粒子法を用いた陸上構造物に作用する 津波波圧の衝突条件による影響評価

渡辺 高志¹・有賀 義明²・西本 安志³ 大峯 秀一⁴・山中 明彦⁵・森崎 啓⁶・佐藤 優乃⁷

¹正会員 博(工) 株式会社構造計画研究所 防災・環境部(〒164-0011東京都中野区中央4-5-3) E-mail: takashi-watanabe@kke.co.jp

²フェロー会員 博(工) 弘前大学 大学院理工学研究科(〒036-8561 青森県弘前市文京町3番地) E-mail: y-a-arig@cc.hirosaki-u.ac.jp

3正会員 博(工) シバタ工業株式会社 技術開発部(〒674-0082 兵庫県明石市魚住町中尾 1058 番地)

E-mail: Yasushi_Nishimoto@sbt.co.jp

4正会員 株式会社日水コン 事業統括本部 (〒163-1122 東京都新宿区西新宿 6-22-1 新宿スクエアタワー)

E-mail: oomine_s@nissuicon.co.jp

⁵正会員 パシフィックコンサルタンツ株式会社 社会イノベーション事業本部 (〒101-8462 東京都千代田区神田錦町 3-22) E-mail: akihiko.yamanaka@os.pacific.co.jp

●正会員 博(工) パシフィックコンサルタンツ株式会社 事業強化推進部(〒101-8462 東京都千代田区神田錦町3-22)

E-mail: hiroshi.morisaki@os.pacific.co.jp

7正会員 株式会社ニュージェック 企画グループ (〒531-0074 大阪府大阪市北区本庄東 2-3-20)

E-mail: satoyn@newjec.co.jp

沿岸域に立地する構造物は,強震動に対してのみならず,大地震発生時に生じる津波に対する 安全性の確保を図る必要がある.構造物が津波衝突を直接受けることで,壁体などの構造部材に 損壊を生じ,施設機能の復旧が困難となることを防ぐことが重要である.

津波衝突への対策として、構造部材を補強させる耐波設計には限界があり、また不経済である ことから波を往なす免波のような考え方の導入が合理的である.また、壁体と津波の面的な衝突 を避けるため、衝突角度や構造物の平面形状を調整することで緩衝効果が期待できる.そこで本 研究では、津波衝突による構造物壁体の作用波圧が、衝突角度や平面形状によって低減する効果 を、SPH 法による数値解析で評価した.また、2次元解析と3次元解析の結果を比較し、解析条 件により生じる影響を考察した.

Key Words: tsunami, wave pressure reduction, numerical analysis, Smoothed Particle Hydrodynamics.

1. 緒言

大地震の発生時に生じる津波被害を避けるには, 対象施設自体を沿岸域から遠ざけることが一番の対 策である.しかしながら,施設機能上,沿岸部に建 設される構造物も多い.例えば下水の最終処理を担 う浄化センターは,下水が自然流下で収集されるた め,通常,沿岸域や河川河口域に立地されるケース が多い.また,このような水循環施設が被災し,そ の機能復旧に時間を要することは,被災地の衛生環 境に与える影響が大きい. 2011 年東北地方太平洋沖地震では沿岸域に建設 された多くの施設で津波による被害が発生した¹⁾.**写 真-1**.2 に,仙台市南蒲生浄化センターのポンプ室, ならびに曝気槽送風機室の津波損傷の事例を示す. その破壊状況から,津波到来時に波状段波や砕波が 発生することによる衝撃的な波圧の影響もあると考 えられる.これらの波圧については,電力中央研究 所の大型造波水路を使用した模型実験に基づき,ソ リトン分裂第1波の衝突時と,その後の津波本体が 衝突し重複波を形成した時の波圧についての研究結 果がまとめられている²⁾.近代的な柱-梁構造と補 強された壁構造に生じた被害を見ると、構造補強の みで耐性を高める耐波のような考え方ではなく、波 を往なす免波構造の開発がより合理的であろう.こ のような観点から著者らは、アスファルト系免震材 ³⁾を用いた新しい構造形式として免震・免波構造^{4,5)} を提案している.

