

海岸林による津波減災に関する一考察

Tsunami disaster mitigation by coastal forest

赤澤史顕¹・佐藤学²・里深好文³

Fumiaki Akazawa, Manabu Sato and Yoshifumi Satofuka

¹立命館大学大学院 理工学研究科 博士後期課程 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Doctoral Program, Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University

²独立行政法人 都市再生機構 (〒231-8315 神奈川県横浜市中区本町6-50-1 横浜アイランドタワー5F~14F)

Urban Renaissance Agency, Incorporated Administrative Agency

³立命館大学教授 理工学部都市システム工学科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Professor, Ritsumeikan University, Dept. of Civil Engineering

In Japan, earthquakes often occur therefore tsunami arrives many times to the coast area of Japan. Compared with other disasters, tsunami causes heavily damages to human properties if once it occurs. The purpose of our research is to search methods averting heavily damages in order to save lives, infrastructures and cultural properties from tsunami. One of the methods to mitigate disasters of tsunami is the coastal forest. So we conducted simulations of tsunami to search effective methods of disaster mitigation by the coastal forest. In this paper, we consider effective patterns of coastal forest by simulating effects of it through changing patterns in two dimensions. Results show that some patterns of coastal forest are more effective than it placing straight and parallel with the coastline. And it also show that the same is true of other measures for tsunami.

Keywords : *coastal forest, tsunami simulation, cultural properties, disaster mitigation, priority evaluation*

1. はじめに

日本は世界でも有数の地震多発国である。地震によって発生する津波は他の災害に比べて低頻度だが、一度発生すると沿岸域に甚大な被害を及ぼす。沿岸域に存在する文化財や文化遺産はこれまでに津波により幾度も被害を受け、一部は消失していった可能性がある。したがって、文化財や文化遺産を後世に健全な形で継承していくためには、それらを津波から保護するための対策が必要である。著者らは、文化財の津波対策検討のため、津波の挙動やその衝撃を評価する数値シミュレーション法の開発に取り組んでいる。津波に対する対策の一つとして海岸林がある。海岸林の減災効果については多くの報告がなされており、2004年インド洋大津波において、沿岸部におけるマングローブ林は減災に大きな役割を担い¹⁾、2006年ジャワ津波では海岸間際に繁茂するアダンという樹種の樹高を高く維持管理することが津波防御にとって重要であると調査報告されている²⁾。また、1998年パプアニューギニア津波を対象とした数値計算により、グリーンベルト(沿岸域の樹木群)の減災効果は樹木の分布密度が大きくなるにつれて浸水域は減少し、流速の減衰効果は大きくなるということが明らかにされている³⁾。しかし、効率的な海岸林の配置について検討を行った研究例は少なく、その二次元的な配置の仕方について検討を行った例は少ない。そこで、本研究では、海岸林の配置を二次元的に変化させることにより、減災効果がどのように変化するかシミュレーションによる検討を行った。

2. 計算方法

海岸林の二次元的配置による津波の減災効果を検討するため、津波の数値シミュレーションを行った。津波のシミュレーションでは水平方向の流水の運動を計算することにより、津波の運動を計算した。津波は水深方向の流速は、水平方向の流速に比べてかなり小さいことと、水深方向の流速を計算しようとする計算時間が大きくなるため、水深方向の流速はないと仮定して計算した。

