

## 1. 研究背景及び目的

津波は主として大規模な地震によって引き起こされる深刻な自然災害であり、特に沿岸部における陸上構造物への被害は重大な問題となっている。近い将来、南海トラフ地震が発生し、太平洋沿岸の広範囲で大規模な津波の襲来が予想されている。このような状況の中、現在津波避難タワーが各地で建設されている。津波避難タワーには、下部に壁を設けない柱のみの構造を有するピロティ構造が多く採用されている。これまでに、池谷ら<sup>1)</sup>は、単体の柱体が持つ抗力係数はフルード数の関数で表現できることを明らかにした。しかしながら、複数の柱を有するピロティ構造に関する研究は未だ少なく、複数の柱による相互作用の影響は十分に解明されていない。そこで本研究では、水理模型実験を実施し、ピロティ構造の柱間隔を変化させた際の津波波力及び抗力係数への影響を実験的に明らかにすることを目的とする。

## 2. 実験条件

実験は全長 44 m、幅 0.7 m、高さ 1.2 m からなるダムブレイク型の屋外二次元水槽を用いて行う。水路内には 1/40、1/100 の水路床が設置されており、沖側端部から 28.4 m に模型中心が来るように設置している。模型は図-1 のように、直径  $D=10$  mm、高さ 150 mm の木製円柱を正方配置することによって作成し

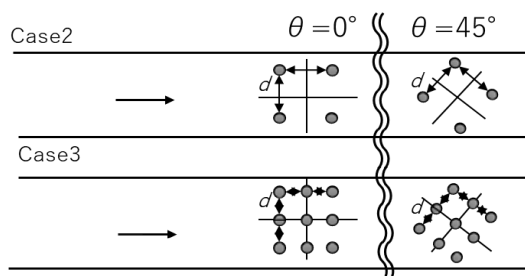


図-1 実験水路概要

た。模型設置条件を表-1 に示す。柱間隔を 0~45 mm、波の入射角度を 0°、45°と変化させ、多様な条件下

表-1 模型設置条件

| Case No. | 配置条件 | Case No. | 配置条件 | 柱間隔 $d$ (mm) | 入射角度 $\theta$ (°) |
|----------|------|----------|------|--------------|-------------------|
| 2-0-0    | 2×2  | 3-0-0    | 3×3  | 0            | 0                 |
| 2-0-45   |      | 3-0-45   |      | 0            | 45                |
| 2-7.5-0  |      | 3-7.5-0  |      | 7.5          | 0                 |
| 2-7.5-45 |      | 3-7.5-45 |      | 7.5          | 45                |
| 2-10-0   |      | 3-10-0   |      | 10           | 0                 |
| 2-10-45  |      | 3-10-45  |      | 10           | 45                |
| 2-15-0   |      | 3-15-0   |      | 15           | 0                 |
| 2-15-45  |      | 3-15-45  |      | 15           | 45                |
| 2-30-0   |      | 3-30-0   |      | 30           | 0                 |
| 2-30-45  |      | 3-30-45  |      | 30           | 45                |
| 2-45-0   |      | 3-45-0   |      | 45           | 0                 |
| 2-45-45  |      | 3-45-45  |      | 45           | 45                |

表-2 波条件

| 貯水池側の水位 (cm) | 水路側の水位 (cm) | 最大浸水深 $h$ (cm) | 最大流速 $v$ (m/s) | 最大フルード数 $Fr$ |
|--------------|-------------|----------------|----------------|--------------|
| 59.5         | 47          | 4.84           | 1.24           | 3.22         |

で実験を実施した。Case 番号の先頭の数字は各辺の柱本数を表しており、中央の数字は柱間隔、後方の数字は波の入射角度を示している。

計測には、容量式波高計、プロペラ式流速計、6 分力計を使用した。表-2 に示すように、通過波検定にて模型設置中心位置での最大浸水深  $h$  及び最大流速  $v$  を測定した。波力の計測におけるサンプリング周期は 1 ms とし、30 秒間計測を行った。計測された波力データにおいては、電気的なノイズを除去するために FFT 解析を行い、10 Hz 以上の周波数成分を除去した。

## 3. 実験結果

### (1) 波力への影響

各 Case における最大波力  $F_{max}$  と柱間隔  $d$  の関係を図-2 に示す。全ての Case で柱間隔が広がるにつれ、最大波力が上昇してピークをとり、その後下降し、再度上昇しながら安定する傾向を示した。また、柱本数が多いほど、波力が増大した。さらに、波の入射角度が 45°では 0°と比較し、波力が増大した。これは、