なお、津波防護技術としては、免震・免波構造の ように構造物の付加機能で防護する手法の他に、対 象を防護する構造物を陸域や水域に設ける手法もあ る. また、津波からの回避や隔離以外で最も簡易な 対策として、津波の到来方向を考慮した構造物の配 置や構造物形状を円柱状にすることで段波との面的 な衝突を避け、衝撃的な波圧を低減する方法などが 考えられる.構造物の津波被災時の損壊リスクを考 慮すると、

一般に

津波到来方向は

海岸線に

垂直であ ると想定し、土地利用の効率が少し落ちることを許 容することで、構造物の平面配置を調整することが 賢明だと考えられる. そのような観点より, 著者ら は津波の到来方向や構造物の表面形状による波力の 低減効果について数値解析による検討を行った ⁶. しかしながら,既往検討では計算規模を抑制するた めに水平断面を対象とした2次元解析を実施してお

めに水平断面を対象とした2次元解析を実施してお り、到来方向や表面形状の影響は分かり易いが、自 然な津波条件と比較して波圧が非常に大きい点には 留意が必要である.2次元解析の条件では、垂直に 切り立った津波と衝突した条件で且つ水底付近を対 象とし、面外に自由度を持たないため圧力を過大に 評価すること、構造物の鉛直断面形状や静水圧を考 慮した検討が行えないなどの課題がある.

なお、複雑な表面形状や支持条件を有する構造物 を対象とする検討は、模型実験による評価が難しく、 詳細な検討を進める上では数値解析の適用が必要と なる.また、対象とする解析の規模によっては2次 元解析の採用や3次元モデルとの併用が必要になる と考えられる.そこで本研究では、津波到来方向と 構造物の表面形状の波力低減効果を検討した、既往 検討の数値解析と同じ条件の3次元解析を実施し、 構造物と津波が衝突する際の動水圧と波力の低減効 果を評価するとともに、2次元解析を採用した場合 の結果と比較し,解析条件の違いによる影響につい ても考察を行った.

2. 数値解析手法と境界条件について

(1) 数值解析手法

津波衝突時には構造物付近で液面の大変形が生じ るため、構造物に作用する波圧評価を行う上では液 面の大変形を考慮する必要がある. そこで, 数値解 析には、衝突時に生じる自由液面の変化への適用性 に優れる粒子法 ⁷⁾を採用し, Navier-Stokes 方程式 を解くことで津波衝突時の非圧縮性流体の挙動の計 算を行った、なお、粒子法は離散化などの違いによ り SPH 法や MPS 法が知られているが、本研究では は既往検討^{4,0}と同様の手法を採用し, SPH 法の一種 である ISPH (Incompressible Smoothed Particle Hydrodynamics) 法^{8,9)}を用いて解析を行った. ISPH 法は速度と圧力を分離して計算する手法であり,陽 的に算定した仮流速場が連続の式を満足するように 圧力分布をポアソン方程式の求解から得る. 圧力計 算は陰解法を採り,粘性項は陽解法を採用すること が多いが、本研究では粘性項の計算にも陰解法を採 用した. 解析には必要機能を組み込んだ粒子法解析 コード「DYBECS」^{10,11)}を使用し、構造物と津波が 衝突する条件の数値解析を行った.

(2) 解析に用いる境界条件

津波衝突解析では、自由に変形する津波と構造物 の衝突方向の境界面、半無限の広がりを持って反射 波を生じさせないその他の方向の境界面、更に3次 元条件の解析では構造物が立地する陸地の床面と津 波上面の自由表面を考慮する必要がある。自由表面 については、粒子法による流体解析では一般に負圧 は考慮しないことから、自由表面は圧力0のディリ クレ境界条件として取り扱われる。一方で、床面や 構造物との接触面は流体粒子が通り抜け出来ない境 界であり、勾配0のノイマン境界条件として設定す る.最後に、衝突面方向以外の境界面は無反射境界



写真-1 ポンプ室外壁の損傷(仙台市建設局)



写真-2 曝気槽送風機室外壁の損傷(仙台市建設局)

$$f = \frac{1 - exp(-\alpha r^{\beta})}{1 - exp(-\alpha)} \tag{1}$$

構造物に作用する津波の波圧の評価

(2) 津波衝突解析の解析ケースと構造物モデル

本研究では、既往研究のと同様に(a)津波の到来方向による影響と、(b)構造物の表面形状による影響について確認するため、構造物モデルの配置角度や形状を変えた解析ケースを設定した.3次元モデルでは構造物の鉛直断面形状についても検討可能であるが、2次元水平断面を対象に実施した検討結果と比

較するため,一様な平面形状の柱状モデルを用いた 検討のみ行っている.

