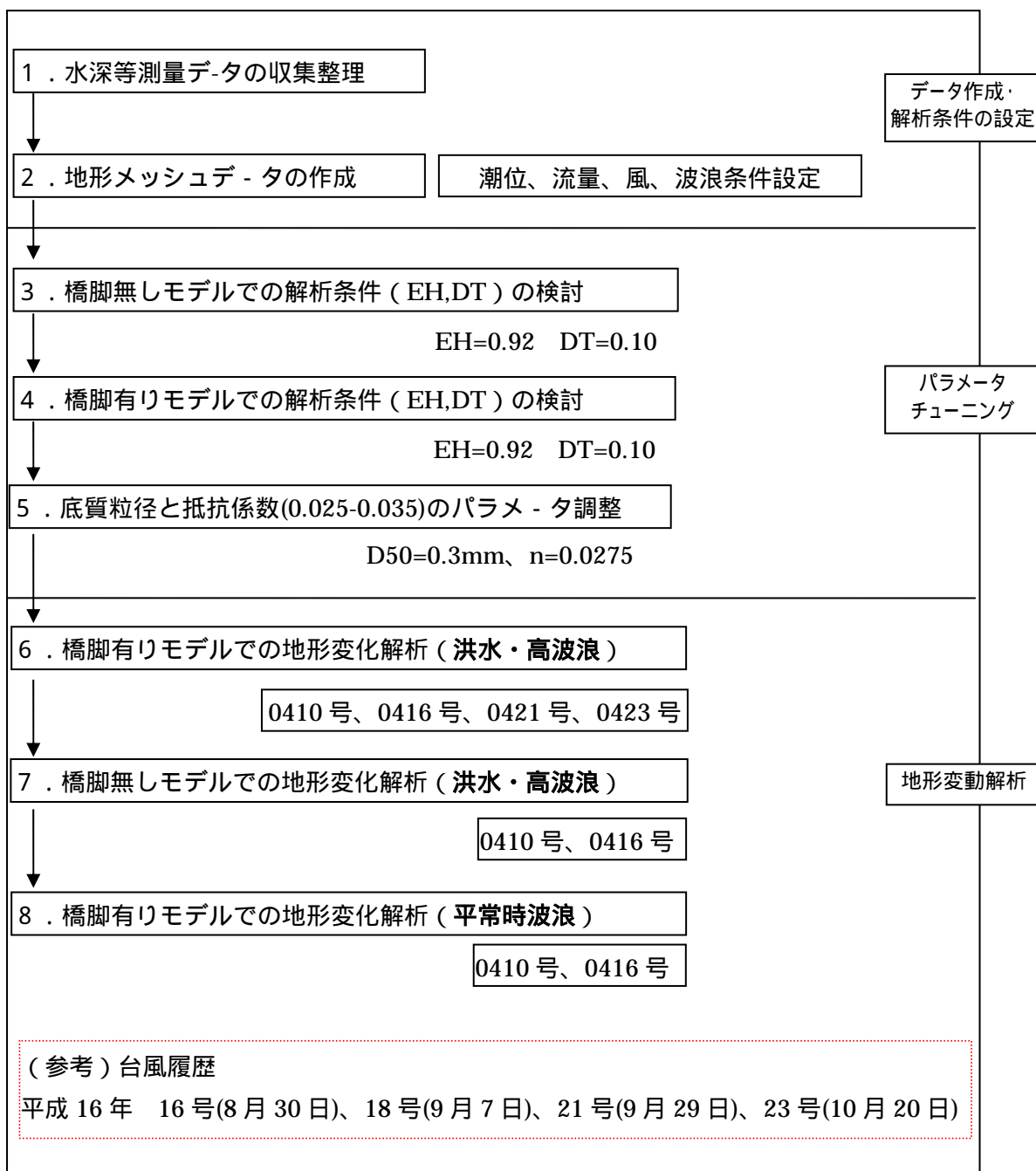


### 第3章 吉野川河口部地形変動解析

地形変動解析では橋脚施工後の地形再現計算，橋脚工事が行われなかった場合の仮想的河床変動計算より，橋脚建設の地形変化への影響を評価する。

地形変動解析の作業フローを以下に示す。



### 3-1 . 対象区域

#### 【地形変動解析】

吉野川河口 0km 地点より，河川上流側 6km，海域側 3km の 9km を解析対象区間とする。海域部分は 0km 地点中央断面より，南側 2.5km，北側 2.5km，計 5km の海域部分を計算領域に含める。

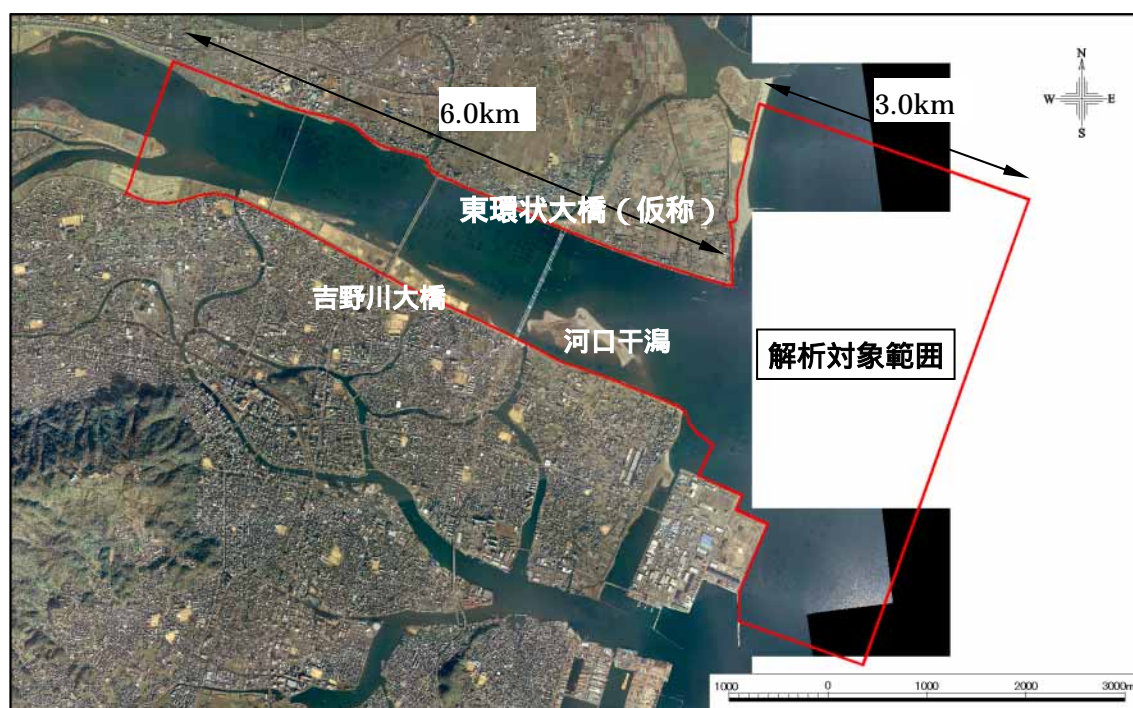


図 3-1 吉野川河口における地形変動解析の対象領域 ( 9.0km × 5.0km )

【波浪変形解析】

吉野川河口 0km 地点より、河川上流側 4km、海域側 3km の 7km を解析対象区間とする。海域部分は 0km 地点中央断面より、北側 1km、南側 1.5km の計 2.5km を含める。

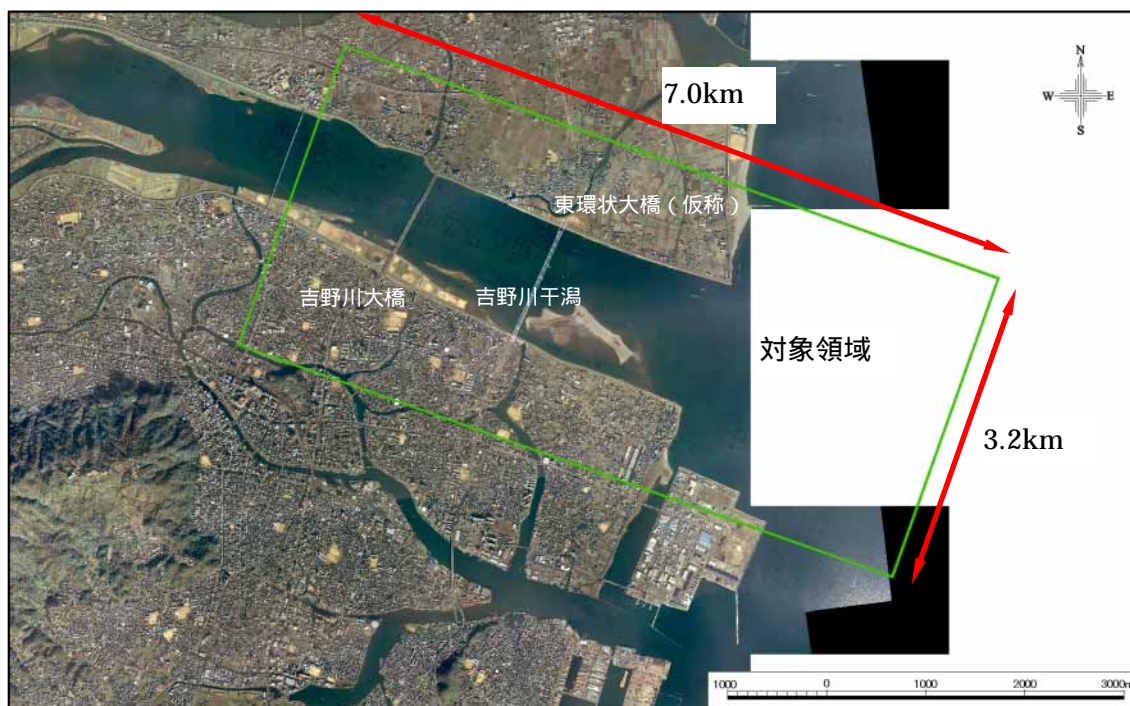
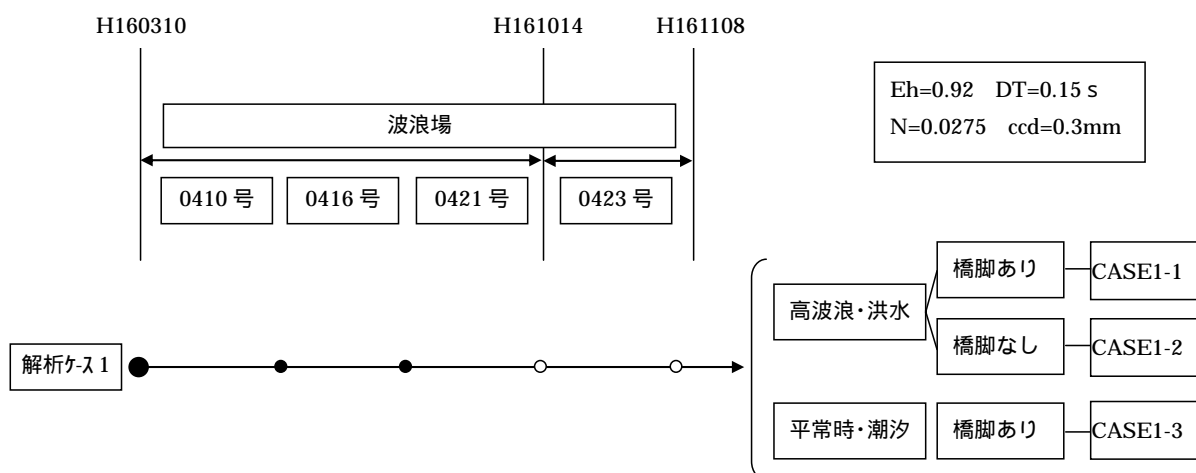


図 3-2 吉野川河口における波浪解析の対象領域 (7.0km × 3.2km)

### 3-2 . 対象外力

解析対象外力は、河川流（洪水流・潮汐流）および波浪とし、「高波浪と洪水流」について橋脚がある場合と無い場合について解析を行う。「平常時波浪と潮汐流」については、橋脚がある場合のみについて解析を行うものとする。



各外力の取り扱い手法について以下に記す。

### 3-3 . 解析手法

地形変動解析としては、まず、平面場波浪解析から得られる波高値から流砂量に影響を与える底面摩擦速度を算定する。その後、その底面摩擦速度を初期値とし、洪水流と潮汐流に対する流れ場を行い、その流れ場での底面摩擦力から流砂量を求め、河床の変動量を算定する。以下にその基礎式を示す。

