

建築物前面における津波による反射段波と跳水の発生境界条件

秋田大学 学生員○大島尚也 正員 松富英夫

1.はじめに 建築物に作用する津波荷重（水平力、鉛直力、など）の評価では建築物の前面における浸水深 $h$ （以下、前面浸水深）の推定が必要である<sup>1)</sup>。

建築物の前面浸水深は入射津波の氾濫水深 $h_i$ やフルード数 $F_{ri}$ だけでなく、建築物の大きさ（幅、奥行）、形状<sup>2), 3)</sup>、向き（津波の入射角）<sup>3), 4)</sup>、配置間隔（つなぎ空間幅）<sup>5)</sup>、開口率 $O_p$ <sup>6)</sup>にも依存する。

幅の狭い単独の柱体物前面には跳水（孤立）、無限幅や有限幅の建築物前面には反射段波（伝播）が形成されるが、両者の発生境界条件は検討の緒に就いたばかりで、よく判っていない<sup>7)</sup>。この条件は前面浸水深推定法<sup>7)</sup>の一般化と適用において是非とも必要である。

本研究は建築物の横断方向のつなぎ空間幅、奥行、入射フルード数をパラメータとした系統的な水理実験を追加実施し、既報<sup>7)</sup>の反射段波・跳水発生境界条件式の妥当性を検証する。

2.実験 津波氾濫流は定常流で模擬した。実験水路の概略と建築物模型設置位置を図-1に示す。実験水路は高さが0.50 m、幅が0.30 m、入射フルード数を調節するための貯水部の長さが4.0 m、全長が12.0 mの両面ガラス張り鋼製矩形水路である。

流量条件と実験で用いた直方体建築物模型の諸元を表-1に示す。表中の太数字が本研究で追加実施した実験条件で、他は既報<sup>7)</sup>のものである。実験水路の底面勾配 $I$ は1/313の1種類のみで、幅70 mm<sup>6)</sup>以外の模型には市販の木材を使用した。縮尺は1/100を考えている。

実験では、先ず流量と模型条件毎に模型前面部において反射段波(Bore)と跳水(孤立, Jump)のどちらが発生するかを判定した。次に7種類の流量(4.28, 5.54, 6.09, 6.67, 6.78, 6.10, 6.36 l/s)の場合について、ポイントゲージを用いて模型前面から1 cmの位置における水路横断方向の水深分布測定を行った。各流量に対し、入射フルード数を評価するため、模型設置中心位置における水路横断方向の水深分布測定も行った。

3.結果と考察 3.1 実験データの位置づけ 図-2に入射フルード数 $F_{ri}$ と前面浸水深係数( $h/h_i$ )の関係を示す。図中、 $\zeta$ は広義のエネルギー損失係数<sup>6)</sup>、 $u_f$ (文献<sup>7)</sup>では $u_{fB}$ に相当)は建築物前面における津波衝突後の断面平均流速、 $u_i$ は入射津波の氾濫流速である。反射段波と跳水の判定法は後述する。図から、実験値はベルヌーイの定理やStoker理論<sup>8)</sup>に基づく値の近くを示しており、妥当と判断される。 $\zeta$ を0.03~0.42( $u_f=0$ と仮定)とすれば、実験値の推定が可能であることも判る<sup>9)</sup>。さらに、建築物の前面において反射段波を形成する場合と跳水を形成する場合の前面浸水深(係数)

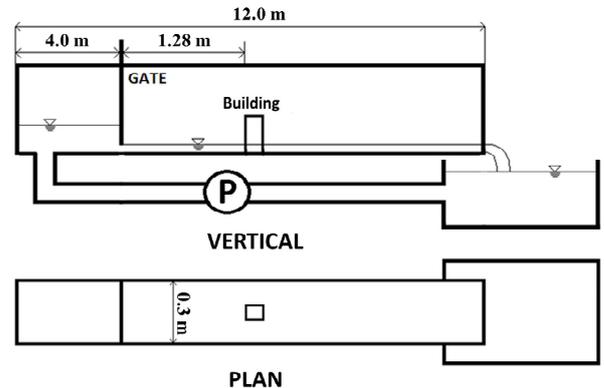


図-1 実験水路の概略と模型の設置位置 (Pはポンプ)