津波の到来方向の影響検討については、建物前面 の壁法線方向に対し真正面から到来する方向を基本 とし、15 度刻みで45 度まで回転した全4ケースの 衝突角度を設定した.また、構造物としては水循環 施設の内、下水の最終処理を担う浄化センターを想 定し,幅 26.4m,奥行き 13.5m の平面寸法の矩形断 面を想定したもので,既往検討と同様に建物高さは 13.0m とした.構造物壁体の表面形状の違いによる 影響検討としては、津波の衝突面がフラットな矩形 断面の形状を基本とし,構造物の外形寸法はそのま ま、構造物の両端を円形の断面に変更したものや、 衝突面全体が円柱状の平面形状を持つ構造物モデル の3ケースを設定した.各構造物モデルには、津波 波圧を評価するため前面部に 6.6m 間隔で圧力評価 点を設け、これを建物底面高さと想定津波水深 6.5m の1/2高さに設定した.ただし、1/2高さの結果は本 論文中には示していない. 作成した構造物の寸法と 圧力評価点の位置関係を図-1に示す.

(3) 解析モデルと解析条件

SPH 解析による検討では、矩形の構造物モデルの 平面寸法に対し、10 倍の大きさの範囲を対象とし、 図-2 に示す 264×135m の寸法を持つ矩形範囲の津 波モデルを作成した.流体物性としては一般的な水



(c) 建物中心の鉛直断面図

図-1 構造物モデルの寸法と圧力評価点の位置関係

を想定し、津波モデルの物性値と解析パラメータを 表-1に示す.なお、SPH 解析における影響半径は粒 子間距離の3倍とし、計算に用いるカーネル関数に は5次のSplineカーネルを用いた.これらの条件は 既往研究^{4,6)}で実施した2次元解析と同じである.



図-2 解析モデル範囲と解析条件

表-1 SPH 法の解析条件

項目	設定内容
水の密度	1000 kg/m^3
水の粘度	0.001 Pa•s
初期粒子間距離	0.4 m
SPH の影響半径	1.2 m





構造物モデルは解析モデルの中央部の位置に固定 し、津波を模した流体モデルに一定の初速度を与え て構造物モデルに衝突させた.2次元解析と条件を 揃えるため無重力条件で計算を行っており、静水圧 は考慮していない.津波の衝突速度は、本研究では 想定する津波波高を遡上水深として(2)式に示され る有限深さの波の位相速度C_pから設定した.

$$C_p = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi} \tanh\frac{2\pi h}{\lambda}} \tag{2}$$

なお、津波の波長 λ に対して想定する水深hは非常に 浅いことから、 $C_p = \sqrt{gh}$ として計算した.具体的に は、構造物の壁前面に到来した津波の水深を構造物 高さの 1/2 に相当する 6.5m と仮定し、津波モデルの 流体初速度として 7.984m/s を設定している.

また、構造物との衝突により生じた圧力波動が境 界で反射することを防ぎ、また境界面の形状変化を 出来るだけ抑制するため、前述のとおり高粘性境界 を設けており、その幅は自由境界から 25m とした. 具体的な取り扱いとしては、境界から 25m の範囲内 では境界面に漸近するに従い流体粘度が滑らかに大 きくなり、境界端部で内部流体の 10 万倍の粘度とな るように計算が行われる.

4. 解析による検討結果の整理

(1) 津波の到来方向による影響の検討

津波の到来方向に対して、衝突を受ける構造物の 壁体前面の向きは重要であり、壁面の法線と到来方 向がずれることで緩衝効果が期待できる.この影響 の大きさを評価するため、津波の衝突角度に関する

- 2D前面右側 —— 2D前面中央 —— 2D前面左側 —— 2D前面左端

1.5



1

時刻 [s]

(c) 衝突角度 30 度
 (d) 衝突角度 45 度
 図-3 津波到来方向による影響を検討した各ケースの圧力評価点位置の動水圧時刻歴

0 4

0.5

検討を行った.本検討では,図-1(a)に示される矩形 断面の構造物モデルのみを対象とし,津波の到来方 向を変更したケーススタディを実施した.解析上の 取り扱いは,津波の進行方向を変えるのではなく, 矩形断面の構造物モデルを回転して初期位置で固定 し,津波を模した水塊を衝突させる検討をした.津 波到来方向の衝突角度を変えて0度,15度,30度, 45度の4ケースを対象として,得られた解析結果を 2次元解析結果と合わせて整理した.

