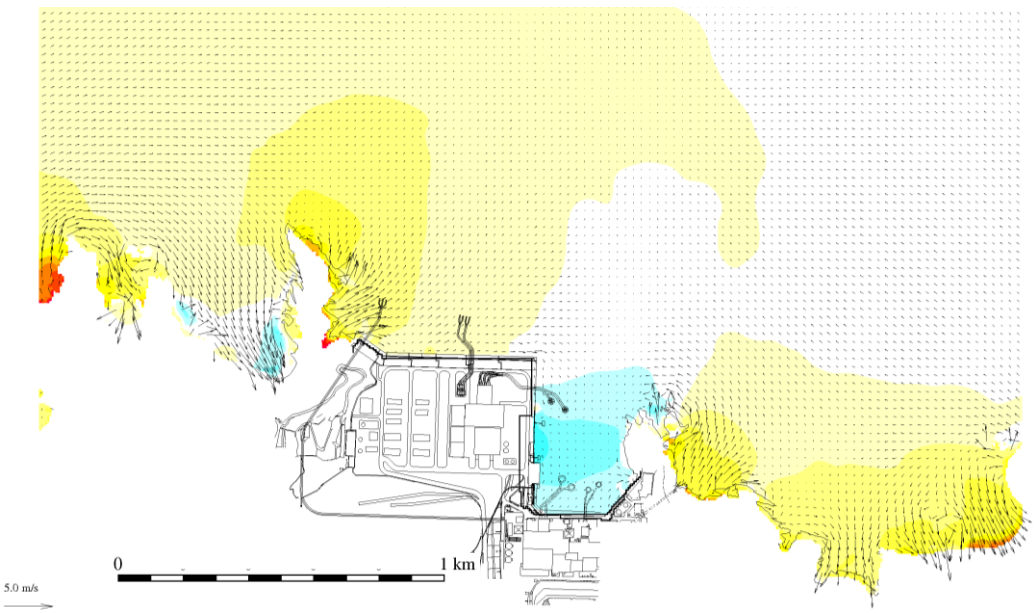
第 1 図(79)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

