開口部を有する建築物に作用する津波波力に関する水理実験

防衛大学校　学生会員　○鈴木　若菜
防衛大学校　正会員　鴫原　良典
防衛大学校　学生会員　ホ　ソン

1. 背景と目的

防波堤や防潮堤を乗り越える大規模な津波が発生した際, 緊急避難先として津波避難ビルが有力視されているが, 建築分野での津波対策は不十分であり, 建築物内部に津波が流入した際の影響を考察する必要がある. そこで本研究では, 形状の異なる建築物模型に津波波力を作用させる実験を行い, 津波の特性及び波力の推定について検討した.

2. 実験概要

建築物に作用する津波として遡上波と砕破段波の 2 種類をモデル化した. 実験条件を表-1 に, 実験水路を図-1 に示す. 本実験では全長が 17m, 幅 0.4m, 高さ 0.3m の開水路を使用し, ゲートの急開によって津波を模擬した波を生成した. 図-2 に実験で使用した建築物模型の諸元を示す. 建築物模型は 3 階建てのビルを想定し、形状の異なる 3 種類（開口なし, 開口あり, ピロティ型）をそれぞれ 1/80 で縮尺している. 実験に際しては, 静水深 h_0 を 50cm, 45cm, 40cm の 3 通りとした上で, h_1 を 30cm としたときの波をドライベッド上の遡上波, h_1 を 33cm としたときの波を砕破段波とそれぞれ定義した.

計測したパラメータは建築物模型前面の津波流速, 開水路上の各地点及び建築物模型前面の水位, 建築物模型に作用する水平波力及び鉛直力である. 津波流速についてはプロペラ式流速計, 水位については容量式波高計及び超音波波高計, 水平波力及び鉛直力については 3 分力計を用いて計測した. データのサンプリング間隔は 1/1000 秒とし, ゲート開放から 20 秒間の計測を行っている. なお, 全てのケースについて建築物模型を設置した状態で実験を行ったほか, 建築物模型を除いた状態で通過波を計測し, 3 回の再現性の高いデータが得られるまで計測を行っている. 分析に際しては, 津波流速及び前面水位については建築物模型を除いた場合の通過波のデータを採用した.

表-1　実験条件

Case	h0	h1	模型	波の形態	Case	h0	h1	模型	波の形態
0-1	50	30		遡上波	2-1	50	30	開口あり	遡上波
0-2	45	30		遡上波	2-2	45	30	開口あり	遡上波
0-3	40	30		遡上波	2-3	40	30	開口あり	遡上波
0-4	50	33		砕破段波	2-4	50	33	開口あり	砕破段波
0-5	45	33		砕破段波	2-5	45	33	開口あり	砕破段波
1-1	50	30	開口なし	遡上波	3-1	50	30	ピロティ	遡上波
1-2	45	30	開口なし	遡上波	3-2	45	30	ピロティ	遡上波
1-3	40	30	開口なし	遡上波	3-3	40	30	ピロティ	遡上波
1-4	50	33	開口なし	砕破段波	3-4	50	33	ピロティ	砕破段波
1-5	45	33	開口なし	砕破段波	3-5	45	33	ピロティ	砕破段波

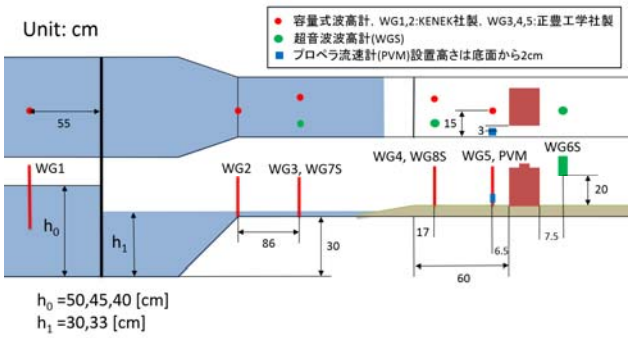
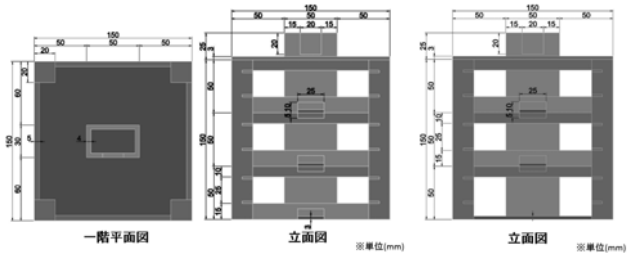


図-1　実験水路



(a)開口あり　　(b)ピロティ型

図-2　建築物模型

3. 結果と考察

(1) 実験結果

Case0-1 について, 建築物模型位置（WG5）での通過波の津波流速及び水位の時系列を図-3 に示す. これは実スケール（フルード相似則）で最大流速 17.9[m/s], 最大浸水深 4[m]の津波に相当し, フルード数は約 1.8 である. 図-4 は 3 分力計による建築物模型に作用する水平波力及び鉛直力の時系列（Case2-1）であり, ここに示す波力は実スケールで最大水平波力が 6999[kN], 最大鉛直力が 4503[kN]である. 図-5 は建築物模型に作用する水平波力と鉛直力の最大値分布である. 水平波力は開

