

参考表 5.1 対象として設定されている構造物（原子力施設（建築物））

対象として設定されている構造物				
原子力施設（建築物）				
出典資料（基準・ガイドライン）				
原子力発電所耐津波設計技術規程 JEAC4629-2014				
発行者 / 発行年				
日本電気協会 原子力規格委員会 / 平成 27 年 5 月（2015.5）				
荷重の種類				
津波先端荷重	水平荷重	衝撃段波波力	—	—
		段波波力	波力と区別なし	—
		波力	○	参考表 5.2~5.5
	鉛直荷重	全揚圧力	○	参考表 5.6
津波非先端荷重	水平荷重	抗力	○	参考表 5.7
	鉛直荷重	揚圧力	—	—
		浮力	—	—
越流時荷重	水平荷重	水位差	○	参考表 5.8
		流体力	—	—
	鉛直荷重	揚圧力	—	—
		浮力	—	—
漂流物荷重	水平荷重	衝突荷重	○	参考表 5.9~5.11
		せき止め荷重	—	—

参考表 5.2 対象として設定されている構造物（原子力施設（建築物））

大項目	小項目	細目	算定式	ページ	備考						
津波 先端部 荷重  (片側のみに水圧が作用している状態)	水平 荷重	波力	<p>・進行波の最大水深, 最大水深を用いる評価式</p> $P_{\max}(z) = \rho g(\alpha h_{\text{imax}} - z)$ <p><math>P_{\max}</math>: 最大波圧, <math>z</math>: 地表面からの高さ, <math>\rho</math>: 流体の密度, <math>g</math>: 重力加速度  <math>h_{\text{imax}}</math>: 構造物がない状態の進行波の最大浸水深, <math>\alpha</math>: 水深係数</p> <p style="text-align: center;">表 水深係数 <math>\alpha</math> の設定</p> <table border="1" data-bbox="616 638 1400 790"> <tr> <td>① 堤防や前面の建築物等による軽減効果が見込まれる場合</td> <td><math>\alpha=2.0</math></td> </tr> <tr> <td>② ①のうち, 海岸等からの距離が 500m 以上はなれている場合</td> <td><math>\alpha=1.5</math></td> </tr> <tr> <td>③ ①, ②に該当しない場合</td> <td><math>\alpha=3.0</math></td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">出典: 原子力発電所耐津波設計技術規程 JEAC4629-2014</p>	① 堤防や前面の建築物等による軽減効果が見込まれる場合	$\alpha=2.0$	② ①のうち, 海岸等からの距離が 500m 以上はなれている場合	$\alpha=1.5$	③ ①, ②に該当しない場合	$\alpha=3.0$	91-92	<p>算定式は, 長周期波(ソリトン分裂波を含む)を造波する遡上津波の水理模型実験を行った朝倉らの算定式を参考に導いたものである。</p> <p>・水深係数<math>\alpha=3.0</math>の場合</p> <p>水深係数<math>\alpha=3.0</math>は, ソリトン分裂が生じない条件での津波波圧を整理した値であり, 衝撃波圧およびソリトン分裂には適用できない。</p> <p>・水深係数<math>\alpha=3.0</math>以外</p> <p>係数<math>\alpha=3.0</math>以外のときは, 東日本大震災津波の被害調査結果を参考に係数を設定したものである。</p> <p>表の①は遮蔽物の有無による比が1.5倍程度であることから, 水深係数<math>\alpha</math>は 3.0 (朝倉ら) / 1.5=2.0 としている。表の②は津波の不確実要素を考慮して割増係数 (=1.5) を考慮して水深係数は 1.5 としている。</p> <p>&lt;参考文献&gt;</p> <p>国土交通省国土技術政策総合研究所: 津波避難ビル等の構造上の要件の解説, 国総研資料, No.673, 2012</p>
① 堤防や前面の建築物等による軽減効果が見込まれる場合	$\alpha=2.0$										
② ①のうち, 海岸等からの距離が 500m 以上はなれている場合	$\alpha=1.5$										
③ ①, ②に該当しない場合	$\alpha=3.0$										

