

# 津波越流時にケーソン式混成堤に作用する波力に関する一考察

名古屋大学 学生会員 ○ 峯浦 亮      名古屋大学 学生会員      澤 祐太郎  
名古屋大学 正 会 員      中村 友昭      名古屋大学 フェロー      水谷 法美  
東洋建設（株）鳴尾研究所 正 会 員      小竹 康夫

**1. はじめに**：2011 年に発生した東北地方太平洋沖地震津波によって多くの海岸構造物が被災し、防災機能が消失または低下したことから被害が拡大した地域があった．そのため、海岸構造物の被災メカニズムの把握と共に、施設の効果が粘り強く発揮できるような構造を見出すことは急務とされている．本研究では、ケーソン式混成堤に津波が作用した状況を対象にした小竹ら（2011）の水利模型実験との比較により妥当性が確認されている中村・水谷（2010）の数値計算モデルを使用し、多様な条件の津波を作用させた時のケーソンの岸側面に作用する波力について考究する．加えて、ケーソンに作用する波力を低減する方法（案）（国土交通省, 2011）において技術開発・検証が必要とされているマウンド内の浸透流の効果についての検討を行う．

**2. 数値計算モデルの概要**：本研究では、中村・水谷（2010）による 3 次元流体・構造・地形変化連成数値計算モデルを用いて解析を行った．同モデルは、透過性材料の間隙内部の流体を含む全気液相に適用できるように一般化した連続式と Navier-Stokes 方程式を支配方程式としたメインソルバー、気液界面を追跡する MARS に基づくモジュール、可動構造物を取り扱う体積力型埋め込み境界法に基づくモジュール、地形変化を解析するモジュールから構成されている．詳細は中村・水谷（2010）を参照されたい．

**3. 計算条件**：小竹ら（2011）による水利模型実験（縮尺 1/100）を現地スケール化した図-1 に示す計算領域を用いて解析を行った．同図に示すように、造波ソースから 1150 m 離れた地点から長さ 700 m の 1/20 勾配斜面、長さ 2000 m の 1/50 勾配斜面、水平床を順に設け、その水平床上に混成堤を設置した．混成堤は、マウンド（天端幅 50 m、高さ 33 m、）とケーソン（高さ 30 m、幅 16 m、密度  $1.85 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ）から構成されている．作用波は、波高  $H_i = 6.2 \sim 15 \text{ m}$ 、水平床上の静水深  $h = 58 \sim 62 \text{ m}$ 、周期  $T = 200 \sim 350 \text{ s}$  の間で変化させた 30 ケースの引き波初動の長周期波とし、マウンドの中央粒径  $d_{50}$  は透水性なしを想定したものから  $d_{50} = 400 \text{ cm}$  までの 7 ケースの数値実験を行った．

