

陸上構造物に作用する津波波圧と津波力の評価方法に関する一考察

名古屋大学大学院工学研究科 学生会員 ○ 中島 彩
 名古屋大学高等研究院 正会員 中村 友昭
 名古屋大学大学院工学研究科 フェロー 水谷 法美

1. はじめに：2011年に発生した東北地方太平洋沖地震の津波によって多くの構造物が破壊された。この津波被害を契機に津波避難ビルの設計波圧の算定式が見直され、新たに津波避難ビル等の構造上の要件に係る暫定指針が策定された。この指針では、朝倉ら（2000）の研究を基に、津波避難ビルの河川および海岸からの距離や津波力の低減が可能な建築物の存在によって、波圧の作用高さを津波の最大水位の1.5倍から3倍と設定した設計波圧の算定式を示している。しかしながら、朝倉ら（2000）の提案式には、本来考慮すべき流速の効果が含まれていないこと、ばらつきが多いことなどが指摘されている。また、陸上構造物に作用する津波力に対する評価式が提案されている（例えば、シマモラら、2007）ものの、明確な評価方法が確立されていないことから、進行波の遡上水位や流速との関連を明らかにする必要がある。本研究では、朝倉ら（2000）による水理実験に非圧縮性流体からなる気液2相流を解析可能な3次元数値計算モデル（中村・水谷、2010）を適用し、護岸を越流した遡上津波に対して、構造物に作用する波圧と波力の評価方法に関する検討を行う。

2. 計算条件：図-1に本研究で使用した計算領域の概略図を示す。同図に示すように、静水深 h_0 を0.92mとし、沖側から勾配約1/10の不透過斜面、勾配1/200または1/50の不透過斜面、水平床を設定した。その水平床上に構造物を配置した。構造物は、水平床沖側

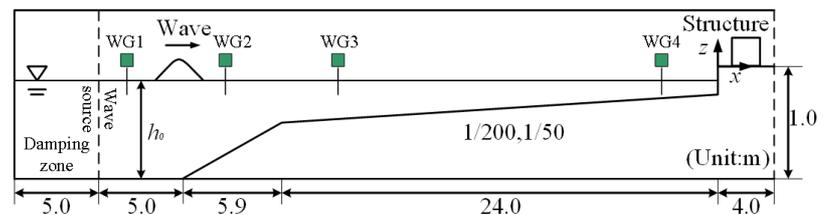


図-1 計算領域の概略図

表-1 入射波条件

	波高(m)	周期(s)	斜面勾配
Case 1	0.15	63	1/200
Case 2	0.20	42	1/200
Case 3	0.15	63	1/50
Case 4	0.20	42	1/50
Case 5	0.20	21	1/200
Case 6	0.20	10.5	1/200

端からの距離を d とし、 $d=0.50\text{ m}$ 、 1.50 m の2通りとした。そして、表-1に示す押し波初動の長周期波を作用させた。ここで、Case 1からCase 4は水理実験と同条件であり、Case 5、6は本研究で追加した条件である。

3. 計算結果および考察：構造物の沖側面に作用する最大波圧 p_{\max} の鉛直分布を図-2に、その両軸を構造物が無い

状態における進行波の最大浸水深 $\eta_{0\max}$ で無次元化した図を図-3に示す。ここで、図-3には、朝倉ら（2000）による提案式も同時に示した。なお、 ρ は水の密度、 g は重力加速度であり、 $\eta_{0\max}$ は設置構造物の沖側面にあたる位置で計測した値である。図-3より、朝倉ら（2000）の水理実験と同条件であるCase 1からCase 4に関しては、朝倉式と同程度の無次元最大波圧分布を示すことが確認できる。これから、本モデルの再現性が確認できる。一方、図-3より、水理実験に無いCase 6では、波圧の作用高さが最大で進行波の最大水位の6倍となり、朝倉式では過小評価となることがわかる。この原因として、Case 6では、図-2より、 p_{\max} はCase 1からCase 4よりも小さいにも関わらず、 $\eta_{0\max}$ が他のケースと比べ小さいため、無次元最大波圧分布が大きくなったと考えられる。以上から、朝倉ら（2000）の実験条件の範囲では朝倉式で評価できるものの、その適用範囲は作用する波の条件に依存すると推察できる。

次に、構造物沖側面への最大打上高を構造物が無い状態での進行波の最大浸水深 $\eta_{0\max}$ で無次元化した値を α としたとき、 $\eta_{0\max}$ のときのFroude数 F_r との関係を図-4に示す。図-4より、Case 1からCase 4では α は3程度

となっており、朝倉式と同程度となっていることが確認できる。また、 F_r が増加すると α も増加する傾向を示しているため、榊山 (2012) の α は F_r に比例するという関係との一致が認められる。しかし、Case 6 の α は Case 1 から Case 4 を大幅に上回っているため、無次元最大波圧と同様に α と F_r の関係は作用波の条件に依存すると考えられる。したがって、 α の評価方法についてはまだ課題が残されているものの、 F_r との関係が指摘できる。

