

## 実験スケールと地盤材料条件が矢板周りの浸透破壊現象に及ぼす影響の評価

豊橋技術科学大学 学生会員 安藤 優希, 堀口 翔平  
豊橋技術科学大学 正会員 松田 達也, 内藤 直人, 三浦 均也

### 1. 研究背景と目的

縮尺模型実験は、実物と模型の相互関係において幾何学的相似性や力学的相似性を満足しなければ、実現象を再現することはできない<sup>1)</sup>。水理実験において流体挙動に対して重力と慣性力が支配的となる現象を対象とする場合、フルード則が適用される。例えば、フルード則に従う移動床実験を行う場合、地盤材料についてフルード則を適用すると、実物が砂の場合でも縮尺比によってはシルトや粘土などの材料を使用しなければならず、力学的特性が異なってしまう<sup>2)</sup>。

本研究では、矢板周りの浸透破壊現象を対象に、異なるスケールの模型において、粒径や相対密度などの地盤条件を変化させた実験を行い、地盤内の水圧応答や破壊現象、土砂移動現象を分析し、現象に対する模型実験の再現性を踏まえて地盤材料の取り扱いについて考察を行った。

### 2. 浸透破壊実験の概要

実験装置の概略図を図-1 に示す。本研究では、3つのスケールで実験を実施した。以下、小型実験、中型実験、大型実験と称す。小型模型は大型模型の1/8スケール、中型模型は大型模型の1/2スケールと、模型装置の寸法を表-1 に示す。

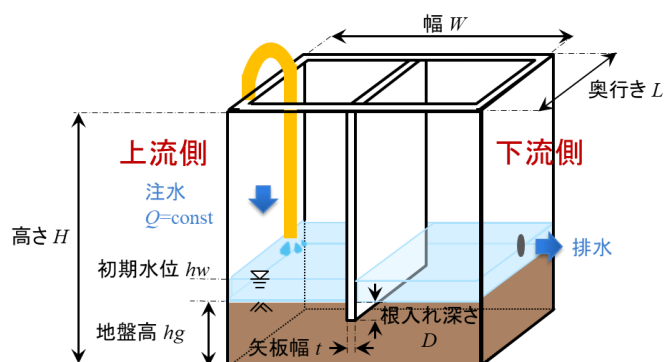


図-1 模型実験装置の概略図

表-1 模型装置の寸法

(mm)	$H$	$W$	$L$	$t$	$D$	$h_g$	$h_w$
小型	145	150	39	3	13	38	15
中型	600	600	200	10	50	150	50
大型	1200	1200	400	20	100	300	100

実験で用いた地盤材料は珪砂 8 号 ( $D_{50} = 0.109$  mm), 珪砂 7 号 ( $D_{50} = 0.168$  mm), 豊浦砂 ( $D_{50} = 0.189$  mm) であり、地盤は水中落下法により所定の密度となるように作製した。上流側への流入条件はフルード則を考慮した流量 (大型:  $242.7 \text{ cm}^3/\text{s}$ ; 中型:  $42.9 \text{ cm}^3/\text{s}$ ; 小型:  $1.29 \text{ cm}^3/\text{s}$ ) となるようにポンプで与えた。中型及び大型実験は地盤内の間隙水圧を計測するため、矢板周りに沿って合計 7 箇所間隙水圧計を設置した。本稿では紙面の都合上、相対密度  $D_r = 40\%$  の条件で実施したケースの結果について説明する。

### 3. 実験結果

相似性を調べるため、フルード則に従い、長さスケールと時間スケールを小型実験では 8 倍と  $2\sqrt{2}$  倍、中型実験では 2 倍と  $\sqrt{2}$  倍となるように、各実験で得られた値に乗じて比較する。

#### 3.1 破壊・最大水位差と有効応力

表-2 は各ケースにおける破壊・最大水頭差を示す。浸透破壊過程において、破壊水頭差とは下流側の地盤が 1mm 隆起し始めた時点、最大水位差とは浸透破壊が生じる直前の水位差が最大値になる時点と定めている。小型実験は中型・大型実験より早く破壊する傾向がある。破壊・最大水位差の小型実験では珪砂 8 号が大型実験に近い値を示し、中型実験では珪砂 8 号及び珪砂 7 号と近い値を示している。

図-2 は中型及び大型実験の各ケースの有効応力を示す。大型実験の有効応力  $\sigma' = 0$  に至る時点まで中型実験の各ケースは近似している。珪砂 8 号は大型実験と同様の 350s 付近で浸透破壊が生じた。一方で珪砂 7 号と豊浦砂は 450s 付近で浸透破壊が生じた。破壊・最大水位差の観点からも粒径が大きくなるに従い耐力が大きいことが伺える。

表-2 破壊・最大水位差

	破壊水位差 [mm]			最大水位差 [mm]		
	小型	中型	大型	小型	中型	大型
珪砂 8 号	240	266	—	300	308	—
珪砂 7 号	210	271	—	325	330	—
豊浦砂	226	314	253	330	370	291

