

1.2.4 津波シミュレーションモデルの構築

(1) 津波シミュレーション手法

津波シミュレーションモデルは、基礎方程式系を連続式と非線形長波方程式とし、数値計算スキームを有限差分法とし、津波の発生・伝播から遡上までを一連で計算するモデルである。

1) 基礎方程式系

津波シミュレーションモデルの基礎方程式系は、連続式と非線形長波方程式である。

連続式

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

運動方程式（非線形長波方程式）

$$\begin{aligned}\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) &= -gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \gamma_b^2 \frac{M \sqrt{M^2 + N^2}}{D^2} \\ \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) &= -gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \gamma_b^2 \frac{N \sqrt{M^2 + N^2}}{D^2}\end{aligned}$$

ここで、 t は時間、 (x, y) は直交座標系、 (M, N) は (x, y) 方向の線流量、 D は全水深、 η は水位、 γ_b は摩擦係数 ($\gamma_b^2 = \sqrt{gn^2/D^{1/3}}$ 、 n はマンニングの粗度係数) をそれぞれ表す。

また、本検討では、検討対象地震を近海で発生した場合を想定しているため、コリオリ力は無視した。

2) 数値計算スキーム

本津波シミュレーションモデルは、東北大学工学部土木工学科で開発されたプログラムである。このプログラムは、連続式と運動方程式に対する数値解法として有限差分法を採用し、各変数の配置についてはスタaggeredメッシュ系を採用している。空間差分スキームは二次精度中央差分を用いている。時間差分スキームには **Leap-Frog** 法を採用している。

3) 接続計算（ネスティング手法）

ここでは、外洋から沿岸部・陸地にかけて津波浸水シミュレーションを行う。その際、河口部や市街地のような小領域で津波の遡上を計算するには、より細かい空間格子間隔が必要となる。しかしながら、そのような細かいメッシュを用いて外洋から沿岸部・陸地を含む広範囲を計算することは困難である。

従って、水深の深い外洋において空間格子間隔を粗くし、沿岸域に近づくに従って空間解像度を細かくすることにより地形特性を反映させることが可能なネスティング手法を用いた。

ネスティング手法では、空間格子間隔の異なる領域を接続するため、大領域と小領域で水位及び流量の受け渡しを行い、計算値に連続性を持たせる。

a) 水位の接続方法

大格子と小格子の境界に位置する大格子の水位 ZX は図 1.2-9 のように周辺の小格子 (9 メッシュ) の平均水位に置き換えられる。ただし、小格子の水深 HY が $HY > 0$ (水深が存在) であるメッシュ数 L が過半数 (5 メッシュ) を超えない場合は、大格子の水位は置き換ええない。 $HY > 0$ である小格子が L 個あった場合の大格子の水位は以下の式で表される。

$$ZX = \frac{\sum_{i=1}^L ZY_i}{L} \quad (5 \leq L \leq 9)$$

ここで、 ZY_i は小格子の水位である。

b) 流量の接続方法

大格子と小格子の境界に位置する小領域の値は大領域の値に置き換えられる。流量の置き換えは、1 つの大領域の流量から複数の小領域の流量を作成するため、空間的な補完が必要となる。図 1.2-10 に 1/3 空間接続を行った場合の小領域の流量の補完概念を示す。