時間	139 分 30 秒
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

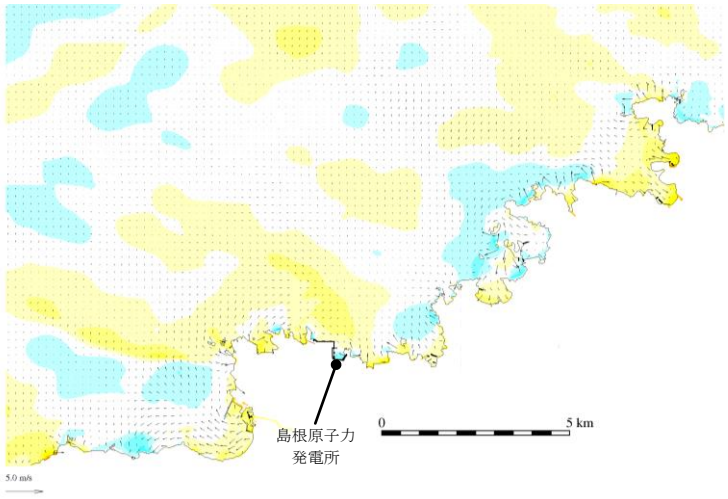
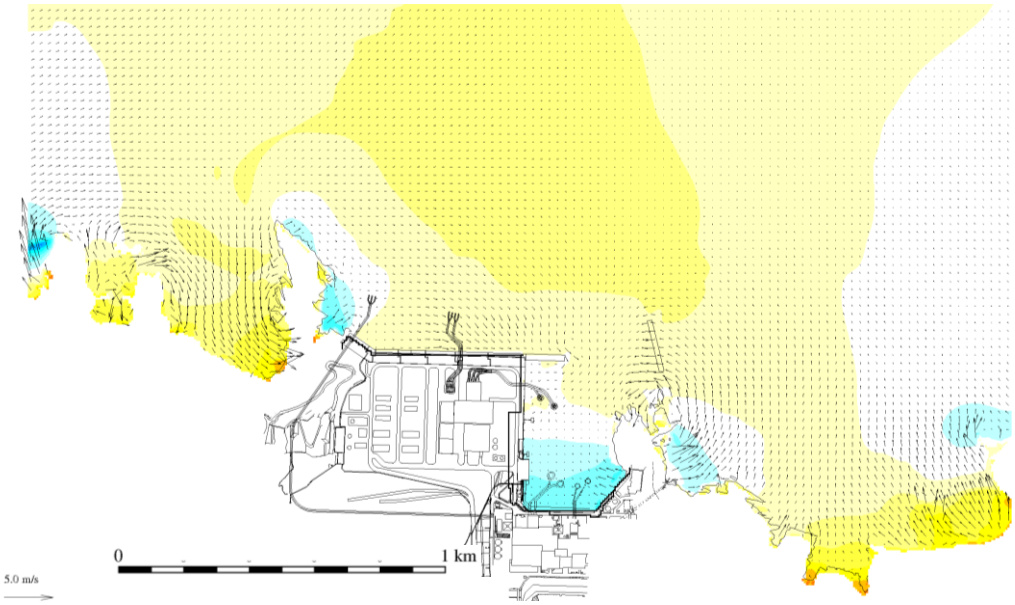
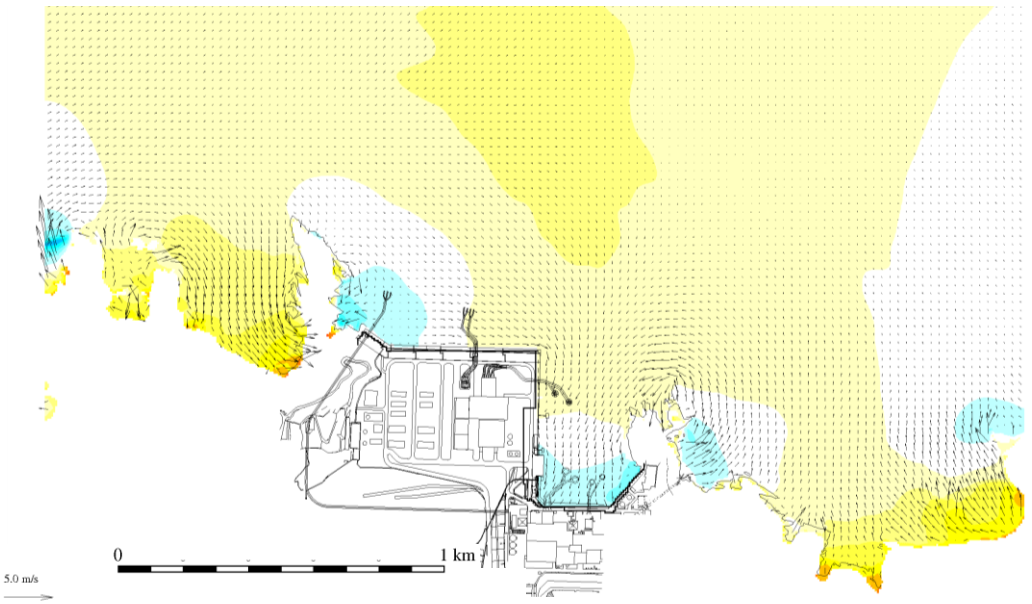
第 1 図(80)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