#### (1) 洪水流・潮汐流

潮汐流の概要について記す。

潮汐による海面昇降に伴い、海水は水平方向の往復運動を行う。この流れを潮流という。潮流は、通常、12 時間 25 分の半日周期で変化する海水の流動である。座標 (X,Y) を水平面内の 2 次元平面として扱い、u,v は流速を鉛直方向へ積分した線流量を水深で割った平均流速が用いられる。潮流の運動を支配する基本方程式として、以下に示す、海面の上下運動によって生じる流れの運動方程式と連続の式が用いられる。

非定常平面 2 次元流動解析手法の基礎方程式を以下に示す。

鉛直方向に平均して二次元化した潮流の運動方程式を式(1)、(2)に、連続式を式(3)に示す。

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - fv \\ + g \frac{\partial}{\partial x} - a \left[ \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right] \\ + \frac{gu\sqrt{u^2 + v^2}}{(h) C^2} = 0 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + fu \\ + g \frac{\partial}{\partial y} - a \left[ \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right] \\ + \frac{gv\sqrt{u^2 + v^2}}{(h) C^2} = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \{ (\zeta + h)u \} + \frac{\partial}{\partial y} \{ (\zeta + h)v \} = 0 \quad (3)$$

ここに、 $t$ : 時間、 $u, v$ :  $x, y$  方向の平均流速、 $f$ : コリオリのパラメータ (地球の角速度を  $\omega_E (=7.292 \times 10^{-5} \text{rad/sec})$ , 緯度を  $\phi$  (rad) とすると、 $f = 2\omega_E \sin \phi$  で与えられる。),  $g$ : 重力加速度、 $\rho_w$ : 流体の密度、 $H$ : 水深、 $\zeta$ : 水位、 $\tau_b^x, \tau_b^y$ : 河床あるいは海底での  $x, y$  方向の底面せん断応力、 $\varepsilon_h$ : 水平渦動粘性係数である。抵抗則には下に示す Manning 式を用いる。

$$\tau_b^x = \frac{\rho_w g u \sqrt{u^2 + v^2}}{C^2} \quad (4)$$

$$\tau_b^y = \frac{\rho_w g v \sqrt{u^2 + v^2}}{C^2} \quad (5)$$

ここに  $C = h^{1/6} / n$ : Chezy の式、 $n$ : Manning の粗度係数である。

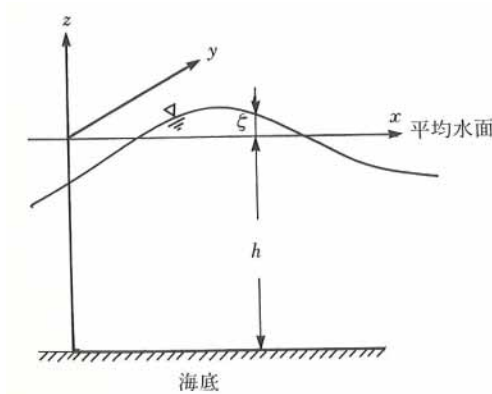


図 3-3 座標系

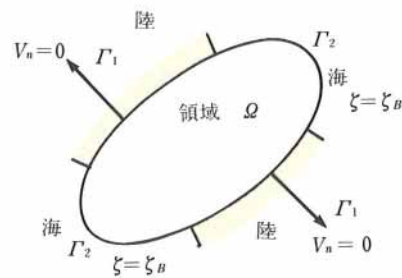


図 3-4 境界条件

これらの方程式は、波長が水深に対して十分長い、浅い海で使用されることから、“浅水方程式”と呼ばれている。水深が波長の 1/20 より浅いところで成り立つ。

海岸域や港湾などでの潮流は、水深の急な変化や海岸線の影響によって大きく変わることがある。潮流の変化は、実際の海域を計算領域として、上記の基礎方程式 (1)(2)(3) を解くことによって数値的に求めることができる。図 3-4 の陸地境界  $\Gamma_1$  と、外海と接する海上境界  $\Gamma_2$  を考える。陸地境界では、通常、次の境界を考える。

$$V_n = 0 \quad (x, y \in \Gamma_1) \quad (6)$$

ここに、 $V_n$ は境界線に対する法線方向の流速である。

$$= B(x, y) \quad (7)$$

また、海上境界  $\Gamma_2$ では、強制水位を与える。

ここに、 $B$ はある計算時刻の平均潮位を表す。

基礎方程式を有限要素法、有限差分法を用いて離散化し、領域内の節点上の方程式を作成することにより、数値的に流動場を求めることができる。

洪水流は、上記(7)式で、河川側に設定した海上境界に、観測水位より算定した洪水時水位を強制水位として与えることにより、数値的に求めることができる。

なお、洪水時等の吹送流を考慮する場合には、(1)(2)の左辺にそれぞれ以下の(8)(9)式を加える。

$$-\frac{KU\sqrt{U^2+V^2}}{h} \quad (8)$$

$$-\frac{KV\sqrt{U^2+V^2}}{h} \quad (9)$$

ここに  $(U, V)$  はそれぞれ水平、垂直方向の風速ベクトル。

## (2) 流砂

流砂は掃流砂のみとして計算を行う．底面勾配の影響を考慮しない場合の掃流量の連続式としては，

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{1}{1-\epsilon} \left( \frac{\partial q_{Bx}}{\partial x} + \frac{\partial q_{By}}{\partial y} \right) = 0 \quad (10)$$

を用いた．ここで， $z$ ：河床高さ， $\epsilon$ ：空隙率， $q_{Bx}, q_{By}$ ：x,y 方向の単位幅掃流砂量である．

掃流砂量式には以下に示す Meyer-Peter&Muller の式を用いた．

$$q_s = K \sqrt{sgd^3} (\tau_{*e} - \tau_{*c})^{3/2} \quad (11)$$

ここで， $K(=8)$ ：定数， $d$ ：砂の粒径， $\tau_{*e} (= u_{*e}^2 / sgd)$ ：無次元有効掃流力， $\tau_{*c} (= 0.047)$ ：

無次元限界掃流力である．また有効摩擦速度は

$$u_{*e} = (n_b / n)^{3/4} \cdot u_* \quad (12)$$

ここで， $u_* (= \sqrt{ghi})$ ：摩擦速度， $n_b (= 0.0192d_{90}^{1/6})$ ：流砂抵抗の粗度係数である．

数値計算は三角形一次要素を用いた有限要素法により行い，時間項は二段階陽解法により差分化した．有限要素法による潮流計算においては大行列の計算が必要になるため，計算を簡略化するために各要素マトリックスを対角部に集中させる集中質量行列を用いた．





### 1) エネルギー平衡方程式

エネルギー平衡方程式は、多方向不規則波の屈折、浅水変形、さらには砕波変形を解くことができる。そのため、実用的にも領域の波浪変形解析モデルとして盛んに用いられている。しかし、波の回折については、問題があることが指摘されている。

定常波浪場において、砕波等によるエネルギー減衰項を加えたエネルギー平衡方程式は、次のように表される。

$$\frac{\partial(v_x s)}{\partial x} + \frac{\partial(v_y s)}{\partial y} + \frac{\partial(v_\theta s)}{\partial \theta} = -\varepsilon_b s \quad (13)$$

ここでは  $S$  波の方向スペクトル、 $(x, y)$  は水平座標、 $\theta$  は  $x$  軸から反時計回りに測った波向角、 $\varepsilon_b$  はエネルギー減衰係数であり、特性速度  $(v_x, v_y, v_\theta)$  は

$$(v_x, v_y) = \frac{\partial \omega}{\partial k} \vec{s} = (C_g \cos \theta, C_g \sin \theta) \quad (14)$$

$$v_\theta = -\frac{1}{k} \frac{\partial \omega}{\partial k} \frac{\partial k}{\partial n} = \frac{C_g}{C} \left( \sin \theta \frac{\partial C}{\partial x} - \cos \theta \frac{\partial C}{\partial y} \right) \quad (15)$$

と表される。 $(s, n)$  は図 3-5 に示す波向・波峰に沿った座標、 $C$  は波速、 $C_g$  は群速度である。

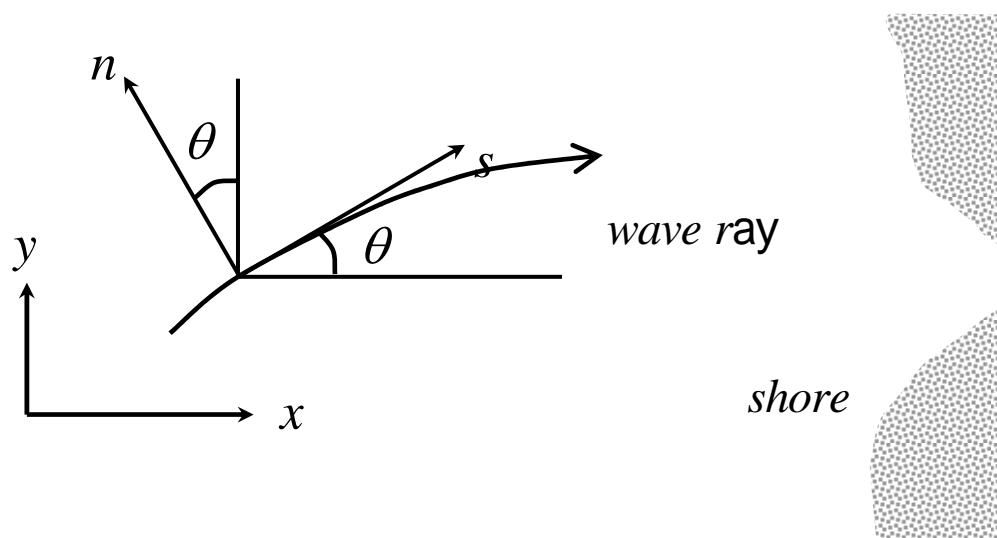


図 3-5 波向・波峰に沿った座標

## 2) エネルギー平衡方程式への回折項の導入

### a) 回折項の定式化

放物型波動方程式を基にして回折項を定式化し、エネルギー平衡方程式に導入することを考える。基本的な放物型波動方程式は、以下のように書くことができる。

$$2ikCC_g A_x + i(kCC_g)_x A = (CC_g A_y)_y = 0 \quad (16)$$

式(16)に  $A$  の共役複素素を乗じたものと、式(16)全体の共役複素素に  $*$  を乗じたものを加えて、すなわち、 $\{式(16) \times A^*\} + \{式(16)^* \times A\}$  を求めると、

$$\left(C_g |A|^2\right)_x - \frac{i}{2\omega} \left\{ (CC_g |A|_y^2)_y - 2CC_g A_y A_y^* \right\} = 0 \quad (17)$$

が得られる。上式が成り立つためには

$$\left(C_g |A|^2\right)_x = 0 \quad (18)$$

$$(CC_g |A|_y^2)_y - 2CC_g A_y A_y^* = 0 \quad (19)$$

である。

式(18)はエネルギーの保存式を表し、式(19)は回折によるエネルギーの釣り合いを示している。波エネルギーは  $E \propto |A|^2$  であり、式(18)及び式(18)の左辺第1項は  $E$  で表現できるが、第2項の  $A_y A_y^*$  は  $E$  で表現できない。そこで、 $A = ai + b$  として得られる  $A_y A_y^*$  の表示式ができるだけ同じになるように  $E_{yy}/4$  と近似する。したがって式(19)は

$$(CC_g E_y)_y - CC_g E_{yy}/2 \cong 0 \quad (20)$$

となる。

いま、式(18)の左辺が式(13)の左辺と比べ、エネルギー  $E$  を方向スペクトル  $S$  とみなす。そして、ほぼゼロである式(20)の  $E$  を  $S$  として式(13)の右辺に加えると、モデル方程式として次式を得る。

$$\frac{\partial(v_x s)}{\partial x} + \frac{\partial(v_y s)}{\partial y} + \frac{\partial(v_\theta s)}{\partial \theta} = \left( C_g |A|^2 \right)_x - \frac{k}{2\omega} \left\{ (CC_g \cos^2 \theta S_y)_y - \frac{1}{2} CC_g \cos^2 \theta S_{yy} \right\} - \varepsilon_b s \quad (21)$$

