

津波越流時のケーソン天端流速とマウンド内流速に関する遠心模型実験

東洋建設 (株) 正会員 ○宮本 順司
 同上 正会員 鶴ヶ崎和博
 東電設計 (株) 正会員 中瀬 仁
 同上 正会員 岩本 哲也

1. はじめに

筆者らは、ドラム遠心載荷装置を用いた遠心力場津波実験により、津波越流時の混成堤挙動を調べ、津波越流によるマウンド・腹付工の洗掘や、マウンド内浸透、ケーソン背面直下付近のマウンド崩壊などの現象を観察している(図-1, 図-2)¹⁾。今後、これらの現象を詳細に理解し津波対策工の提案や検証につなげていくうえで、ケーソン天端流速や、マウンド内の浸透流速を把握しておくことが重要である。本研究では、遠心力場津波実験において津波越流時のケーソン天端流速の測定を行うとともに、マウンド材の遠心力場透水試験によってマウンド内流速を調べている。

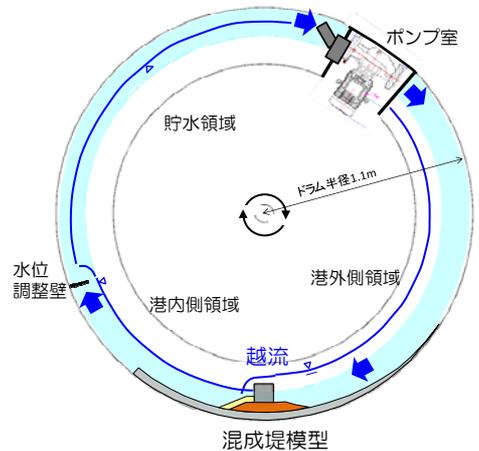


図-1 遠心力場津波実験の水路¹⁾

2. 遠心力模型実験：実験模型と相似則

本報では2種類の遠心模型実験を示す。1つ目は、図-1に示す水路を用いたケーソン/マウンド/腹付工の津波実験であり、津波越流時のケーソン天端の流速を測定したものである。2つ目は、マウンド材の透水試験であり、マウンド内の流速を求めたものである。この実験は、図-3に示すケーソン/矩形マウンド(外枠固定)模型を図-1の水路の模型部にセットして行った。ポンプにより上流側領域に水をため、ポンプを停止した後、マウンドを通過して下流側へ流出する流量を調べている。実験はすべて遠心力場70Gで実施した。

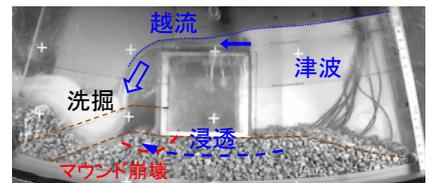


図-2 津波越流時の混成堤挙動¹⁾に加工

本研究では流速に着目するため、外部流体の流れ及びマウンド内浸透に関する相似則が重要である(表-1参照)。高橋ら²⁾はマウンド内に乱流場が形成される時、1/N粒径のマウンド材を用い、間隙流体として水を用いることで、マウンド内の平均流速は実物と模型で一致することを示している。

表-1 津波と浸透の相似比

実験条件	実物		遠心模型	
	遠心加速度	1	N	N
津波(外部流体)	全体寸法	1	1/N	1/N
	マウンド材の粒径	1	1/N	1/N
	間隙水動粘性係数	1	1	1
マウンド内浸透(乱流仮定)	時間	1	1/N	1/N
	平均流速	1	1	1
マウンド内浸透(乱流仮定)	浸透時間	1	1/N	1/N
	平均浸透流速	1	1	1

3. 越流時のケーソン天端の流速測定

通常重力場の水理模型実験(時間が実物の $1/\sqrt{N}$)ではPIVなどの手法により流体の速度場が得られるが、遠心模型実験では時間が実物の $1/N$ となることから速い流れの把握に関しては開発途上である。本研究では、流体の中にトレーサーを混入し、ケーソン天端上のトレーサーの動きを高速度カメラで1粒ごと追跡する方法により天端流速を求めた。トレーサーとして、比重0.95の高密度ポリエチレンの実験用樹脂ペレット(旭化成ケミカルズ(株)製)にラッカー塗装を行い、比重を1.0に近づけたものを使用した。

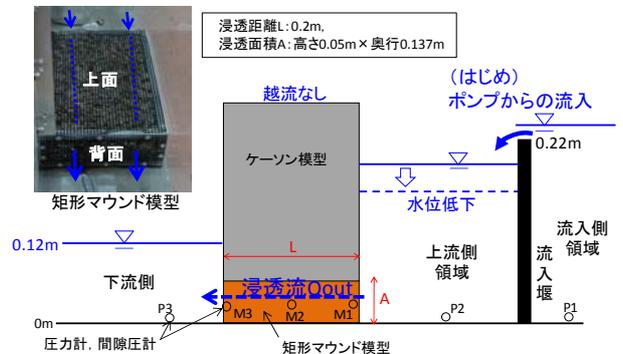


図-3 遠心力場透水試験用の模型断面(図-1模型部にセットする)

キーワード 遠心模型実験, 津波, 浸透, 流速

連絡先 〒663-8142 西宮市鳴尾浜1-25-1 東洋建設(株)鳴尾研究所 TEL 0798-43-5903

越流水深の異なる 2 つの津波実験 (Case2 と Case3) の結果を示す. Case2 では腹付工の洗掘の発達がとどまりケーソンが倒壊に至らなかったケースであり, Case3 は腹付工の洗掘が発達し続けケーソンが倒壊したケースである (文献¹⁾ 参照). 津波越流時のケーソン天端上のトレーサーの動きを, 高速度カメラで撮影した (図-4). 時刻ごとのケーソン天端上のトレーサーの位置を計測したものを図-5 (a) に示し, それを用いて流速を求めたものを図-5 (b) に示す. ここで, 複数粒子の結果を重ねて示している. 流速はケーソン天端上で増加しており, ケーソンが倒壊に至ったケース 3 では, ケーソン前面上で 2.5~3m/s 程度, 背面上 (飛び出し直前) で 4.5~5m/s 程度であることが得られた.