時間	140 分
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

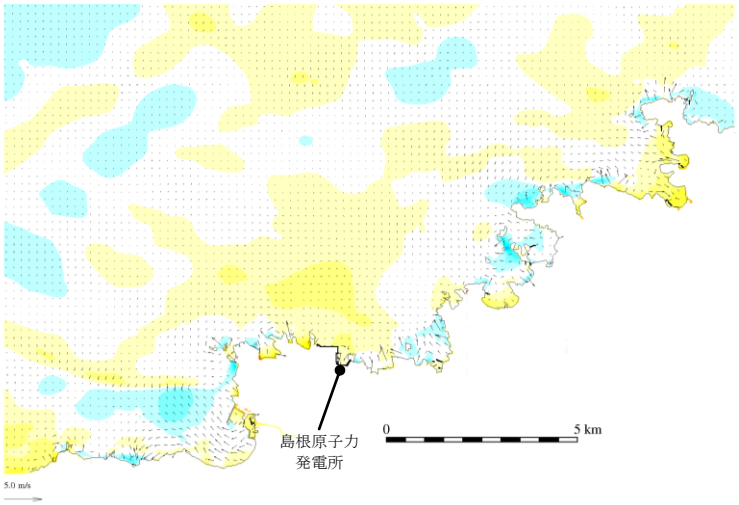
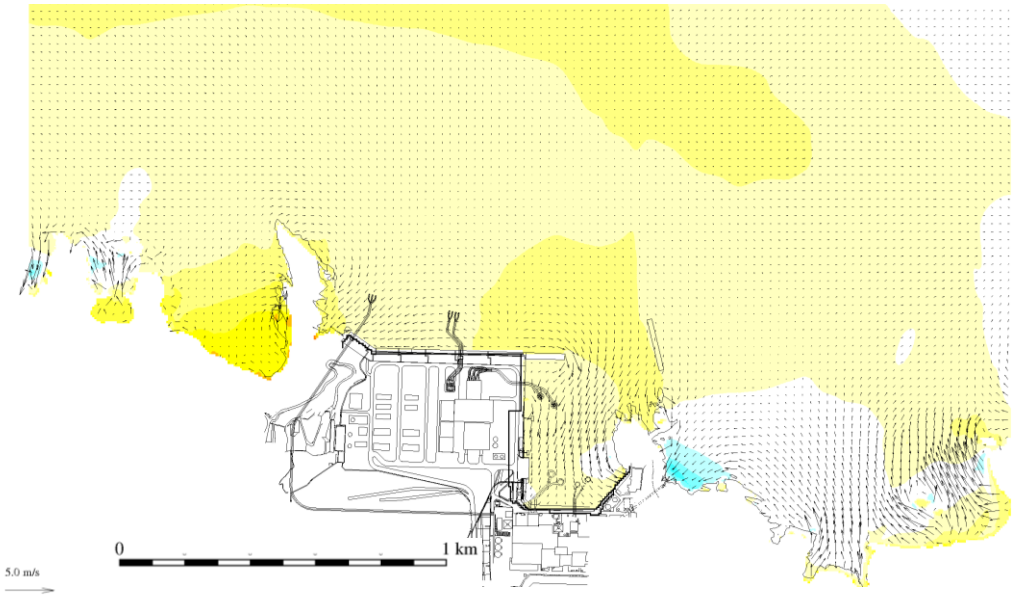
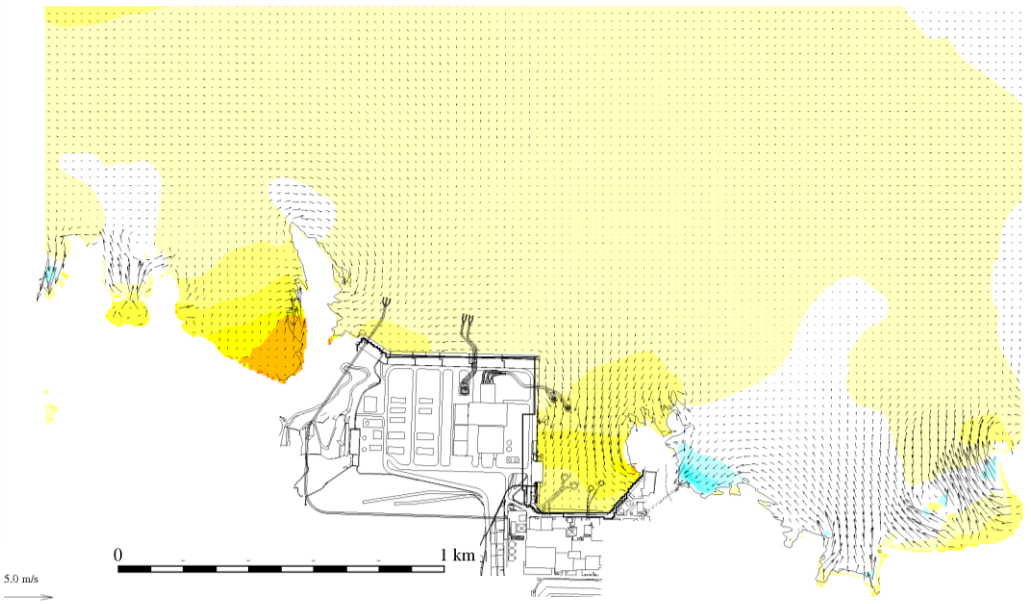
第 1 図(81)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

時間	140 分 30 秒
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

第 1 図(82)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

時間	141 分
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

第 1 図(83)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル

時間	141 分 30 秒
発電所周辺海域	
発電所港湾部（防波堤有り）	
発電所港湾部（防波堤無し）	

第 1 図(84)　基準津波 1 の水位変動・流向ベクトル