

ドラム型遠心模型実験による消波ブロック被覆堤マウンド下部地盤の間隙水圧挙動

神戸大学

学生会員

○田中 佑弥

東洋建設 (株)

正会員

宮本 順司

大阪大学

牛山 弘己

大阪大学

正会員

荒木 進歩

東洋建設 (株)

正 会 員

小竹 康夫

神戸大学

正会員

澤田 豊

1. はじめに

別報<sup>1)</sup>に示すように消波ブロック被覆堤下部における砂地盤の吸出し現象に着目したドラム型遠心模型実験(重力加速度の38倍)を実施した。本報では遠心模型実験を実施するに際して、使用した地盤およびマウンド浸透に関する相似則について述べる。加えて、砂地盤の吸出しに影響を及ぼすと考えられる地盤内やマウンド内の間隙水圧挙動・浸透流に焦点をあて、その詳細や実験時の観察により得られた知見を示す。

2. 地盤内浸透・マウンド内浸透に関する相似則

本実験では、遠心力場における浸透に関する相似則を満たすために式(1)~(3)に示す平均流速*v*と動水勾配*i*の関数およびDupuit-Forchheimer則(DF則)を用いた<sup>2)</sup>。

$$i=av+bv^2 \quad (1)$$

$$a=\alpha_0 \frac{v}{Ng n^3 D_{15}^2} \quad (2)$$

$$b=\beta_0 \frac{1}{Ng n^3 D_{15}} \quad (3)$$

ここに、 $\alpha_0, \beta_0$  : 係数、 $v$  : 水の動粘性係数、 $n$  : 地盤の間隙率、 $D_{15}$  : 15%粒径、 $Ng$  : 遠心力場の重力加速度 ( $N=38$ ) である。

このDF則に基づいて得られた地盤内やマウンド内浸透に関する相似比を表-1に示す。条件1の特徴は実物と同じ地盤材料で、間隙流体として実物の*N*倍の粘性流体を用いることで、地盤内浸透速度が実物と一致することである。条件2では、実物の $1/\sqrt{N}$ 倍の粒径を持つ地盤材料で、実物と同じ流体を用いることで、条件1と同様に地盤内浸透速度を実物と一致させることができる。一方、条件3の場合には実物と同じ地盤材料および間隙流体を用いているが、地盤内浸透速度が実物の*N*倍になり、実物の*N*倍の透水性を有している地盤を再現する条件となる。また、実験条件を表-2に示す。使用した地盤材料の粒径分布は図-1に示している。これより、大規模実験で用いた地盤材料とCase1, 2で用いた地盤材料の粒径は概ね一致している。加えて同図には、大規模実験<sup>3)</sup>の地盤材料の $1/\sqrt{38}$ の粒度曲線を示しているが、これはCase3で用いた非塑性シルト(昭和ケミカル製:DLクレイ)と同程度である。以上より、Case1は表-1の条件1の相似比に対応し、Case2は条件3、Case3は条件2に対応すると言うことができる。なお、別報<sup>1)</sup>で示されている結果はCase3(条件2)である。

3. 実験結果

本実験では約300-400波作用を1回として5回程度実施し、合計2000波程度を作用させた。結果として、Case1, Case2では吸出し現象は確認できず、Case3のみで確認できた。以下では主にCase3の結果を示す。

表-1 浸透に関する相似比

|                   | 実物                             | 条件1 | 条件2          | 条件3      |
|-------------------|--------------------------------|-----|--------------|----------|
| 実験条件              | 重力(遠心)加速度 <i>g</i>             | 1   | <i>N</i>     | <i>N</i> |
|                   | 全体寸法 <i>H</i>                  | 1   | $1/N$        | $1/N$    |
|                   | マウンド材粒径 <i>D</i>               | 1   | $1/N$        | $1/N$    |
|                   | 地盤15%粒径 <i>D</i> <sub>15</sub> | 1   | $1/\sqrt{N}$ | 1        |
|                   | 間隙水の動粘性係数 <i>ν</i>             | 1   | <i>N</i>     | 1        |
| 地盤内浸透<br>(層流想定)   | 係数 <i>a</i>                    | 1   | 1            | $1/N$    |
|                   | 平均浸透流速 <i>v</i>                | 1   | 1            | <i>N</i> |
|                   | 浸透時間 <i>t</i>                  | 1   | $1/N$        | 1        |
| マウンド内浸透<br>(乱流想定) | 係数 <i>b</i>                    | 1   | 1            | 1        |
|                   | 平均浸透流速 <i>v</i>                | 1   | 1            | 1        |
|                   | 浸透時間 <i>t</i>                  | 1   | $1/N$        | $1/N$    |