キーワード　津波, 波力
連絡先　〒239-8686　横須賀市走水 1-10-20　防衛大学校建設環境工学科　TEL. 046-841-3810 E-mail：shigi@nda.ac.jp

口なし，開口あり，ピロティの模型の順に小さくなり，開口部が多いほど受ける水平波力は小さくなることがわかった．鉛直力は開口がない場合は浮力により上向きに作用するが，開口ありやピロティの場合は，模型内部に入り込んだ水の重さにより下向きに作用することがわかった．

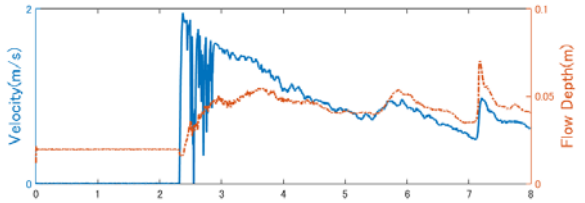


図-3　津波流速及び模型前面の水位の時系列（通過波，Case0-1）

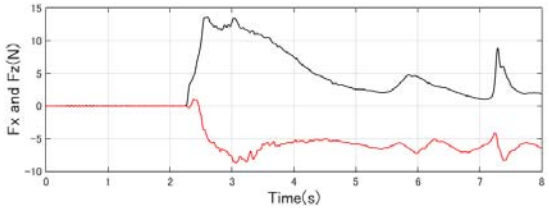


図-4　建築物模型に作用する水平波力と鉛直力の時系列（開口あり，Case2-1）

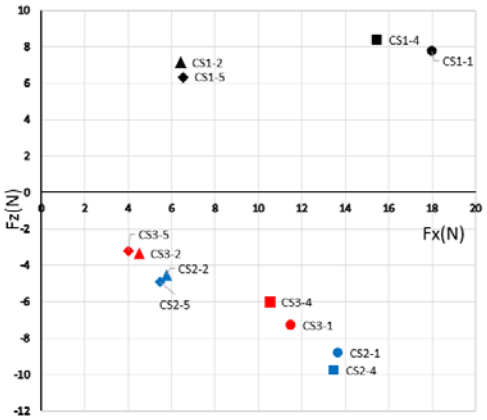


図-5　建築物模型に作用する水平波力と鉛直力の最大値分布

(2) 最大水平波力の推定

建築物模型に作用する波力は模型を除いた状態での津波流速と模型位置の水位の諸量を用いて推定した．模型の受ける波力を物体が流体から受ける抗力と考えると，一般に力 F は次の式で表すことができる．

$$F = \frac{1}{2}\rho C_d U^2 S_D \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

ここで ρ は水の密度，U は流速，S_D は津波進行方向から見た受圧部分の面積である．抗力係数 C_D については以下の式を用いた．[1)]

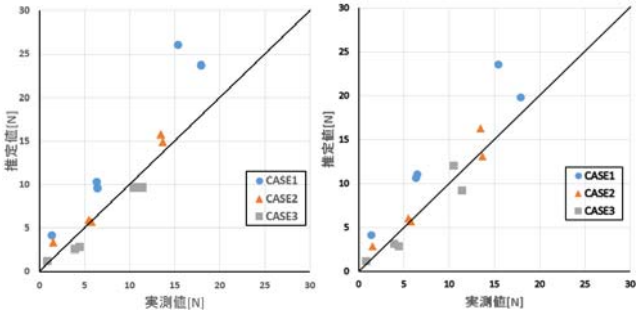
$$C_D = 2.0 + 5.4\left(\frac{d_{max}}{D}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

ここで d_{max} は通過波の最大水深であり，D は護岸からの距離である．一方，静水圧分布を積分することによる波力評価式として以下の式を用いた．[2)]

$$F = \frac{1}{2}\cdot 3\rho g d_{max}\cdot 3S_D \quad \cdots\cdots\cdots (3)$$

ここで g は重力，d_{max} は通過波の最大水深である．

式(1)(2)を用いて求めた推定値はそれぞれ図-6(a)(b)のようになり，概ね実測値を再現している．したがって上述した方法で建築物模型に作用する最大水平波力を推定できると考えられる．



(a)抗力係数による推定　(b)静水圧分布による推定

図-6　最大水平波力の実測値と推定値

4.　結論

開口部を有する建築物に作用する津波波力の特性及び推定方法について検討することを目的とし，開水路及び建築物模型を用いて実験を行った．その結果以下の知見が得られた．

1) 建築物模型に作用する水平波力は開口部が多いほど小さくなり，鉛直力は開口部のない場合は浮力，開口部のある場合は流入した水の重力が作用する．

2) 建築物模型に作用する津波による水平波力は模型の形状の違いに対して適切に作用面積を考慮することで良好に推定できる．

参考文献

1) ファウジアフマド・鳴原良典・藤間功司・水谷法美：陸上構造物に作用する津波波力の推定手法に関する考察，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol.B2-65，NO.1，321-325　(2009)

2) 朝倉良介・岩瀬浩二・池谷毅・高尾誠・金戸俊道・藤井直樹・大森政則：護岸を越流した津波による波力に関する実験的研究，海岸工学論文集，第 47 巻，911-915　(2001)