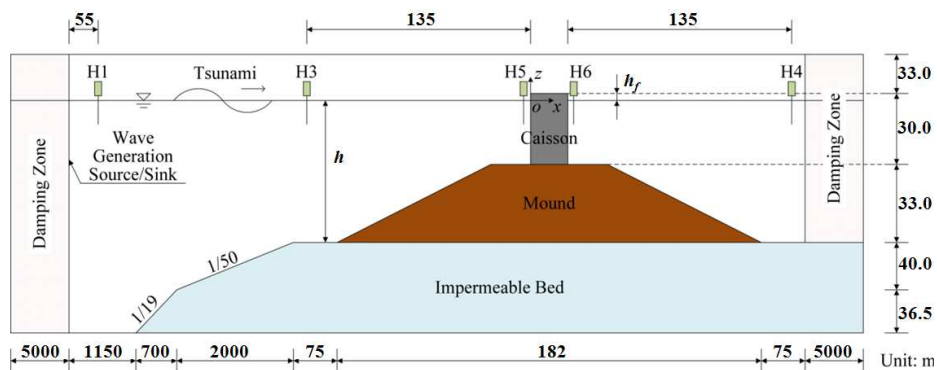


図-1 数値波動水路の計算領域

**4. 計算結果および考察**：ケーソンの岸側面に作用する波力が水位変動に対応する静水圧に対して、どの程度低減されるかを調べるために、固定したケーソンに対して多様な  $H_i$ ,  $h$ ,  $T$ ,  $d_{50}$  で数値実験を行った．中村ら（2013）と同様にケーソンから岸側に若干離れた H4 での水位変動から静水圧分布を仮定して求めた波力を  $F_{ba, H4}$  としたとき、その最大値  $F_{ba, H4}^{\max}$  に対する  $F_{bn}$ （ケーソン岸側面に作用する単位法線当たりの波力に関して、数値計算から直接求めた値）の最大値  $F_{bn}^{\max}$  を低減率  $r_{\max} (= (F_{ba, H4}^{\max} - F_{bn}^{\max}) / F_{ba, H4}^{\max} \times 100)$  とした時の結果を図-2 に示す．なお、 $F_{ba, H4}$  と  $F_{bn}$  は位相に差があることから、それぞれの最大値から低減率  $r_{\max}$  を求めた．また、 $H3_{\max}$  は H3 の位置での最大水位変動、 $h_f$  は初期水面からケーソン天端までの余裕高、 $d_{50}$  は現地を想定した 20 cm（約 10 kg / 個に相当）とした．図-2 によると、 $T = 200 \text{ s}$  の時には、 $H3_{\max} - h_f$  の増加とともに  $r_{\max}$  も増加する傾向が確認できる．これは、 $H3_{\max} - h_f$  が増加、つまりケーソン天端を越える越波量が増え、ケーソン岸側に大規模な渦が発生し、圧力が低下するためである．ケーソン岸側に発生する渦がケーソン岸側に作用する波力を低減させるメカニズムについては中村ら（2013）を参照されたい．また、 $T = 200 \text{ s}$  の結

果に対して近似式を求めると、

$$r_{\max} = 0.92(H3_{\max} - h_f) - 3.2 \quad (1)$$

となり、ケーソン沖側の最大水位  $H3_{\max}$  が与えられれば、式(1)により  $F_{ba,H4}^{\max}$  に対する  $F_{bn}^{\max}$  の低減率が簡便に推定できることが分かる。式(1)より、 $H3_{\max} - h_f$  が 3.5 m を下回ると、静水圧分布に対する低減の効果は無くなる。また、図-2 より、同一の  $H_i$ ,  $h$  の場合でも  $T$  が異なると、低減率に差が生じることが分かる。

図-3 に  $H_i = 12.6$  m,  $h = 60$  m において、 $T$  を変更した時の  $H4$ ,  $H6$  及び  $F_{bn}$  の経時変化を示す。なお、時刻は  $T$  を用いて無次元化を行い、 $H5$  の位置でゼロアップクロス法により、位相を合わせた。図-3 によると、 $T$  を変化させた場合でも、 $H4$ ,  $H6$  の水面挙動に大きな差が見られないことが分かる。一方、 $F_{bn}$  は  $T = 200$  s,  $300$  s において、 $t/T = 0.2$  付近で、ケーソン岸側面に衝撃的な波力が作用していることが分かる。この衝撃的な波力が、前述した  $T$  が異なると低減率に差が生じる原因であると考えられる。図示しないが、 $H_i = 7.8$  m,  $h = 60$  m,  $T = 250$  s の時も衝撃的な波力が確認できた。

図-4 に  $H_i = 12.6$  m,  $h = 60$  m,  $T = 200$  s において  $d_{50}$  を変更した時の低減率  $r_{\max}$  の変化を示す。同図より、 $d_{50}$  を大きくするにつれ、プロットが左下へシフトすることが確認できる。これは、マウンドの透水性が上がると、 $H3_{\max}$  が下がり  $H3_{\max} - h_f$  が減少、 $H4_{\max}$  が上がり  $r_{\max}$  が下がるためである。また、マウンド内の津波浸透流が大きくなると、越波の規模が小さくなり、圧力の低下が小さくなることも原因であると考えられる。

**5. おわりに：**本研究では、津波越波時にケーソン岸側面に作用する波力について津波とケーソンの相互作用を解析出来る数値計算モデルにより考究した。その結果、ケーソンの沖側と岸側の水位が与えられれば、ケーソンの岸側面に作用する波力が水位変動に対する静水圧に対してどの程度低減されるかを簡易的に推定出来る近似式を提案した。また、マウンドの中央粒径を大きくすることによって、ケーソンに作用する波力が小さくなることを示した。今後は、低減率に大きく影響を及ぼす衝撃的な波圧の取り扱いなどの検討を行う所存である。

**参考文献：**[1] 小竹・松村・山野・金澤・荒木 (2011), 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 67, No. 2, pp. 766-770. [2] 中村・水谷 (2010), 第 24 回数値流体力学シンポジウム, E10-4, 9 p. [3] 中村・安藤・水谷・小竹 (2013), 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol. 69, No. 2, pp.389-394.