表-2 実験条件

| 実験Case               | 地盤材料                            | マウンド材           | 間隙流体            | 吸出しの有無 |
|----------------------|---------------------------------|-----------------|-----------------|--------|
| Case1                | ケイ砂7号<br>( <i>d</i> 50=0.15mm)  | 礫<br>4.75~9.5mm | 粘性流体<br>(水の38倍) | 無      |
| Case2                | ケイ砂7号<br>( <i>d</i> 50=0.15mm)  | 礫<br>9.5~19mm   | 水               | 無      |
| Case3                | 非塑性シルト<br>( <i>d</i> 50=0.02mm) | 礫<br>4.75~9.5mm | 水               | 有      |
| 大規模実験<br>(鈴木ら(2002)) | 砂<br>( <i>d</i> 50=0.2mm)       | 砕石<br>80~150mm  | 水               | 有      |

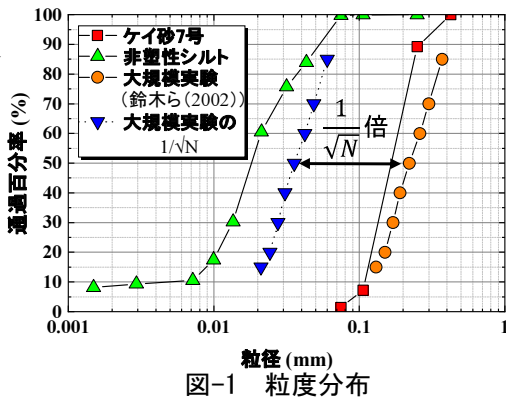


図-1 粒度分布

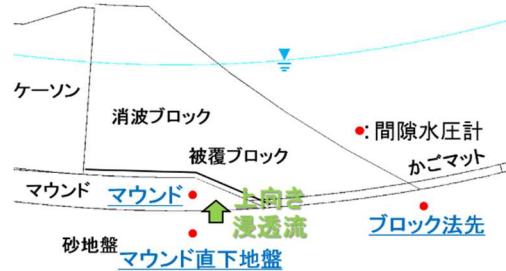


図-2 間隙水圧測定箇所

まず、消波ブロック直下のマウンド内と地盤内の間隙水圧挙動に着目する(図-3(a)). 波浪開始直後(0-400波)は、地盤が緩い状態のために地盤内の間隙水圧の上昇が観察される. 特に自由地盤の上昇が顕著である. 次に同じ地点の400-800波の挙動に注目すると上昇は確認できない(図-3(b)). 従って、図-3(a)のような間隙水圧の上昇は地盤が緩い時に生じることがわかる. また、詳しくマウンド内とマウンド直下地盤内の間隙水圧挙動に着目すると変動に差が生じており、これにより地盤からマウンドへの上向き浸透が周期的に発生している. ここで動水勾配 $i$ を求めると0.8程度であり、地盤の安定性に影響を及ぼしている(図-4(c)). 同様にCase1とCase2についても確認すると、Case1では $i=0.5$ 程度、Case2では $i=0$ 程度となり、動水勾配による上向き浸透流が吸出し現象に影響を与えたことが示唆される(図-4(a), (b)).