ここで、 $k$  は回折項に関する影響係数である。すなわち、式(20)のようにこの項は完全にゼロにはならないのでこの影響係数によって回折項を調整する。この項は個別にはほぼゼロとなるが、差分化に当たって左辺の  $S$  へと達成するため、拡散項の役目を果たすことになる。放物型近似方程式は、波の伝播方向(ほぼ  $x$  軸方向)に垂直な方向に回折効果を導入することができる。ここでは多方向不規則波の成分波のそれぞれに回折効果を導入しようとするものである。それぞれの成分波の伝播方向は元軸とは異なり、その分  $\cos \theta$  の重みがついている。

#### b) 数値計算法

成分波はすべて岸に向かって伝播するとする。図 3-6 のような要素中央部における方向スペクトルと矢印で示した特性速度の定義点の元で、風上差分を用いて式(21)を差分化すると、以下の式が得られる。

$$A_1 S_n^{ijk} + A_2 S_n^{i(j-1)k} + A_3 S_n^{i(j+1)k} + A_4 S_n^{ij(k-1)} A_5 S_n^{ij(k+1)} = -B S_n^{(i-1)jk} \quad (22)$$

ここで、 $i$  および  $j$  はそれぞれ  $x$  軸および  $y$  軸方向の格子番号、 $n$  は周波数番号、 $k$  は波向番号を表し、 $A_1 \sim A_5$  および  $B$  は次のようである。

$$A_1 = v_{x_n}^{ijk} / \delta x + \varepsilon_{b_n}^{ij} + \frac{\kappa}{2\omega_n \delta y^2} \left\{ \begin{array}{l} (CC_g)^{i(j+1)k} + (CC_g)^{ijk} \\ -(CC_g)^{i(j+1/2)k} \end{array} \right\} \cos^2 \theta_k \quad (23)$$

$$+ \begin{cases} v_{y_n}^{i(j+1)k} / \delta y & (v_y \geq 0) \\ -v_{y_n}^{ijk} / \delta y & (v_y < 0) \end{cases}$$

$$+ \begin{cases} v_{\theta_n}^{ij(k+1)} / \delta \theta & (v_{\theta_n}^{ijk} \geq 0, v_{\theta_n}^{ij(k+1)} \geq 0) \\ 0 & (v_{\theta_n}^{ijk} \geq 0, v_{\theta_n}^{ij(k+1)} < 0) \\ (v_{\theta_n}^{ij(k+1)} - v_{\theta_n}^{ijk}) / \delta \theta & (v_{\theta_n}^{ijk} < 0, v_{\theta_n}^{ij(k+1)} \geq 0) \\ -v_{\theta_n}^{ijk} / \delta \theta & (v_{\theta_n}^{ijk} < 0, v_{\theta_n}^{ij(k+1)} < 0) \end{cases}$$

$$A_2 = \frac{\kappa}{2\omega_n \delta y^2} \left\{ -(CC_g)^{ijk} + \frac{1}{2}(CC_g)^{i(j+1/2)k} \right\} \cos^2 \theta_k \quad (24)$$

$$+ \begin{cases} -v_{y_n}^{ijk} / \delta y & (v_y \geq 0) \\ 0 & (v_y < 0) \end{cases}$$

$$A_3 = \frac{\kappa}{2\omega_n \delta y^2} \left\{ -(CC_g)^{i(j+1)k} + \frac{1}{2}(CC_g)^{i(j+1/2)k} \right\} \cos^2 \theta_k \quad (25)$$

$$+ \begin{cases} 0 & (v_y \geq 0) \\ v_{y_n}^{i(j+1)k} / \delta y & (v_y < 0) \end{cases}$$

$$B = -v_{x_n}^{jk} / \delta x \quad (26)$$

$$A_4 = \begin{cases} -v_{\theta_n}^{ijk} / \delta \theta & (v_{\theta_n}^{ijk} \geq 0, v_{\theta_n}^{ij(k+1)} \geq 0) \\ -v_{\theta_n}^{ijk} / \delta \theta & (v_{\theta_n}^{ijk} \geq 0, v_{\theta_n}^{ij(k+1)} < 0) \\ 0 & (v_{\theta_n}^{ijk} < 0, v_{\theta_n}^{ij(k+1)} \geq 0) \\ 0 & (v_{\theta_n}^{ijk} < 0, v_{\theta_n}^{ij(k+1)} < 0) \end{cases} \quad (27)$$

$$A_5 = \begin{cases} 0 & (v_{\theta_n}^{ijk} \geq 0, v_{\theta_n}^{ij(k+1)} \geq 0) \\ v_{\theta_n}^{ij(k+1)} / \delta \theta & (v_{\theta_n}^{ijk} \geq 0, v_{\theta_n}^{ij(k+1)} < 0) \\ 0 & (v_{\theta_n}^{ijk} < 0, v_{\theta_n}^{ij(k+1)} \geq 0) \\ v_{\theta_n}^{ij(k+1)} / \delta \theta & (v_{\theta_n}^{ijk} < 0, v_{\theta_n}^{ij(k+1)} < 0) \end{cases} \quad (28)$$

ここで、 $\delta_x$  および  $\delta_y$  は  $x$  軸および  $y$  軸方向の格子間隔である。

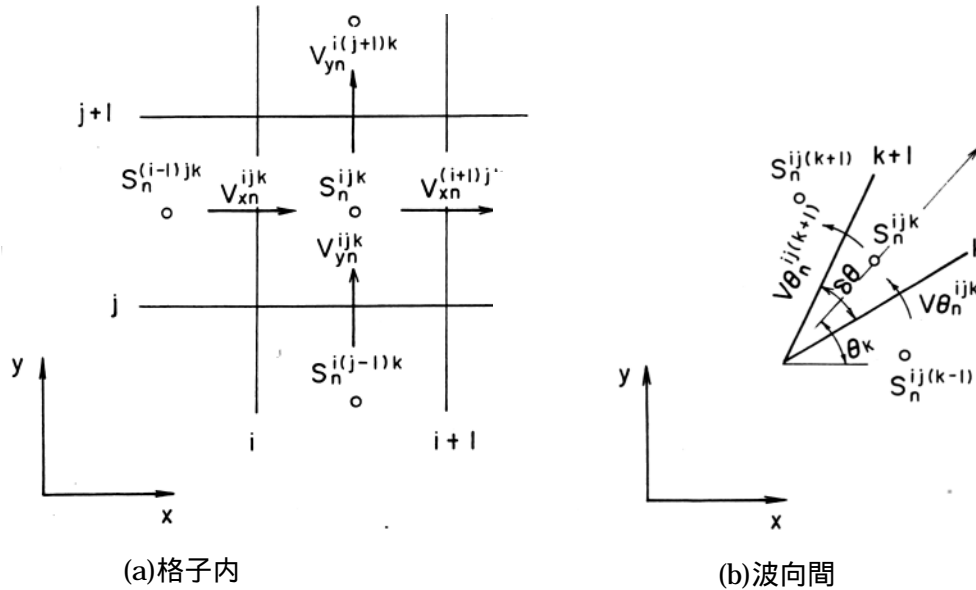


図 3-6 成分波のエネルギーの流出入

式(22)の右辺の  $S_n^{(i-1)jk}$  は既知であり、周波数成分  $n$  に対して、 $j=1 \sim J, k=1 \sim K$  の  $J \times K$  個の連立方程式を解くことによって  $S_n^{ijk}$  求めることができる。すなわち、沖波条件として所定方向スペクトルを与え、境界条件を考慮して前進的に  $S_n^{ijk}$  を求めていく。計算された  $S_n^{ijk}$  を用いて、有義波高  $H_{1/3}$ 、有義周期  $T_{1/3}$ 、平均波向き  $\bar{\theta}$  を以下の式で求める。

$$H_{1/3} = 4.0 \sqrt{m_0} \quad (29)$$

$$T_{1/3} = T_0 \sqrt{m_0 / m_2} / \bar{T}_0 \quad (30)$$

$$\bar{\theta} = \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K \theta_k S_n^{ijk} / m_0 \quad (31)$$

ここで

$$m_i = \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K f_n^i S_n^{ijk} \quad (32)$$

である。 $T_0$  および  $\bar{T}_0$  はそれぞれ沖波の有義周期と平均周期である。砕波減衰項は、高山らの定式化を用いる<sup>2)</sup>。

計算について、橋梁建設による影響を評価するためには、橋脚を的確に表現する必要がある。そのため、橋脚周辺を 5m メッシュで表現することとした。図 3-7 に計算領域の節点配置図を示す。