津波に対する抵抗物の影響を計算する方法として、抵抗物の部分の粗度係数を上げる方法、抵抗物ごとの抵抗力を与える方法、抵抗物の部分の地盤高を高くする方法がある。抵抗物の部分の粗度を上げる方法では、マンシングの粗度係数を設定することにより計算領域を広くとることができ、GIS を利用した津波遡上計算を行うことにより、人的・構造物被害を推定することが可能となった⁴⁾。抵抗物ごとの抵抗力を与える方法では、海岸林による津波の低減効果を含む数値計算と実験値との比較により、その効果を定量的に評価することを可能とし、その妥当性も示されている⁵⁾。海岸林の抵抗力を精度よく表現するためには、抵抗物ごとの抵抗力を与える方法が抵抗物の形状による抵抗力の変化を考慮できるため望ましい。しかし、この方法は樹種ごとの樹木の形状や構造などの情報が計算に必要になり、その情報やそれに対する知見が少ない。抵抗物の部分の地盤高を高くする方法では、地盤高を高くすると水の通過ができなくなってしまい、水の通過のある海岸林ではその効果を表現するのに不適切だと考える。そのため、今回の研究では海岸林の減災効果を表現するため、海岸林が存在する場所においてマンシングの粗度係数を大きくすることで抵抗を大きくし、それを模擬的に海岸林とした。

(1) 支配方程式

2次元的な場を考え、 x, y を平面座標とすると、流れの連続式は、

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial uh}{\partial x} + \frac{\partial vh}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

となる。ここに、 u : x 方向の平均流速、 v : y 方向の平均流速、 h : 水深である。

x, y 方向の流水の運動方程式はそれぞれ、

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial(h+z)}{\partial x} - \frac{\tau_x}{\rho h} + 2 \frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon \frac{\partial u}{\partial y} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial(h+z)}{\partial y} - \frac{\tau_y}{\rho h} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon \frac{\partial v}{\partial x} \right) + 2 \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon \frac{\partial v}{\partial y} \right) \quad (3)$$

となる。ここに、 z : 地表の高さ、 g : 重力加速度、 ε : 渦動粘性係数、 τ_x, τ_y : x, y 方向の底面摩擦応力である。底面摩擦応力はマンシング則を用いて、次のように与える。

$$\frac{\tau_x}{\rho h} = \frac{gn^2}{h^{4/3}} u \sqrt{u^2 + v^2} \quad (4)$$

$$\frac{\tau_y}{\rho h} = \frac{gn^2}{h^{4/3}} v \sqrt{u^2 + v^2} \quad (5)$$

渦動粘性係数 ε は水深方向へ対数則を仮定し、その平均値を用いて次のように与える。

$$\varepsilon = \frac{\kappa}{6} u_* h \quad (6)$$

ここに、 κ : カルマン定数、 u_* : 摩擦速度である。

以上の支配方程式をスタッガード格子を用いて差分化した。運動方程式の空間微分の離散化については、移流項に対しては第一次の風上差分、圧力項に関しては後退差分、拡散項に関しては中心差分を用い、時間微分の離散化については前進オイラー法を用いた。

(2) 海岸線の配置

海岸線の配置を変えて計算を行った。海岸線の配置を図 1 に示す。Case1 は海岸林がない場合、Case2 は海岸線と平行に幅 100m の海岸林を配置した場合、Case3 は海岸林を 50m 幅で 200m の長さで配置しそれを片側に寄せた場合、Case4 は Case3 の片側に寄せていた海岸林を真ん中に配置した場合、Case5 では海岸林を幅 10m で配置し、幅 10m の配置していない部分と交互に長さ 200m で配置した場合である。Case2～5 では海岸林を配置した面積の大きさは同じになるよう配置している。