図-3 に各ケースの圧力評価点位置における動水圧 の時刻歴を示す.2次元解析結果との比較として, 水底における動水圧の時刻歴変化を示しており、細 い実線は2次元解析条件、太い点線が3次元解析条 件の結果を示している. 衝突角度が小さいケースほ ど最大波圧が大きく,また構造物の壁体の位置によ る違いが大きい. 衝突角度が0度のケースを除いて, 明瞭なピークは見られず、衝突角度が大きくなると 波圧は小さくなり, 位置による差は殆ど見られなく なる. なお, 全てのケースで3次元解析結果は2次 元解析結果に比べて圧力が小さく、また衝撃的な動 水圧の発生時間も短くなっている. これは鉛直方向 の自由度を持つため、水底で大きくなった動水圧が 上方へ抜けて行くためである. 解析次元による最大 波圧の大きさの違いは構造物の部位によるが、数割 程度の落ち込みであり、衝突角度を変更した際の全 体的な傾向には特に違いは見られない、これらの結

果から,構造物を津波到来方向に対して45度傾斜さ せて配置することが施設の津波被害を軽減する上, 非常に効果的であると確認できる.

図-4 に衝突直後から津波衝突面が砕けるまでの過程について、ケース毎の動水圧分布の履歴として示す. 圧力は水底における分布が分かるように解析モデルの裏(水底)側から見た図として描画している.

衝突直後における水塊との接触面積が大きくなる 衝突角度0度のケースでは、面的な衝突により非常 に大きな動水圧が発生しているが、衝突角度が大き くなり45度に近づくにつれて圧力上昇前に津波前 面の形状が崩れており、衝撃的な動水圧が生じない ことがケース間の比較より確認できる.なお、衝突 角度0度以外のケースでは最初に前面右端先端が衝 突するが、この部位の動水圧時刻歴には2次元と3次 元解析間での違いは殆ど見受けられない.衝突角度 がある場合、最大波圧は建物中央部付近で発生し、 これは後続の重複波に対する抗力が支配的であるた め、ケース間に見られる違いはあまり大きくない.

(2)構造物の表面形状による影響の検討

構造物の表面形状による影響を検討するため、構造物の水平断面形状を変更して比較する解析を実施した.検討は、津波到来方向の検討で用いた図-1(a)に示される建物の平面形状が矩形断面のモデル、同じ寸法で両端が円形断面の図-1(b)の①に示されるモ









図-6 衝突から一定経過時における水底の動水圧分布(構造物表面形状による影響の検討)

デル,同じ寸法で構造物の前面全体が円形断面の図 -1(b)の②に示される合計3ケースの検討を実施し, 得られた結果を2次元解析結果と合わせて以下に整 理した.

構造物の前面壁表面に配置した圧力評価点より, 表面形状が曲率を持つ構造物の壁体にかかる動水圧 の影響を,津波の進行方向から見た構造物前面の各 部位の水底の動水圧の経時変化を図-5に示す.なお, 矩形平面断面の水底の波圧時刻歴については図 -3(a)に示されている.何れの構造物の平面形状も津 波進行方向に対して対称であることから,動水圧も 対称に発生している.また,衝突直後は津波前面が 2 方向に分かれて壁体端部には水圧がかからないた め,端部の評価点圧力は 0 となっている.なお,2 次元解析の結果に比べ,3 次元解析では最大波圧が 小さくなっているが,矩形断面の建物モデルの場合 は 2 次元と 3 次元解析の結果の違いが小さくなって いる.また,解析結果の全体的な傾向も同様である.

図-6 に衝突直後から津波衝突面が砕けるまでのケ

ース毎の動水圧分布の履歴を示す.矩形断面モデル の結果については再掲したものである.検討ケース 間の動水圧分布の比較より,壁体の表面形状の平均 的な曲率が大きくなるほど発生する動水圧が小さく なることが確認できる.一方で,津波到来方向によ る影響の検討を実施した,構造物の隅角部が津波波 面と斜め衝突するように設定したケースに比べると 緩衝効果は小さくなっていることが分かる.矩形断 面の隅角部の曲率は極大値となり,緩衝効果もより 高いため,津波到来方向が予測できる場合において は矩形断面の平面配置を検討する方が有利である.