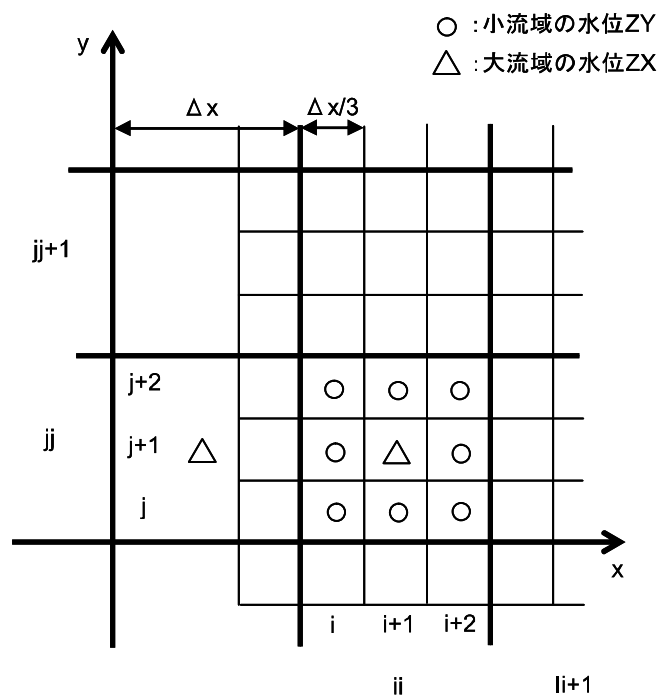


図 1.2-9 水位接続のイメージ図（左端境界、空間接続 1/3）

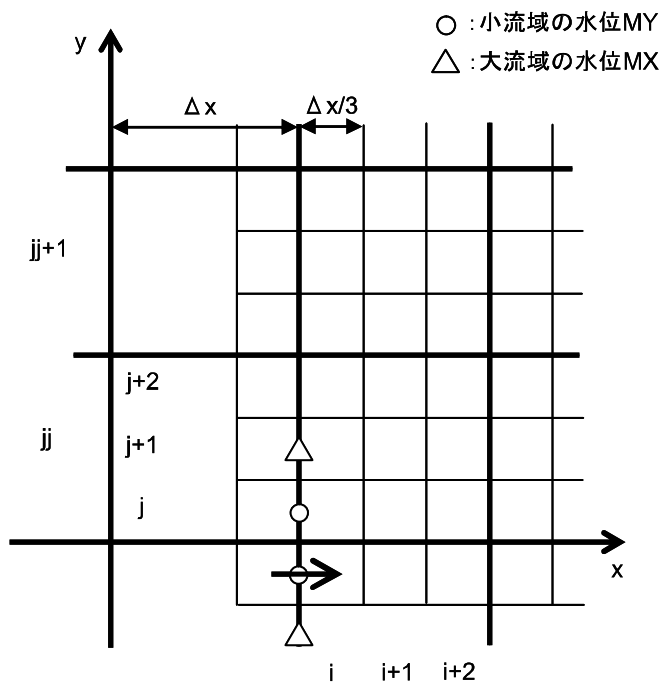


図 1.2-10 流量接続のイメージ図（左端境界、空間接続 1/3）

(2) 津波シミュレーションモデルの基本条件の設定

津波シミュレーションの実施においては、千葉県沿岸域の地形特性（海域・陸域）や海岸保全施設の緒元等を適切に表現し、地震発生時に生じる津波の海岸への伝播を適切に表現できることが最も重要であることから、表 1.2-5 に示す津波シミュレーションモデルの基本条件を用いる。

表 1.2-5 津波シミュレーションモデルの基本条件設定

設定項目	設定内容
計算領域	地震発生源より評価対象海岸・陸域までを対象とする。
モデル方程式	非線形 2 次元モデル ・運動方程式（流量、流速を計算） ・連続式（水位を計算）
数値解法	有限差分法（Leap-frog 法）
境界条件	沖合：自由透過境界 海岸：第 1～第 7 領域 移動境界（遡上）
計算時間	津波波源に応じて設定
計算格子間隔 計算時間間隔	計算格子間隔・計算時間間隔は県土整備部で検討中のモデルと同一とする ・波源より氾濫流域に向けて格子間隔を縮小、 <u>氾濫域で 12.5m 間隔に設定</u> ・計算時間間隔は、計算安定性・格子間隔に応じて設定 【計算格子間隔】 【計算時間間隔】 第 1 領域： $\Delta x_1=2700\text{m}$ $\Delta t_1=2.7$ 秒（波源付近） 第 2 領域： $\Delta x_2=900\text{m}$ $\Delta t_2=0.9$ 秒 第 3 領域： $\Delta x_3=300\text{m}$ $\Delta t_3=0.3$ 秒 第 4 領域： $\Delta x_4=100\text{m}$ $\Delta t_4=0.3$ 秒 第 5 領域： $\Delta x_5=50\text{m}$ $\Delta t_5=0.3$ 秒 第 6 領域： $\Delta x_6=25\text{m}$ $\Delta t_6=0.1$ 秒 第 7 領域： $\Delta x_7=12.5\text{m}$ $\Delta t_7=0.1$ 秒（氾濫対象区域周辺）
初期潮位条件	千葉県沿岸の各海岸の朔望平均満潮位とする→津波襲来時に最も危険側の評価
流域地形条件	県土整備部で構築中のモデルの条件を基本とし、一部最新の LP データで更新
海域地形条件	県土整備部で構築中のモデルの条件を基本とする
構造物条件	県土整備部で構築中のモデルの条件を基本とする
地表面・海底面の抵抗（粗度係数）	「小谷ほか、1998」の方法に準じて設定 住宅地 : $n=0.040$ 、工場地 : $n=0.040$ 農地 : $n=0.020$ 、林地 : $n=0.030$ 水域（河川・海域） : $n=0.025$ 、その他（空地、緑地） : $n=0.025$
河道条件	河道横断データより河床高相当まで格子地盤高を切り下げることで反映 ・一級河川：利根川・江戸川 ・二級河川：九十九里地区の主要河川、東京湾内の都川
検討対象地震	・延宝地震 ・元禄地震（産総研モデル 行谷ほか、2011）