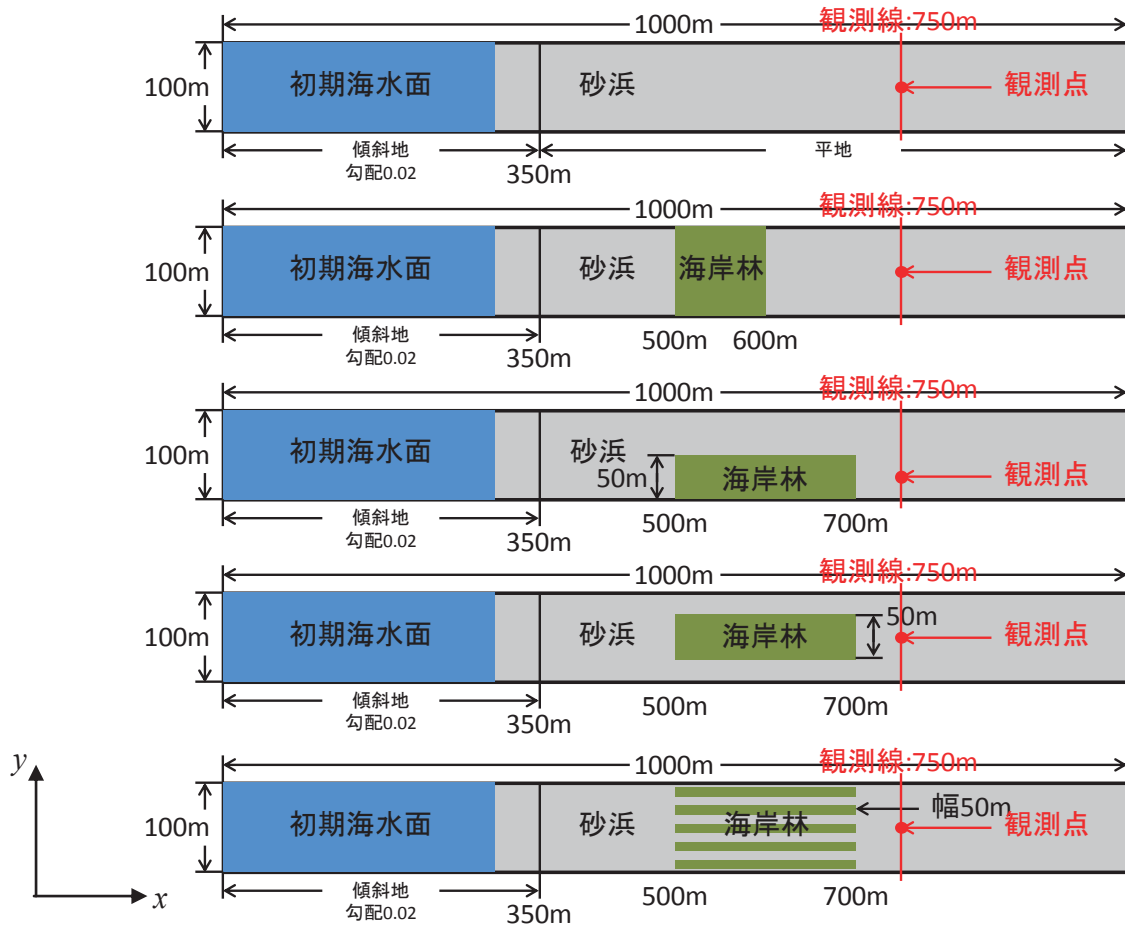


図 1 海岸林の配置（平面図、上から Case1～5）

観測線の位置は海岸林の後方とし、どのケースでも同じ x 方向に 750m の位置に設定した。観測点の位置は海岸林の効果が観測されるよう海岸林の後方に海岸林の中心に設定した。

(3) 計算地形

海岸地形を作成し、津波のシミュレーションを行った。沖の海底の高さを 0m としそこを基準として、海底の勾配 0.02、高さ 7m の平地を作成した。計算区間は x 方向に 1000m、 y 方向に 100m とし、初期の海水面の高さを 5m としている。

