津波浸水シミュレーションによる浸水域とハザードマップとの比較

COMPARISON OF HAZARD MAP WITH TSUNAMI FLOODED ANALYSIS

和田 光真¹⁾,久保 栞²⁾,吉田 秀典³⁾

Mitsumasa WADA, Shiori KUBO, and Hidenori YOSHIDA

1) 香川大学大学院工学研究科	(〒 761-0396	高松市林町 2217-20,	E-mail: s15d401@stu.kagawa-u.ac.jp)
2) 香川大学大学院工学研究科	(〒 761-0396	高松市林町 2217-20,	E-mail: $s16g412@stu.kagawa-u.ac.jp$)
3) 香川大学工学部	(〒 761-0396	高松市林町 2217-20,	E-mail: yoshida@eng.kagawa-u.ac.jp)

The hazard maps have been made by the local authorities on the basis of the guidelines established by the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism. Such hazard maps which are made with the use of digital elevation data are put to practical use of the evacuation of each authority. However, it may not always provide the precise information of disaster, for example tsunami. It is necessary for the hazard map to take in detail information obtained from analysis method. Thus, in this study, tsunami flood analysis is carried by the OpenFOAM, free open source software for computational fluid dynamics, and the flood condition resulted in the OpenFOAM is compared with the hazard map. In the modeling of numerical region, the digital elevation model (DEM) from the Geospatial Information Authority of Japan is utilized so as to make the analysis more elaborate. As the result of the analysis, it is found that tsunami wave can be run-up to the wide area, which is different from the hazard map produced by Takamatsu city. In addition, it is also found that the tsunami flooded depth and area obtained from the analysis are different from those of the hazard map through the comparison of the hazard map and the numerical result. In conclusion, the numerical results of flood analysis should be reflected on a hazard map so as to realize effective evacuation.

Key Words: Hazard map, Tsunami, Flooded area, OpenFOAM, DEM

1. 緒言

巨大地震によって引き起こされる津波に対する防災への取り組みが各地域で準備されている⁽¹⁾⁽²⁾.近年においては南海トラフを起因とする巨大地震のリスクが徐々に高まってきており、内閣府の報告⁽³⁾によると、最大震度7が予測される地域は四国全域で58市町村、香川県においては震度6弱を越える市町村が17にも及ぶとされている.また、津波の被害については高知県沿岸部においては津波の高さ34m、香川県においては津波の高さ4mが想定されている.これを受けて香川県では、各市町村にて津波による浸水被害を想定したハザードマップが作成され、総合的な避難誘導を目的として公開されている.県庁所在地である高松市においても詳細なハザードマップ⁽⁴⁾が公開されており、場所によっては沿岸部においては浸水深さが1m、海岸線から1kmほど陸側の地域においてもは浸水深さが2mというような箇所もある.こうした沿岸部よりも内陸部で浸水深さが大きくなる理由

2016年9月19日受付, 2016年10月27日受理

としてハザードマップに示される浸水範囲は標高ベースで決 められているからで,こうした決め方をした場合,過去の高 潮被害域と類似した浸水領域となってしまう. つまり, 時々 刻々と変化する津波による浸水領域や深さがハザードマップ に詳しく掲載されることはなく,最大浸水深のみを表してい るものが多いのが現状である.ハザードマップの注釈におい ても,浸水域や浸水深は津波の到達範囲を決定しているもの ではないことも併記されてる.これは、平成13年7月に水 防法が改正された際に、(1)国土交通大臣に加えて、新たに 都道府県知事が洪水予報河川を指定し洪水予報を行うこと, (2) 洪水予報河川については、国土交通大臣または都道府県 知事が浸水想定区域を指定し,想定される浸水深を市町村長 に通知すること、(3)市町村は浸水想定区域ごとに、洪水予 報の伝達方法,避難場所などを地域防災計画において定め, それを住民に周知すること、という3点が強調され、決して 防災の専門家ではない行政側が、こうした記載事項をクリア することだけに傾注した結果, 流速等を表示するというよう



Fig. 1 Hazard map produced by Takamatsu city ⁽⁴⁾

なことは施していないという背景があるからである.