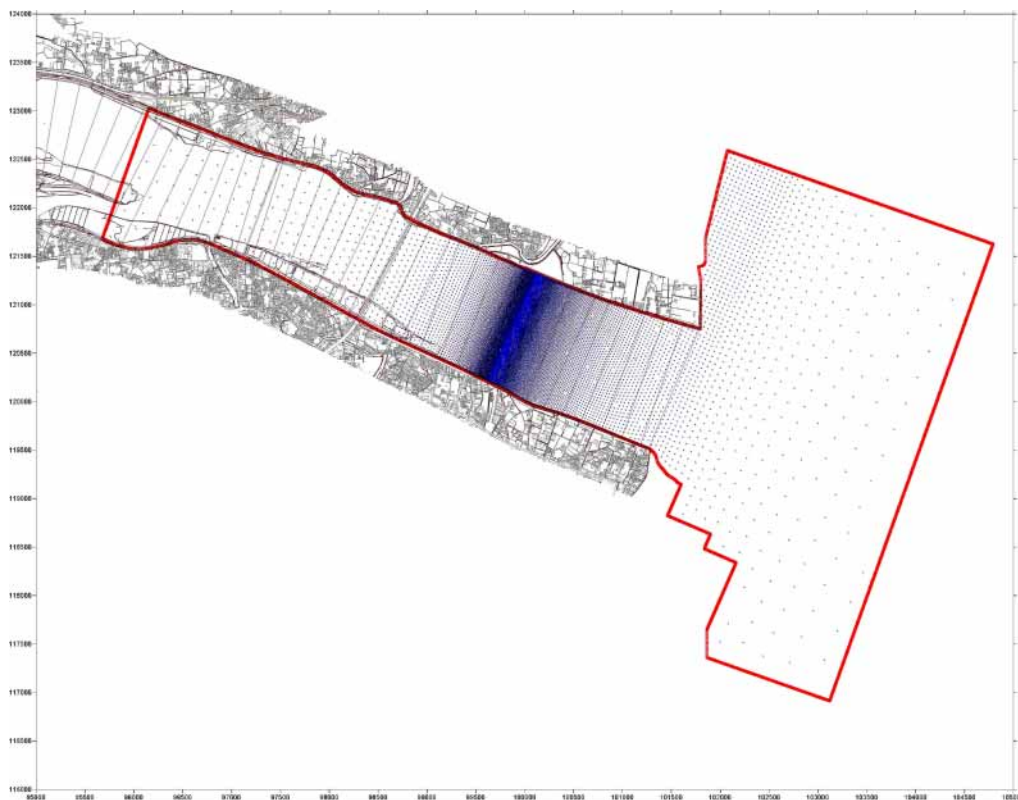


図 3-7 計算領域の節点配置図

図 3-8 は、計算時間内での水位変動を出力するポイントであり、海側と河川の中央部および(仮)東環状大橋の上下流、沖ノ州水門を計算結果を出力するようにした。

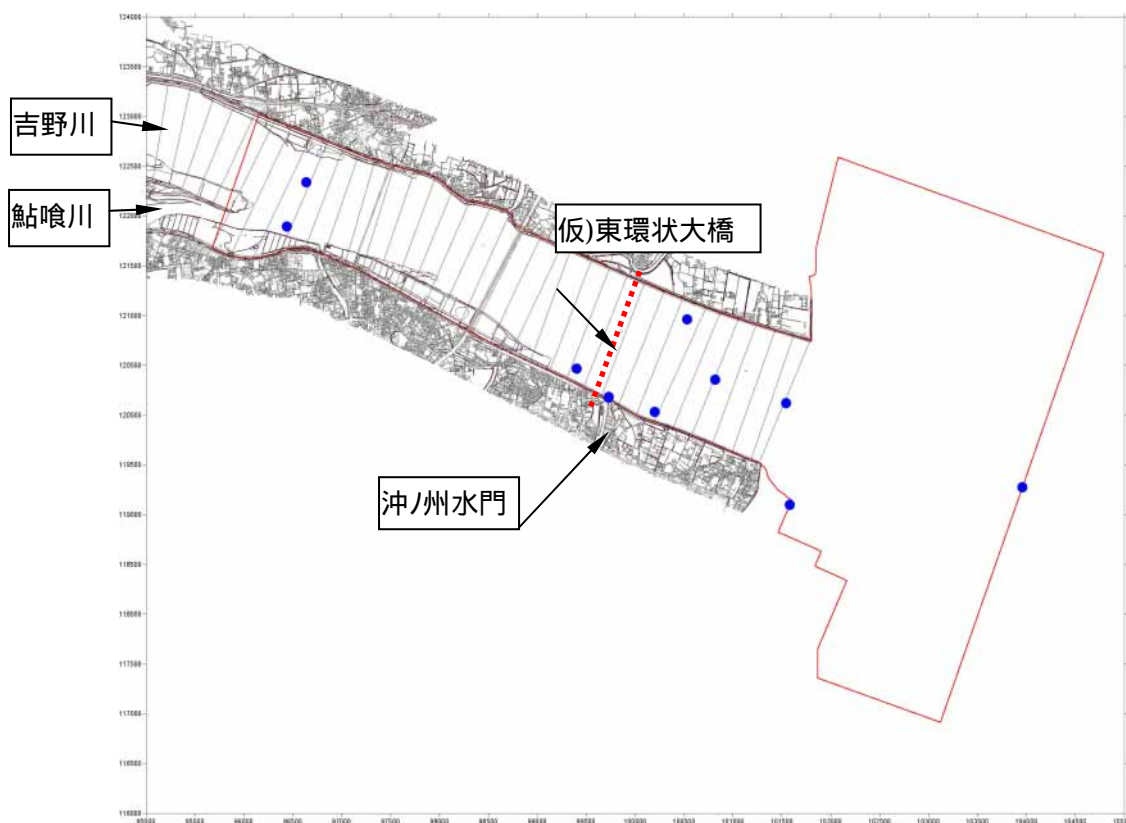


図 3-8 解析結果の出力ポイント



### 3-4 . パラメ - タチュ - ニング

#### a. 数値粘性係数、タイムステップ

前節で示したとおり潮流解析では計算を簡略化するために集中質量行列  $\overline{M}^e$  を用いる。しかし、2段階陽的スキームでは、人工的に導入される粘性が大きすぎて実際に計算で得られる流速結果が解析解より小さくなることが知られている。そこで、計算を安定するために導入された人工粘性をゼロにすることはできないが極力影響の少ないものにするために、集中係数  $\overline{M}_{\alpha\beta}^e$  の代わりに、混合比  $\varepsilon$  を用いて

$$\tilde{M}_{\alpha\beta}^e = \varepsilon \overline{M}_{\alpha\beta}^e + (1 - \varepsilon) M_{\alpha\beta}^e$$

として計算を行う。

$\varepsilon$  は 0 ~ 1 の間で 1 に近いほど望ましいが計算が不安定となるため、試行錯誤的に妥当な値を設定する必要がある。本解析では 0.92 ~ 0.96 の間で検討を行い、全ての計算ケースで発散しない 0.92 を採択することとした、

一方、タイムステップ  $dt$  は、

$$dt < \frac{dx}{6} \sqrt{\frac{2}{gh}} \quad \text{および} \quad \frac{dx}{L} < 0.05$$

(  $h$  : 水深,  $L$  : 代表長さ )

を満たす必要がある。なお、これらの条件は必要条件であり十分条件ではないため、洪水計算等ではさらに小さく見積もる必要がある。本解析条件では、 $dt = 0.15$  程度で上式を満たすが、計算ケースによっては発散することがあるため、 $dt = 0.1$  で解析を行った。

#### b. 粗度係数、底質粒度

Manning粗度係数については、 $n = 0.025 \sim 0.035$  で検討した。国土交通省による一次元洪水流解析での結果を参考に  $n = 0.0275$  を採択することとした。

また、流砂計算で必要な底質の代表粒径  $d$  については、現地観測の結果をもとに 0.2 ~ 0.4mm の範囲で検討し  $d = 0.3\text{mm}$  を採択することとした。

### 3-5 . 解析条件

#### (1)洪水流量

洪水流量は、上流端の流量境界には中央橋流量観測点の実測流量をスプライン関数で補間して与え、海境界での水位は小松島港における潮位観測データを与えた。この際、海境界の南端と北端とで、潮汐の伝播速度を考慮し位相差が生じるように与えた。図3-9は台風10号から台風23号までの吉野川河口の流量と降水量を表した図である。流量計算は吉野川中央橋流量から旧吉野川流量を差し引いた値としている。計算の結果、 $5000\text{m}^3/\text{s}$ を超える大出水に注目して、計算時間を120時間として解析を行った。したがって、解析の対象とした台風は台風0410号、0416号、0421号、0423号である。

流砂量の境界条件には、上流端、海境界とも平衡流砂量を与え、河床変動が起こらないものとして扱っている。

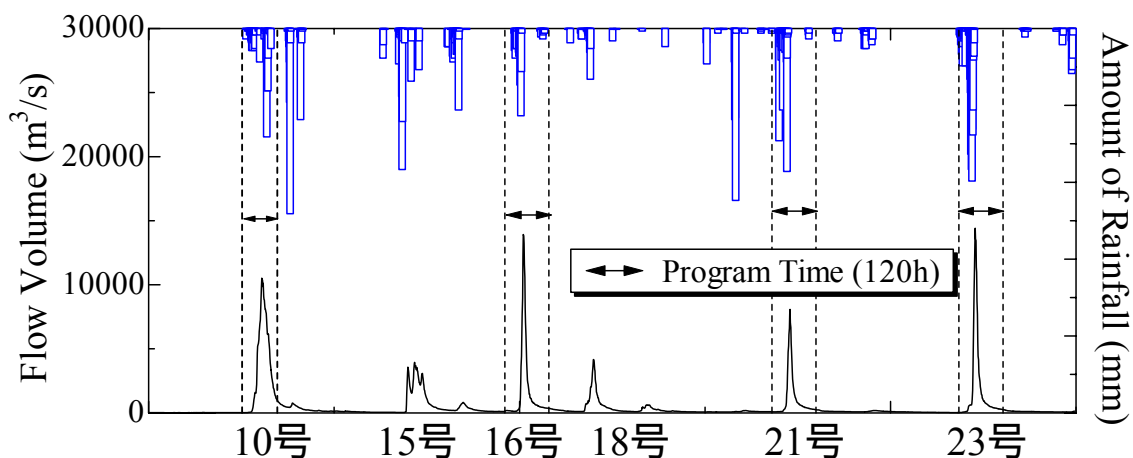


図3-9 台風発生による流量と降水量

(2)波浪条件

地形変動解析の初期値として与える波浪による底面摩擦速度を得るために、平面波浪解析を行った。2001年から2004年までの間に徳島県小松島観測所で測定された主波向，沖波有義波高，沖波有義波周期の頻度分布図を図 3-10 から図 3-12 に示す。これらの図から，沖合より進入する主波向は南東と南南東方向が卓越していること、最頻の有義波高は 0.2m から 0.4m，有義波周期は 2 秒から 4 秒であることが分かる。

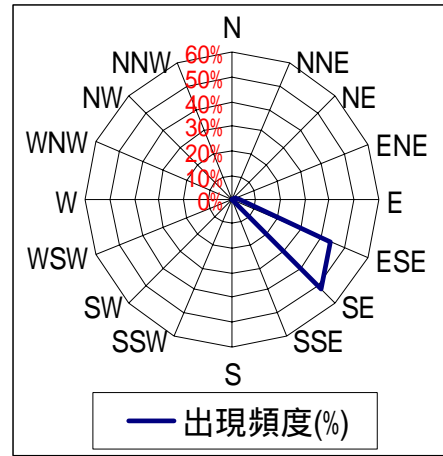


図 3-10 主波向の出現頻度

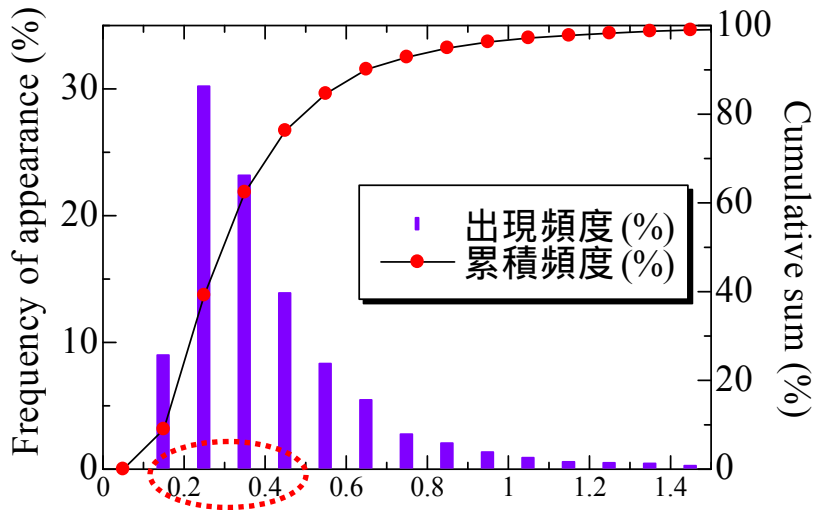


図 3-11 有義波高の頻度分布

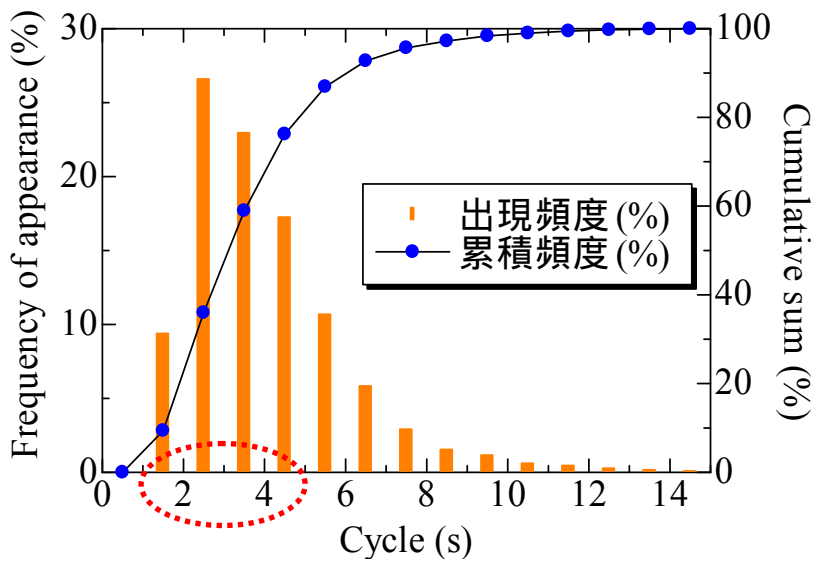


図 3-12 有義波周期の頻度分布

平面波浪場解析の計算条件を表 3-1 に示す。計算領域は 7km × 3.2km、メッシュ幅は 5m である。図 3-11 と図 3-12 の頻度分布図より、平常時および高波浪時の波浪諸元を表 3-2 に示すとおりとした。ここで、平常時波高は最頻波高の波高階の中央値を、周期は最頻波高階に対応する周期階の中央値とした。また、高波浪時は 2001 年から 2004 年の小松島港観測値の各年有義波高の最大値の平均値とした。主波向は図 3-10 より南東方向から進入するものとした。

表 3-1 吉野川河口の波浪解析の計算条件

吉野川河口の波浪解析の計算条件		数値
沖波主波向	度	135
メッシュ幅	$\delta x \times \delta y$	5
寸法	$(x \times y)$	7000 × 3200
メッシュ数	$(i, j)$ 数	1400 × 640
方向集中度パラメータ	$S_{max}$	10

表 3-2 入力波浪諸元 (平常時)

	有義波高	周期	波長	$H_0/L_0$	$S_{max}$	備考
平常時	0.25m	3.0sec	14.0m	0.018	10	出現頻度 30.2%, 累積頻度 39.2%

表 3-3 入力波浪諸元 (高波浪時)

	有義波高	周期	波長	$H_0/L_0$	$S_{max}$	備考
2001(13)年	2.67m	7.3s	83.1m	0.032		2001/8/21 14:00 台風 0111 号
2002(14)年	(2.60m)	(13.3s)	(275.9m)	(0.009)		2002/8/18 18:00 台風 0213 号
2003(15)年	3.71m	8.4s	110.1m	0.034		2003/8/8 20:00 台風 0310 号
2004(16)年	4.22m	7.4s	85.4m	0.049		2004/6/21 10:00 台風 0406 号
平均値	3.53m	7.7s	92.4m	0.038	10	2002 年のデータを除く。