1.2.5 津波シミュレーションモデルの構築

千葉県県土整備部で別途検討中の津波シミュレーションとの整合を保つため、同モデルで設定された計算対象領域の設定、地形条件、粗度係数、構造物条件等を踏襲したモデルの構築を行うものとする。

地盤高データについては、県土整備部検討業務で反映されていない今次地震後に計測された最新の LP 測量データやその他の LP データ等を確認の上、最新の地形条件を反映する。

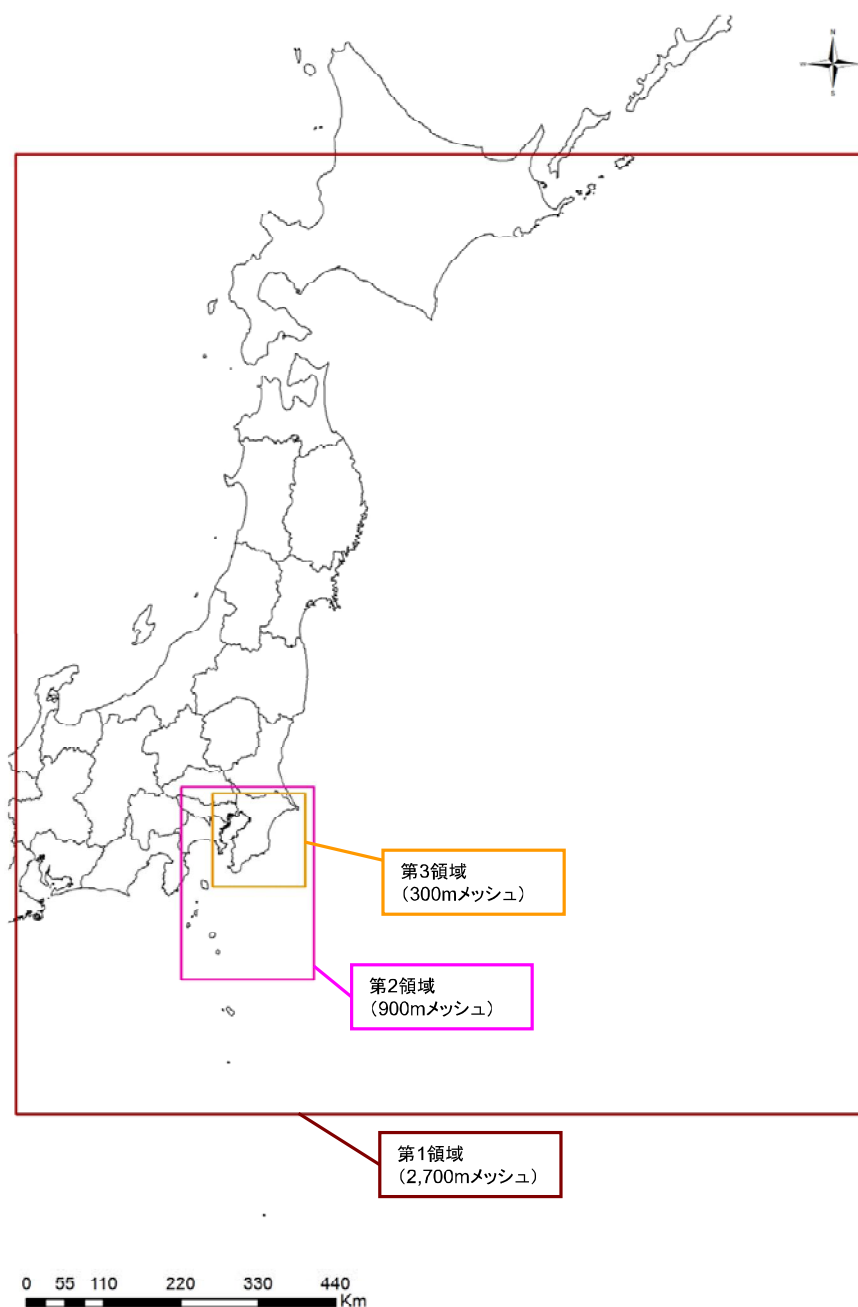