(3) 緩衝効果検討における解析次元の影響

本研究では、平面形状が矩形断面の構造物に対す る津波到来角の検討と、前面壁体が曲率を持つ平面 形状の構造物に対する津波衝突の検討を3次元解析 によって実施した.2次元条件に近い3モデルを想 定しており、2次元解析結果と比較すると最大波圧 は小さくなる傾向にあるものの、全体の傾向につい



前面左側 図-7 解析次元別に正規化した各ケースの圧力評価点位置の最大衝撃圧力の比

前面左端

ては概ね一致することが確認された.一方で、衝撃 的な波圧の継続時間は何れのケースも短くなってお り、解析モデルが鉛直自由度を持つことで水底から 上面へ波動が抜けていることが確認された. 図-8 に 矩形断面建物の衝突角度 0 度のケースの水底の動水 圧分布の履歴を2次元と3次元モデルでそれぞれ比 較して示す.2次元解析では面外に逃げ場がないた め,水底に大きな衝撃圧を発生し,高粘性境界で吸 収されるまで衝撃波動が進行する.一方で、3次元 解析では上方の水面に抜けており、水底の圧力が大 きくならないことが確認された.

0.6

0.5 大衝撃」

0.4 峪 0.3

0.2

0.1

0

前面右端

前面右側

前面中央

また, 全ケースの解析結果より, 最大の衝撃波圧 を発生した矩形断面の衝突角度0度のケースの2次 元と3次元解析のそれぞれの時刻歴最大の衝撃波圧 を用いて、各ケースの圧力評価点位置の最大波圧を

ケース毎に正規化し、その空間分布を図-7に示す. 構造物の前面形状に曲率がある場合や、衝突角度が 小さい場合において2次元と3次元の条件の違いが 見られるが、波圧低減効果にそれぞれで同様の傾向 が確認された.各検討ケースを比較し、津波到来方 向に対して建物配置を調整する有効性が認められる.

— 2D両端円形衝突角度0度 — 2D全体円形衝突角度0度

●--3D矩形断面衝突角度0度

●--3D矩形断面衝突角度15度 - - - 3D矩形断面衝突角度30度

●-・3D矩形断面衝突角度45度

-----3D両端円形衝突角度0度

--●--3D全体円形 衝突角度0度

5. 結言

本研究では、沿岸域に位置する構造物に生じる津 波波圧による被害の軽減策について検討するため, 構造物の表面に作用する津波波圧の評価と、津波の 到来方向と構造物の配置の関係や,構造物の表面形 状による緩衝効果について、数値解析による評価を

行った. ISPH 法による 3 次元解析を行い, 2 次元水 平断面の解析結果 %と合わせて整理し, 津波の到来 方向や構造物の表面形状による緩衝効果を確認した. 本研究で得られた成果を要約すると以下のとおりで ある.

- 沿岸域に位置する構造物を対象に、 ISPH 法に よる数値解析を実施し、津波衝突時に生じる波 圧の評価を実施した.検討した条件下では構造 物の表面形状や平面配置の工夫によって高い緩 衝効果が確認された.
- 2)構造物の表面形状が平坦である場合,津波波面 と平面的に衝突することで大きな衝撃力が発生 する.また,構造物の端部付近では水流が外へ 抜けるため壁面の位置による波圧変動が大きい.
- 3)構造物の表面形状が曲面である場合、曲率が大 きくなるほど衝撃力は小さくなる.なお、一般 的な矩形断面の構造物の隅角部は曲率が極大と なるため、津波到来方向が壁面と直交しない場 合には大きな緩衝効果を発揮する.
- 4) 津波到来方向を考慮して、矩形断面の構造物の 平面配置を斜めにした場合、波圧が大きくなる 前に衝突波面が砕けるため、衝撃的な波圧は殆 ど発生しない.到来方向に対して傾斜角が45度 に近づくほど緩衝効果は大きくなり、動水圧は ほぼ抗力係数で決まっている.また、壁面の位 置による最大波圧の変動が殆ど見られない.
- 5) 施設機能上,沿岸域に建設せざるを得ない矩形 平面の構造物については,津波による被害軽減 のために海岸線に沿って45度傾けた平面配置が 有効である.
- 6) 切り立った段波との衝突を想定する場合,2次元 解析による検討も有効である.衝撃圧が水底に 籠るため衝撃的波圧と継続時間を大きく評価す ることに留意が必要であるが,最大波圧や緩衝 効果の評価に役立つ.