表-1 実験条件

流量 $Q$ (ℓ/s)	4.28, 5.54, 5.82, 6.09, 6.37, 6.67, <b>6.78, 6.10, 6.36</b>
模型幅 $B$ (mm)	9, 12, 18, 24, 27, 30, 35, 40, 70, <b>75, 85, 94, 97, 103</b>
模型奥行 $D$ (mm)	18, 27, 30, 36, 40, 45, 54
模型高さ $H$ (mm)	140
模型開口率 $O_p$ (%)	0

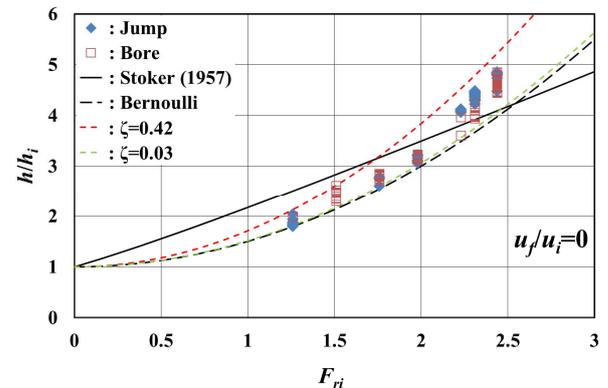


図-2 入射フルード数 $F_{ri}$ と前面浸水深係数( $h/h_i$ )の関係

に大差がないことも判る。この理由の一つとして、移動伝播している反射段波時の前面浸水深が測定されていない、つまり定常流実験であることが考えられる<sup>9)</sup>。

3.2 反射段波・跳水発生境界条件の検証 反射段波・跳水発生境界条件として式(1)を提案した<sup>7)</sup>。

$$\frac{B}{B'} = -0.175 \frac{D}{B'} + 0.111F_{ri} - 0.084 \quad (1)$$

ここで、 $B$ は建築物模型幅、 $D$ は建築物模型奥行長、 $B'$ は実験水路幅である。

図-3に本研究の実験で新たに得た直方体( $O_p=0$ , 直角入射)の建築物模型前面における反射段波と跳水の発生状況例を示す。図中の破線は式(1)である。図から、既報<sup>7)</sup>の反射段波と跳水の判定基準(建築物模型前面から水路横断方向のつなぎ空間中央位置における浸水

