

# 1) 構造研究グループ

## 1) - 7 洪水等による建築物の設計用荷重の提案【安全・安心】

### Design Loads for Buildings under Flood and Tsunami Conditions

(研究開発期間 令和4~6年度)

構造研究グループ  
Dept. of Structural Engineering

高館 祐貴  
Yuki TAKADATE

Design loads for flood and tsunami conditions are investigated based on hydraulic experiments and computational fluid dynamics (CFD) simulation. First, drag force coefficients on buildings with various shapes are examined using hydraulic experiments. The mean drag force coefficients exhibit a wide range value depending on the inflow conditions. Next, mesh resolution for CFD simulation is evaluated through a convergence analysis. The results indicated that the flow pattern behind a square cylinder changed significantly with higher mesh resolution. Finally, the influence of upstream obstruction on load reduction were analyzed by considering two buildings with different angles relative to the flow. These findings highlighted the importance of accurate drag coefficient estimation and appropriate mesh resolution selection for reliable load predictions. Furthermore, the results suggest that upstream structures can mitigate hydrodynamic forces, contributing to resilient building design.

#### [研究開発の目的]

東日本大震災や近年の河川氾濫によって津波や洪水(洪水等)に対して建築物を安全な構造とするために建築物の外力についての基準が定められた。しかし、水流によって建築物に作用する外力を検討した例は極めて少なく、建築物に作用する荷重を必ずしも合理的に設定できているとは限らない。令和3年11月に新たに施行された特定都市河川浸水被害対策法(以下、特定都市河川法)の告示(告示1392号)では、建築物に作用する外力をハザードマップ等によって与えられる「浸水深と流速」を用いてできるだけ安全側に荷重を与えることとした。この時、建築物の形状によって決まる抗力係数は正方形角柱に対する実験結果に基づいて設定されたため、対象とする建築物の形状や立地条件によっては荷重を必ずしも適切に設定されているとは限らない。安全かつ合理的な荷重を設定するためには、建築物に作用する荷重を精緻に評価する必要があると考えられる。

本研究ではこうした洪水等の水流によって単体建築物に作用する抗力を水理実験および数値流体解析によって明らかにすることを目的とする。また、建築物が複数棟配置された場合の荷重の低減効果についても明らかにすることで、建築物に作用する洪水等の荷重を合理的に評価するための知見を得ることを目的とする。

#### [研究開発の内容・結果]

##### ① 水理実験による建築物の抗力係数の検討

水理実験は秋田工業高等専門学校が所有する実験水路で実施した。水路は長方形断面形状であり、水路の長さ約15m、幅は0.6m、高さは0.8mである。図1に測定

模型および流速計と波高計の設置概要を示す。流下方向の流速はプロペラ式流速計(測定範囲: ±0.03~3m/s)、水深は容量式波高計(測定範囲: 0.1~1m)を用いて模型の前方および後方の流れの影響を受けにくい位置でそれぞれ計測した。単体建築物の抗力の測定にあたっては5種類の形状を対象とし、1辺が40mm、60mm、80mmの正方形角柱、短辺が80mmで長辺が160mmの正方形角柱、直径が80mmの円柱とした。評価時間は1セット60秒として各統計量は5回の計測のアンサンブル平均で評価した。実験では、流入条件としての貯水高さを60mmから

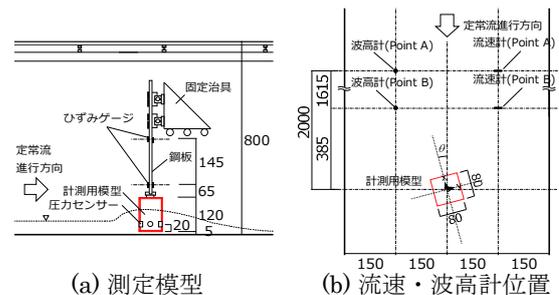


図1 水理実験の概要

表1 貯水高さ とフルード数の時間平均値

| 貯水高さ[mm] | 60 mm | 80 mm | 100 mm | 120 mm |
|----------|-------|-------|--------|--------|
| $Fr$     | 0.713 | 0.693 | 0.730  | 0.709  |

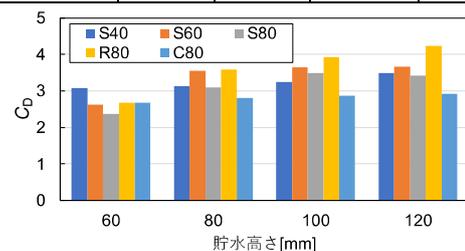


図2 平均抗力係数( $\theta=0^\circ$ )

100mmまで変化させて複数の流入条件に対して実験を行った。表1に模型のない状態で測定した貯水高さとフルード数の時間平均値の関係を示す。貯水高さの変化によって流量は変化するが、今回の実験においては、フルード数の大きさはほとんど変化がない。

建築物に作用する抗力は鋼板で模型を上から吊り下げ、水平方向の外力によって生じる鋼板のひずみによって算出した。図2に模型が流れに正対する条件で得られた平均抗力係数  $C_D$  を示す。多くの条件で  $C_D$  は告示1392号の値 ( $C_D=2.1$ ) を上回るものとなった。抗力係数の大きさは、水路の閉塞率も影響するため、閉塞率が抗力係数に及ぼす影響も検討する必要があると考えられる。