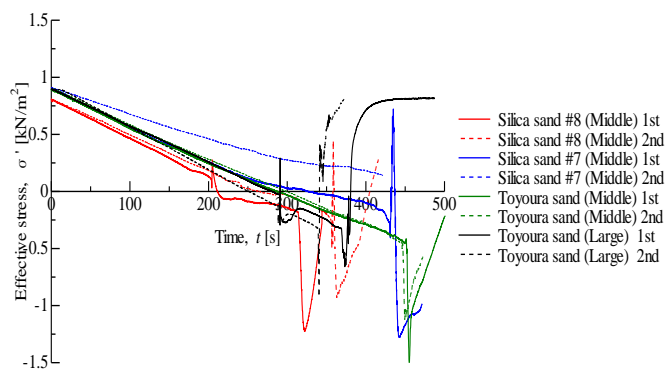


図-2 有効応力 ( $D_r = 40\%$ )

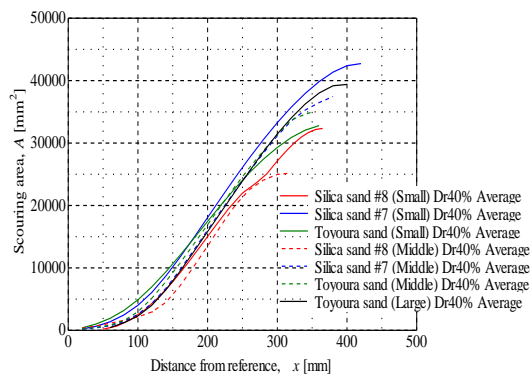


図-5 洗堀面積 ( $D_r = 40\%$ )

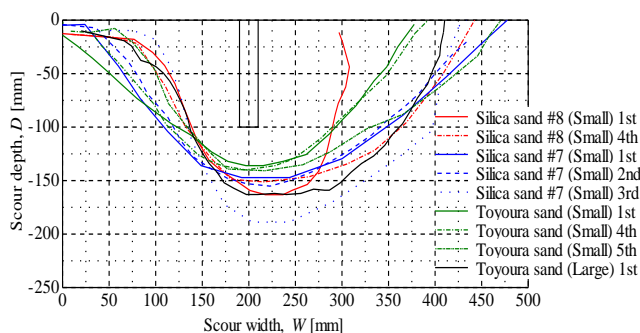


図-3 最大洗堀形状 (小型,  $D_r = 40\%$ )

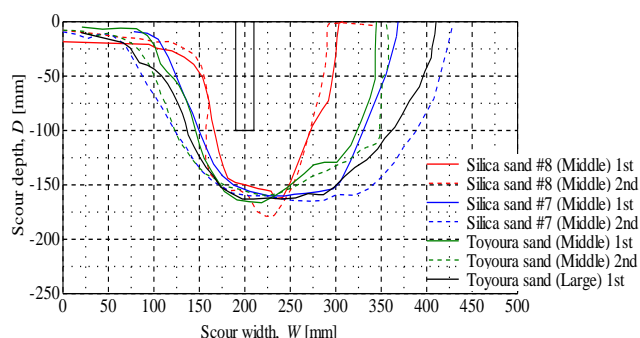


図-4 最大洗堀形状 (中型,  $D_r = 40\%$ )

### 3.2 最大洗堀形状と洗堀量

図-3 と図-4 に最大洗堀深に至った時点の大型実験に対する小型実験と中型実験の洗堀形状を示す。また、図-5 は各実験ケースにおいて 500mm 間隔の洗堀深座標データから 20mm 間隔ごとの洗堀面積を算出し、上流側に定めた基準点から下流側に向かって洗堀面積を累積した結果を示している。洗堀量については小型実験、中型実験共に珪砂 7 号が大型実験に近い傾向を示すことがわかった。

### 4. Dean Number による地盤材料の選定

漂砂実験では土粒子の沈降速度に関する相似則である Dean Number が用いられる。本実験においても Prototype の地盤材料を大型実験の豊浦砂 ( $D_{50p} = 0.19$

表-3 Dean Number を考慮した地盤材料の平均粒径

Prototype	Model	縮尺比	$D_{50m}$ [mm]
大型実験	小型実験	1/8	0.097
大型実験	中型実験	1/2	0.137

mm) としたうえで、Dean Number を適用した際の各縮尺比での地盤材料の平均粒径  $D_{50m}$  を表-3 に示す。この場合、小型実験では珪砂 8 号に近い粒径、中型実験では珪砂 8 号と珪砂 7 号の間に位置する粒径の材料を用いることになる。ここで、実験結果を確認すると、破壊・最大水位差は小型・中型実験において珪砂 8 号と珪砂 7 号が比較的相似するため、選定結果と一致する。一方で、浸透破壊後の現象である洗堀量に関しては一概に相似性が見られなかった。

### 5. 結論

矢板周りの浸透破壊現象を対象に、異なるスケールの模型において、粒径や相対密度などの地盤条件を変化させて現象を考察した。Dean Number のように粒子挙動に影響を与える速度比を踏まえた地盤材料を用いて実験を実施することで浸透破壊直前における実現現象の再現性が得られる可能性が示唆された。密詰め地盤でも分析を進めており、詳細は発表時に報告する。

### 参考文献

- 1) 江守一郎, 齊藤孝三, 関本孝三: 模型実験の理論と応用 (第3版), 技報堂出版, 2000.
- 2) 土木学会海岸工学委員会 水理模型実験における地盤材料の取扱方法に関する研究小委員会: 水理模型実験の理論と応用—波動と地盤の相互作用—, 土木学会, 2021.
- 3) 松田達也, 三浦均也, 佐藤隼可, 諫山恭平, 澤田弥生: Dean Number を適用した移動床造波水路実験における地盤内水圧応答, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.73, No.2, pp.I\_1117-I\_1122, 2017.