表 3-4 反射率の概略値 ( 1 )

構造形態	反射率の概略値	採用値
直立壁	0.7 ~ 1.0	0.85
直立堤水没時	0.5 ~ 0.7	
捨石斜面	0.3 ~ 0.6	0.45
異形消波ブロック	0.3 ~ 0.5	0.40
直立消波構造物	0.3 ~ 0.6	
天然海岸	0.05 ~ 0.2	0.10

表 3-5 小松島港 高波一覽表(2001 年)

小松島 2001年(1~ 8)

順位	発 生 期 間	最大有義波 の起時	有義波		対応最高波		気 象 要 因
			波高(m)	周期(s)	波高(m)	周期(s)	
1	8月18日 4時 - 8月22日 0時	8月21日14時	2.67	7.3	4.28	13.3	台風0111号
2	9月 8日22時 - 9月10日14時	9月10日 2時	2.38	14.7	3.74	15.0	台風0115号
3	10月 9日12時 - 10月10日12時	10月10日 2時	1.84	6.4	2.92	6.6	二つ玉低気圧
4	10月28日 4時 - 10月29日 0時	10月28日10時	1.71	5.9	2.68	6.1	日本海低気圧
5	12月13日 6時 - 12月13日14時	12月13日 6時	1.30	5.1	2.00	6.0	二つ玉低気圧
6	7月26日14時 - 7月27日 8時	7月27日 2時	1.20	10.5	1.62	9.7	台風0106号
7	6月 5日16時 - 6月 6日 2時	6月 5日20時	1.04	5.2	1.59	5.3	停滞前線
8	10月18日 6時 - 10月18日12時	10月18日 8時	1.02	4.0	1.82	4.2	台風0121号

表 3-6 小松島港 高波一覽表(2002 年)

小松島 2002年(1~16)

順位	発 生 期 間	最大有義波 の起時	有義波		対応最高波		気 象 要 因
			波高(m)	周期(s)	波高(m)	周期(s)	
1	8月16日20時 - 8月19日 8時	8月18日18時	2.60	13.3	3.31	12.1	台風0213号
2	1月21日 0時 - 1月21日14時	1月21日 4時	2.35	8.5	4.37	8.5	二つ玉低気圧
3	7月24日18時 - 7月26日16時	7月25日10時	2.26	12.9	3.48	11.9	台風0209号
4	8月27日22時 - 9月 2日 4時	8月29日 6時	2.11	12.2	2.95	13.0	台風0215号
5	10月13日 0時 - 10月14日 2時	10月13日14時	1.99	15.1	3.29	14.5	台風0222号
6	6月20日10時 - 6月20日20時	6月20日12時	1.69	5.9	2.47	5.9	南岸低気圧
7	10月 6日16時 - 10月 7日 2時	10月 6日18時	1.61	5.3	2.74	5.1	寒冷前線通過
8	5月 7日10時 - 5月 7日16時	5月 7日12時	1.23	5.3	2.12	5.4	北高型気圧配置
9	12月21日12時 - 12月22日20時	12月21日14時	1.20	5.0	2.14	4.7	南岸低気圧
10	7月 6日 0時 - 7月 7日 0時	7月 6日14時	1.16	4.9	2.15	5.1	台風0205号
11	7月14日 2時 - 7月16日 8時	7月16日 0時	1.14	5.5	1.72	4.9	台風0207号
12	9月 3日 2時 - 9月 4日22時	9月 4日 4時	1.13	10.3	1.63	10.9	台風0216号
13	3月26日22時 - 3月27日20時	3月27日 2時	1.10	4.7	2.00	4.4	南岸低気圧
14	7月 9日 4時 - 7月10日16時	7月10日 2時	1.07	7.5	1.62	8.0	台風0206号
15	3月 5日18時 - 3月 6日12時	3月 5日18時	1.06	5.3	1.49	4.7	二つ玉低気圧
16	1月 7日14時 - 1月 7日22時	1月 7日20時	1.01	5.7	1.72	6.1	日本海低気圧

表 3-7 小松島港 高波一覽表(2003 年)

小松島 2003年(1~22)

順位	発 生 期 間	最大有義波 の起時	有義波		対応最高波		気 象 要 因
			波高(m)	周期(s)	波高(m)	周期(s)	
1	8月 8日 2時 - 8月 9日 14時	8月 8日 20時	3.71	8.4	5.96	8.8	台風0310号
2	5月 29日 12時 - 5月 31日 22時	5月 31日 6時	2.61	6.7	3.76	9.0	台風0304号
3	3月 6日 22時 - 3月 7日 20時	3月 7日 4時	1.94	6.4	3.46	7.2	南岸低気圧
4	1月 27日 0時 - 1月 27日 22時	1月 27日 8時	1.77	5.9	2.80	6.5	日本海低気圧
5	4月 11日 16時 - 4月 12日 18時	4月 12日 0時	1.63	6.4	2.44	6.8	南岸低気圧
6	6月 19日 12時 - 6月 20日 0時	6月 19日 16時	1.56	5.0	2.44	4.9	台風0306号
7	4月 8日 4時 - 4月 8日 20時	4月 8日 10時	1.54	5.4	2.57	4.6	日本海低気圧
8	6月 10日 8時 - 6月 11日 16時	6月 10日 18時	1.43	10.0	2.09	10.6	南岸低気圧
9	4月 25日 14時 - 4月 26日 0時	4月 25日 22時	1.37	4.9	2.23	4.9	日本海低気圧
10	11月 27日 20時 - 11月 29日 18時	11月 28日 6時	1.28	8.4	1.86	5.8	南岸低気圧
11	3月 22日 14時 - 3月 24日 4時	3月 23日 8時	1.27	10.4	2.03	11.1	南岸低気圧
12	5月 24日 20時 - 5月 27日 12時	5月 25日 14時	1.26	5.4	1.84	5.5	南岸低気圧
13	7月 18日 16時 - 7月 19日 10時	7月 19日 6時	1.19	4.9	2.09	4.8	日本海低気圧
14	9月 21日 2時 - 9月 21日 20時	9月 21日 18時	1.18	4.0	1.90	3.8	台風0315号
15	9月 29日 18時 - 9月 30日 10時	9月 29日 22時	1.09	3.9	1.87	3.7	北高型気圧配置
16	4月 22日 22時 - 4月 23日 22時	4月 23日 14時	1.07	5.8	1.68	6.4	南高北低型
17	3月 1日 16時 - 3月 1日 22時	3月 1日 20時	1.06	7.3	2.13	9.1	南岸低気圧
18	5月 14日 12時 - 5月 15日 16時	5月 15日 2時	1.05	7.7	1.72	7.3	南岸低気圧
19	10月 12日 14時 - 10月 13日 10時	10月 12日 16時	1.05	4.8	1.77	4.2	南岸低気圧
20	12月 6日 10時 - 12月 6日 14時	12月 6日 12時	1.04	5.6	1.54	4.3	日本海低気圧
21	4月 29日 16時 - 4月 30日 4時	4月 29日 16時	1.04	4.8	1.60	5.1	日本海低気圧
22	6月 24日 0時 - 6月 24日 2時	6月 24日 2時	1.04	4.3	1.45	4.1	南岸低気圧

表 3-8 小松島港 高波一覽表(2004 年)

小松島 2004年(1~23)

順位	発 生 期 間	最大有義波 の起時	有義波		対応最高波		気 象 要 因
			波高(m)	周期(s)	波高(m)	周期(s)	
1	6月 19日 18時 - 6月 22日 4時	6月 21日 10時	4.22	7.4	-	-	台風0406号
2	10月 18日 4時 - 10月 21日 2時	10月 20日 14時	3.98	7.8	-	-	台風0423号
3	7月 30日 12時 - 8月 2日 16時	7月 31日 14時	3.21	8.4	4.84	7.8	台風0410号
4	8月 25日 10時 - 8月 31日 16時	8月 30日 18時	3.15	6.6	-	-	台風0416号
5	9月 29日 6時 - 9月 29日 22時	9月 29日 18時	2.68	6.3	4.09	5.4	台風0421号
6	8月 4日 14時 - 8月 6日 0時	8月 5日 0時	2.65	7.9	4.18	10.3	台風0411号
7	9月 3日 6時 - 9月 8日 8時	9月 7日 16時	2.55	6.4	-	-	台風0418号
8	11月 10日 14時 - 11月 12日 0時	11月 11日 4時	2.07	6.2	3.25	6.1	日本海低気圧
9	12月 4日 18時 - 12月 5日 10時	12月 5日 0時	1.99	5.8	3.16	5.4	南岸低気圧
10	4月 26日 22時 - 4月 27日 20時	4月 27日 2時	1.99	5.4	3.07	5.2	日本海低気圧
11	6月 11日 14時 - 6月 11日 22時	6月 11日 18時	1.63	6.7	2.32	6.3	台風0404号
12	4月 19日 8時 - 4月 20日 4時	4月 19日 16時	1.63	5.2	2.57	4.7	日本海低気圧
13	7月 1日 0時 - 7月 2日 0時	7月 1日 16時	1.58	15.9	2.28	17.1	台風0408号
14	4月 2日 4時 - 4月 2日 10時	4月 2日 4時	1.54	5.4	2.55	6.0	日本海低気圧
15	3月 30日 6時 - 3月 30日 22時	3月 30日 14時	1.49	6.1	2.40	6.5	南岸低気圧
16	8月 18日 2時 - 8月 19日 22時	8月 19日 8時	1.41	5.3	2.14	4.4	台風0415号
17	10月 9日 18時 - 10月 9日 20時	10月 9日 18時	1.35	13.2	2.07	12.8	台風0422号
18	10月 27日 0時 - 10月 27日 18時	10月 27日 6時	1.23	4.1	2.14	4.3	南岸低気圧
19	10月 8日 14時 - 10月 8日 22時	10月 8日 18時	1.16	4.9	1.88	6.6	台風0422号
20	2月 22日 16時 - 2月 23日 6時	2月 22日 16時	1.16	4.2	1.93	3.6	日本海低気圧
21	7月 4日 14時 - 7月 5日 8時	7月 5日 6時	1.13	4.5	1.86	3.9	日本海低気圧と寒冷前線
22	10月 30日 2時 - 10月 30日 4時	10月 30日 4時	1.06	5.5	1.88	7.8	南岸低気圧
23	4月 23日 18時 - 4月 23日 22時	4月 23日 20時	1.01	4.2	1.74	3.2	寒冷前線

### (3)初期地形

収集した地形測量情報から解析領域の水深分布(DL水深)を求めた。水深分布は、地盤変動解析および波浪変形解析の初期地形となる。それぞれの解析領域毎に水深分布図を図 3-13～図 3-16、および図 3-17～図 3-20 に示した。これらの図から河口付近では左岸の部分の水深が深く、澁筋が形成されていることが分かる。

#### 【波浪変形解析領域】

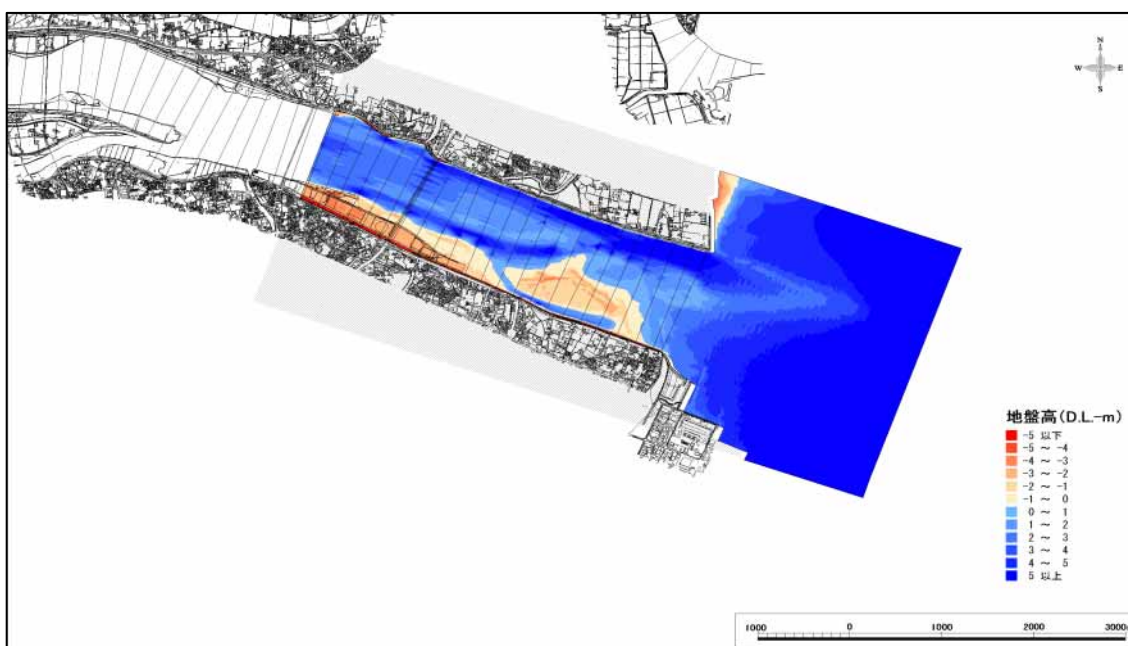


図 3-13 解析領域の水深分布図 (平成 16 年 3 月 10 日時点)

