陸上構造物に対する各種津波圧算定式の適用性検討

(株)ニュージェック　正会員　○殿最浩司　非会員　志方建仁
(一財)電力中央研究所　正会員　松山昌史　正会員　木原直人
中部電力(株)　非会員　内野大介

1．はじめに

陸上構造物に作用する津波波圧・流体力に関しては，これまで実験的および数値的に多くの検討がなされ，津波波圧算定式が多数提案されている．しかしながら，これまで提案されている算定式を同一の水理模型実験結果等と比較してその適用性が検討されたものはあまりない．そこで，本研究では，大規模水理模型実験結果と既往の算定式による津波波圧の算定結果を比較することによって，各種算定式の適用性の検討を行った．

2．水理模型実験の概要

本研究で用いる水理模型実験結果は，(一財)電力中央研究所の津波氾濫流水路で実施された木原ら [1)]のものを用いるものとする．実験装置の概要を**図-1** に示す．実験は，高さ 2.5m，幅 4.0m の水路内に幅 1.0m×1.0m，高さ 2.0m の直方体模型を設置し，浸水深と流速の異なる 3 タイプの津波に対して浸水深，流速および模型に作用する圧力を計測している．浸水深の計測は**図-1** 中に示す H1～H8 の位置で，流速の計測は V1～V4 の位置で，圧力の計測は直方体模型前面中央部に 18 個(鉛直方向に 0.04m～0.1m ピッチ)の圧力センサーを取り付けて行っている．なお，浸水深および流速の計測は，直方体模型がない状態でも行っている．**図-2** に上記 3 タイプの津波について，直方体模型なしの状態で計測された H2 地点，V1 地点の実験結果およびそれらを基に算出したフルード数の時系列変化を示す．

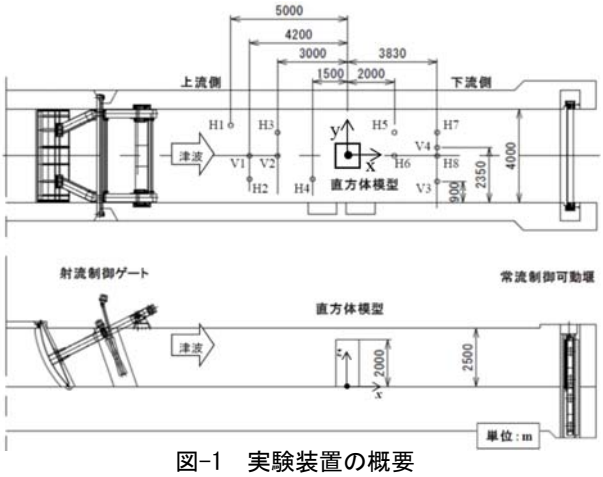

図-1　実験装置の概要

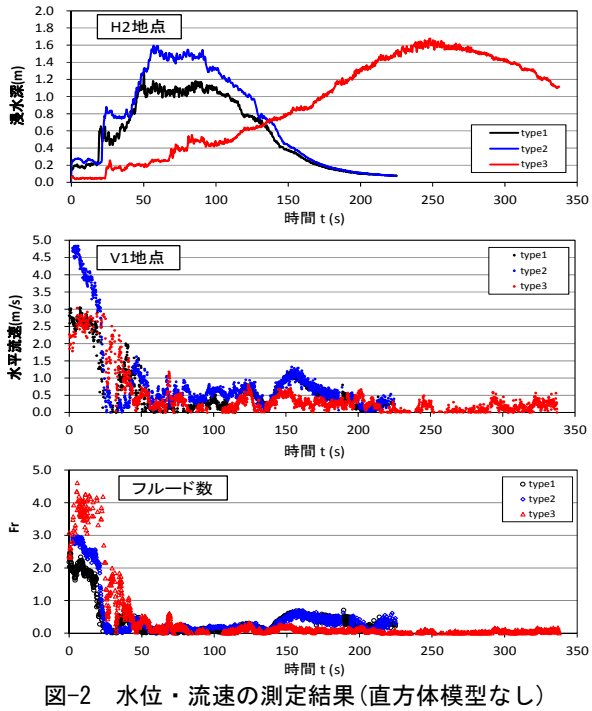

図-2　水位・流速の測定結果(直方体模型なし)