ここで一例として, Fig.1に高松市の津波に関するハザー ドマップを Fig.2にハザードマップと同じ地域における標高 コンター図を示す.このハザードマップと標高コンター図と を比較し,同じ高さをもつ範囲を点線で区分すると,互いは 近似しており,津波の最大遡上や最大流速はハザードマップ に盛り込んではいないことがわかる.また,ハザードマップ の中央部右側の二番丁付近においては,浸水深が0.01m 未満 とあたかも住民へ安心感を与えるような表示がされている. 巨大地震が発生すると,津波が来る前に建物が被害を受けた り,液状化に起因する道路閉鎖による放置車両など様々な障 害物が地表面に取り残される.その状態で津波が遡上するた め,低い波でも避難弱者にとっては致命傷になり得る.

そこで本研究では、上記の地域に対して津波浸水シミュ レーションを行い、数値解析結果の中でもハザードマップに おいて安全とされる地域及び最も浸水が深いと予想されてい る地域において浸水域と浸水深等に注目し、ハザードマップ との比較を行う.

2. 基礎理論の概要

津波解析には数値流体力学オープンソースコードの Open-FOAM⁽⁵⁾を用いる.気相と液相の二相を VOF 法に基づく 界面捕獲法による不混和流体で非圧縮性・等温混相流とする. 非圧縮性流体の連続の式は次式で表される.

$$\nabla \cdot \boldsymbol{v} = 0 \tag{1}$$

ここで, vは速度ベクトルである.基礎方程式はNavier-Stokes 式であるが,表面張力を考慮する必要があるので流れの基礎 方程式は以下のように規定される.

$$\frac{\partial \boldsymbol{v}}{\partial t} + \boldsymbol{v} \cdot \nabla \boldsymbol{v} = -\nabla p + \nu \nabla^2 \boldsymbol{v} + \boldsymbol{f}$$
(2)

ここで、tは時間、pは密度 ρ で割られた圧力、 ν は動粘性係数、fは外力項である.また、粘性応力テンソルを τ 、粘性



Fig. 2 Elevation distribution by DEM data

係数を $\mu(=\nu\rho)$ とすると,

$$\tau = \mu(\nabla \boldsymbol{v} + \nabla \boldsymbol{v}^T) = \nu \rho(\nabla \boldsymbol{v} + \nabla \boldsymbol{v}^T)$$
(3)

と表現されるため,式(2)の第2項は,

$$\nu \nabla^2 \boldsymbol{v} = \frac{1}{\rho} \nabla \tau \tag{4}$$

となる. また,式(2)の第3項**f**は,表面張力項**f**_oと重力 項**g**に分けると以下に表現される.

$$\boldsymbol{f} = \boldsymbol{f}_{\boldsymbol{\sigma}} + \boldsymbol{g} = \boldsymbol{\sigma} \kappa \boldsymbol{n} + \boldsymbol{g} \tag{5}$$

ここで、 σ は表面張力係数、 κ は界面曲率、nは界面法線ベクトル、gは重力加速度であり、 $\kappa = -\nabla \cdot n$ である.式(4)、(5)より、基礎方程式(2)は以下のように表される.

$$\frac{\partial \boldsymbol{v}}{\partial t} + \boldsymbol{v} \cdot \nabla \boldsymbol{v} = -\nabla p + \frac{1}{\rho} \nabla \tau + \boldsymbol{f}_{\boldsymbol{\sigma}} + g \tag{6}$$

自由表面の移流方程式は, VOF 関数の体積分率 α の保存 式を以下に表現する.

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t} + \nabla \cdot (\alpha \boldsymbol{v}) = 0 \tag{7}$$

ここで、体積分率 α は以下のように区分する.

$$\begin{cases} \alpha = 0 : $\mathfrak{R} \mathfrak{h} \\ 0 < \alpha < 1 : \mathfrak{R} \mathfrak{k} \mathfrak{k} \mathfrak{h} \\ \alpha = 1 : \mathfrak{R} \mathfrak{h} \end{cases}$
(8)$$

ここで、物質界面は、体積分率 $\alpha = 0.5$ とした⁽⁶⁾⁽⁷⁾.なお、 気相に関する密度を ρ_a 、粘性係数を η_a 、液相に関する密度 を ρ_w 、粘性係数を μ_w とすると、

$$\rho = \alpha \rho_w + (1 - \alpha)\rho_a \tag{9}$$

$$\mu = \alpha \mu_w + (1 - \alpha) \mu_a \tag{10}$$

と表現される.また,気相の速度を v_a ,液相の速度を v_w と すると,それぞれの領域における移流方程式を以下に定義 する.