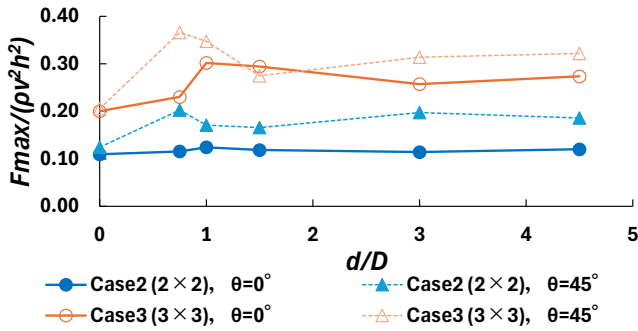


図-2 最大波力と柱間隔の関係

どちらも流れ方向からの柱の投影面積が増大したためである。また、波の入射角度に着目すると、 $\theta=0^\circ$ では、 $d/D=1.0$ で最大となり、 $\theta=45^\circ$ では、 $d/D=0.75$ で最大となった。 $\theta=0^\circ$ の $d/D \leq 0.75$ においては、柱間隔が狭隘であるため、前面の柱への波の衝撃力が卓越する。 $0.75 \leq d/D$ では、波が柱の間を通過することで後面の柱に波が作用し、 $d/D=1.0$ で波力が最大となったと推測される。また、 $\theta=45^\circ$ では、間隔を有さない $d=0$  mmの模型において柱同士の重複が生じたことから、物理的な波の投影面積の増加に加え、波の減衰を受けずに波が作用し、 $d/D=0.75$ で波力が最大となった。

(2) 抗力係数への影響

本実験では投影面積による影響を正規化するために、柱間隔を有する構造物における、柱1本あたりの平均的な抗力係数を算出し、比較した。抗力係数の算出には式(1)に示すような抗力式<sup>2)</sup>を用いた。なお、最大浸水深 $h$ 及び最大流速 $v$ は通過波検定にて得られた表-2を使用した。

$$C_{D/n} = \frac{F_{max/n}}{\frac{1}{2}\rho v^2 h D} \quad (1)$$

ここで、柱本数 $n$ について2種類の方法を考えた。1つ目は、ピロティ構造を1つの構造物として捉え、波向き方向から見える柱本数を $n$ とした( $C_{D/n①}$ )。2つ目は、個々の柱が独立していると捉え、全ての柱本数を $n$ とした( $C_{D/n②}$ )。図-3に $\theta=45^\circ$ における $C_{D/n①}$ の結果を示し、図-4に $\theta=0^\circ$ における $C_{D/n②}$ の結果を示す。図-3及び図-4の結果より、 $d/D \geq 3.0$ では、Case2及びCase3の柱1本あたりの平均的な抗力係数が概ね一致していることから、柱同士の相互作用が失われ、抗力係数が安定することが明らかとなった。また、図-3より $\theta=45^\circ$ では、波向き方向から見

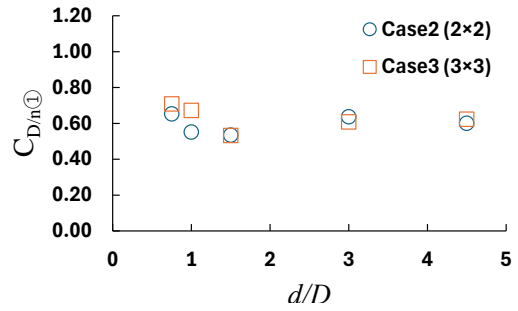


図-3  $\theta=45^\circ$ における抗力係数( $C_{D/n①}$ )

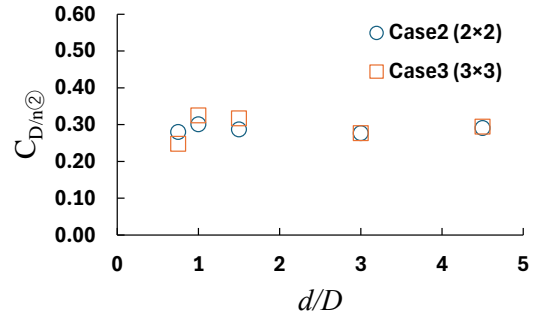


図-4  $\theta=0^\circ$ における抗力係数( $C_{D/n②}$ )

た柱による影響が卓越することが明らかとなり、ピロティ構造を迂回する流れが強まることで構造物内部侵入する波が抑えられることが示された。さらに図-4より $\theta=0^\circ$ では、波が構造物内部に侵入しやすいため、個々の柱が抗力係数に与える影響が顕著となることが明らかとなった。

4. まとめ

本研究では、柱の配置条件を幅広く変更することで、津波波力や抗力係数に与える影響を実験的に解析した。その結果、無次元最大波力は、 $\theta=0^\circ$ において $d/D=1.0$ で最大となり、 $\theta=45^\circ$ においては $d/D=0.75$ で最大となることが示された。また、 $d/D \geq 3.0$ では柱同士の相互作用が失われ、抗力係数が安定することが明らかとなった。さらに、抗力係数の算出方法について、 $\theta=0^\circ$ では構造物全体の柱本数を用いて評価できるのに対し、 $\theta=45^\circ$ では波向き方向の柱本数を用いて評価できることが明らかとなった。

【参考文献】

- 1) 池谷毅ら:圧力分布を考慮した柱体に作用する津波波力評価モデル, 土木学会論文集 B3(海洋開発), 70巻2号 p.1\_396-0\_401, 2014
- 2) 玉井信行, 有田正光共著: 大学土木 水理学 改訂2版, オーム社, 平成29年, p.101