3．対象とする津波波圧算定式

これまで提案されている津波波圧算定式は，構造物がない状態の水理量(進行波の水理量)を用いるものと，構造物がある状態の水理量を用いるものに大別される．本研究では，それらの代表的なものとして**表-1** に示す算定式を取り上げ，水理模型実験で計測された水理量を用いて波圧算定を行い，これを波圧計測結果と比較した．波圧算定では，**表-1** 中に記載の水理量を用いた．なお，用いる水理量の位置については，各算定式で定義されている位置と同一の位置で計測されていないため，定義位置に最も近い位置での計測結果を用いるものとした．

4．津波波圧算定式と実験結果の比較

(1) 構造物がない状態の水理量を用いる算定式

構造物がない状態での水理量を用いる算定式は，時間的な概念がなく最大波圧を算定するものである．そのため，各算定式により算定された波圧分布と最大波力発生時(各時間の波圧計測値を鉛直方向に積分した波力の時系列の最大値)の波圧分布の実験結果を比較した(**図-3**)．この結果，朝倉ら [2)]の算定式は，実験結果の 2.5 倍程度の波圧となり，かなり過大評価する結果となる．一方，Asakura et al.[3)]の算定式および榊山 [4)]の算定式は，type1 の津波で若干過大評価した波圧となるが，概ね実験結果と一致する．また，Asakura et al.[3)] と榊山 [4)]の算定式に大きな差が現れていない．これは今回の条件では，フルード数 Fr が type1 では 0.16，type2 では 0.07，type3 では 0.04 と小さい値であるためである．

キーワード　津波波圧，津波波圧算定式，水理模型実験，津波氾濫流水路
連絡先　〒531-0074　大阪市北区本庄東二丁目 3 番 20 号　(株)ニュージェック 港湾・海岸グループ　ＴＥＬ06-6374-4023

(2) 構造物がある状態の水理量を用いる算定式

構造物がある状態の水理量を用いる算定式は，波圧の時系列変化の算定が可能である．そのため，各時間の波圧値を鉛直方向に積分した波力の時系列を比較するものとした．その結果を**図-4** に示す．なお，木原ら [5]の算定式は，準定常状態のみを対象としている．木原ら [1]によれば，この実験では概ね 10s 以上が準定常状態であるとされているため，木原ら [5]の算定式は 10s 以上を対象に実験結果との比較を行うものとした．一方，有光ら [6]の算定式は非定常状態も対象としているため，全ての時間を対象に実験結果との比較を行った．この結果，木原ら [5]の算定式および有光ら [6]の算定式による波力の時系列は，実験結果とよく一致している．また，有光ら [6]の算定式は，非定常状態(t<10s)でも実験結果と概ね一致している．

表-1　対象とする津波波圧算定式

分類	提案者	算定式	波圧算定に用いる水理量
構造物がない状態の水理量を用いる算定式	朝倉ら (2000)	$p_{\max}(z)=\rho g(\alpha h_{i\max}-z)$ ρ：流体密度　g：重力加速度　z：作用位置　h_{imax}：構造物がない状態の進行波の最大浸水深　α：水深係数(全データを包括できる値としてα＝3.0が提案されている)	直方体模型がない状態(進行波)のH4地点の最大浸水深
	Asakura et al.（2002）	朝倉ら(2000)の算定式の水深係数αをフルード数の関数とすることで，流速の影響を考慮している． $\alpha=1.2F_r+1.0$　$(0.1\le F_r\le 1.6)$　$F_r=u_h/\sqrt{gh_{imax}}$ α：水深係数　Fr：フルード数　g：重力加速度　h_{imax}：構造物がない状態の構造物位置の最大浸水深、u_h：h_{imax}発生時刻の流速	直方体模型がない状態(進行波)のH2地点の最大浸水深とV1地点の流速(最大浸水深発生時)
	榊山 (2012)	朝倉ら(2000)の算定式の水深係数αをフルード数の関数とすることで，流速の影響を考慮している． $\alpha=1.4F_r+1.0$　$(0.0\le F_r\le 2.0)$　$F_r=u_h/\sqrt{gh_{imax}}$ α：水深係数　Fr：フルード数　g：重力加速度　h_{imax}：構造物がない状態の構造物位置の最大浸水深　u_h：h_{imax}発生時刻の流速	直方体模型がない状態(進行波)のH2地点の最大浸水深とV1地点の流速(最大浸水深発生時)
構造物がある状態の水理量を用いる算定式	木原ら (2012)	$p(z,t)=\rho g\left(h_{in}(t)+\frac{u_{in}(t)^2}{2g}-z\right)$ ρ:流体密度　g:重力加速度　z:作用位置　t:時間　h_{in},u_{in}:構造物から浸水深の5倍程度上流側へ離れた位置の浸水深および流速	直方体模型がある状態のH2地点の浸水深とV1地点の流速
	有光ら (2012)	$p(z,t)=\rho g\{h_f(t)-z\}+\rho u_f(t)^2$ ρ:流体密度　g:重力加速度　z:作用位置　t:時間　h_f,u_f:構造物前面の浸水深および流速(平面二次元の津波シミュレーション等において構造物から2メッシュ前面の値を用いる)	直方体模型がある状態のH3地点の浸水深とV2地点の流速