参考表 5.3 対象として設定されている構造物（原子力施設（建築物））

大項目	小項目	細目	算定式	ページ	備考
津波 先端部 荷重  (片側のみに水圧が作用している状態)	水平 荷重	波力	<p>・進行波の最大浸水深と流速を用いる評価式</p> $P_{\max}(z) = \rho g(\alpha h_{r\max} - z)$ $\alpha = 1.2F_r + 1.0 \quad (\text{Asakura et al., 2002})$ $\alpha = 1.4F_r + 1.0 \quad (\text{榊山, 2012})$ <p><math>F_r</math>: フルード数, <math>\eta_{\max}</math>: 最大浸水深, <math>u_{\eta}</math>: 最大浸水深の発生時刻の流速</p> <p>&lt;参考文献&gt;</p> <p>Asakura, R., et al.: The Tsunami Wave Force Acting on Land Structures, Proc. of Int. Coastal Engineering Conf., Vol.28, pp.1191-1202, 2002</p> <p>榊山勉: 陸上遡上津波の伝播と構造物に作用する津波波圧に関する研究, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.68, No.2, pp.I_771-I_775, 2012</p>	92-93	<p>算定式は, 2次元および3次元的な矩形構造物に作用する津波の波圧を示したものである。Asakura ら (2002) の算定式はばらつきが±50%, 榊山 (2012) は-22~+12%程度であることが報告されている。</p> <p>水深係数<math>\alpha</math>の検討では, 衝撃段波波圧およびソリトン分裂を対象としていないため, 算定式は衝撃段波波圧およびソリトン分裂には適用できない。</p>
			<p>・進行波の最大浸水深と流速を用いる評価式</p> $F_H = \frac{1}{2} \rho C_D u  u  B \eta + \rho C_M u B L \eta + \frac{1}{2} \rho C_S(\theta) u  u  B \eta + \rho g B L \eta \frac{d\eta}{dx}$ <p><math>C_D</math>: 抵抗係数(=2.05), <math>C_M</math>: 慣性力係数 (=2.19), <math>\rho</math>: 流体密度, <math>C_S</math>: 衝撃力係数 (=3.6tan<math>\theta</math>, <math>\theta</math>: 波面角度), <math>u</math>: 津波進行波の水平流速, <math>\eta</math>: 津波進行波による浸水深, <math>B</math>: 構造物の幅, <math>L</math>: 構造物の長さ</p>	93	<p>算定式は, モリソン式を衝撃波や構造物前後における水位差を考慮できるように修正したものであり, 第1項: 抗力, 第2項: 慣性力, 第3項: 衝撃力, 第4項: 動水勾配となっている。</p> <p>津波の先端と非先端部を区別せずに計算できることが論文で示されている。</p> <p>&lt;参考文献&gt;</p> <p>大森政則, 藤井直樹, 京谷修, 高尾誠, 金戸俊道, 池谷毅: 直立護岸を越流した津波の水位・流速および波力の数値計算, 海岸工学論文集, 第47巻, pp.376-380, 2000</p>

参考表 5.4 対象として設定されている構造物（原子力施設（建築物））

大項目	小項目	細目	算定式	ページ	備考
津波 先端部 荷重 (片側のみに水圧が作用している状態)	水平 荷重	波力	<p>・進行波の最大浸水深と流速を用いる評価式 (タンクに作用する水平波力)</p> $F_{tH} = \frac{1}{2} \int_{-\pi}^{\pi} [\rho g h_x^{\max}(\theta)]^2 R \cos \theta d\theta$ $h_x^{\max}(\theta) = \alpha \eta_{\max} \sum_{m=0}^3 p_m \cos m\theta$ $p_0 = 0.680, \quad p_1 = 0.340, \quad p_2 = 0.015, \quad p_3 = -0.035$ $\alpha = \begin{cases} 1.8 & (Fr \geq 1.3) \\ 2.0Fr - 0.8 & (1.3 \geq Fr \geq 0.9) \\ 1.0 & (0.9 \geq Fr) \end{cases}$ <p><math>h_x^{\max}(\theta)</math> : 水平波力最大時のタンク周囲の津波水位, <math>\eta_{\max}</math> : 最大浸水深  <math>\rho</math> : 流体密度, <math>\alpha</math> : 水平波力に係る水深係数</p>	93-94	<p>算定式は、進行波の水深と浸水係数（フルード数を考慮）を用いて屋外貯蔵タンクに作用する水平波圧を評価したものである。ただし、進行波は、防油堤が存在するもののタンクが無い状態のときとしている。</p> <p>段波状の津波を造波した水理模型実験を実施し、遡上域に設置されたタンクに作用する波圧の測定を行い、算定式の妥当性を確認している。</p> <p>算定式における水深係数<math>\alpha</math>はソリトン分裂が生じた場合には対応していないため、ソリトン分裂が生じた場合の作用波圧および衝撃段波波圧には適用できない。</p> <p>&lt;参考文献&gt;          総務省消防庁：危険物施設の津波・浸水対策に関する調査報告書，pp.70-78，2009</p>

