

### VOF 法による海岸堤防に作用する衝撃砕波力に関する再現解析

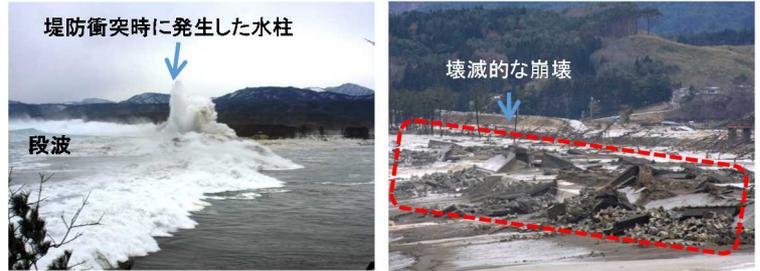
農研機構 農村工学研究所 三島尚人, 松島健一, 桐博英, 中達雄

#### 1. はじめに

巨大津波に対して粘り強く抵抗する海岸堤防を構築するためには、越流津波時の地盤洗掘や被覆工の引き剥がれ等に加えて、津波衝突時の波力に対して滑動、損傷しにくくする必要があります。特に、砕波段波が作用する場合、衝撃的な波力が堤防に働くため、堤防に与える損傷の程度を把握することが重要になる。そこで、本研究では、砕波段波を対象とした衝突実験および数値実験を実施し、衝撃砕波力の大きさや作用時間について検討を行った。

#### 2. 衝撃的な波力の発生メカニズム

堤防直前で砕波する波は、波頂付近の水塊が前方へ崩れ、堤防へ衝突する際に衝撃的な波力が発生する。こうした衝撃砕波力は、水塊の運動エネルギーが瞬時に堤防に伝達されることで生じると解釈され、衝突力に關与する相当質量及びその作用時間が問題となる。図-1は東北地方太平洋沖地震津波が来襲した際に撮影された段波衝突画像である。図-1(a)に示すように段波衝突時に大きな波力が海岸堤防に作用し、大きな水柱が出現した。津波発生後大半の堤防が図-1(b)のように壊滅的な被害を受けた。



(a) 段波衝突時の状況 (b) 津波発生後の損傷状況

図-1 岩手県野田海岸における段波津波衝突映像

#### 3. 実験と解析結果

##### (1) 計算条件

計算領域は図-2に示す2次元断面水路をモデル化した。模擬津波の造波は、上流側貯水位域と下

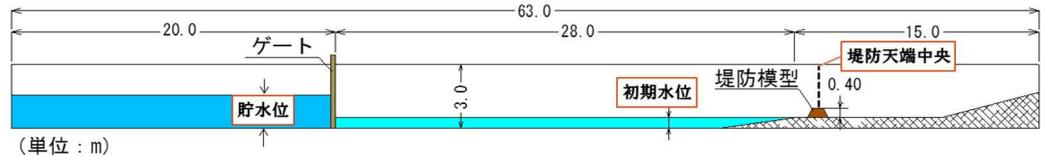


図-2 段波衝突実験に用いた断面二次元水路(原寸)

流側貯水位域を仕切るゲートを瞬時に引き上げることで生成する。数値計算におけるゲートの上昇動作は、メッシュ移動によって再現した。総メッシュ数は約9万であり、メッシュサイズは0.04mを基本に堤防付近では0.01m程度まで細かくする一方、計算負荷の軽減のため、上流側の造波に影響しない領域や予め実験で水が通過しないことが確認される空間は粗く設定した。モデル上端の境界条件は大気開放とした。VOF法を使用して堤防直前で砕波する段波津波の計算を行い、造波から20秒間の現象を再現した。水位設定は水理実験の条件と同じく上流側1168mm、下流側631mmとした。時間刻みは1.0msecを基本に、段波の堤防衝突前後の時間のみ0.01msecに設定した。堤防モデルは、表法勾配1:0.5、堤高 $H_0=0.40m$ である。尚、ソフトウェアはANSYS社のANSYS Fluentを使用した。

##### (2) 堤防に生じる衝撃的な波圧

図-3に堤防直前で砕波する段波を再現した実験と解析結果を示す。衝突開始からの経時変化では、衝突開始から短時間で波圧が上昇し、時間経過と共にピーク波圧の発生領域が法面上方へ移動してゆくことがわかる。衝突開始からピークに達するまでに要する時間は、それぞれ解析は4.2msec程度、実験で6.0msec程度であった。なお、衝撃砕波力の大きさは実験値よりも解析値の方が大きく、作用時間は短かった。これは解析上、摩擦等のエネルギー損失、堤防の剛性、水と空気の圧縮性などの違いが影響したものと考えられる。