図 1.2-11 計算対象領域図（第 1 領域～第 3 領域）

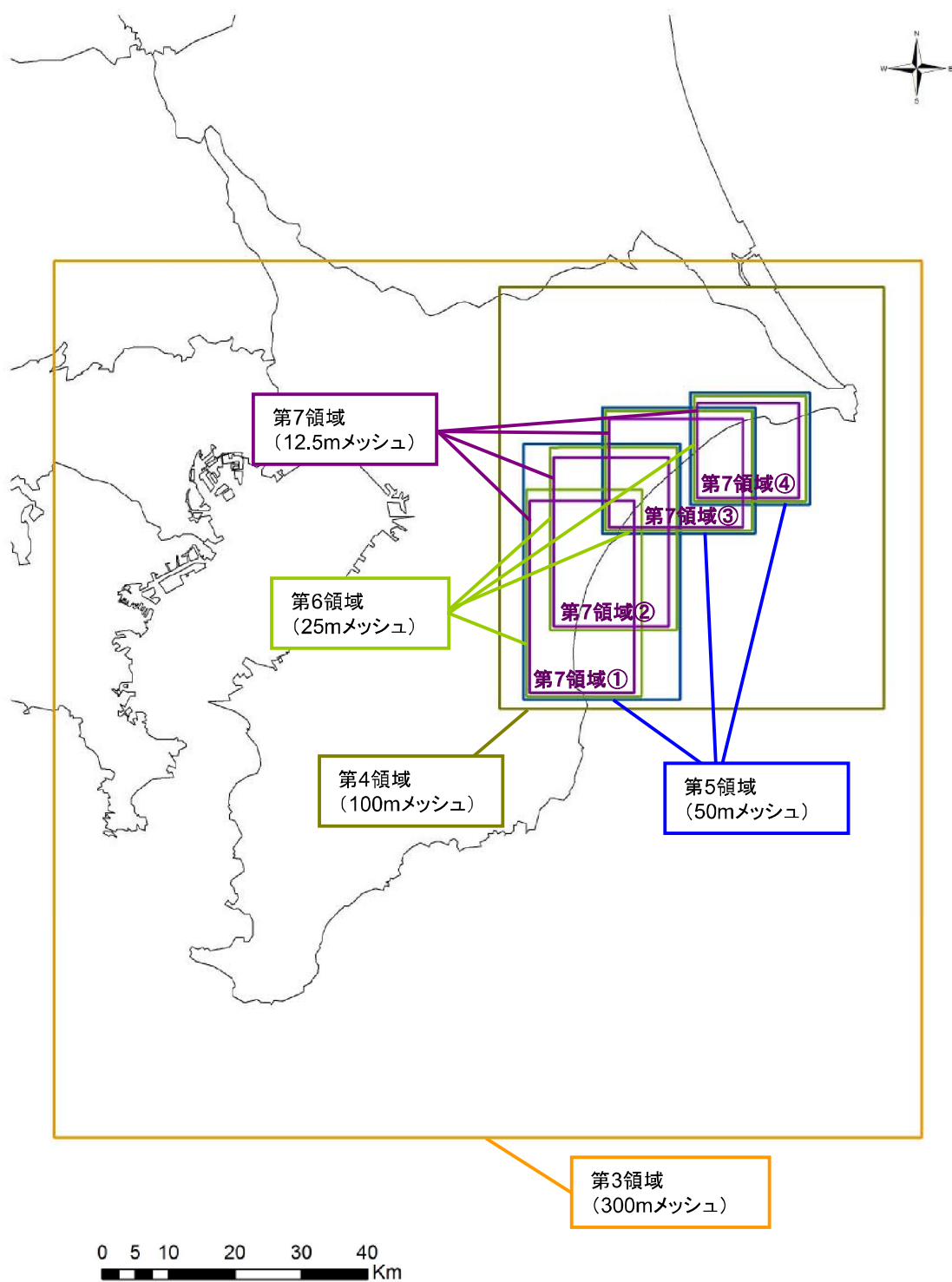


図 1.2-12 計算対象領域図（第 3 領域～第 7 領域）

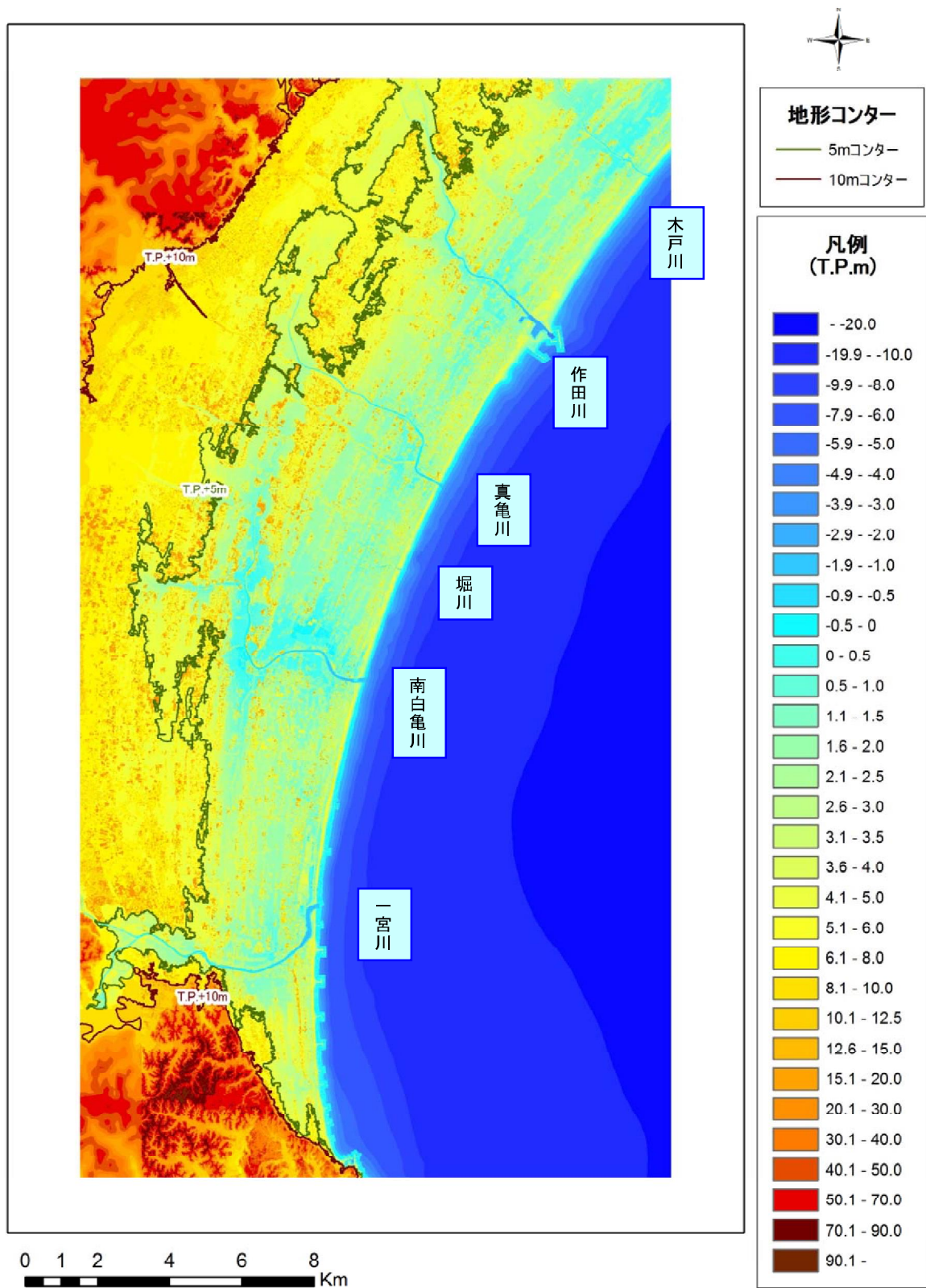