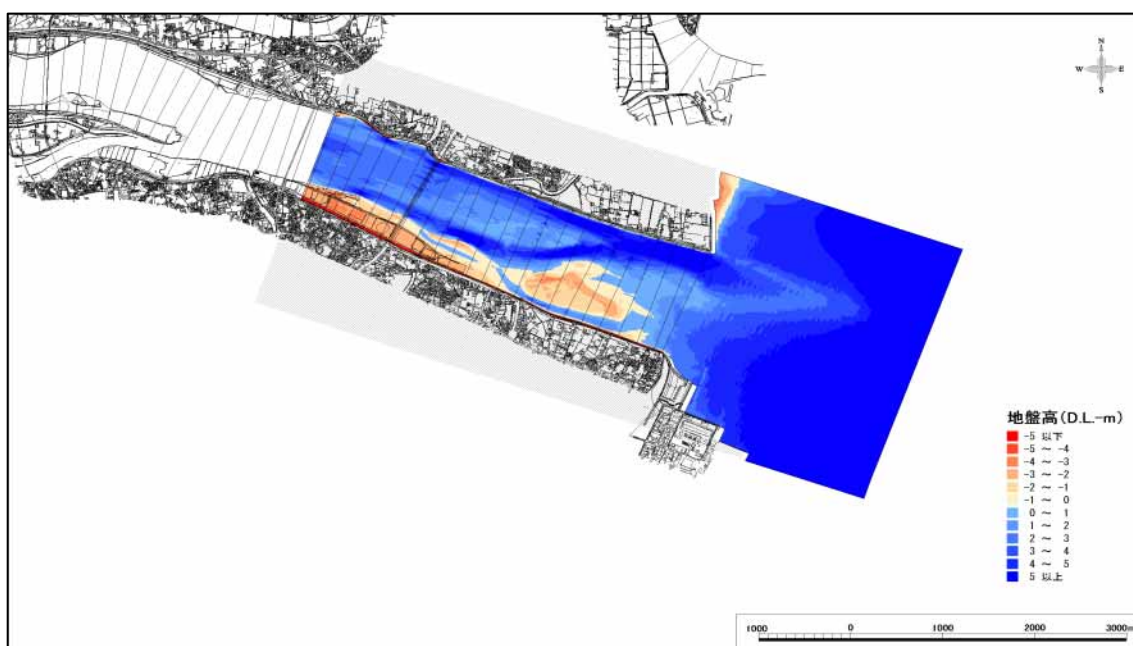


図 3-14 解析領域の水深分布図 (平成 16 年 10 月 14 日時点)

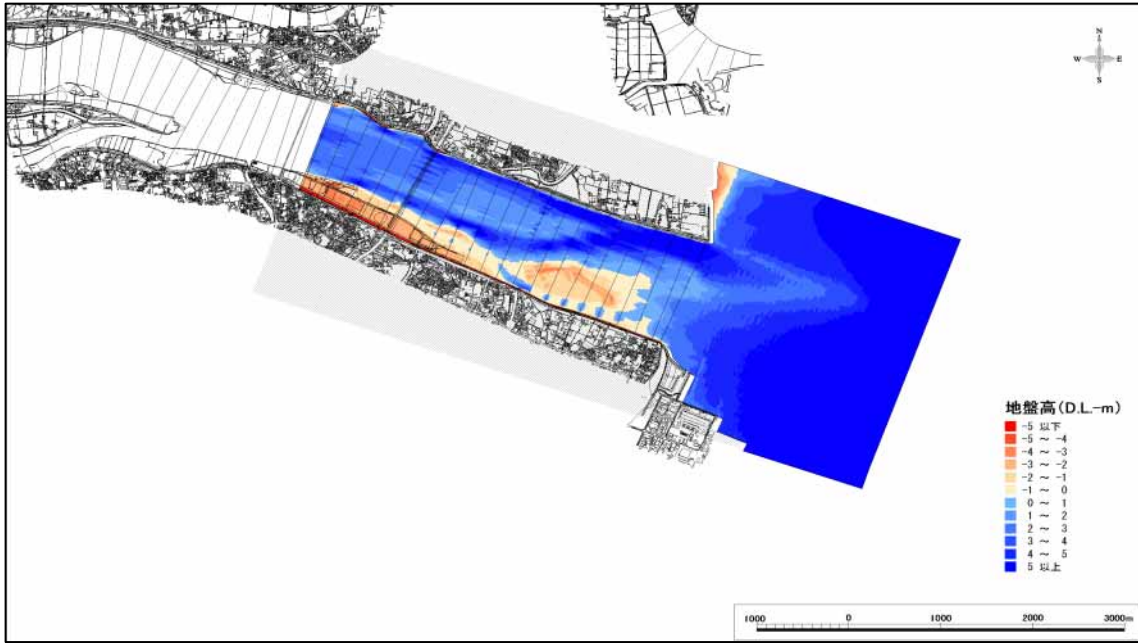


図 3-15 解析領域の水深分布図 (平成 16 年 11 月 8 日時点)

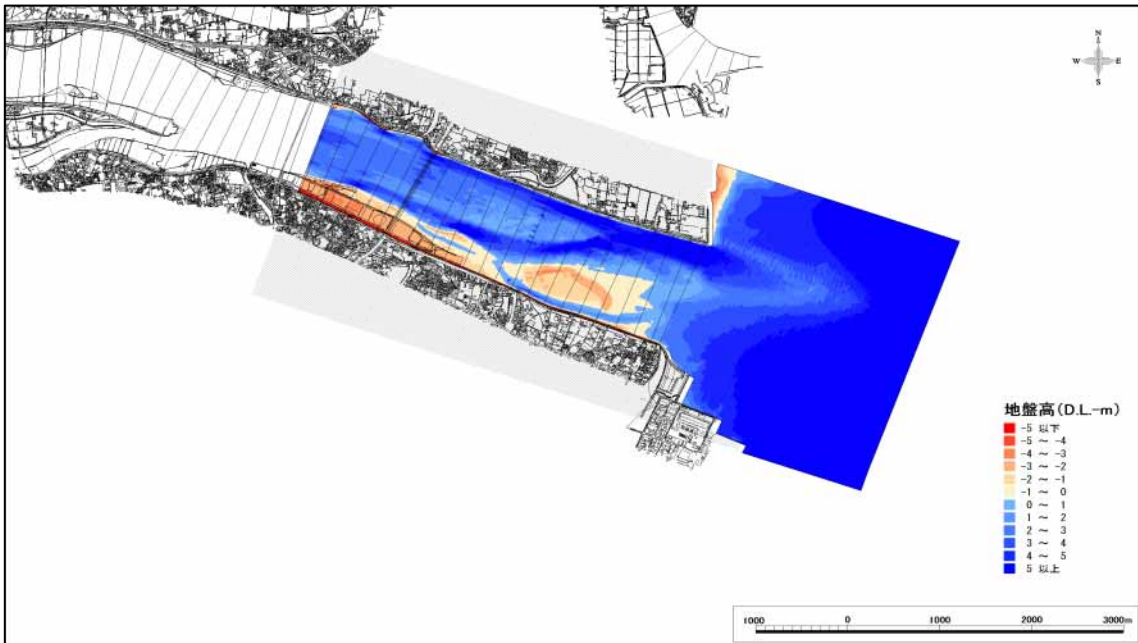


図 3-16 解析領域の水深分布図 (平成 17 年 9 月 30 日時点)