参考表 5.5 対象として設定されている構造物（原子力施設（建築物））

大項目	小項目	細目	算定式	ページ	備考
津波 先端部 荷重  (片側のみに水圧が作用している状態)	水平 荷重	波力	<p>・ <u>構造物前面の浸水深を用いる評価式</u></p> $p(z,t) = \rho g \{h_f(t) - z\} + \rho u_f(t)^2$ <p><math>\rho</math> : 流体密度, <math>g</math> : 重力加速度, <math>z</math> : 作用位置, <math>t</math> : 時間, <math>h_f</math> : 構造物が存在する場合の前面浸水深, <math>u_f</math> : 運動量保存則に基づいた水平方向流速</p>	95	<p>論文では, 津波の構造物衝突時の跳ね上がりが生じる時刻の波圧が小さいことに加え, 平面 2 次元計算では上方への跳ね上がりによる水位を計算することが不可能であると考え, 瞬間的な浸水深のピーク (跳ね上がり) を排除して実験結果の整理を行っている。そのため, 算定式は, ソリトン分裂, 衝撃段波波力には適用できない。</p> <p>&lt;参考文献&gt;</p> <p>有光剛, 大江一也, 川崎浩司: 平面 2 次元津波遡上計算結果を用いた津波波圧算定方法の提案, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.68, No.2, pp.I_781-I_785, 2012</p>

参考表 5.6 対象として設定されている構造物（原子力施設（建築物））

大項目	小項目	細目	算定式	ページ	備考
津波 先端部 荷重	鉛直 荷重	全揚 圧力	<p>・進行波の最大浸水深と流速を用いる評価式 (タンクに作用する鉛直波力)</p> $F_{IV} = 2 \int_0^\pi \rho g h_V^{\max}(\theta) R^2 \cos^2 \theta d\theta$ $h_V^{\max}(\theta) = \beta \eta_{\max} \sum_{m=0}^3 q_m \cos m\theta$ $q_0 = 0.720, \quad q_1 = 0.308,$ $q_2 = 0.014, \quad q_3 = -0.042$ $\beta = \begin{cases} 1.2 & (Fr \geq 1.3) \\ 0.5Fr - 0.55 & (1.3 \geq Fr \geq 0.9) \\ 1.0 & (0.9 \geq Fr) \end{cases}$ <p><math>h_V^{\max}(\theta)</math> : 鉛直波力最大時のタンク周囲の津波水位, <math>\eta_{\max}</math> : 最大浸水深,  <math>\rho</math> : 流体密度, <math>\beta</math> : 鉛直波力に係る水深係数</p>	94	<p>算定式は、進行波の水深と水深係数（フルード数を考慮）を用いて屋外貯蔵タンクに作用する鉛直波圧を評価したものである。ただし、進行波は、防油堤が存在するもののタンクが無い状態としている。</p> <p>&lt;参考文献&gt;                  総務省消防庁：危険物施設の津波・浸水対策に関する調査報告書 pp.70-78, 2009</p>