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t} + \nabla \cdot \left((1 - \alpha) \boldsymbol{v}_a \right) = 0 \tag{11}$$

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t} + \nabla \cdot (\alpha \boldsymbol{v}_w) = 0 \tag{12}$$

以上より,気相と液相の流速差を *v_r* とすると,移流方程 式は以下に表される.

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t} + \nabla \cdot (\alpha \boldsymbol{v}) + \nabla \cdot \left((1 - \alpha) \alpha \boldsymbol{v}_r \right) = 0$$
(13)

なお,流体は乱流とした.平面メッシュサイズ5mに一般的な 津波の遡上速度 10m/s を与えると,レイノルズ数は約 $Re = (\delta \times |v|) / \nu = (5 \text{[m]} \times 10 \text{[m/s]}) / 10^{-6} \text{[m}^2/\text{s]} = 5.0 \times 10^7 と$ なり乱流である.解析では,レイノルズ平均モデル(RANS)を用いた.RANS モデルのうち,凹凸の底面をもつ地盤メッシュにおいて剥離現象を表現することが可能で,メッシュ境 $界面においても安定した解が得られる SST k-<math>\omega$ モデル⁽⁸⁾ (SST)を採用した.このモデルにおいて初期値として必要 なパラメータは,乱流エネルギーkと比エネルギー散逸率 ω である.乱流エネルギーの初期値は,既往の研究⁽⁹⁾を参考 に設定した.

$$k = \frac{3}{2} (|\boldsymbol{v}_c| \cdot |I|)^2 \tag{14}$$

$$\omega = \frac{\sqrt{k}}{L} \tag{15}$$

ここで, v_c は代表速度ベクトル [m/s], I は乱れ強度 [%], Lは代表長さ [m] である. 乱れ強度 I については, 既往の実験 結果 ⁽¹⁰⁾ を参考に5% とした. 代表長さ L については, 乱 流混合層(流れが混ざり合ってできる層) で 0.07 D (D は混 合層の厚み)で与えられる ⁽¹⁰⁾.本研究において, 乱流モデ ルの解析パラメータとして設定した初期値を Table 1 示す.

RANS modelValuesVelocity $\boldsymbol{v}_c[m/s]$ 2.00Hydraulic diameter D[m]15.00Turbulent intensity I[%]5.00SST modelk $[m^2/s^2] \neq (14)$ 1.50×10^{-2} $\omega [s^{-1}] \neq (15)$ 0.11

Table 1 RANS parameters

3. 津波解析

3.1. 解析領域と解析メッシュ

解析領域は,高松市のハザードマップにおいて比較的安全 とされる地域と浸水深が局所的に深く想定されるの両箇所を 含む領域を解析対象として選定した.Fig.3にメッシュの概 形を示す.解析範囲は東西(X)1180m,南北(Y)1135mの 領域を対象とした.また,気相に対応するメッシュ領域の厚 み,すなわち標高(Z)は30mとした. Fig.3において下面に対応する地盤については標高を国土 地理院⁽¹¹⁾より公開されている5mメッシュの数値標高モデ ル(DEM データ)を利用した.本研究においては,三次元 解析を行うため,作成した二次元平面空間を六面体要素の集 合体に変換した.なお,津波の到達時間を安全側に評価する ため,建物等のメッシュは省略した.

メッシュサイズについては、OpenFOAM ではクーラン数 (C_O)を1未満にする必要がある⁽¹²⁾.本研究においても津 波の遡上速度 |v|をセルを通る流速 10m~20m 程度と想定 し、 $C_O = (\delta t |v|)/\delta x$ の関係から $\delta t = 0.01s$ とし、 δx はDEM データにあわせて 5m とした.海の領域(Fig. 3 において右 側の Wave という記載のある側)は北側の沖合 85m 地点に おいて海底深さ 15m で、そこから陸地までは比例的に変化 するものとした.また、高さ方向のメッシュサイズは均等 10 分割としたため、海の領域におけるメッシュ高さは 4.5m(気 相 30m + 液相 15m)、内陸の領域におけるメッシュ高さは DEM データにより 3.2m~2.7m 程度になる.解析における 気相と液相の物性を Table 2 に示す.



