

## 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

大阪大学	正会員	○荒木	進歩
神戸大学	正会員	澤田	豊
東洋建設	正会員	宮本	順司
大阪大学		牛山	弘己
神戸大学	学生会員	田中	佑弥
東洋建設	正会員	小竹	康夫

### 1. 研究の目的

遠心力を載荷した条件下で行う遠心模型実験は、海岸工学の分野においても津波時の防波堤マウンドの安定性評価や、暴浪時の地盤の不安定化などの問題等に適用されている。しかし、防波堤マウンド下部からの砂粒子の吸出しや、前面での洗掘に対しては検討例がない。本研究では、消波ブロック被覆堤マウンド下部の砂地盤の吸出しに関する実験を遠心力場の水路内で行い、マウンド下部からの砂の吸出しが確認された大規模実験（鈴木ら，2002）の結果と比較することにより、遠心力場での砂の吸出し現象の再現を目的とする。

### 2. 実験の概要

実験は図-1 に示すドラム遠心載荷装置内の円筒水路内において、重力加速度の 38 倍の遠心力を載荷して行った。円筒水路内に、鈴木ら（2002）の大規模実験の 1/38 縮尺の消波ブロック被覆堤模型を設置し、消波ブロック法先およびケーソン背後に圧力計、マウンドおよび砂地盤内に間隙水圧計を設置した。図-2 に消波ブロック被覆堤模型の断面を示す。砂地盤は大規模実験での粒子沈降速度と整合させるため、粒径 0.02 mm（大規模実験の約 1/10）の非塑性シルトを用いて作製した。この非塑性シルトの沈降速度は Stokes の式を用いて計算すると 1.4 cm/s となり、大規模実験での砂粒子の沈降速度 2.5 cm/s と同オーダーとなる。ケーソン下のマウンドは 4.75~9.5 mm の礫を用いて作製した。入射波は大規模実験で用いられた波高 1.7 m、周期 7 秒の規則波を 1/38 換算して、2000 波作用させた（ただし、波高は消波ブロック法先の底面圧力から換算した 1.7 m 相当の値である。詳細は宮本ら（2018）を参照）。写真-1(a)に造波前の消波ブロック被覆堤を示す。図-3 には、再現対象とする鈴木ら（2002）の大規模実験における最終断面を示す。マウンド下部から砂が吸出され、マウンドが沈下している。

遠心模型実験における Froude 相似則では、幾何縮尺を 1/N とするとき、重力加速度の N 倍の遠心力を載荷することにより、以下の関係が成り立つ。

$$H_p = N H_m \quad , \quad T_p = N T_m \quad (1)$$

ここに、 $H$ 、 $T$  はそれぞれ波高、周期で、添字  $m$ 、 $p$  はそれぞれ模型および原形を表す。

すなわち、時間の縮尺は幾何縮尺に等しい。これより、波高、周期および沈降速度  $\omega$  で表される Dean Number  $H/\omega T$  が、本実験と鈴木ら（2002）の大規模実験とで同オーダーとなる。

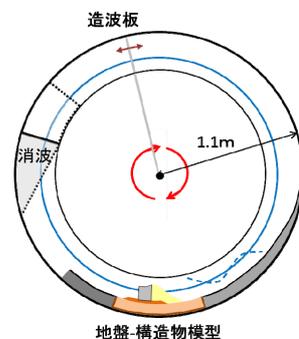


図-1 遠心力場の円筒水路

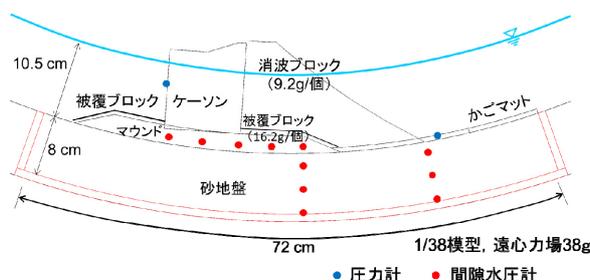
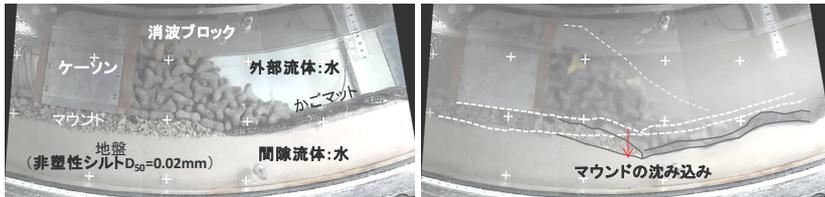