図 1.2-13 計算領域地形図（「銚子～一宮町」領域の第7領域①）

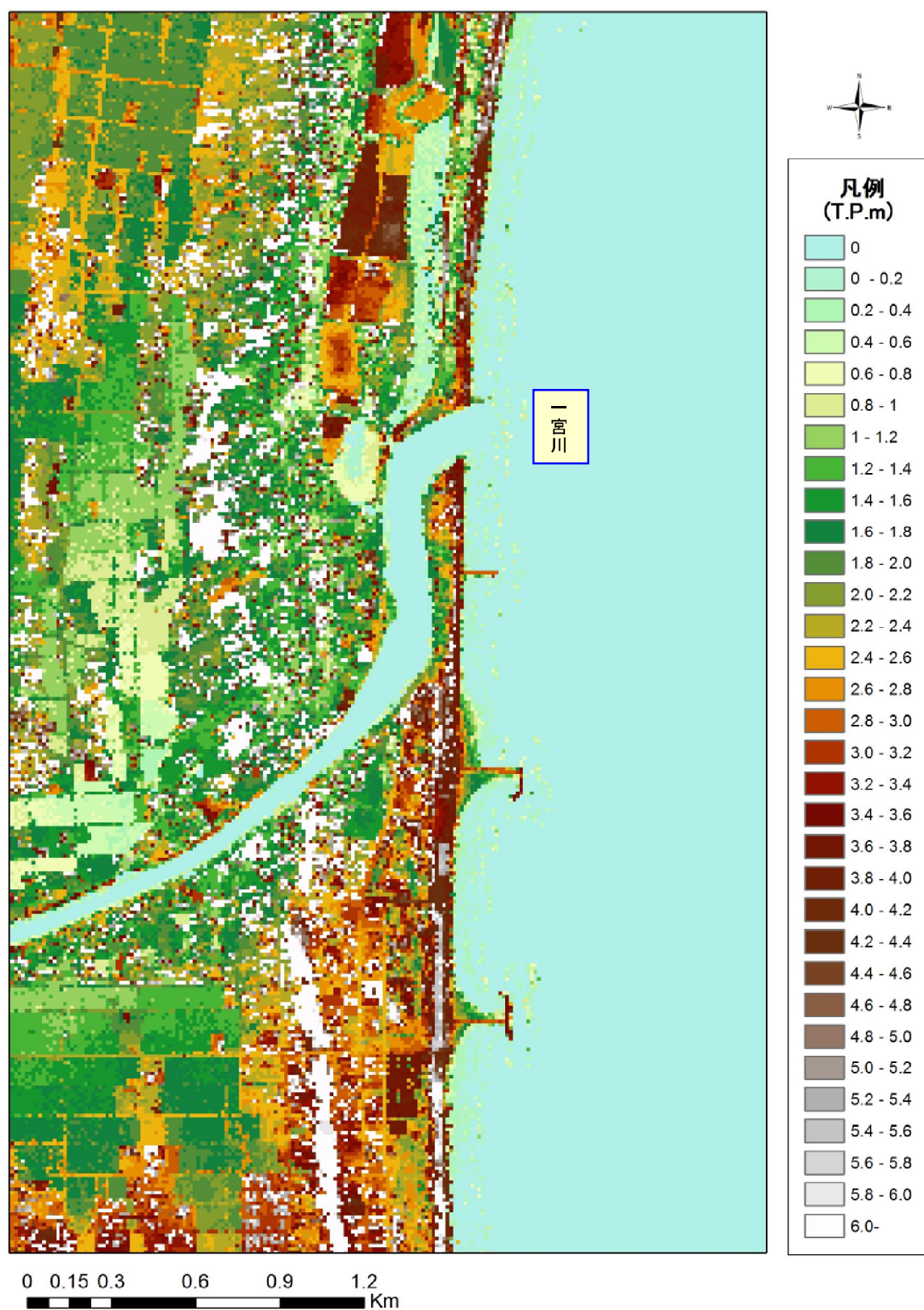


図 1.2-14 計算領域地形図（「銚子～一宮町」領域の第 7 領域① 一宮川付近拡大）