Fig. 3 Analysis area

Condition		Values	
Water	$\nu_w [m^2/s]$	1.00×10^{-6}	
	$ ho_w [kg/m^3]$	1.00×10^{3}	
Air	$ \nu_a [m^2/s] $	1.48×10^{-5}	
	$ ho_a [m kg/m^3]$	1.00	
Surface tension σ [kg/s $^2]$		0.07	
Gravity acceleration $g [m/s^2]$		9.81	

Table 2 Analysis conditions

3.2. 境界条件

津波の流入境界は海側(北面)の界面とし,海底地形が比較的均一⁽¹³⁾のため,津波は北側から一様に入射するものと 仮定した.造波は VOF 法に基づく olaFoam⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾を 利用した.olaFoam は非圧縮性流体である波の条件に適応し たソルバーであり,造波には波の高さと周期の設定が必要と なる⁽¹⁷⁾.本研究においては,南海トラフ地震の予測値⁽³⁾



0.00 0.25 0.50 0.75 1.00 Fig. 5 Run-up Distribution (Time=90s)

を参考に,高松市における津波の高さを4mとした.波の周 期については,同予測に具体的な参考値がないため,一般的 な津波の周期の600sを設定した.また,流出境界(Fig.3に おいて流入境界以外の側面と上面)については,物理量に対 して勾配が0となるように設定し,下面は非流出境界(固定) とした.

3.3. 解析結果および考察

本研究では、津波に関するハザードマップの浸水特性を比較するため津波解析を行った.津波到達から 60 秒,90 秒, 120 秒,150 秒の浸水範囲を Fig.4~Fig.7 に示す.コンター 図において、既往の研究⁽¹⁸⁾を参考に液相の体積率である α が 0.5 以上となる領域を津波の浸水領域として判断する.

まず, Fig.4, Fig.5に着目し, 津波の到達状況について考察する. 津波解析による浸水エリアとハザードマップとを比較する際に, 地形の影響が関係することを示すため, 内陸エ



Fig. 7 Run-up Distribution (Time=150s)

リアと港湾エリアの2箇所において着目する.津波先端の通 過地点として内陸エリアでは a 地点,港湾エリアでは b 地 点を選出する (Fig. 4, Fig. 5 を参照). 図には a および b 地 点の津波が30秒後にどこまで到達するかを図に示している. 30 秒後, a 地点においては約 200m 進み, b 地点においては 約 250m 進んでいる.速度に換算すると a 地点は約 6.7m/s, b 地点は約8.3m/sとなる(Fig.5). 津波の遡上の動きを時 間別にみると、a 地点では津波到達後 60 秒の時点で北側の 地形による影響を受けて, つまり標高の高い地点にぶつかっ て津波が迂回するような状況となっているが、90秒の時点 では回り込んだ津波が合流するようにして遡上している.港 湾エリアの b 地点では、津波到達後 60 秒の時点においては、 津波が地形にぶつかることなく港湾エリアに浸入している. 90 秒の時点においては、地形的な抵抗が a 地点と比べると 小さいため、津波がより遠くへ進んでいることわかる.また、 津波到達後 120 秒の時点 (Fig.6) になると, b 地点の津波は



Fig. 9 Flooded depth : Section A (Time=150s)

標高がやや高い地域にぶつかった後、標高が相対的に低いエ リアへ流れ、方向が変化している様子がわかる. さらに、津 波到達後150秒の時点になると、a、b 両方の地点において 周囲の津波が互いに含流あるいは交じり合いながら遡上し, 浸水範囲が広範囲に及んでいる.一連の解析結果より,以下 に掲げるようなことが判明した.まず,津波が陸地を遡上す ると,その先端部は津波の高さが低いため,地形,特に標高 の影響を受ける.標高の低い箇所では直進性が強く、津波の 速度も速いが,標高の高い箇所では,遡上する津波はこれを 迂回し,標高の低い箇所と比較すると,相対的に津波の速度 は遅くなる.標高の高い箇所で迂回等を繰り返す津波は,迂 回後, 合流等を繰り返して進むため, 標高の高い箇所の背後 にある場所に、あっという間に流れ込んでくる.次に、標高 が高い箇所は, 津波の影響が低い箇所に比べれば相対的に低 いという安心感を与えがちであるが、Fig.2に示すようなそ れほど大きな標高差がない沿岸部では、ほとんどの箇所で津 波にのまれるような状況になるため,ハザードマップ (Fig. 1) が示すような色分けは、住民に誤解を与える可能性もあ る. つまり, ハザードマップに示される浸水深が浅いと住民 は安心して避難しようとしない可能性もあるが、解析によれ ば、ほとんどが津波にのまれる. さらに、解析結果とハザー ドマップを比較すると,ハザードマップの表現能力は不十分 であることが分かる.一般的なハザードマップは、紙の地図 に予想浸水深がその区分に対応した色で表示されており,流 速を表示していない.しかしながら、勾配が急な場合、氾濫 水の流速は速く, 流速が速いと一般に浸水深は浅くなる傾向 にある.流速が速い場合,例え浸水深が浅くても水の中を歩 いて避難することは危険であるにも関わらず、住民は浅い浸 水深に安心する傾向が強い.しかも,ハザードマップに流速 を示したとしても、速い流速の危険性を住民は理解できない 可能性もある.