参考表 5.7 対象として設定されている構造物（原子力施設（建築物））

大項目	小項目	細目	算定式	ページ	備考
津波 非先端部 荷重	水平 荷重	抗力	<p>・ <u>構造物前面の浸水深を用いる評価式</u></p> $F_D = \frac{1}{2} \rho C_D u^2 A = \frac{1}{2} \rho C_D u^2 h_f B / g = 0.61 \gamma_w C_D h_f^2 B$ <p><math>F_D</math> : 抗力, <math>\rho</math> : 流体の密度, <math>C_D</math> : 抵抗係数, <math>u</math> : 陸上での流速, <math>A</math> : 構造物 浸水面積, <math>h_f</math> : 前面浸水深, <math>B</math> : 構造物の幅, <math>\gamma_w</math> : 流体の単位体積重量</p>	94-95	<p>算定式は, 家屋等に働く津波氾濫流の抗力 を評価したものである。</p> <p>&lt;参考文献&gt; 飯塚秀則, 松富英夫: 津波氾濫流の被害 想定, 海岸工学論文集, 第 47 巻, pp.381- 385, 2000</p>
			<p>・ <u>構造物から津波水深の 5 倍程度沖側における浸水深と 流速を用いる評価式</u></p> $F = \frac{1}{2} \rho g \left( h_{in} + \frac{u_{in}^2}{2g} \right)^2 W, \quad p = \rho g \left( h_{in} + \frac{u_{in}^2}{2g} - z \right)$ <p><math>F</math> : 構造物に作用する流体力, <math>p</math> : 構造物に作用する圧力の鉛直分布, <math>\rho</math> : 流体密度, <math>W</math> : 構造物の幅, <math>h_{in}</math>, <math>u_{in}</math> : 対象とする構造物から代表的に 流入津波水深の 5 倍程度上流側へ離れた地点での浸水深・流速</p>	95	<p>算定式は, 構造物から浸水深の 5 倍程 度沖側の浸水深および流速を用いて最大 重複波圧を評価するものであり, 比エ ネルギーが保存される条件での浸水深 および流速を用いて算定を行うもので ある。瞬間的な段波波圧は考慮しておら ず, 衝撃段波波圧には適用できない。</p> <p>流入水深の 0.5~5 倍に相当する幅を 有する構造物を対象としている。</p> <p>&lt;参考文献&gt; 木原直人, 高島大輔, 吉井匠, 池野正明, 太田一行, 田中伸和: 陸上構造物に対す る津波流体力評価 (その 1) - 有限幅構 造物に対する非越流条件での数値的検 討 -, 電力中央研究所報告, N12010, pp.21-24, 2012</p>

参考表 5.8 対象として設定されている構造物（原子力施設（建築物））

大項目	小項目	細目	算定式	ページ	備考
越流時 荷重	水平 荷重	水位差	<p>・進行波の最大水深，最大水深を用いる評価式  <u>最大浸水深を用いる評価式（越流あり）</u></p> $P_{\max} = (1 + \alpha_d) \rho g \eta_{\max}$ $\alpha_d = \begin{cases} -0.692(h_c / \eta_{\max})^2 + 2.352(h_c / \eta_{\max}) & (h_c / \eta_{\max} \leq 1.7) \\ 2.0 & (h_c / \eta_{\max} > 1.7) \end{cases}$ <p><math>\rho</math> : 流体密度, <math>h_c</math> : 防油堤高さ, <math>\eta_{\max}</math> : 進行波の最大浸水深, <math>\alpha_d</math> : 動圧係数</p>	92	<p>算定式は, 最大浸水深を用いて越流時の津波波力を評価するものであり, 3次元構造物の津波避難ビル等を対象としている。算定式は, 衝撃波圧およびソリトン分裂による波圧には適用できない。</p> <p>&lt;参考文献&gt;            内閣府: 津波避難ビル等に係るガイドライン, 2005</p>

参考表 5.9 対象として設定されている構造物（原子力施設（建築物））

大項目	小項目	細目	算定式	ページ	備考
漂流物 荷重	水平 荷重	衝突 荷重	<p>・松富の評価式（流木の衝突力）</p> $\frac{F_m}{\gamma D^2 L} = 1.6 C_{MA} \left\{ \frac{V}{(gD)^{0.5}} \right\}^{1.2} \left( \frac{\sigma_f}{\gamma L} \right)^{0.4}$ <p><math>F_m</math>：衝突力，<math>C_{MA}</math>：見かけの質量係数（段波，サージでは1.7），<math>v_{A0}</math>：流木の衝突速度，<math>D</math>：流木の直径，<math>L</math>：流木の長さ，<math>\sigma_f</math>：流木の降伏応力，<math>\gamma</math>：流木の単位体積重量，<math>g</math>：重力加速度，<math>V</math>：漂流物の衝突速度・移動速度</p>	103	<p>水路実験と空中での大規模実験を実施し，見かけの質量係数を定量化し，衝撃力評価式を理論的な考察から算定式を提案したものである。見かけの質量係数は，段波で1.7，定常流れで1.9を定めている。</p> <p>&lt;参考文献&gt; 松富英夫：流木衝突力の実用的な評価式と変化特性，土木学会論文集，No.621/II-47，pp.111-127，1999</p>
			<p>・池野・田中の評価式（流木の衝突力）</p> $\frac{F_m}{gM} = S \cdot C_{MA} \left\{ \frac{V}{g^{0.5} D^{0.25} L^{0.25}} \right\}^{2.5}$ <p><math>F_H</math>：漂流物の衝突力，<math>S</math>：係数（=5.0），<math>C_{MA}</math>：付加質量係数，<math>V_H</math>：段波速度，<math>D</math>：漂流物の代表高さ，<math>L</math>：漂流物の代表長さ，<math>M</math>：漂流物の質量，<math>g</math>：重力加速度</p>	103	<p>漂流物の形状や配置による違いを考慮した漂流物の衝突力を表現した算定式である。漂流物の形状や配置は，付加質量係数 <math>C_{MA}</math> で表現している。</p> <p>算定式は，段波津波を造波させた実験を行い，円柱，角柱，球の3種類の漂流物（木材）が衝突した場合の結果との比較を行い，妥当性の確認を行っている。</p> <p>&lt;参考文献&gt; 池野正明，田中寛好：陸上遡上津波と漂流物の衝突力に関する実験的研究，海岸工学論文集，第50巻，pp.721-725，2003</p>