【地形変動解析領域】

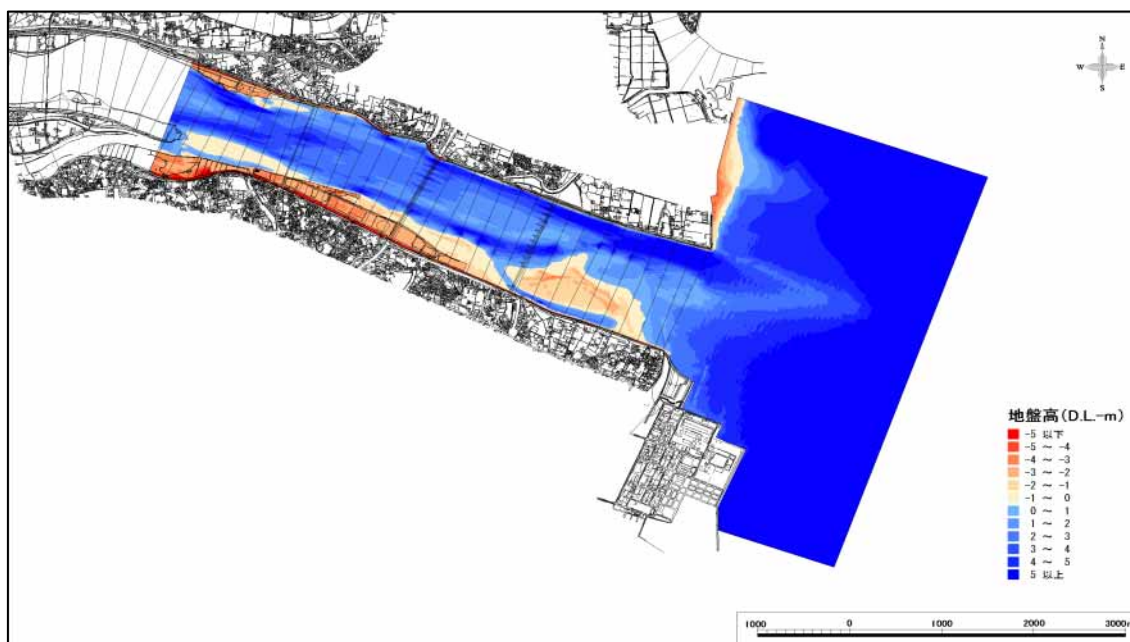


図 3-17 解析領域の水深分布図（平成 16 年 3 月 10 日時点）

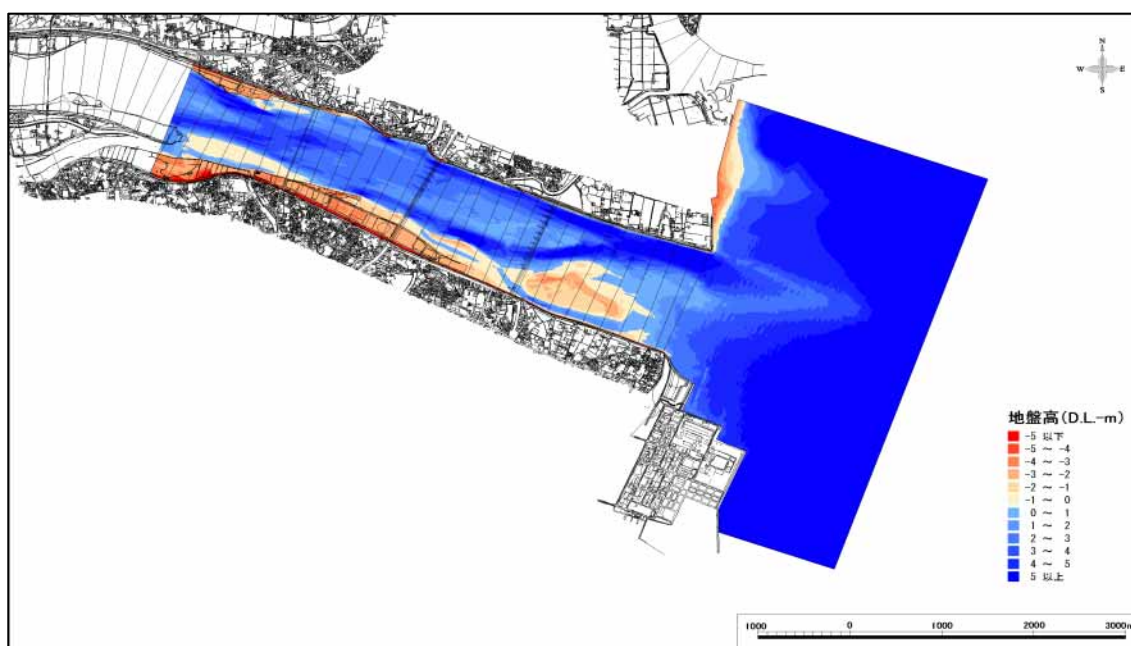


図 3-18 解析領域の水深分布図（平成 16 年 10 月 14 日時点）

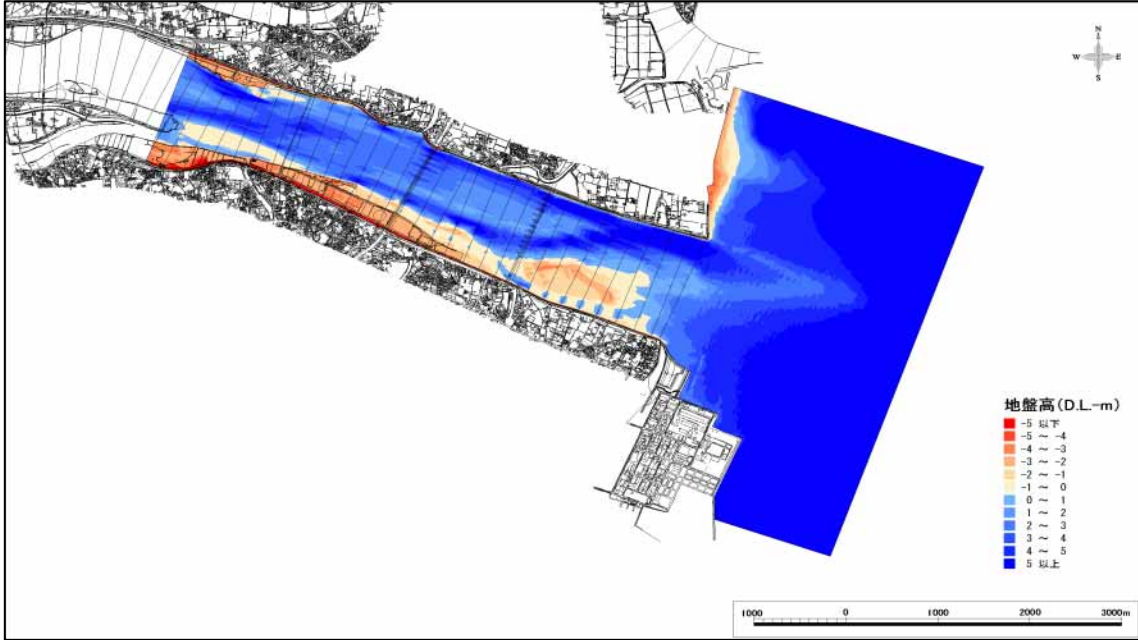


図 3-19 解析領域の水深分布図（平成 16 年 11 月 8 日時点）

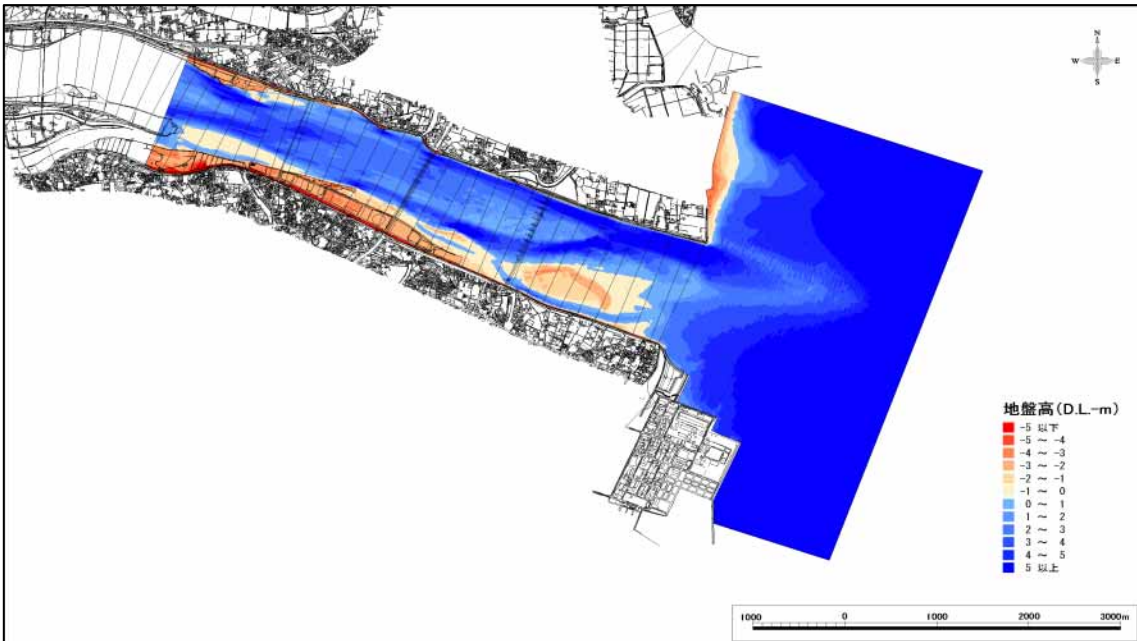


図 3-20 解析領域の水深分布図（平成 17 年 9 月 30 日時点）

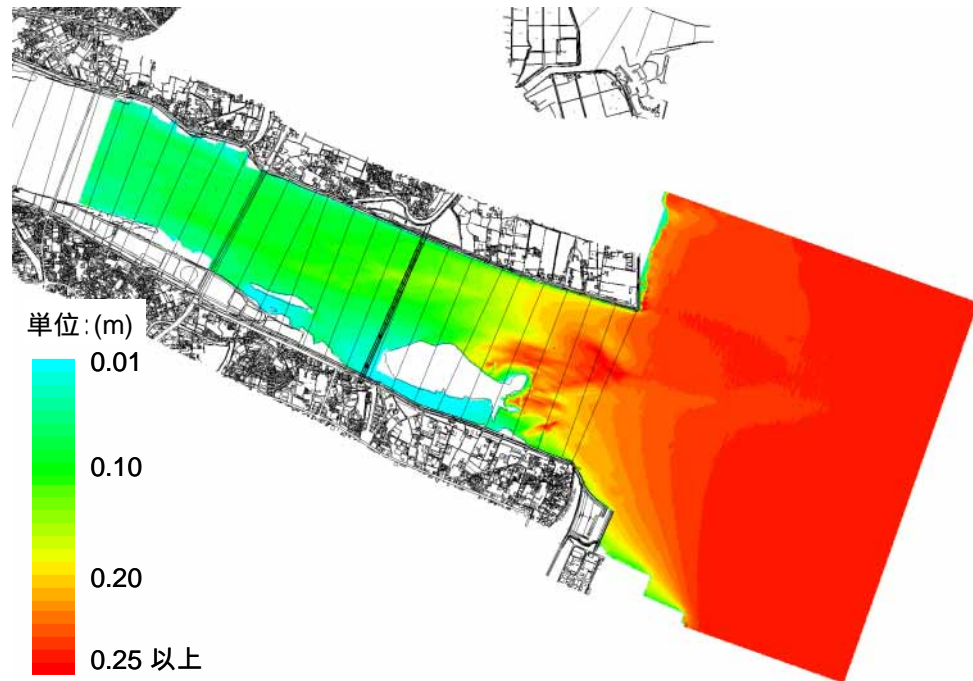


図 3-21 平常時 ( $H_{1/3}=0.25\text{m}$   $Ts=3.0\text{sec}$  M.W.L 時) の波高分布

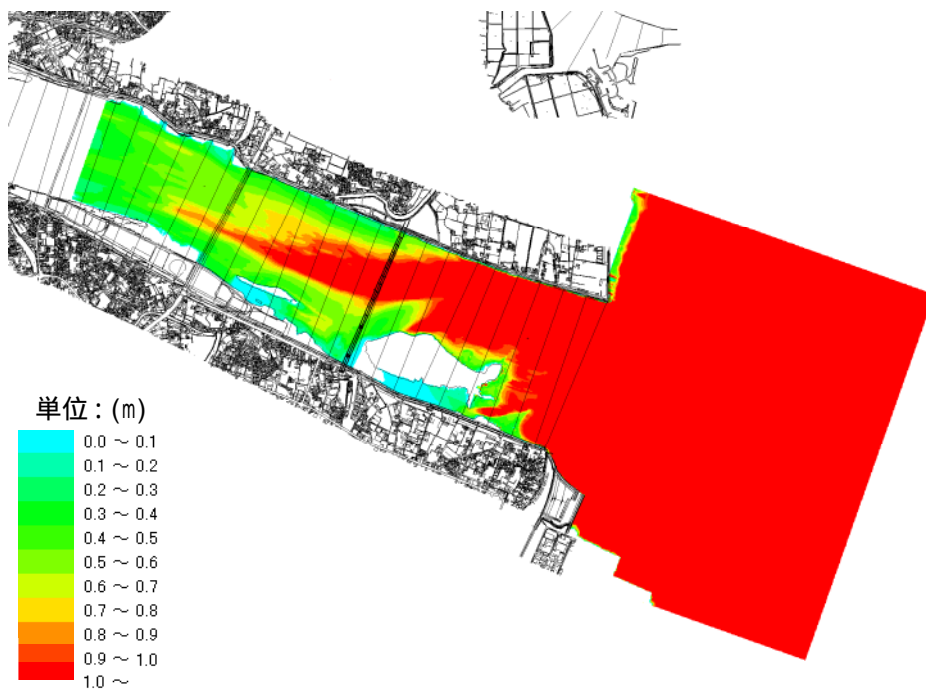


図 3-22 高波浪時 ( $H_{1/3}=3.53\text{m}$   $Ts=7.7\text{sec}$  M.W.L 時) の波高分布

### 3-5 . 解析結果

#### a. 洪水・高波浪による地形変化の検討 (CASE1-1)

2004年 10号, 16号, 21号, 23号台風による地形変化

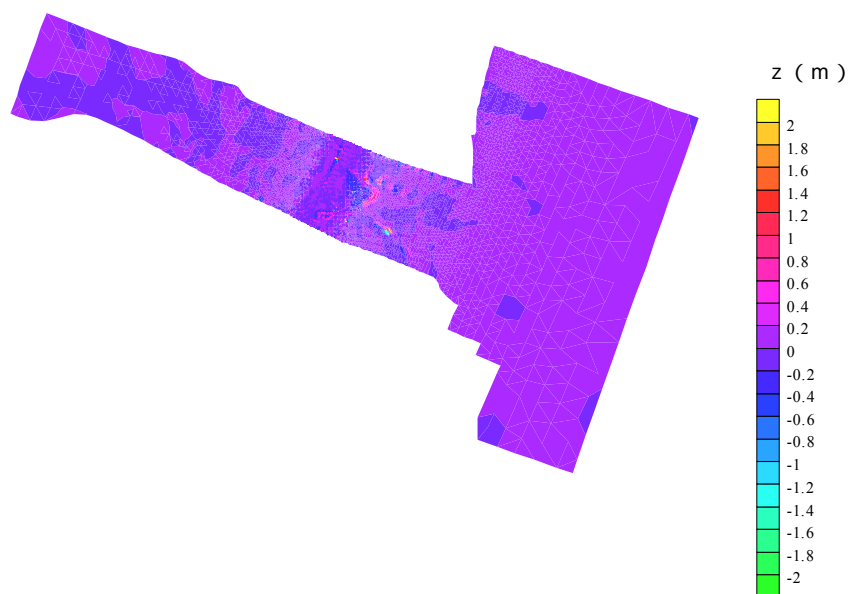


図 3-23 台風 10 号による地形変化 (洪水時・橋脚あり)