参考文献

1) 竹内幹雄,小黒明,大峰秀一:東日本大震災における 沿岸域浄化センターの被害事例と今後の課題,土木学会・ 地下構造物の合理的な地震対策研究小委員会編「地下構造 物の耐震性能照査と地震対策ガイドライン(案)」,資料編 3.5節, pp.394-402, 2011.9.

2)池野正明,松山昌史,榊山勉,柳沢賢:模型実験に基づく砕波を伴うソリトン分裂津波の波力評価,電力中央研究所報告, V05009, 2006.4.

3) 竹内幹雄, 亀田茂, 三澤孝史, 大角恒雄, 佐久間和弘, 佐藤誠一・栗田明:地下構造物に適用するアスファルト系 免震材の特性, 土木学会論文集, No.658/IV-48, pp.93-106, 2000.9

4) 竹内幹雄, 有賀義明, 渡辺高志, 川口昇平, 西本安志, 堀宗朗, 有川太郎:流動性を有するアスファルト系免震材 を用いた免震・消波構造の適用性に関する基礎的考察, 土 木学会論文集 A1, Vol.71, No.4, pp.I_235-I_245, 2015.2. 5) 有賀義明, 佐藤優乃, 渡辺高志, 西本安志, 曹増延, 坂下克之, 鈴木高二朗, 有川太郎, 浅井光輝, 堀宗朗: 水 循環施設における免震・免波構造の効果の評価に関する検 討, 土木学会論文集 A1, Vol.73, No.4, pp.I_721-I_729, 2017.

6) 渡辺高志,有賀義明,西本安志,坂下克之,小西康彦: SPH 法による構造物に作用する津波波圧の評価,土木学会 第38回地震工学研究発表会講演論文集,2018.10.

7) 越塚 誠一: 粒子法, 丸善, 2005.

8) S. Shao, E. Y. M. Lo : Incompressible SPH method for simulating Newtonian and non-Newtonian flows with a free surface, Advances in Water Resources, 26, No.7, pp. 787-800, 2003.

9) 浅井光輝, 別府万寿博, 石川信隆, 眞鍋慶生, 斉藤展, 丹羽一邦:数値流体シミュレーションによる流体衝撃力評 価に関する基礎的研究, 構造工学論文集 Vol.58A, pp.1021-1028, 土木学会, 2012.3.

10)渡辺高志,登梛正夫,嶋村洋介,桝谷浩:固定屋根式 タンクのスロッシング問題を対象とした SPH-FEM 連成 解析,第11回 構造物の衝撃問題に関するシンポジウム論 文集,土木学会,2014.10.

11) 渡辺高志, 桝谷浩, 三橋祐太:壁面境界の大変形を考 慮した粒子法の計算手法に関する基礎的研究, 日本計算工 学会論文集, No.20130021, 2013.12.

EVALUATION OF WAVE PRESSURE INFLUENCE IN THE STRUCTURE SURFACE CAUSED BY TUNAMI COLLISION CONDITION USING SMOOTHED PARTICLE HYDRODYNAMICS METHOD

Takashi WATANABE, Yoshiaki ARIGA, Yasushi NISHIMOTO, Shuichi Omine, Akihiko YAMANAKA, Hiroshi MORISAKI, Yuno SATO

Structures present along the coast line, should be ensured for safety against not only strong ground motion but also against the onset of a tsunami. Especially in the case of life-line structures, countermeasures against the damages suffered due to tsunami is important.

Designing tsunami collision-resistant structures usually results in highly uneconomical structures, due to the large demand of forces on them. As the collision force is dependent on the planar surface area of the collision-resistant wall exposed to the tsunami, the force demand on the collision walls can be significantly reduced by modifying the structure's planar shape and angle of collision of the tsunami. This paper involves a numerical study using the SPH, on the effects of planar shape and angle of collision, on the reduction of the tsunami wave pressure incurred by the structures.