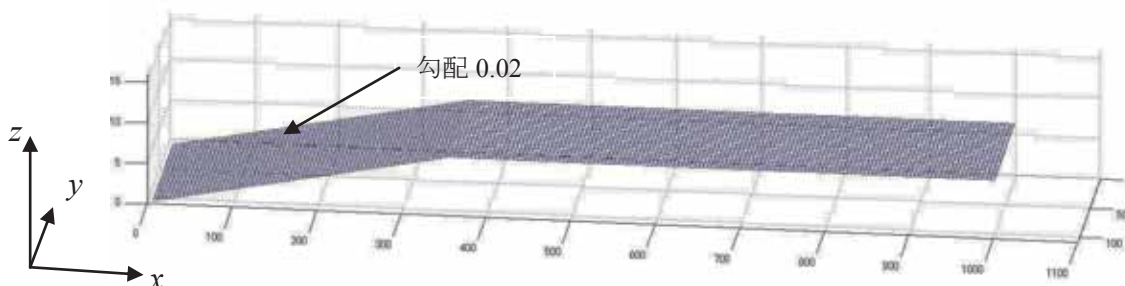


図 2 海岸地形（単位は m）

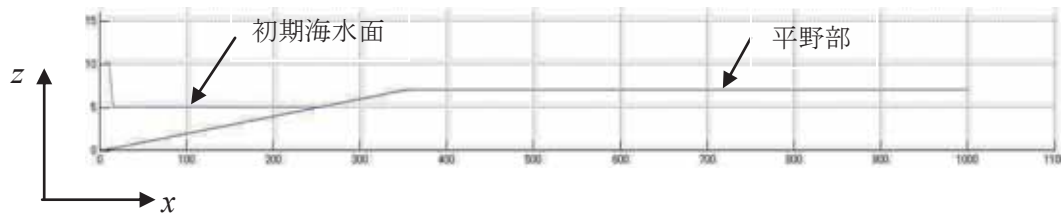


図3 初期の海水面と海岸地形（単位は m）

これに沖の海底の高さが 0m の地点において計算開始直後から終了まで高さ 10m まで水位を上昇させ、それを津波として計算している。計算は x 方向に 1000m の地点で水位が上昇したとき計算を終了としている。海岸林のマニングの粗度係数は 0.06 とし、その他の平地部などのマニングの粗度係数は 0.025 として計算を行った。マニングの粗度係数は小谷ら²⁾が使用したマニングの粗度係数を参考にして決めている。小谷ら²⁾の森林域の値は 0.03 だが、この値は防潮林を考慮していないため低く設定されている。そのため、本研究では海岸林のマニングの粗度係数は 0.06 と高めに設定した。格子間隔は 5m としている。

3. 計算結果

(1) 観測線上の最大流速

計算された観測線上の各位置における最大流速を図 4 に示す。図 4 では観測線上に到達した津波の最大流速を観測線上の位置ごとに示した。最大流速とは計算時間中各点において xy 平面上での最大瞬間流速である。図 4 の流速の位置は図 1 の下から y 方向に何 m の位置かを示したもので、5m の位置ならば図 1 の観測線の下から 5m の位置を表し、100m ならば観測線上の上端の位置の流速を示している。

図 4 を参照すると海岸林の後方では、海岸林がない所に比べ最大流速が低かった。Case2 では一様に海岸林を配置させたため、海岸林がない Case1 よりも一様に最大流速が低下した。Case3、Case4 ではそれぞれ海岸林を配置しているほとんどの場所の後方で Case2 よりも最大流速が低くなっている。これは奥行方向に海岸林を長く配置したため、最大流速が低くなったと考えられる。Case5 では Case2 と配置した海岸林の総面積は同じにもかかわらず、Case2 よりも全体的に最大流速は大きくなった。Case2~4 で配置した海岸林の面積の大きさは全部同じだが、Case3 では Case2 と比べて一部だが海岸林の後方で約 5%最大流速が低下するという結果となり、Case4 では Case2 と比べて一部だが海岸林の後方で約 7%最大流速が低下するという結果となった。沿岸部に守るべき文化財があった場合、Case3、Case4 のように奥行方向に長く海岸林を配置し、流速を低減させ、衝撃力を緩和することによりある程度被害を少なくすることができると思う。