構造物に作用する単位奥行きあたりの最大津波力 F_{max} と、構造物が無い状態での進行波の最大浸水深 η_{0max} の関係を図-5 に示す。図-5 より、全ケースで F_{max} の増加とともに η_{0max} も増加する傾向が確認できる。しかし、Case 1 から Case 5 では η_{0max} に対する F_{max} の増加割合が大きいのにに対し、Case 6 では増加割合が小さいことがわかる。そこで、図-6 に η_{0max} のときの F_r と F_{max} との関係を示す。同図から、 $F_r > 1.6$ の範囲では、 F_{max} は小さくなるのが確認できる。その一方で、 $1.0 \leq F_r \leq 1.6$ の範囲では、 F_r は大きく変動しないものの、 F_{max} は変化することが見て取れる。そこで、廉ら (2007) を参考に、構造物に衝突した水塊の運動量の変化量から求めた最大津波力を $\rho(u^2\eta_0)_{max}$ とし、 F_{max} との関係を図-7 に示す。なお、 u は構造物が無い状態における進行波の流速、 η_0 は浸水深であり、 $\rho(u^2\eta_0)_{max}$ は運動量変化量の時系列での最大値である。同図から、 $\rho(u^2\eta_0)_{max}$ の増加とともに F_{max} も増加していることがわかる。したがって、 $\rho(u^2\eta_0)_{max}$ すなわち設置構造物の沖側面にあたる位置での進行波の水位 η_0 と流速 u が与えられれば、構造物に作用する津波力を推定できるといえる。

4. おわりに：本研究では、朝倉ら (2000) による水理実験を対象とした数値解析を行うことで、構造物に作用する津波波圧と津波力の評価方法の検討を行った。その結果、朝倉式の適用範囲は作用する波の条件に依存することが示された。また、構造物の位置での進行波の水位と流速が与えられれば、運動量の変化量から、構造物に作用する津波力を評価できることが明らかになった。今後、 α の評価方法の確立を目指し、構造物に作用する最大津波力の評価を行えるよう、さらなる検討を行っていく所存である。最後になるが、本研究の一部は科学研究費補助金 (基盤研究(A)：代表 水谷法美) によったことを付記し、感謝の意を表す。

[参考文献] [1] 朝倉ら (2000)：海岸工学論文集，第 47 巻，pp.911-915. [2] シマモラら (2007)：海岸工学論文集，第 54 巻，pp.831-835. [3] 中村・水谷 (2010)：数値流体力学シンポジウム，E10-4，9p. [4] 榊山 (2012)：土木学会論文集 B2 (海岸工学)，Vol.68，pp.771-775. [5] 廉ら (2007)：海岸工学論文集，第 54 巻，pp.851-855.

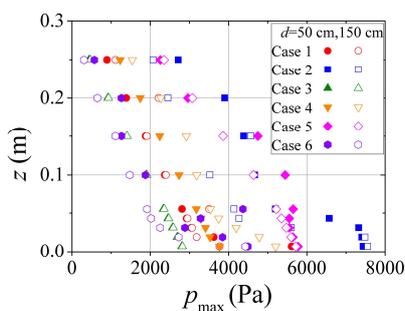


図-2 最大波圧 p_{max} の鉛直分布

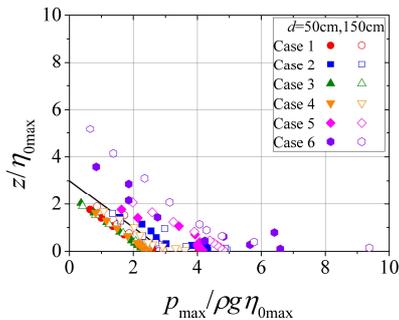


図-3 無次元最大波圧 $p_{max}/\rho g \eta_{0max}$ の鉛直分布

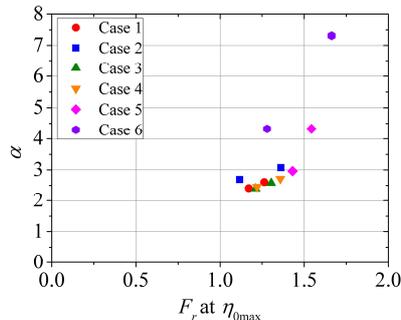


図-4 水深係数 α と η_{0max} のときの Froude 数 F_r の関係

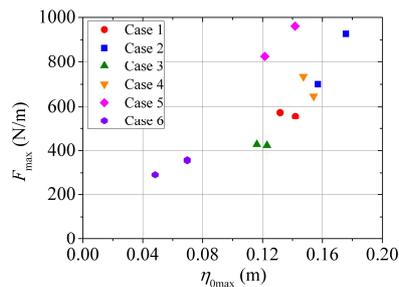


図-5 最大津波力 F_{max} と進行波の最大浸水深 η_{0max} の関係

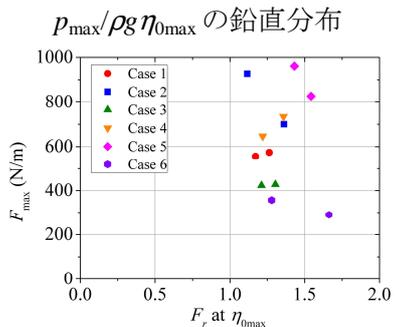


図-6 最大津波力 F_{max} と η_{0max} のときの F_r の関係

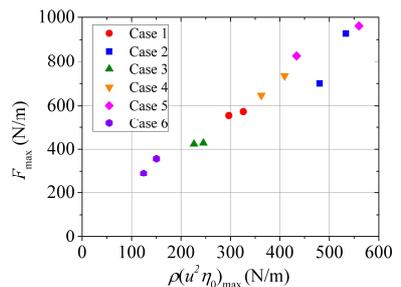


図-7 最大津波力 F_{max} と $\rho(u^2\eta_0)_{max}$ の関係