図-2 消波ブロック被覆堤模型断面

キーワード 遠心模型実験，吸出し，沈降速度，Dean Number，マウンド内流速

連絡先 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 大阪大学 大学院工学研究科 TEL06-6879-7614



(a) 造波前 (b) 2000波作用後  
写真-1 マウンド下部からの砂の吸出し

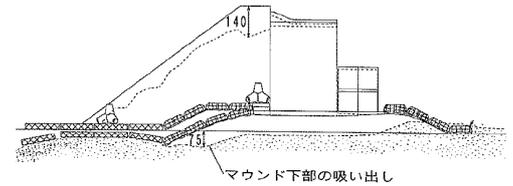
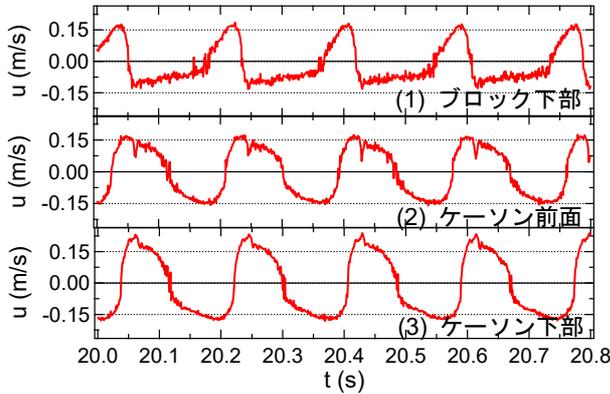
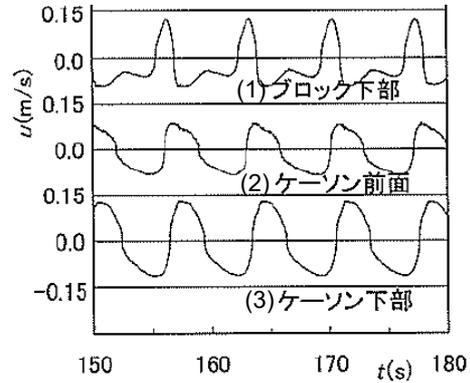


図-3 鈴木ら(2002)の実験結果



(a) 遠心模型実験(本研究)



(b) 大規模実験(鈴木ら, 2002に加筆)

図-4 マウンド内流速の時系列(岸向き流速を正, 沖向き流速を負)

### 3. 実験結果

写真-1(b)に, 2000波作用後の消波ブロック被覆堤を示す. マウンド下の砂地盤が吸い出され, マウンドの沈下が生じた. これは図-3に示す鈴木ら(2002)と同様の結果であり, 大規模実験で見られた現象が遠心模型実験により再現された.

現象の細部を確認するため, マウンド内で測定された間隙水圧からマウンド内浸透の動水勾配  $i$  を求め, 次式で表される Dupuit-Forchheimer 則を適用してマウンド内流速  $u$  を算定した.

$$i = au + bu^2 \tag{2}$$

ここに,  $a, b$  は係数であり, 遠心力場において, 本実験のマウンド構成材と同じ礫を用いて動水勾配と流速の関係性を求めた宮本ら(2016)の結果から,  $a = 0.0, b = 4.0$  とした.

図-4に, 算定されたマウンド内流速  $u$  の時系列を示す. 図-4(a)は本研究において算定された遠心模型実験での流速, 図-4(b)は鈴木ら(2002)の大規模実験で測定された流速である. 流速の算定地点(1), (2)および(3)は図-5に示す通りである. 岸向き(正)および沖向き(負)の最大値は, 遠心模型実験における流速が各地点ともやや大きい, 概ね等しい. また, マウンド下部砂地盤の吸出しには, 消波ブロック下部で顕著な流速波形の岸沖非対称性が影響すると考えられるが, 遠心模型実験において算定された流速波形は, 大規模実験で測定された流速波形をよく再現していることが確認できた.

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

鈴木高二郎, 高橋重雄, 高野忠志, 下迫健一郎(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の沈下被災について—現地調査と大規模実験—, 港湾空港技術研究所報告, 第41巻, 第1号, pp. 51-89.  
 宮本順司, 鶴ヶ崎和博, 岩本哲也, 中瀬 仁(2016): 遠心力場における防波堤捨石マウンド内の流速測定, 土木学会第71回年次学術講演会, III部門, pp. 1-2.  
 宮本ら(2018): ドラム遠心実験における波浪特性の観察, 土木学会第73回年次学術講演会, II部門(投稿中)

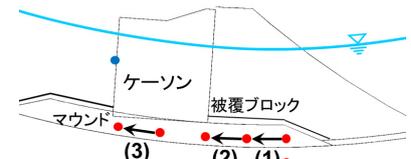


図-5 流速算定地点