

津波越流時の落下水塊の地表面圧力に関する既往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

津波越流を想定して防潮堤背後の水たたき部等への落水による影響を検討する場合、落下水塊が背後の地表面に作用する圧力を算定する必要がある。これまで、地表面圧力の算定式としては、津波を対象としたものや、ダム等の自由落下水脈が作用する圧力を算定するものが提案されている。しかしながら、これらの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算定式による地表面作用圧の算定結果を比較することによって、各算定式の適用性の検討を行った。

2. 水理模型実験の概要

本研究では木原ら¹⁾による大規模水理模型実験結果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の水路内に高さ1.5m、厚み0.3mの防潮堤模型を水路全幅に設置し、水位の時系列変化が異なる4タイプの津波に対して防潮堤背後の地表面圧力を計測している。圧力計測は、図-1中に示すPH1~PH8の8地点に圧力センサー(サンプリング周波数10kHz)を取り付けて行い、同時にH1~H4の4地点で水位計測を行っている。

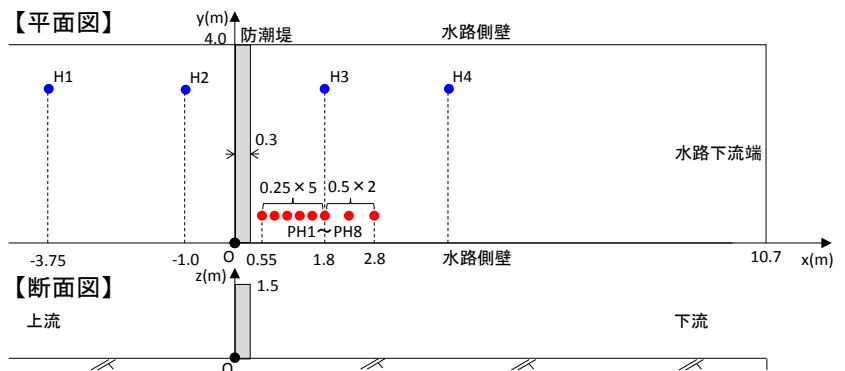


図-1 実験装置の概要

図-2に上記4タイプの防潮堤前面(H2地点)と防潮堤背後(H3地点)の水位の時系列変化を示す。また、上記4タイプのうちCase1とCase3のPH1~PH8の時系列変化を図-3に示す。Case1および図示していないCase2, Case4では、最大圧力発生時に防潮堤背後の水深が約0.4mとなるため、最大圧力発生時には水クッション効果が現れていると考えられる。一方、Case3では、最大圧力が越流初期に発生するため、最大圧力発生時には水クッション効果がほとんど現れていないと考えられる。なお、各ケースとも圧力値がかなり大きく振動している。これは、防潮堤と越流水脈(ナップ)との間の給気がなされず、防潮堤に水脈が引き寄せられたり、越流水脈が切れたりする現象が確認されており、それによって圧力値も振動しているものと考えられる。

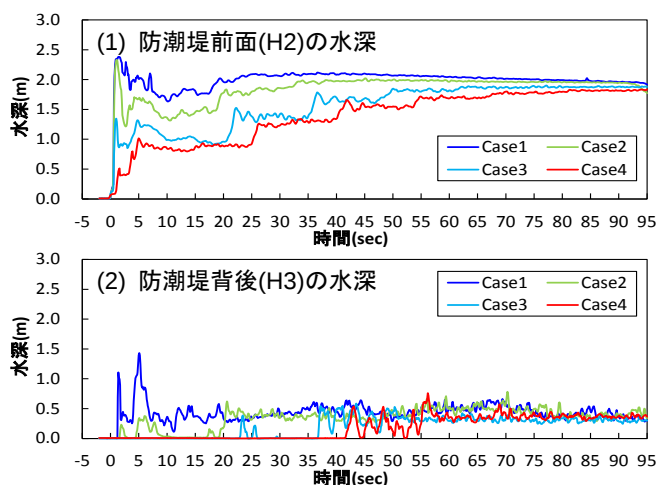


図-2 4タイプの津波の水位の時系列変化

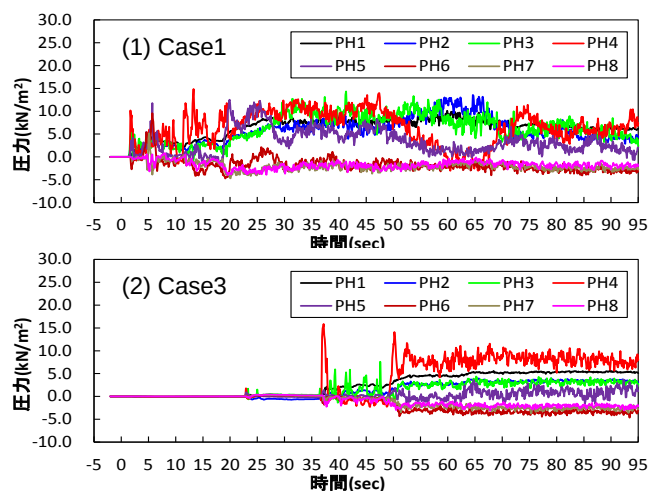


図-3 地表面圧力の時系列変化

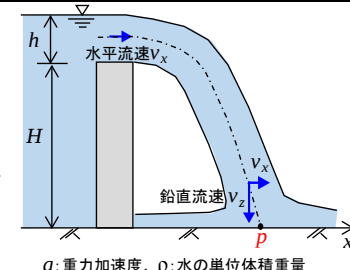
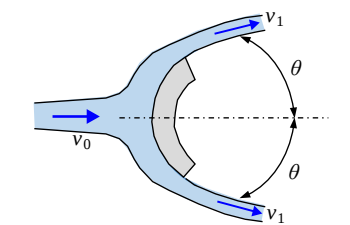
3. 対象とする既往算定式

