

エプロン上への遡上津波によるコンテナの作用波力に関する実験的考察

名古屋大学大学院	学生会員	○宇佐美敦浩
名古屋大学大学院	学生会員	白石 和睦
名古屋大学大学院	正 会 員	水谷 法美
国土交通省中部地方整備局	正 会 員	宮島 正悟
港湾空港技術研究所	正 会 員	富田 孝史

1. 緒言：陸上へ遡上した津波の波力に関しては、円柱状の流木を対象とした松富（1989,1990）の研究、段波波圧の算定式を提案した水谷ら（2000）の研究、直立護岸背後の陸上構造物へ作用する津波波力の評価方法を提案した朝倉ら（2000）の研究などがある．一方、津波が港湾に襲来した場合、野積みされているコンテナが漂流するといった被害が予想されているが、コンテナの漂流に影響を及ぼすコンテナの作用波力に関しては未解明な点が多く残されている．特に、津波は陸上を進行するとともに変形するため、構造物の位置の影響など、検討すべき課題が残されている．本研究では、エプロン上に遡上した津波がコンテナに衝突した場合の打上水位や波力をコンテナの設置位置を変化させながら計測し、その特性を検討するとともに、津波被害を減少させるための対策として、岸壁に直立壁を設けた場合の津波の遡上高や波力について検討を行う．

2. 水理模型実験：水理模型実験を、名古屋大学の平面波浪水槽（全長 28.0m、有効幅 8.0m、高さ 0.8m）を使用して行った．水槽の一端には長さ 8.0m のピストン型造波装置が装備されている．模型縮尺を 1/75 とし、矩形のエプロン（長さ 1.0m、幅 4.0m、高さ 0.25m）を造波板から 12.0m の位置に設置した（図-1 参照）．エプロンの製作にはベニア板を使い、遡上波やコンテナの挙動を計測する上面のみモルタル板を使用した．コンテナ模型を、アクリル板を使用して製作した．この際、国際規格に基づく 20ft と 40ft の 2 種類を対象に模型を製作した．入射波は孤立波 8 種類、周期波 3 種類の合計 11 種類とした．静水深 $h=0.22\text{m}$ とし、岸壁先端に直立壁（天端上高さ $s=4, 8\text{mm}$ ）を設置した場合も行い（村上ら、2005）、直立壁が遡上波に及ぼす影響も検討した．また、コンテナの設置位置は、エプロン前面を原点として $x=0.105\text{m}$ 、その後方に $x=0.205\text{m}$ 、 $x=0.305\text{m}$ 、 $x=0.405\text{m}$ 、 $x=0.505\text{m}$ の 5 地点とした．

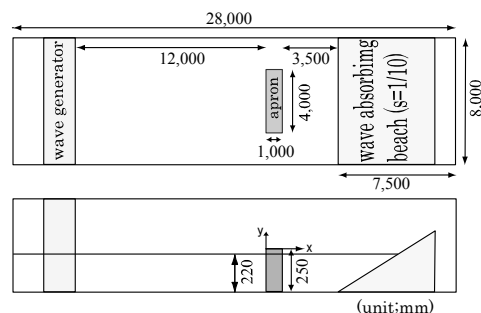


図-1 実験装置の概略

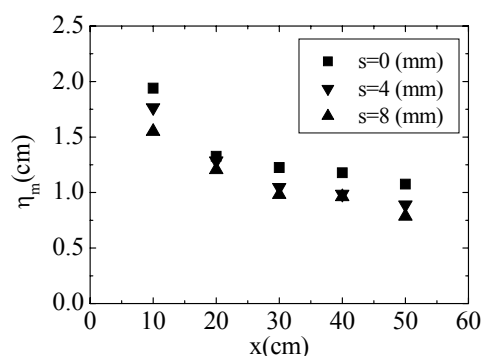


図-2 直立壁による遡上峰高の変化

3. 結果及び考察：エプロン上のコンテナに作用する力を検討するために、まず、遡上した波の特性について考察する．図-2 に遡上距離 x にともなう最大遡上峰高 η_m の変動特性を例示する． x が大きくなるにともない η_m が減少することが確認できる．また、高さ 8mm の直立壁を設けた場合、最大遡上峰高は、岸壁からの距離にも依存するため一定ではないものの平均的に約 20% 低減されることが明らかとなった．このことから直立壁の設置は津波の遡上峰高を低減させる効果があることが指摘できる．最大遡上峰高とコンテナ前面での打上水位 η_{fm} の関係を図-3 に示す．遡上波がコンテナを越波しない場合、打上水位は遡上峰高の 2 乗に比例するが、越波する場合最大遡上峰高に比例する．これは、越波しない場合、遡上してきた波は上方に打ち上がるだけで、波進行方向にそれ以上進むことができず、運動エネルギーが全て位置エネルギーに変化するが、越波すると全てが位置エ

キーワード 津波、コンテナ、水理模型実験、波力、遡上波

連絡先 〒464-8603 名古屋市千種区不老町 名古屋大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 Tel 052-789-4630