参考表 5.10 対象として設定されている構造物（原子力施設（建築物））

大項目	小項目	細目	算定式	ページ	備考
漂流物 荷重	水平 荷重	衝突 荷重	<p>・ FEMA の評価式（木材・丸太・コンテナの衝突力）</p> $F_m = 1.3u_{\max}\sqrt{kM(1+c)}$ <p><math>F_i</math> : 衝突力, <math>u_{\max}</math> : 漂流物を運ぶ流体の最大流速, <math>k</math> : 衝突漂流物（剛性 <math>k_d</math>）と被衝突構造物（剛性 <math>k_s</math>）の合成有効剛性（<math>1/k=1/k_s+1/k_d</math>）, <math>m_d</math> : 漂流物の質量, <math>c</math> : 付加質量係数</p>	104	<p>&lt;参考文献&gt;</p> <p>FEMA : Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis, FEMA P-646, 2012</p>
			<p>・ 水谷の評価式（コンテナの衝突力）</p> $F_m = 2\rho_w\eta_m B_c V^2 + \frac{WV}{gdt}$ <p><math>F_m</math> : 漂流衝突力, <math>dt</math> : 衝突時間, <math>\eta_m</math> : 最大遡上水位, <math>\rho_w</math> : 水の密度, <math>B_c</math> : コンテナ幅, <math>V_x</math> : コンテナの漂流速度, <math>W</math> : コンテナ重量, <math>g</math> : 重力加速度</p>	103	<p>規則波と孤立波を造波させ、エプロン上のコンテナ（アクリル製）を漂流させた実験結果と比較を行い、算定式の妥当性の検証を行っている。論文では、コンテナの長さ 2 種類、質量を 6 種類変化させた実験を実施し、算定式で実験結果を近似できることを示している。</p> <p>&lt;参考文献&gt;</p> <p>水谷法美, 高木祐介, 白石和睦, 宮島正悟, 富田孝史: エプロン上のコンテナに作用する津波力と漂流衝突力に関する研究, 海岸工学論文集, 第 52 巻, pp.741-745, 2005</p>

参考表 5.11 対象として設定されている構造物（原子力施設（建築物））

大項目	小項目	細目	算定式	ページ	備考
漂流物 荷重	水平 荷重	衝突 荷重	<p>・有川の評価式（コンテナの衝突力）</p> $F_m = \gamma_p \chi^{2/5} \left( \frac{5}{4} \tilde{M} \right)^{3/5} v^{6/5}$ $\chi = \frac{4\sqrt{a}}{3\pi} \frac{1}{k_1 + k_2}, \quad k = \frac{1-\nu^2}{\pi E}, \quad \tilde{M} = \frac{M_1 M_2}{M_1 + M_2}$ <p><math>F</math>：衝突力，<math>\alpha</math>：衝突面半径 1/2，<math>E</math>：ヤング率（コンクリート版），<math>\nu</math>：ポアソン比，<math>m</math>：質量，<math>v</math>：衝突速度，<math>\gamma_p</math>：塑性によるエネルギー減衰効果 (0.25)，添え字の <math>k</math>，<math>m</math>：衝突体と被衝突体</p>	104	<p>Hertz の理論にもとづく算定式により，鋼製コンテナ漂流物の衝突力が評価できることを実験結果から確認している。</p> <p>&lt;参考文献&gt; 有川太郎，大坪大輔，中野史丈，下迫健一郎，石川信隆：遡上津波によるコンテナ漂流力に関する大規模実験，海岸工学論文集，第 54 巻，pp.846-850，2007</p>