(2) 観測線上の最大水位

最大流速と同じように計算によって得られた津波の最大瞬間水位を図 5 に示す。最大水位は海岸林を配置した Case2~5 のいずれも観測線上で Case1 に比べ全体的に水位が低くなった。Case2 では海岸林を奥行方向に 100m 配置したため全体的に Case1 よりも約 5%水位が低くなった。Case3 では海岸林がある部分とない部分の境界部付近で最も水位が小さくなった。Case4 では海岸林の背後で Case2 と比べ水位が高い場所もあれば低い場所もあり、海岸林の中心部では Case2 より約 1%水位が高くなった。Case5 では海岸林の背後で Case2 よりもわずかに全体的に水位が低くなった。結果として、海岸林を配置することにより全体的に水位をある程度低下させることはできるが、守るべき文化財が沿岸部にあった場合、海岸林をそこに重点的に配置させその部分だけ水位を低下させることは難しいと考えられる。本研究では海岸林の効果をマニングの粗度係数によって表現したが、マニングの粗度係数による計算では海岸林に瓦礫が詰まるといったことによる効果や、海岸林が流されるといったことは表現できないため、再現性に限界があり、実験などによる検証が必要だと考えられる。

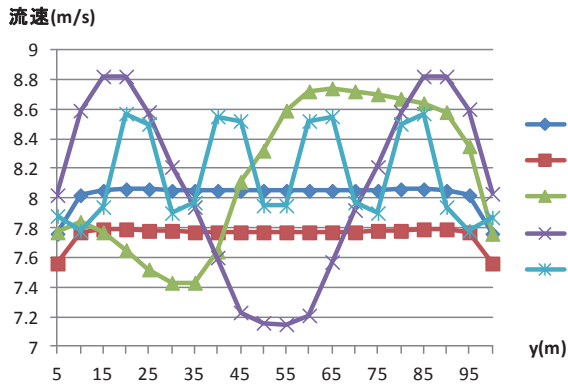


図 4 観測線上の最大流速

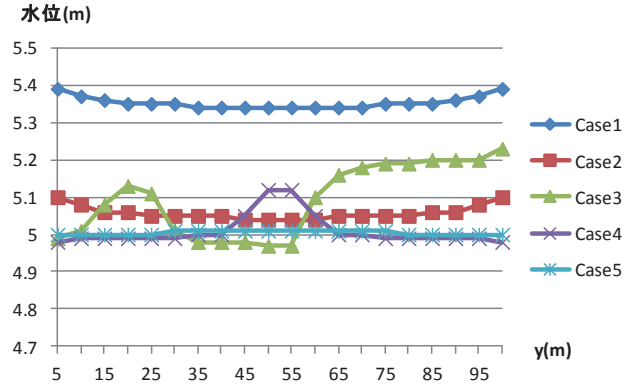


図 5 観測線上の最大水位

(3) 観測点における水位の時間変化

観測点における水位の時間変化を図 6、流速の時間変化を図 7 に示す。海岸林がある Case2~5 では、海岸林がないケースに比べて津波が到来する時間が 1 秒遅くなった。海岸林がある Case2~5 ではそれぞれ津波が到来する時間に差は見られなかった。

