遠心力場における防波堤捨石マウンド内の流速測定

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

1. はじめに

筆者らは、ドラム遠心載荷装置を用いた防波堤の津波実験より、津波越流によるマウンドの洗掘やマウンド 内浸透、ケーソン倒壊などの現象を調べてきた(図-1)¹⁾.津波対策工の検討や設計を行う上で、精度のよい 解析モデルの構築が今後の課題である.前報²⁾では、解析モデルの精度向上に必要な、現象の詳細理解を目的 に、津波越流時のケーソン天端流速や、マウンド内浸透流速について示した.ただし、マウンド内流速につい ては、中程度の津波における動水勾配時の推定にとどまった.本研究では、大津波来襲を想定して、より大き な動水勾配時まで対象を広げ、捨石マウンド内の間隙水圧や動水勾配一流速関係を遠心力場の透水実験で調べ るとともに、その結果を津波/構造物/マウンド系一体解析手法³⁾の検証データとして用いた.

2. 遠心力場におけるマウンド材の透水実験

<u>1)マウンド内浸透の相似則</u>地盤やマウンド内の浸透流の平均流速 v と動水勾配*i*の関係は,高橋ら(2013)⁴⁾を参考にすると, Dupuit-Forchheimerによる以下の式で表される.

$$i = a\overline{v} + b\overline{v}^2 \cdot \cdot \cdot (1), \quad a = \alpha_0 \frac{v}{Ng} \frac{(1-n)^3}{n^2 D_{15}^2}, \qquad b = \beta_0 \frac{1}{Ng} \frac{1-n}{n^3 D_{15}} \cdot \cdot \cdot (2)$$

ここで、 α_0 , β_0 :係数、 ν :間隙水の動粘性係数、n:地盤の間隙率、 D_{15} :地盤材料の15%粒径、Ng:遠心加速度である.浸透流が層流の 場合は式(1)の右辺第一項が卓越しダルシー則が成り立ち、浸透流が 乱流の場合は式(1)の右辺第二項が卓越する.マウンド内では、浸透 流は乱流であり、式(1)の右辺第二項が卓越し第一項は無視できるこ とが示されている⁴.上式(1)(2)から得られる浸透に関する相似

比を表-1に示す.遠心力場Ngにおいては、実物の1/N粒径のマウンド材料を用いることで、マウンド内浸透 流の平均流速は実物と模型とで一致することが特徴である.実験は遠心力場70gで実施した.実験に用いたマ ウンド材は、材質:花崗岩、比重:2.61、粒径:4.75~9mm(実物換算:35~65cmの石材)である.

2) 透水実験の方法 実験水路と模型を 図-2 に示す.ポンプより領域Aを通 じて領域B(港外)に水をためる.ポ ンプを停止したのち,マウンドを通過 して領域C(港外)へ流出する流量を 測定する.マウンド模型は礫材をフレ ームと網で包んだ矩形模型である(前 報²⁾参照).マウンドを矩形にした理 由は,浸透流の向きを水平とし,浸透 長さを明確にするためである.ケーソ

キーワード 遠心模型実験,津波,浸透,マウンド,透水

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



図-1 津波越流時の混成堤挙動^{1)に加筆}

表一1	浸透実験に関す	る相似比(式1,2に基く
-----	---------	--------------

		実物	1g場模型	遠心模型
実験 条件	遠心加速度	1	1	Ν
	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)	水圧や間隙水圧	1	1/N	1
	動水勾配	1	1	1
	係数b(式2)	1	Ν	1
	平均浸透流速	1	1/N ^{0.5}	1
	浸透時間	1	1/N ^{0.5}	1/N



ンは水平方向に動かないように固定している.

3. 実験結果

1)マウンド内の間隙水圧 浸透中のマウンド内間隙水圧分布 を図-3 に示す.透水実験の初期から終了頃までの代表時刻 ごとの分布を示している.港内外水位差が大きく平均的な動 水勾配が大きい時は、マウンド内で間隙水圧勾配は一定でな く、局所的に大きな勾配がマウンドの入口と出口付近に発生 している(t=14.5,15.0s).平均的な動水勾配が小さくなるに ついて、マウンド内で均一な勾配となる(t=16.0,16.5s).こ れは、港内外の水位差が大きい時は、マウンド内で局所的な 動水勾配の上昇がおこり、浸透によりマウンドが不安定化す る可能性があることを示している.

2)マウンド内の浸透流速 実験から得られた動水勾配とマウンド内流速との関係を図-4 に示す. 同図より,マウンド内の流速と動水勾配は i=b・v²の形で表されることが確認できる. 既往の遠心模型実験⁴⁾と同じ傾向が得られている. 図-4 には,円筒パイプを用いた 1g 場の簡易透水実験結果を表-1 の相似比を用いて実物換算した結果も示している. 結果は,遠心実験結果と同様の傾向を示しており,1g 場の透水実験であっても,表-1 の相似比を用いて大まかな流速推定が可能であるといえる.

4. 実験結果を用いた解析モデルの検証例

本研究の実験結果は基礎的なデータを提供することから, 解析モデルの検証に用いることができる.津波/構造物/マウン ド系一体解析に用いる SPH-DEM 連成解析手法³⁾から得られた 港内外水位差とマウンド内流速の関係⁵⁾を,実験結果と比較 して図-5に示す.解析結果は実験結果とよく整合しており, 本解析手法の妥当性が確認できる.



5. まとめ

津波時のマウンド内の浸透流速を遠心力場の透水実験によ

り調べた.1)港内外の水位差が大きい時は、マウンド内では局所的に大きな水圧勾配となる箇所が存在する. これは、マウンドの浸透による不安定化につながる可能性がある.2)マウンド内流速と動水勾配は i=b・v² の形で表されることを確認した.3)本研究の実験結果は解析手法の構築や確認に用いることができる.実際, SPH-DEM 連成解析から得られた港内外水位差とマウンド内流速の関係は実験結果とよく整合した.

参考文献

1) 鶴ヶ崎ら,越流時間の長い津波による混成防波堤の挙動,土木学会論文集 B2(海岸工学)71(2), I_1069·I_1074,2015.2) 宮本ら,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, 第70回年次学術講演会,341·342,2015.3) 岩本ら,津波による防波堤捨石マウンドの変形問題における流 体抗力モデルに基づいた SPH-DEM カップリング解析の適用性,土木学会論文集 A2(応用力学)71(2), I_579·I_586,2015.4) 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(海洋開発)69(2),I_365·I_370,2013.5) 岩本ら,SPH-DEM 解析を用いた津波越流による捨石マウンド の洗掘を伴う混成堤の変形シミュレーション,2016 年度応用力学シンポジウム(投稿中)