図 1.2-15 粗度係数の平面分布図（「銚子～一宮町」領域の第7領域①）

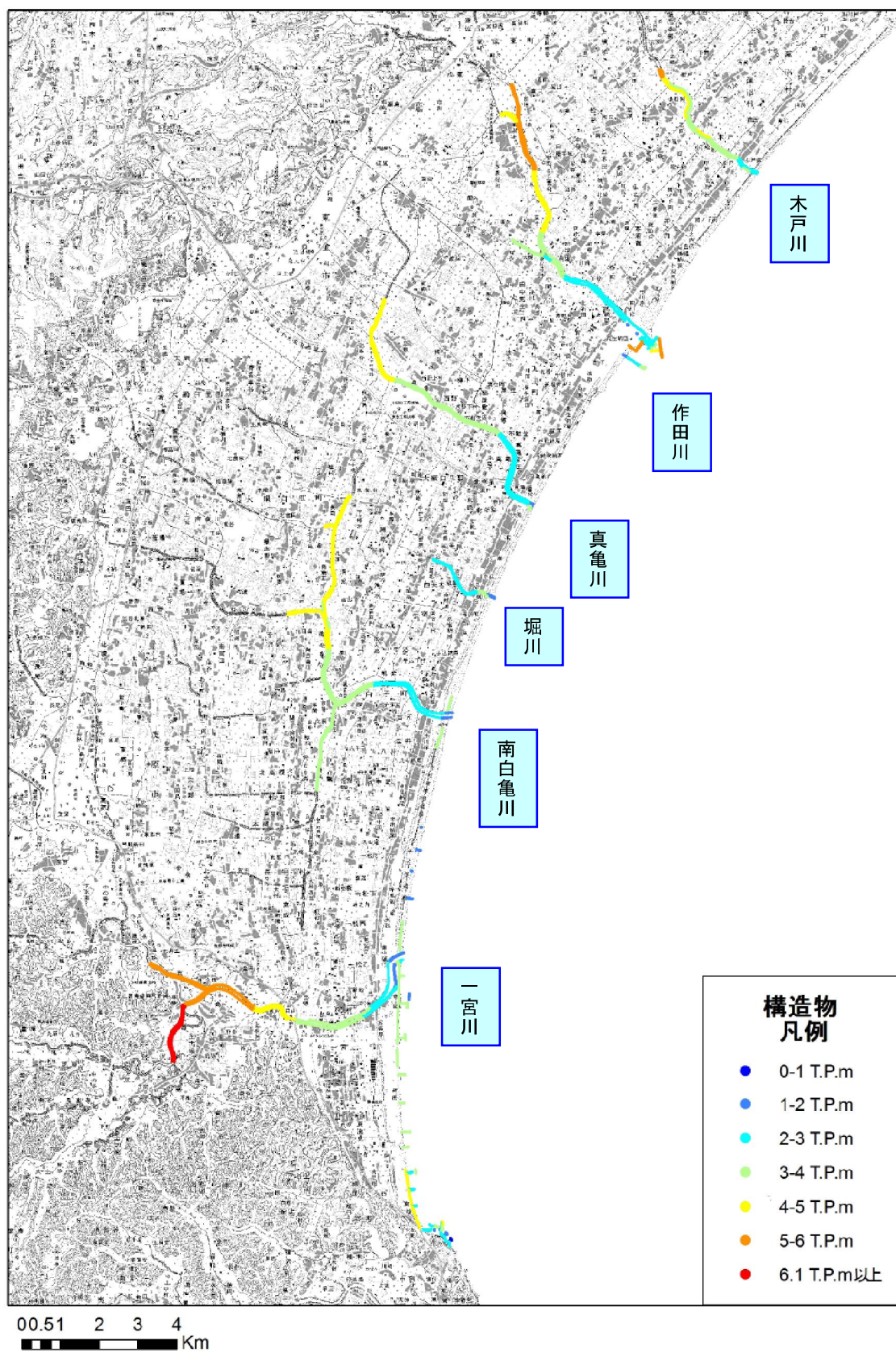


図 1.2-16 構造物天端標高図（「銚子～一宮町」領域の第7領域①）