### ② 数値流体解析の解析条件の整理

数値流体解析にはオープンソースのCFDのコードである OpenFOAM(v2112)を用いた。支配方程式は連続式と Navier-Stokes 方程式であり、気層と液層の解法には VOF 法を用いた。解析には Large Eddy Simulation(LES)を用いて、サブグリッドスケール応力の計算には WALE モデル(モデル定数:  $C_w=0.325$ )を用いた。詳細は文献<sup>1)</sup>を参照されたい。解析領域は実験水路の一部を切り出した形としており、幅 0.6m、高さ 1.0m、長さ 2.4m とした。なお、解析対象モデルは実験と同様に 1 辺  $B=0.08m$  で高さ  $H=0.12m$  の正方形角柱とした。メッシュ分割を細かくすることで、端部での流れの剥離が明瞭になり、それに伴って背面の波高が低くなることから  $C_D$  が高くなる傾向にある。メッシュ分割の方法による結果を比較するために、図4にメッシュを徐々に細かくした方法(B80)と八分木法で得られた  $z=0.05m$  での瞬間的な気液混合率を示す。八分木法では格子が急激に細くなる部分で流れが不連続になっている。したがって、八分木法を用いる場合は気液混合率の不連続な変化を考慮した上で適切な解が得られているかを十分に確認する必要があると考えられる。

### ③ 複数棟や配置による荷重低減効果について<sup>2)</sup>

複数棟配置による荷重の低減効果を明らかにするために、ここでは基本的な配置形状として 2 棟配置を対象とする。図5に 2 棟配置の定義における  $\theta$  の定義と無次元化平均抗力  $F/F_s$  の関係を示す。ここで、 $\theta$  は障害物模型と計測用模型の中心を結ぶ直線と津波進行方向とのなす角度である。つまり、 $\theta=0^\circ$  は直列配置、 $\theta=90^\circ$  は並列配置に対応する。 $F_s$  は 1 棟のみの場合の抗力、 $F$  は 2 棟配置での計測用模型に作用する抗力である。図にはこれまでの研究より得られたダム崩壊型実験および解析の無次元化波力も合わせて示しているが、無次元化抗力  $F/F_s$  は  $\theta=0^\circ$  の時に最も小さく、 $0^\circ < \theta \leq 45^\circ$  の範囲においては  $\theta$  が大きくなるにつれて  $F/F_s$  の値が大きくなる傾向がある。

表1 メッシュ分割のパターン

| Case | 分割数 | 基準メッシュサイズ                       | 総メッシュ数(モデル有) |
|------|-----|---------------------------------|--------------|
| B10  | 10  | $8.0 \times 10^{-3} m$ (8.0 mm) | 164,000      |
| B20  | 20  | $4.0 \times 10^{-3} m$ (4.0 mm) | 550,000      |
| B40  | 40  | $2.0 \times 10^{-3} m$ (2.0 mm) | 1,847,000    |
| B50  | 50  | $1.6 \times 10^{-3} m$ (1.6 mm) | 3,241,000    |
| B80  | 80  | $5.0 \times 10^{-4} m$ (0.5 mm) | 9,355,000    |

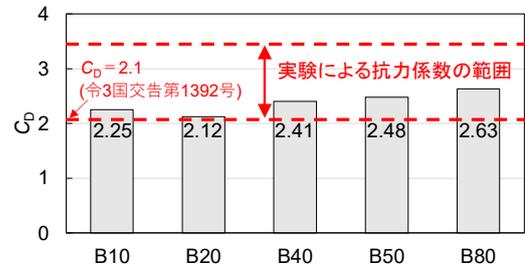


図3 平均抗力係数(Bの後の数字は1辺の格子分割数)

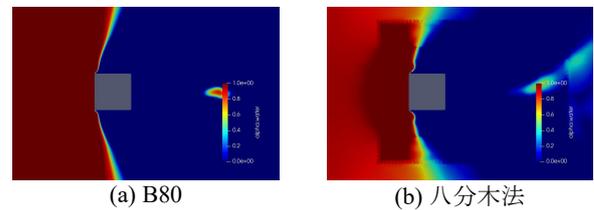


図4 瞬間的な気液混合率( $z=0.05m$ )

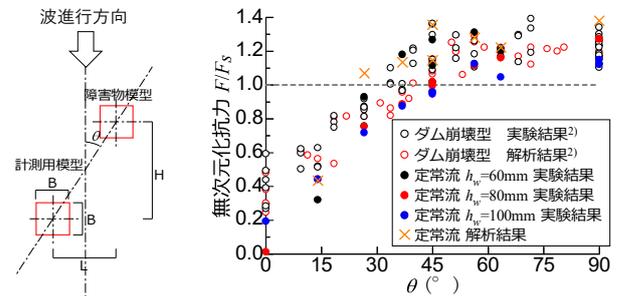


図5  $\theta$  の定義と  $\theta$  と無次元化抗力  $F/F_s$  の関係

$45^\circ < \theta \leq 90^\circ$  では、無次元化抗力が 1.0 を超え、 $\theta$  によらず一定の傾向を示す。本研究の範囲において、無次元化抗力が 1.0 となる境界はおおむね  $30^\circ < \theta \leq 45^\circ$  であることが分かる。既往のダム崩壊型の実験および数値流体解析と同様に、定常流下においても  $\theta$  が増加すると  $F/F_s$  が増加する関係性があることが示された。

### 【参考文献】

- 高舘祐貴, 小幡昭彦, 寺本尚史, 丁威: 開水路定常流下における洪水荷重の評価のための数値流体解析手法の検討, 日本建築学会技術報告集, Vol. 30, No. 75, pp. 608 – 613, 2024
- 小幡昭彦, 寺本尚史, 高舘祐貴, 丁威: 開水路定常流下における上流に障害物を有する建築構造物の抗力に関する検討, 日本建築学会技術報告集, Vol. 30, No. 74, pp. 23 – 28, 2024