これまで提案されている落下水塊の地表面圧力の算定式として、表-1のようなものがある。本研究では、これらキーワード 津波越流、落下水塊、地表面圧力、防潮堤、大規模水理模型実験

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 TEL 06-6374-4023

を対象とし、水
理模型実験で得
られた越流水深
 $h(=H/2$ 地点の水
深－防潮堤高)
を用いて地表面
圧力を算定し、
水理模型実験で
得られたと最大
圧力との比較を
行った。なお、
これら算定式に
よる地表面圧力
には、水クッシ
ョン効果を考慮
していない。

表-1 本研究で対象とする落下水塊の地表面圧力の既往算定式

提案者	概 要	算定式	記号の説明
大村ら (2014)	越流運動が放物落下運動と仮定して地表面落下時の流速および衝突角度を求め、それを基に越流水の動圧を求める算定式である。防潮堤の津波越流に関する水理模型実験結果との比較により、その適用性が確認されている。	落下時間: $t = \sqrt{2(H+h/2)/g}$ 水平流速: $v_x = \sqrt{gh}$ 鉛直流速: $v_z = gt$ 流 速: $v = \sqrt{(v_x^2 + v_z^2)}$ 衝突角度: $\theta = \tan^{-1}(v_z/v_x)$ 動 圧: $p = \rho(v \sin \theta)^2/2$	 g : 重力加速度, ρ : 水の単位体積重量
近森 (1972)	ダム余水吐の自由落下水脈に関する水理模型実験結果から提案された算定式であり、実験で得られた最大圧力を包絡するように設定されている。また、研究では水クッションの効果も検討されており、水脈落下地点の水深が大きいほど地表面圧力は小さくなることが示されている。	水脈落下地点の動圧: $p = 1.15 \rho g(H+h)$	
物部ら (1962)	噴流による作用力の算定式。越流水に関する算定式ではないが、越流水脈を地表面に作用する現象は噴流が個体に作用する現象と類似している。	流量 Q 、速度 v_0 の噴流が個体に当たって、方向が θ だけ変わり、速度が v_1 になったものとする、運動量保存則から個体に働く力 F は次式で表される。 $F = \rho Q(v_0 - v_1 \cos \theta)$ ここで、 $\theta=90^\circ$ の場合、個体に働く力 F は次式となる。 $F = \rho Q v_0$	

4. 既往算定式と実験結果の比較

大村ら²⁾および近森³⁾の算定式による地表面圧力と水理模型実験結果を比較したものを表-2に示す。大村ら¹⁾の算定式による算定結果は、水クッション効果があるケース(Case1, Case2, Case4)では、実験結果の1.3~1.7倍程度となる。一方、水クッション効果がほとんどないケース(Case3)では、算定結果は実験結果と同程度となっている。近森³⁾の算定式による算定結果は、いずれのケースでも実験結果を上回る結果となっている。詳細にみると、水クッション効果があるケース(Case1, Case2, Case4)では、実験結果の1.8~2.2倍程度、水クッション効果がほとんどないケース(Case3)では実験結果の1.4倍程度になっている。

噴流による作用力の算定式(物部ら⁴⁾)による地表面力と水理模型実験結果を比較したものを表-3に示す。なお、この算定式は一点の圧力を算定するものでなく、物体(ここでは地表面)全体に作用する力を算定するものであるため、実験結果との比較はPH1~PH8の圧力を時間ごとに積分した作用力の最大値との比較を行っている。また、地表面に作用する流速 v_0 は、大村ら¹⁾の算定式で算定した値を用いた。この結果、噴流による作用力の算定式の算定結果は、実験結果の1.3~3.1倍程度となっており、水クッション効果があまりないケース(Case3)が最も実験結果に近い作用力となっている。

5. おわりに

本研究では、大規模水理模型実験結果と既往算定式による落下水塊の地表面作用圧の算定結果を比較することによって、各算定式の適用性の検討を行った。その結果、本研究で対象とした算定式は、実験結果と同程度かそれより大きな地表面圧力もしくは地表面力となることがわかった。このことから、防潮堤背後の水たたき部等の設計において、これらの算定式を適用して津波越流時の落下水塊の地表面圧力等を算定しても、若干過大評価になる場合があるが、過小評価にはならないことが確認できた。

謝辞: 本研究は電力12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)ー津波流体力評価手法の検証ー, 電力中央研究書報告, O15002, 2015. 2)大村英昭他: 波形特性を再現した防潮堤に作用する津波波力実験, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol.70, No.2, pp.I_432-I_437, 2014. 3)近森邦英: 自由落下水脈地点における動水圧の変動特性に関する研究, 農業土木学会論文集, 第40号, pp.49-55, 1972. 4)物部長穂他: 物部水理学, p.340, 岩波書店, 1962.

表-2 大村らおよび近森の算定式と実験結果の比較

ケース	Case1	Case2	Case3	Case4
実験結果	14.9	14.3	15.9	9.4
大村ら(2014)	19.0	18.8	16.7	16.3
近森(1972)	26.8	26.3	21.4	20.6

単位:kN/m²

表-3 噴流による作用力の算定式(物部ら)と実験結果の比較

ケース	Case1	Case2	Case3	Case4
実験結果	8.6	4.7	3.5	2.1
物部ら(1962)	15.9	14.5	4.6	3.4

単位:kN/m