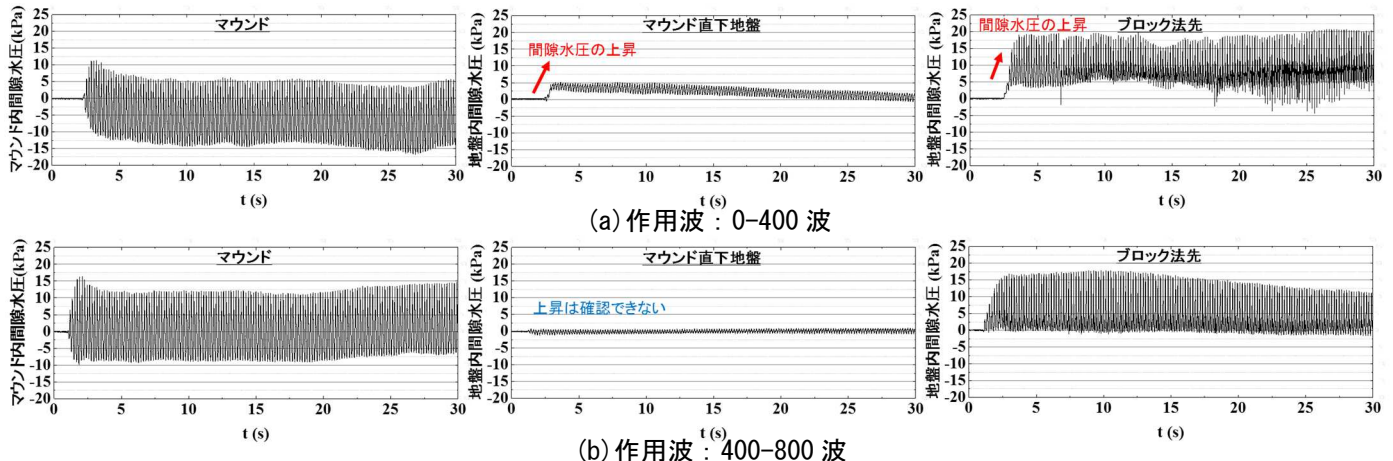


図-3 マウンド内・地盤内の間隙水圧挙動(Case3)

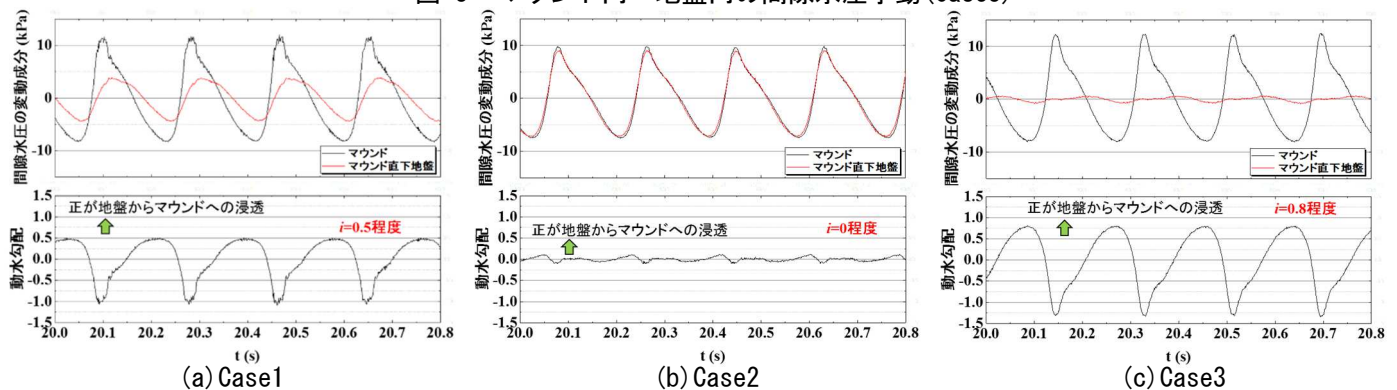


図-4 マウンド内・地盤内の間隙水圧変動と地盤-マウンド浸透流の動水勾配

また、Case1とCase3では両者共に浸透に関する相似則を満たしていることからCase1でも間隙水圧の上昇が観察されている. これよりCase1では吸出し現象は生じてないが、この間隙水圧の上昇によりマウンド法先部の著しい沈み込みを確認することができた(図-5).

#### 4. まとめ

本実験では、消波ブロック被覆堤下部における砂地盤の吸出し現象に対してドラム型遠心模型実験によるアプローチを行った. 結果として、先に実施された大規模実験<sup>3)</sup>と同様の結果を再現することができ、遠心模型実験の有効性を確認するとともに吸出し現象発生要因の一端を解明することができた. 最後に本研究は「水理模型実験における地盤材料の取り扱い方法に関する研究小委員会」の研究の一環として行われたことを付記する.

#### 参考文献

- 1) 荒木ら(2018): 遠心模型実験による消波ブロック被覆堤マウンド下部地盤の吸出し現象の再現, 第73回全国大会講演予定
- 2) 高橋ら(2013): 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, Vol.69, No.2, I\_365-I\_370.
- 3) 鈴木ら(2002): 砂地盤の吸い出しによる消波ブロック被覆堤のブロック沈下被災について, 港湾空港技術研究所報告, 第41巻, 第1号, pp.51-89.



図-5 Case1 法先部の沈み込み