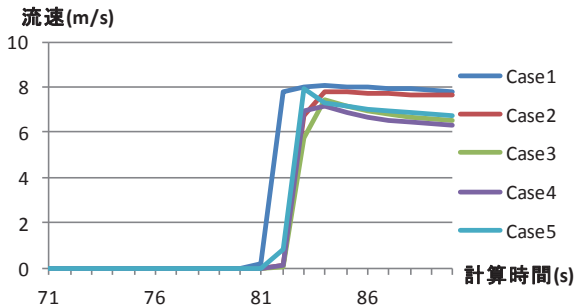


図 6 観測点における流速の時間変化

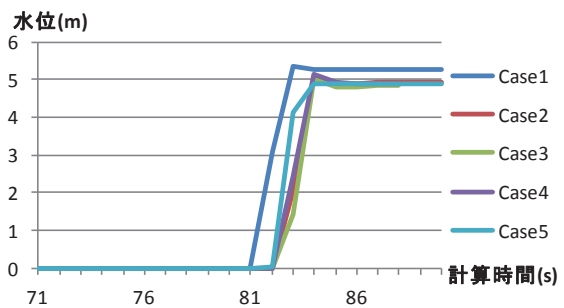


図 7 観測点における水位の時間変化

(4) 津波のシミュレーション

計算によって得られた津波が到来する様子と流速の平面ベクトル図を Case4 は図 8、Case5 は図 9 に示す。図 8 の平面ベクトル図では海岸林の周辺の流速ベクトルを図 9 の平面ベクトル図では配置した海岸林の中で中央部の海岸林帯の終端部の流速ベクトルを示した。図はいずれも計算開始から 85 秒後の図である。海岸林の津波が海岸を遡上し、平野部に入り波が立つという波の特徴が表現された。海岸林があるケースでは、海岸林の終端部で海岸林のない側から水が回り込む様子が見られた。

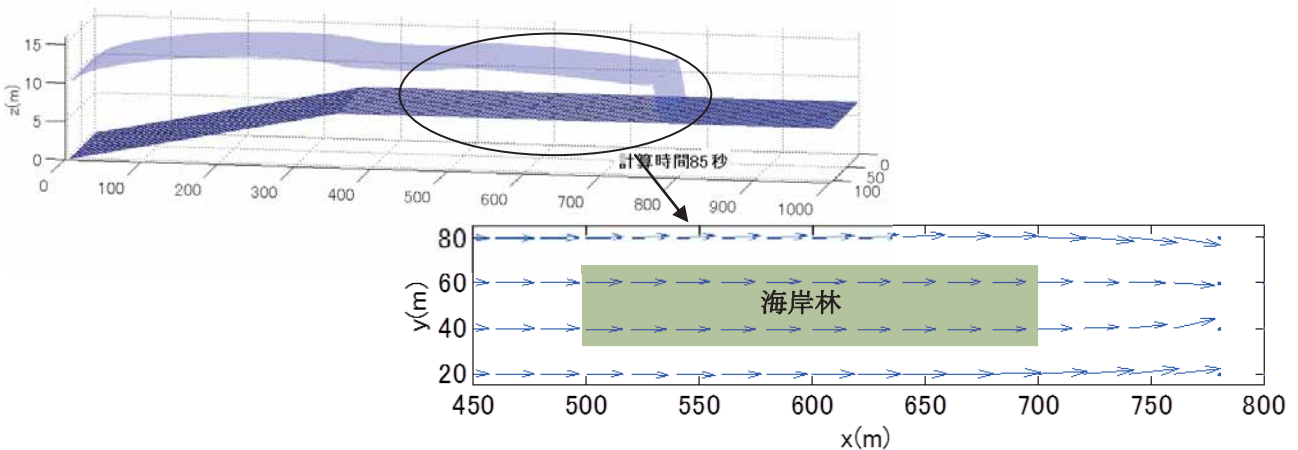


図 8 Case4 の津波の様子と流速の平面ベクトル図 (ベクトルは 20m 毎に表示)