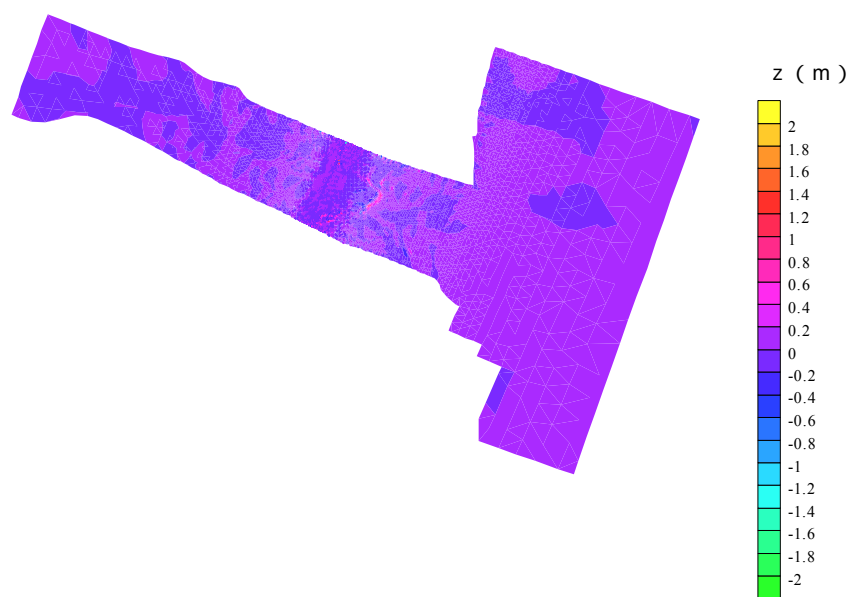


図 3-24 台風 16 号による地形変化 (洪水時・橋脚あり)

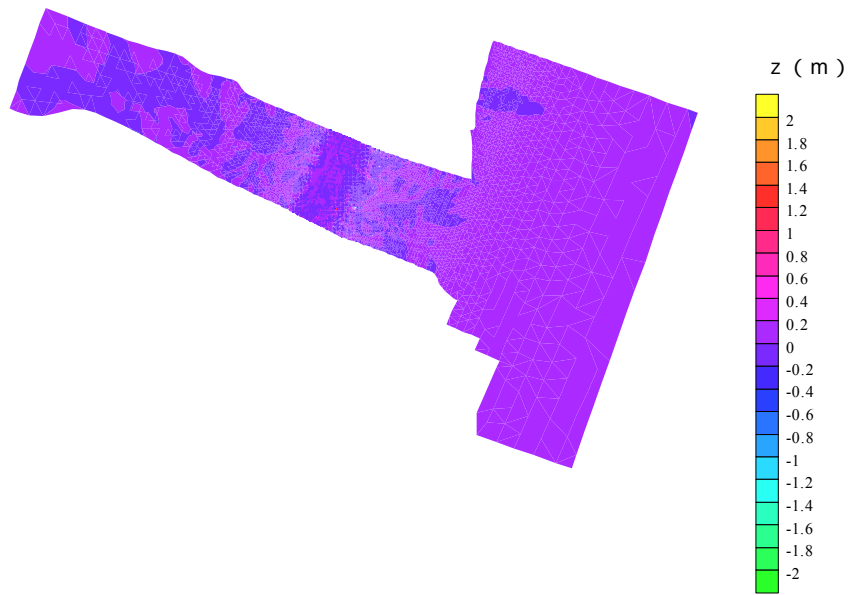


図 3-25 台風 21 号による地形変化（洪水時・橋脚あり）

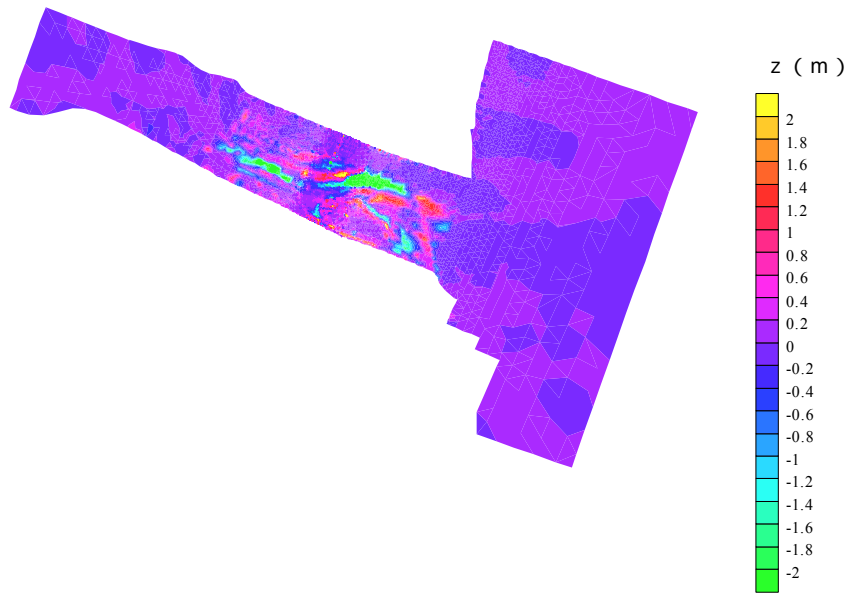


図 3-26 台風 23 号による地形変化（洪水時・橋脚あり）

b. 洪水・高波浪による地形変化の検討（未着工時の場合）(CASE1-2)

2004年 10号, 16号台風による地形変化

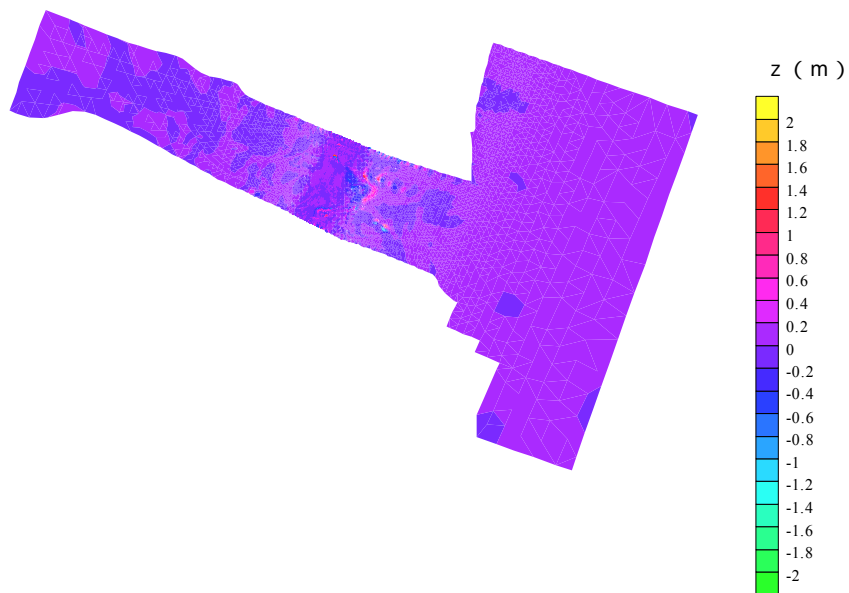


図 3-27 台風 10 号による地形変化（洪水時・橋脚なし）

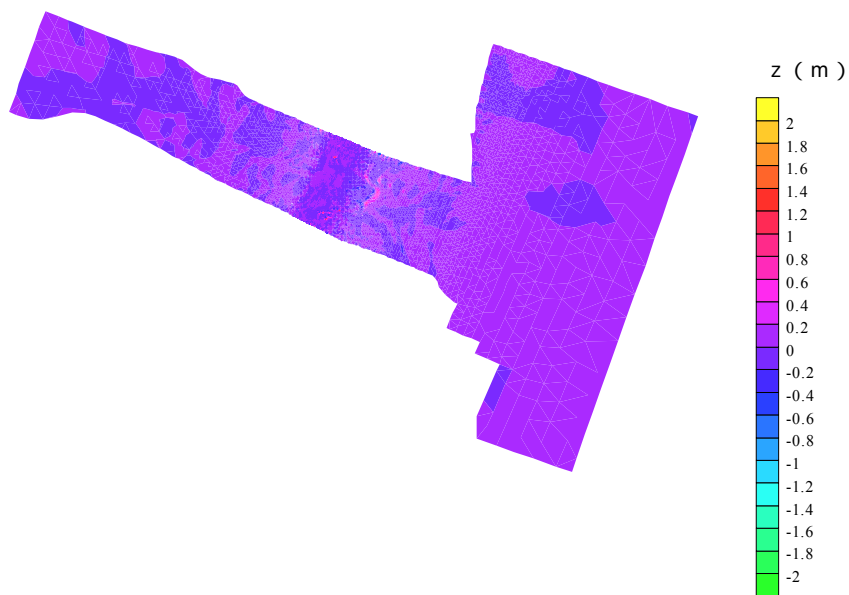


図 3-28 台風 16 号による地形変化（洪水時・橋脚なし）

c. 平常時の波浪・潮汐による地形変化検討 (CASE1-3)

2004年 10号, 16号台風による地形変化

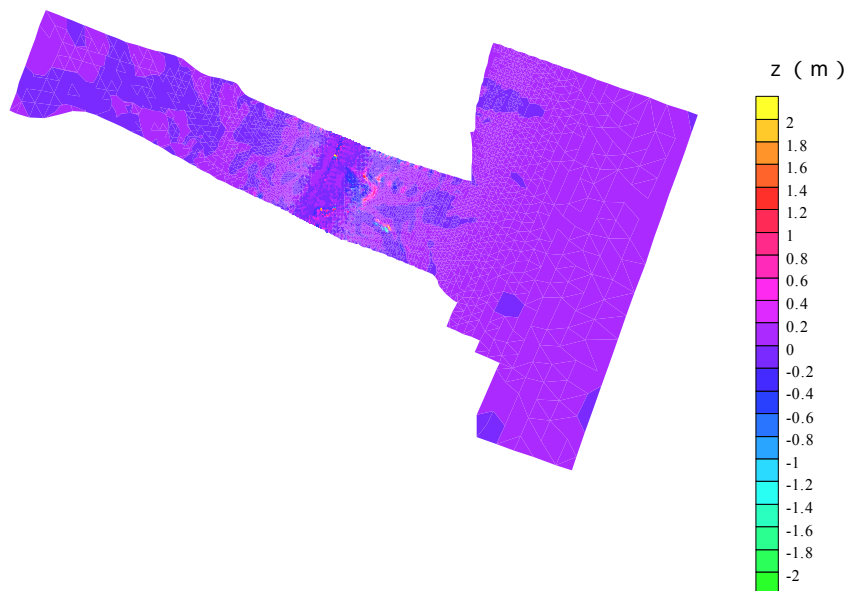


図 3-29 台風 10 号による地形変化 (平常時・橋脚あり)

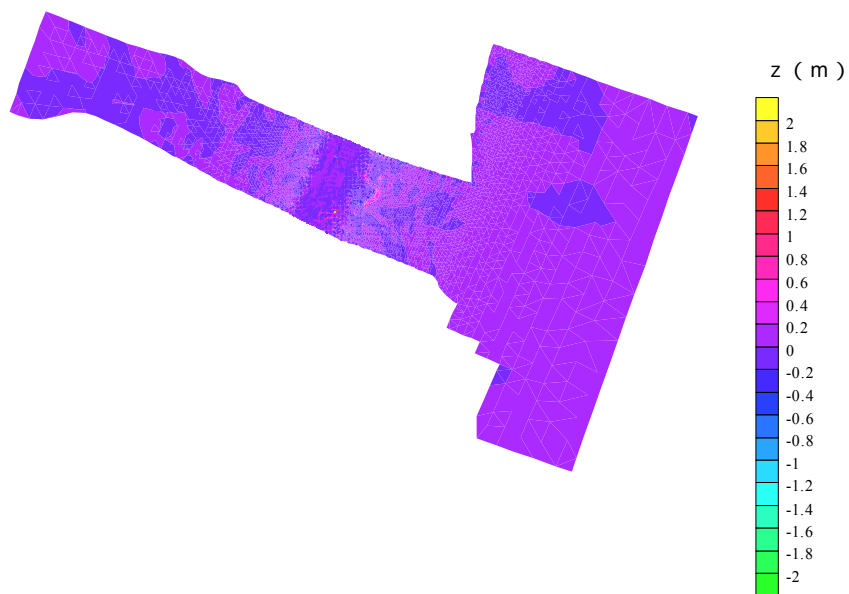


図 3-30 台風 16 号による地形変化 (平常時・橋脚あり)