次に,時々刻々と変化する浸水深について考慮するため, 津波解析とハザードマップとを比較する.比較対象エリア



Fig. 11 Flooded depth : Section B (Time=170s)

は, Fig. 6 および Fig. 7 に示す Section A ならびに Section Bを選定した.これらは、ハザードマップにおいて浸水深が 0.01m 未満と最も浅いエリア (Section A) と浸水深が 2.0m と最も深いエリア (Section B) となっている (Fig.1). 津波 解析による浸水深の結果を Fig. 8~Fig. 11 に示す. なお,断 面図における α 値が 0.5 以上あるものを浸水とみなす $(^{18)}$. Section A では津波が沿岸に到達した後 120 秒の時点で浸水 深は約3.0mという結果を得た.そして,最大浸水深となる のが 150 秒の時点で約 4.5m という解析結果となった.これ は、高松市に到達した最大の津波の高さが4mと想定されて いる⁽³⁾ことと比較すると、Section A においては概ね同程 度の浸水深を示した. Section B においては、津波が到達す るのが 150 秒の時点であり,浸水深は約 8.1m,最大浸水深 は170秒の時点で約9.8mという解析結果となった. Section Bの標高は-1.7mであるため津波の高さが非常に高くなって いるように見えるが、標高が Section A と似た箇所 (Fig. 10, Fig. 11 の左端) に着目すると, Section A の浸水深と大差が ない結果となる. Section B では,標高がかなり低い地域で あるため、周囲よりは浸水深が大きくなるような解析結果と なっている.このような地域においては、津波が来て慌てて 標高の高い地域に逃げようとして渋滞に巻き込まれたり、遠 方まで徒歩で避難できなかったりした場合、避難が間に合わ ずに津波にのまれる可能性があるため,浸水深以上の高さの 近隣建物に逃げて津波を回避し、波が引いた後に避難所へ移 動した方がより安全ということもありうる. ここで, 高松市 の津波ハザードマップ (Fig.1) と比較する. ハザードマップ における浸水深は(Section A においては 0.01m, Section B においては 2.0m)標高ベースの数値にしか過ぎず、上記を 鑑みれば、まだ改善の余地が有ると考えられる.

南海トラフによる巨大地震が太平洋沿岸で発生しても,高 松市に到達するまでには時間的余裕があるため,避難誘導が 効果的に行われれば市民が津波避難ビル等に避難する時間 は確保されるであろう.しかしながら,地震による建物外壁 の剥落や避難により放置した自動車等が瓦礫となり押し流 される可能性があり,津波が通過した箇所は避難経路が確保 できない場合がある.本研究における津波解析は津波の高さ を 4m にして浸水範囲を解析したが,津波の浸水深が 30cm であっても避難が困難となる⁽¹⁹⁾ことがわかっている.この ように,津波による浸水被害の把握は重要となるため,標高 ベースに浸水深さを設定している津波に関するハザードマッ プが安全だからといって市民の避難が遅れることのないよう に津波ハザードマップの浸水区分の位置付けを十分認識した 上で活用されることが望まれる.