５．おわりに

本研究では，大規模水理模型実験結果と既往の算定式による津波波圧の算定結果を比較することによって，各種算定式の適用性の検討を行った．その結果，構造物がない状態の水理量を用いる算定式では，朝倉ら [2]の算定式は実験結果よりかなり大きな波圧となり適用性が低いが，Asakura et al. [3]と榊山 [4]の算定式は実験結果と整合し，適用性が高いことがわかった．構造物がある状態の水理量を用いる算定式では，木原ら [5]の算定式および有光ら [6]の算定式とも実験結果と整合し，適用性が高いことがわかった．

謝辞：本研究は電力 11 社による電力共通研究として実施した成果であることを付記するとともに，(公社)土木学会原子力土木委員会津波評価小委員会(委員長：関西大学社会安全学部　高橋智幸教授)の委員各位に研究成果をご議論いただき，有益な助言を賜りました．関係各位に謝意を表します．

参考文献

1)木原直人他：大規模水理実験による津波フラジリティ評価手法の高度化(その 1)－津波流体力評価手法の検証－，電力中央研究書報告，O15002，2015.
2)朝倉良介他：護岸を越流した津波による波力に関する実験的研究，海岸工学論文集，第 47 巻，pp.911-915，2000.
3) Asakura, R. et al. : The tsunami wave force acting on land structures, Proc. of Int. Coastal Engineering Conf., vol.28, pp.1191-1202, 2002.
4)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)，Vol68, No.2，pp.I_771-I_775，2012.
5)木原直人他：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，N12010，2012.
6)有光剛他：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)，Vol68, No.2，pp.I_781-I_785，2012.

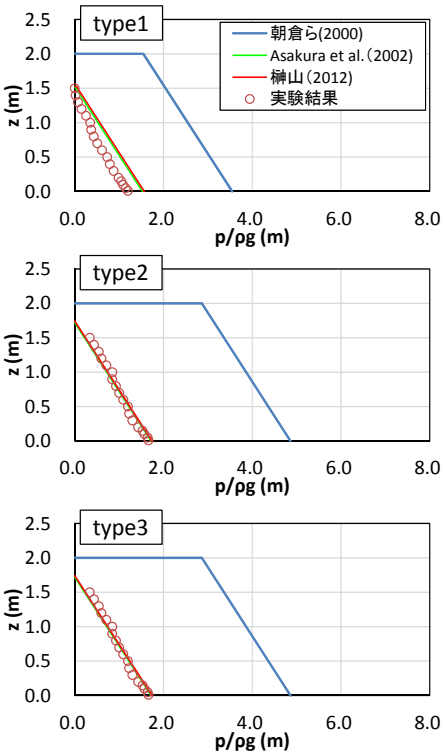

図-3　構造物がない状態の水理量を用いる算定式と実験結果の比較(波圧分布)

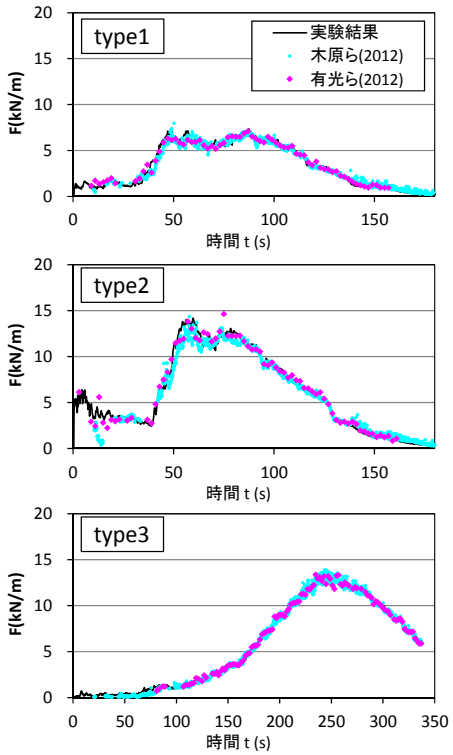

図-4　構造物がある状態の水理量を用いる算定式と実験結果の比較(波力時系列)