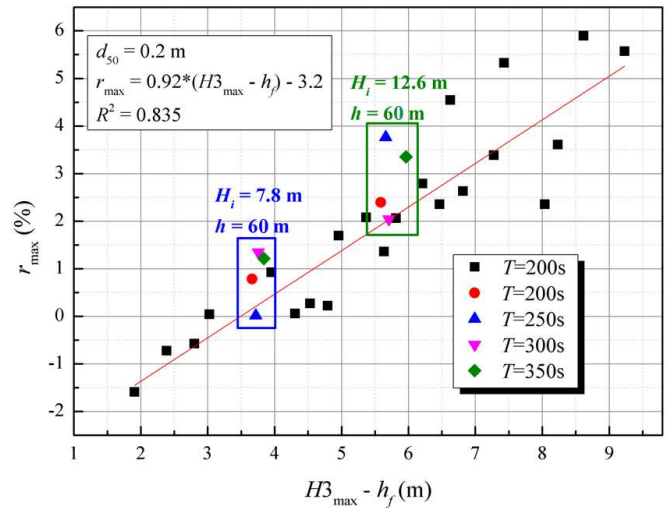


図-2 ケーソン岸側面に作用する波力の低減率  $r_{\max}$

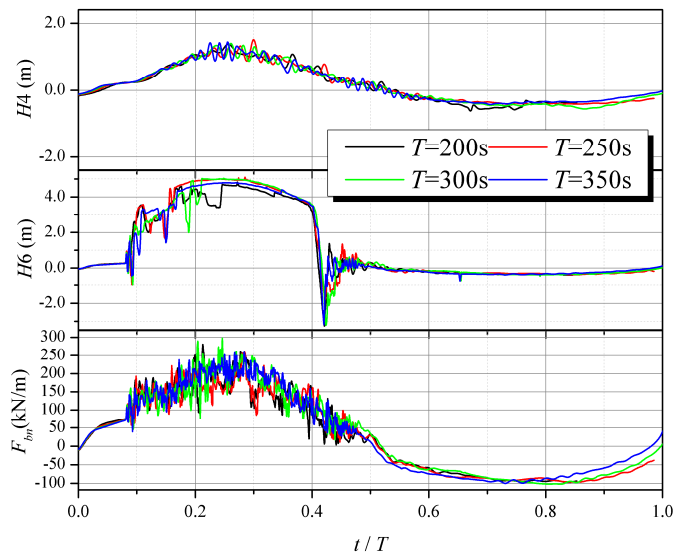


図-3  $H4$ ,  $H6$ ,  $F_{bn}$  の経時変化 ( $H_i = 12.6$  m,  $h = 60$  m)

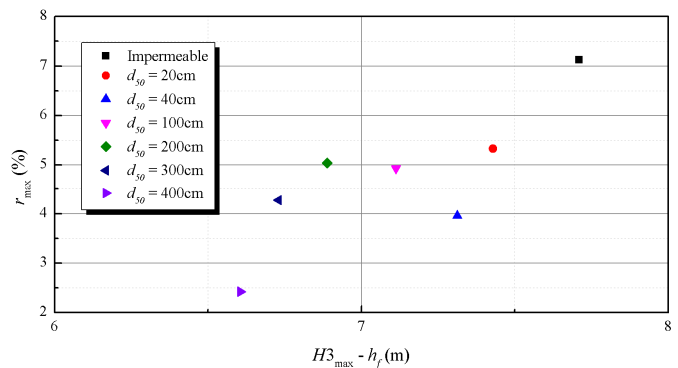


図-4 マウンドの中央粒径を変えた時の低減率  $r_{\max}$