エネルギーに変化するわけではなく、運動エネルギーが部分的に保持されるためであると考えられる。

遡上波によって波進行方向に作用する波力（津波力） F_x と最大遡上峰高との関係を図-4に示す。図より明らかなように、津波力と最大遡上水位の関係も越波の有無により大きく異なる。すなわち、越波しない場合、津波力は最大遡上峰高の4乗に比例するのにに対し、越波する場合、津波力は最大遡上峰高に比例する。図-3で示したように、コンテナ前面への打上水位が、越波しない場合に最大遡上峰高の2乗に、越波する場合に1乗に比例することを考慮すると、津波力は、越波しない場合、打上水位の2乗に、越波する場合は打上水位に比例することになる。越波しない場合、圧力の作用面積が打上水位に比例するが、越波する場合は打上水位に依存しない。一方、圧力は越波の有無にあまり関係なく打上水位に比例する。これらの関係より図-4に見られるような越波の有無による差異になったと考えられる。ところで、エプロン先端に高さ8mmの鉛直板を設けると最大遡上峰高が20%減少することを示したが、非越波の場合、津波力は最大で約60%低減されることになる。コンテナの移動限界が作用津波力と最大静止摩擦力の関係に依存することを考えると、鉛直壁の設置によりエプロンの漂流が始まる津波の高さをかなり大きくレベルまで上げることができるとが示唆される。

つぎに、コンテナの設置位置が打上水位に及ぼす影響について考察する。図-5はコンテナ前面での打上水位と最大遡上峰高の関係を示したものである。なお、図中の横線はコンテナ高さを示す。越波する場合、最前列 $x=10.5\text{cm}$ にコンテナを置いた場合、打上高は遡上峰高の約3.5倍程度であるが、コンテナ設置位置がそれよりも後方になると打上高は増加し、 $x=30.5\text{cm}$ において最大で最大遡上水位の約7倍程度まで打上がること判明した。エプロン先端から離れたところで大きくなる原因は遡上波の水面勾配に起因しているものと考えられる。沖から進行してきた津波はエプロン上に打ち上がった後、進行するにともなって遡上波の先端が切り立った形状になる。そのため、エプロン先端から少し離れた位置で波面が瞬間的にコンテナに衝突し、それにより高く打ち上がったと考えられる。図-4では、 $x=10.5\text{cm}$ における津波力よりも $x=30.5\text{cm}$ や $x=50.5\text{cm}$ の場合の津波力が、同じ遡上峰高であっても大きくなっているが、その原因も同様に切り立った波が作用することによって考えられる。

4. 結論：以上、コンテナに作用する津波力を波の作用と関連づけながら検討した。そして、越波する場合、打上高は最大遡上峰高に比例するが、越波しない場合は2乗に比例すること、そのためコンテナに作用する津波力は、越波するとき最大遡上峰高に比例するが、越波しないときはその4乗に比例すること、また、津波力はエプロン先端よりも少し離れた位置で大きくなることが明らかとなった。また、エプロン先端の鉛直板は波力の低減に有効であることも指摘できた。今後更に検討を加え、有効な対策等について考えていく所存である。

参考文献 [1] 朝倉ら（2000），海工論文集，第47巻，pp.911-915。 [2] 松富ら（1998），海工論文集，第36巻，pp.574-578。 [3] 松富ら（1990），海工論文集，第37巻，pp.654-658。 [4] 水谷将ら（2000），海工論文集，第47巻，pp.947-950。 [5] 水谷法美ら（2005），海工論文集，第52巻，pp.741-745。 [6] 村上ら（2005），海洋開発論文集，第21巻，pp.151-156。

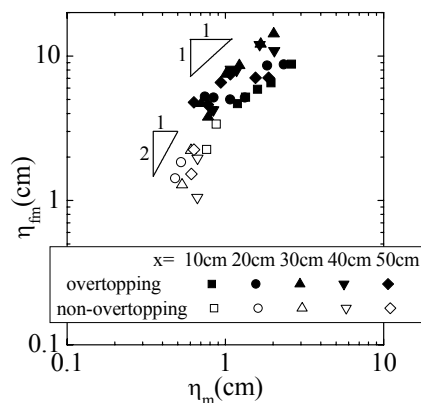


図-3 コンテナ前面での打上水位と最大遡上峰高の関係

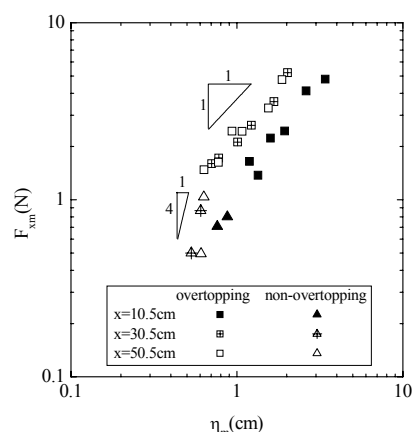


図-4 波力と最大遡上峰高の関係

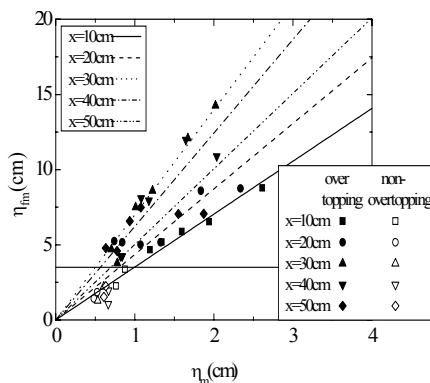


図-5 コンテナ前面での打上水位と最大遡上峰高の関係