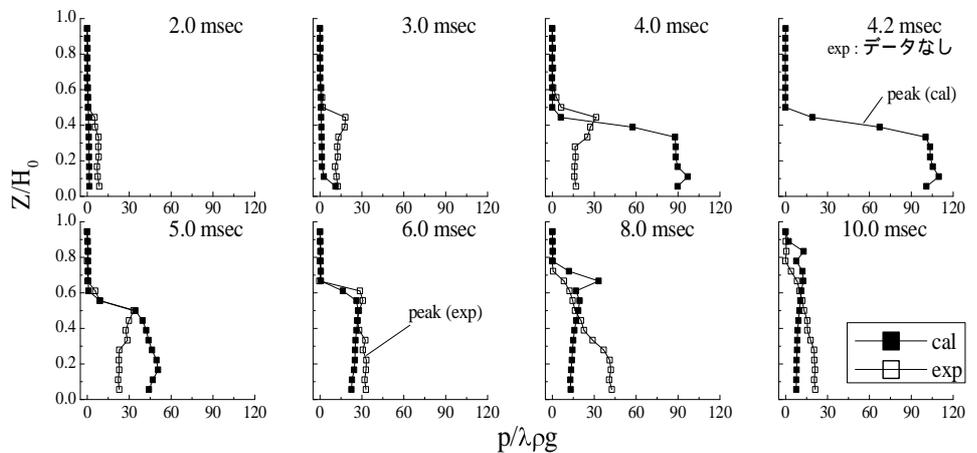
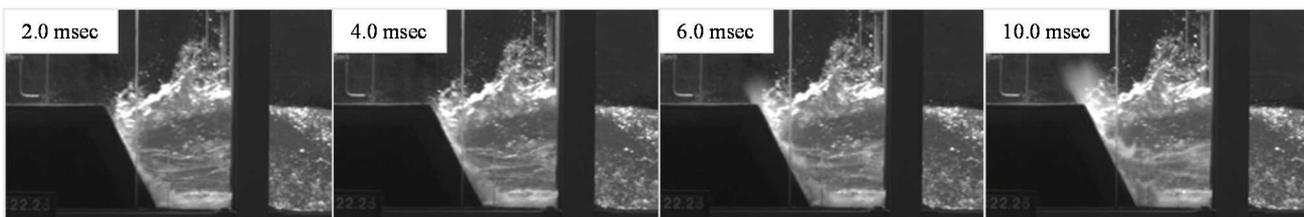
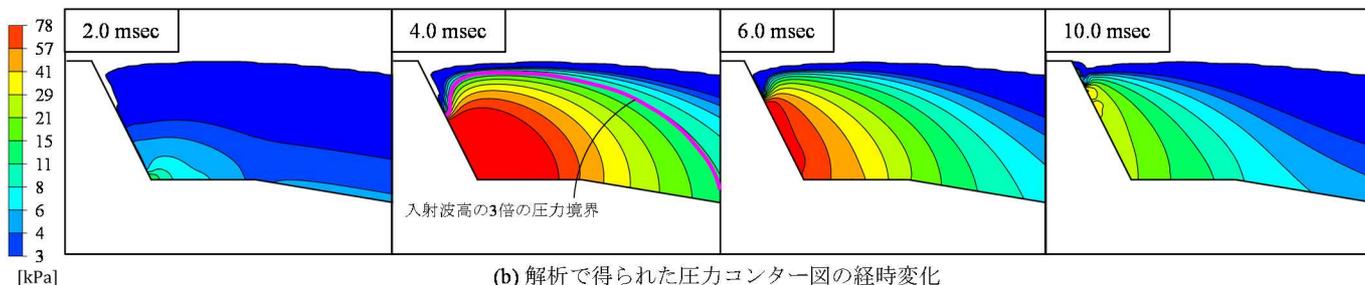