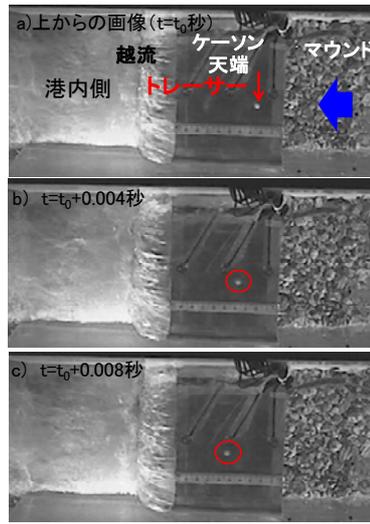


図-4 ケーソン天端上のトレーサーの追跡(Case2)

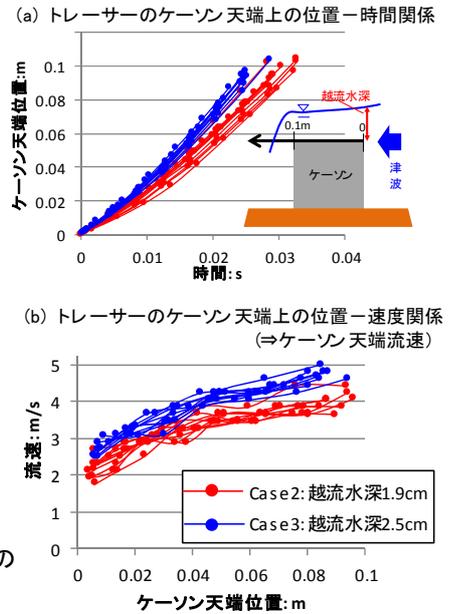


図-5 トレーサーの追跡結果とケーソンの天端流速

4. 透水試験によるマウンド内の流速測定

ポンプにより上流側領域に水をため, ポンプを停止してからの各計測位置における水頭変化を図-6 に示す. 上流側領域の水位 (P2) と下流側領域の水位 (P3) との水頭差により, 上流側領域からマウンドを通過して下流側へ水が流れる (Q_{out}). 流入が無ければ, 上流側水位の低下量 (Δh) より得られる上流側領域の貯水量の減少 ΔQ がマウンド通過流量 Q_{out} と一致する. しかし, 本実験ではポンプ停止後もしばらくは流入堰を超えて上流側領域に水が僅かに流入したため, この流入量 Q_{in} を本間の越流公式より推定することで, マウンド通過流量を求めた ($Q_{out} = \Delta Q + Q_{in}$). 得られたマウンド通過流量 Q_{out} をマウンド断面積で除することによりマウンド内流速が得られる.

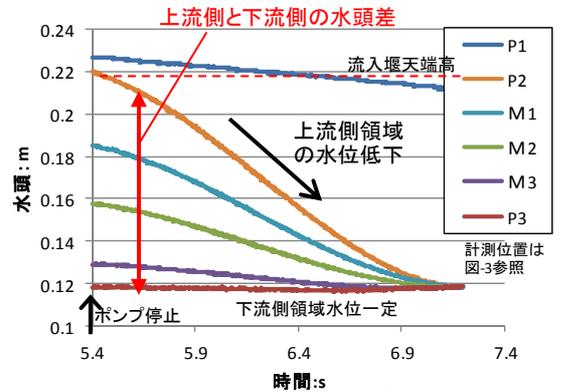


図-6 圧力計測から得られたポンプ停止後の各水頭変化

動水勾配とマウンド内流速との関係を図-7 に示す. 動水勾配の増加に伴いマウンド内流速が上昇する. 動水勾配 0.2 以上では流速は 0.2~0.25m/s 程度であり漸増する. 大きな津波が来襲しマウンドが不安定化する時は, 港外側から港内側への動水勾配は 1.0 近くになっていることが予想されるので, このような大きな動水勾配時の流速を得ることは今後の課題である.

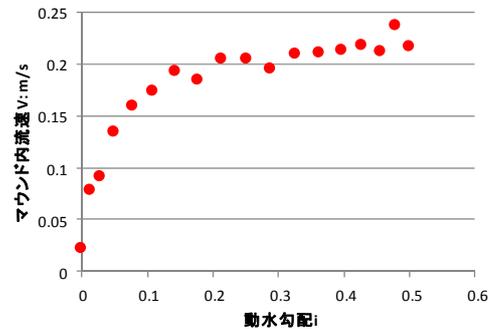


図-7 遠心力場透水試験から得られたマウンド内の動水勾配と流速の関係

5. まとめ

遠心力場津波実験において越流時のケーソン天端流速の測定を行うとともに, マウンド材の遠心力場透水試験によりマウンド内の流速を調べた. 天端流速は 3~5m/s であるのに対し, マウンド内流速は 0.2~0.25m/s であり, およそ 1 オーダー異なることが得られた.

参考文献: 1) 鶴ヶ崎ら: 津波による防波堤挙動に関する遠心模型実験, 第 50 回地盤工学研究発表会, 2015 (投稿中). 2) 高橋ら: 遠心力場における防波堤基礎地盤に対する津波浸透実験, 土木学会論文集 B3, 69-2, I_365-370, 2013.