4. 結言

災害時に避難する場合,各自治体により作成されたハザー ドマップを参考にすることは有効な手段となるが、巨大地震 発生時に時々刻々と変化する津波の浸水予測までは考慮して いないことが多い. このような津波による浸水ハザードマッ プは時間の変化がわからない上に,浸水範囲を標高をベー スで決められることが多く、場所によっては被害がないよう に見える危険性がある.本研究では、このようなハザード マップを比較対象として国土地理院の標高データを用いて OpenFOAM による津波解析を行った.解析の結果,津波に よる浸水深が比較的浅い段階, つまり津波の高さが低い時点 においては、津波の浸水領域が地形によって特色がでるが、 時間経過とともに沿岸のように比較的地形の凹凸が少ない, あるいは平坦に近い地形であれば,津波は最終的に地形にか かわらず遡上することがわかった.また,解析により求まる 浸水深は、標高に起伏が少ないエリアにおいては、高松市が 作成したハザードマップに示される参考値に近い結果であっ たが,浸水深が深く,かつ津波の高さが高くなる時点におい ては,標高が起伏に富むエリア,特に標高が他のエリアと比 べて低くなる場所にてハザードマップの参考値を大きく上回 る結果となった. さらに, ハザードマップの浸水深は標高を ベースに決められているため、津波の避難等については、数 値解析結果と大きく異なることが示唆された.

今後は、津波解析結果で浸水が予測される地域を避難シ ミュレーションの条件に取り込み、地震動による建物の被害 の結果を取り込んだ上で、時々刻々と変化する条件を考慮に いれた避難解析を行う予定である.

参考文献

- 国 土 交 通 省:ハ ザードマップポータルサイト, http://disaportal.gsi.go.jp/,(平成 28 年現在閲覧可)
- (2) 国土交通省水管理・国土保全局海岸室: 津波浸水想定の 設定の手引き, Ver.2.00, pp.1-18, 2015
- (3) 内閣府:南海トラフの巨大地震による津波高・浸水域等(第二次報告), http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/, (平成28年現在閲覧可)
- (4) 高松市:たかまつ防災マップ(平成 27 年改訂版), http://www.city.takamatsu.kagawa.jp/takamatsubosai/, (平成 28 年現在閲覧可)

- (5) OpenCFD Ltd (ESI Group): OpenFOAM, http://www.openfoam.com/, (平成 28 年現在閲 覧可)
- (6) P. Higuera: Error analysis and estimation in the Finite Volume method with applications to fluid flows, Thesis, Imperial College, London, pp.125-142, 1996
- (7)秋山守,有冨正憲:新しい気液二相流数値解析-多次元 流動解析-,コロナ社,全272頁,2002
- (8) F.R. Menter, M. Kuntz and R. Langtry : Ten Years of Industrial Experience with the SST Turbulence model. Turbulence, Heat and Mass Transfer 4, pp.624-632, 2003
- (9) J.H. ファーツィガー, M. ペリッチ:コンピュータによる 流体力学,小林敏雄,坪倉誠,谷口伸行訳,シュプリン ガーフェアラーク東京,東京,全419頁,2003
- (10) 川崎 佑磨,中尾 尚史,伊津野 和行:矩形断面桁に作用する津波荷重と圧力に関する二次元混相流解析,土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol.71, No.2, pp.199-207, 2015
- (11) 国土地理院:基盤地図情報, http://www.gsi.go.jp/,(平 成 28 年現在閲覧可)
- (12) CFD Online: Turbulence free-stream boundary conditions, http://www.cfd-online.com/Wiki/Turbulence free-stream boundary conditions, (平成 28 年現在閲 覧可)
- (13) 海上保安庁:海図「高松港」,海図番号 W1125, 2010
- (14) P. Li-Fan Liu and I.J. Losada: Wave propagation modeling in coastal engineering, Journal of Hydraulic Research Vol.40, No.3, pp.229-240, 2002
- (15) P. Higuera, J.L. Lara and I.J. Losada: Realistic wave generation and active wave absorption for Navier-Stokes models, Coastal Engineering, Vol.71, pp.102-118, 2013
- (16) A. Iturrioz, R. Guanche, J.L. Lara, C. Vidal and I.J. Losada: Validation of OpenFOAM for Oscillating Water Column three-dimensional modeling. Ocean Engineering, Vol.107, pp.222-237, 2015
- (17) M. Maza, J.L. Lara and I.J. Losada: Tsunami wave interaction with mangrove forests - A 3-D numerical approach, Coastal Engineering, Vol.98, pp. 33-54, 2015
- (18) H. Rusche: Computational fluid dynamics of dispersed two-phase flows at high phase fractions, Ph.D Thesis, Imperial College, pp.99-146, 2002
- (19) 気象庁:よくある質問集 津波について, http://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/faq/faq26.html, (平成28年現在閲覧可)