図-3 砕波段波による衝撃的な波圧分布の経時変化



(a) 実験で撮影した衝突時の水塊の形状変化



(b) 解析で得られた圧力コンター図の経時変化

図-4 衝突時の波の形状変化と圧力コンター図

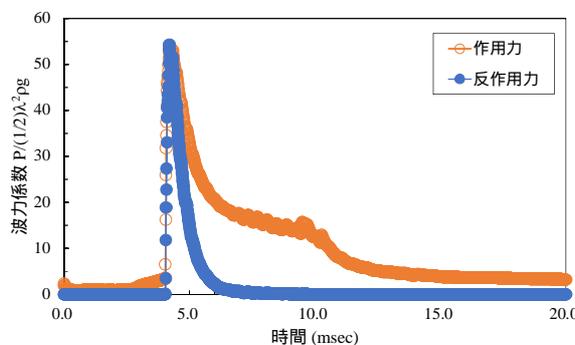
4. 水塊の運動変化と堤防に作用する波力

衝突時に堤防から受ける反力の大きさやその発生領域を把握するため、水塊の圧力領域の推定を試みた。図-4に衝突時における水塊形状と解析結果による圧力コンターを示す。先述のように 2.0msec ~ 10.0m sec 間に著しい圧力変動が生じるが、水塊の形状は図-4(a)に見られるように僅かにしか変化しない。図-4(b)の解析結果においても、実験結果と同様に水塊形状の変化は僅かであるが、水塊内部の圧力は著しく変化している事が確認できる。衝突直後から 4.0msec の僅かな時間内に圧力の上昇と発生領域の拡大が見られ、10.0msec 後に急激な圧力の降下が見られる。最大波力時における圧力の発達範囲は、 $3\lambda\rho g$  以上の圧力領域で約  $2\lambda^2$ 、 $20\lambda\rho g$  以上で約  $0.6\lambda^2$  の範囲にあり、衝撃的な波力が段波先頭の水塊によって生じていることがわかる。ここに $\lambda$ は進行波高である。図-5に解析結果から得られたデータをもとに、 $20\lambda\rho g$  以上の圧力領域を分析した結果を示す。図-5(a)に堤防表面への作用力と水塊に生じた反作用力をそれぞれ示す。反作用力は、 $20\lambda\rho g$  以上の圧力領域内の水塊質量と、平均加速度と乗じた値である。平均加速度は法面に対して垂直方向の成分である。作用・反作用力は、ピーク時まで良く一致していることがわかる。次に、図-5(b)の反作用力の内訳をみると、水塊質量及び平均加速度はともに、衝突から最大波力に至るまでほぼ同じ比率で増加している。つまり、堤防の反作用力として伝達される応力波は、衝突開始から加速度の急激な上昇と、その領域の拡大によって表れ、このような動きによって衝撃的な波力が生じたものと解釈できる。

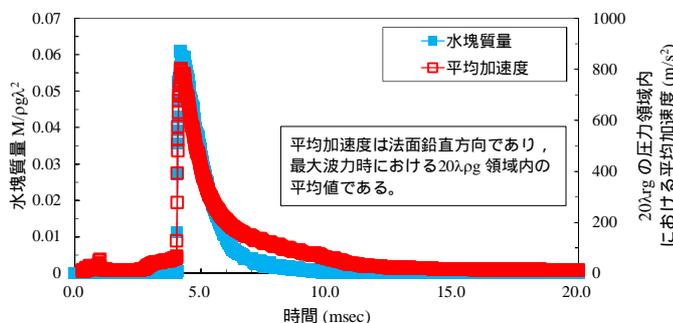
5. 主な結論

砕波段波を対象とした衝突実験及び再現解析から、衝撃砕波力は極めて短時間内に水塊の運動エネルギーが伝達されることで生じる。水塊に発生する加速度とその領域はピークに到達するまで単調に増加し、両者が最大となった時点で最大波力が表れる。また、衝撃性が極めて高い砕波力であっても、波力に影響する水塊は、 $3\lambda\rho g$  以上の圧力領域で約  $2\lambda^2$ 、 $20\lambda\rho g$  以上で約  $0.6\lambda^2$  程度であり、段波先頭の領域に限定されていることが示された。以上のことから、衝撃砕波力に対しては堤防の滑动抵抗力を遙かに上回る波力が生じる可能性があり、作用時間は極めて短時間であるため、作用時間内に生じる損傷を把握することが工学的に重要になると考えられる。

謝辞：復興庁・農林水産省食料生産地域再生のための先端技術展開事業による補助を受けました。



(a) 堤防への作用力と水塊への反作用力の比較



(b) 水塊質量と平均加速度の関係

図-5 衝突波力および水塊質量と加速度の分析結果