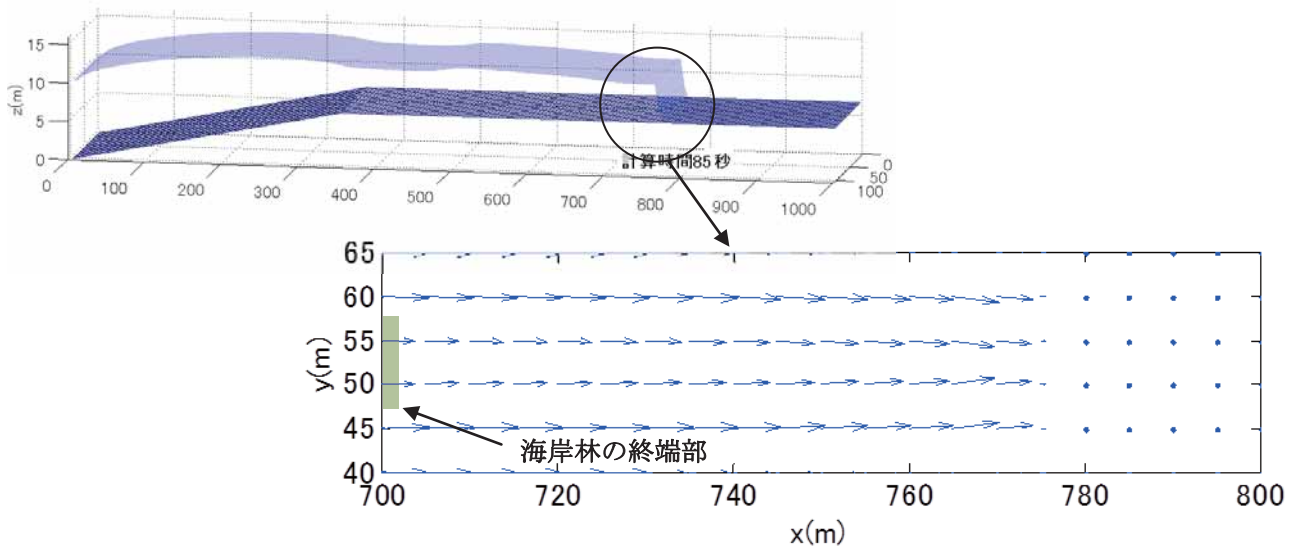


図9 Case5の津波の様子と流速の平面ベクトル図

4. 結論

本研究では海岸林の配置を変化させることにより、海岸林の減災効果がどのように変化するかを明らかにするため、津波のシミュレーションを行った。本研究の計算により、海岸林を部分的に奥行きに長く配置すれば海岸林を配置した場所の後方で津波の流速をある程度低下させることができると分かった。また、海岸林を配置すれば津波の水位を低下させることができるが、配置した海岸林の総面積の大きさが同じ場合、配置を変化させても水位の変化はそれほど無かった。このことから津波から人類のすべての資産を守ることは困難でも何を優先的に守るかについて考え、優先部分を重点的に守ることにより、ある程度の減災が可能であると考えられる。

本研究では海岸林について計算を行ったが、家屋や堤防など他の構造物も海岸林のように津波に対する障害物として同じように計算できる。今回はマニングの粗度係数を上げることにより海岸林の減災効果を検討したが、その方法では海岸林の瓦礫を捕捉する効果や倒木などを考慮できないため、シミュレーションの再現性に限界がある。今後は東日本大震災による津波を事例として調査・分析を行い、マニングの粗度係数や結果の妥当性を検証していきたい。

参考文献

- 1) Kathiresan, K. and N. Rajendran: Coastal mangrove forests mitigated tsunami, Estuarine, Coastal and Shelf Science, Vol.65, pp.601-606, 2005.
- 2) 田中規夫・佐々木寧：2006年ジャワ津波災害において海岸林が果たした役割とその破断・なぎ倒し限界，水工学論文集，第51巻，pp.1445-1450，2007.
- 3) 平石哲也・岩瀬浩之：1998年パプアニューギニア津波を対象としたグリーンベルト防災の効果，海岸工学論文集，第50巻，pp.1366-1370，2003.
- 4) 小谷美佐・今村文彦・首藤伸夫：GISを利用した津波遡上計算と被害推定法，海岸工学論文集，第45巻，pp.356-360，1998.
- 5) 原田賢治・油屋貴子・Latief Hamzah・今村文彦：防潮林の津波に対する減衰効果の検討，海岸工学論文集，第47巻，pp.366-370，2000.
- 6) 原田賢治：津波の数値シミュレーション，山形大学海外科研グループ 海岸林の津波被害軽減効果に関する科研費成果報告会「インド洋大津波に対する海岸林の効果の検証と今後の海岸域の保全のあり方」講演資料，2008.
- 7) 相田勇：陸上に溢れる津波の数値実験，東京大学地震研究所彙報，第52冊，pp.441-460，1978.
- 8) 高橋保・中川一・里深好文：貯水池逆流システムによるフラッシング排砂，水工学論文集，第46巻，pp.785-790，2002.