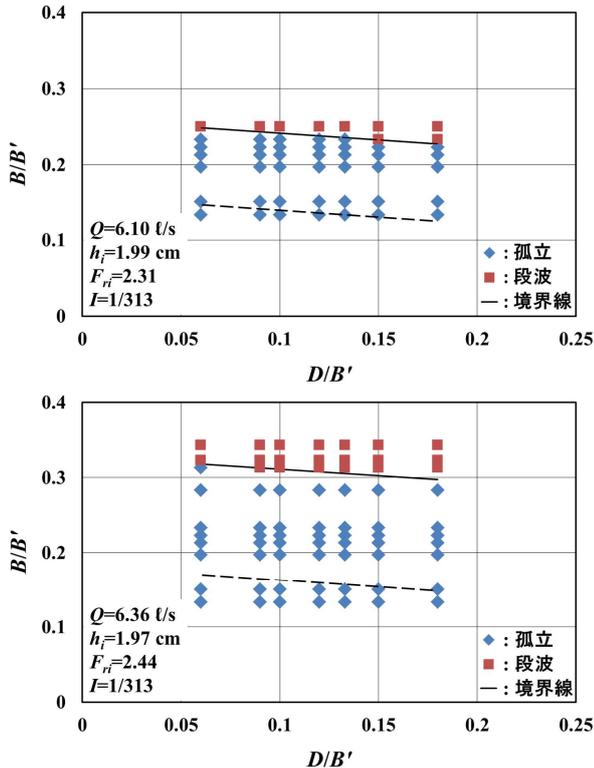


図-3  $Q=6.10 \text{ l/s}$ (上)と $6.36 \text{ l/s}$ (下)の場合における反射段波と跳水の発生状況（定常流実験）

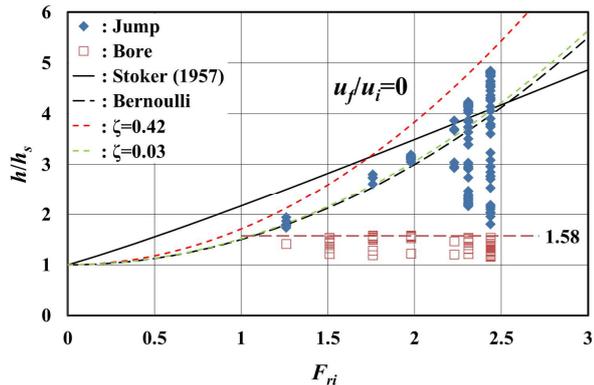


図-4 入射フルード数 $F_{r1}$ と前面浸水深・水路側壁（つなぎ空間中央）浸水深比( $h/h_s$ )の関係

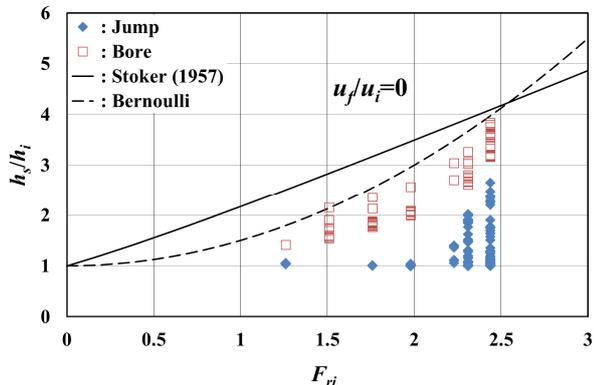


図-5 入射フルード数 $F_{r1}$ と水路側壁（つなぎ空間中央）浸水深・入射浸水深比( $h_s/h_i$ )の関係

深が入射浸水深よりも大きい場合、つまり水路側壁浸水深・入射浸水深比( $h_s/h_i$ ) $>1$ は反射段波。後述の図-5参照)に基づく式(1)は、入射フルード数が2を超えると適用度が悪いことが判る。そこで、幅広い入射フルード数に対応できるように判定基準の見直しを行う。

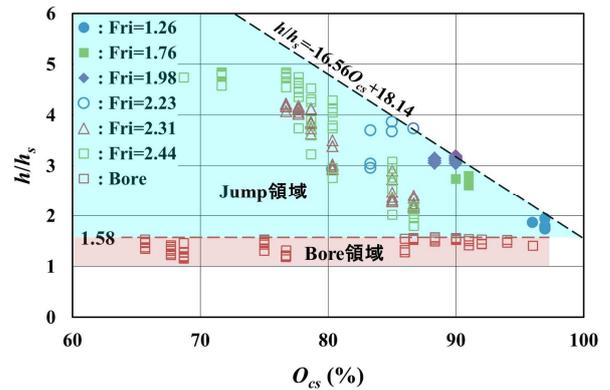


図-6 つなぎ空間率 $O_{cs}$ と前面浸水深・水路側壁浸水深比( $h/h_s$ )の関係

図-4に入射フルード数と前面浸水深・水路側壁（つなぎ空間中央）浸水深比( $h/h_s$ )の関係を示す。図から、実験値は反射段波と判断される前面浸水深・水路側壁浸水深比が小さく( $<1.58$ ), 入射フルード数にほとんど依存しないグループと跳水と判断される前面浸水深・水路側壁浸水深比が大きく、入射フルード数が大きくなるにつれて大きく変動するグループに大別されることが判る。ただし、入射フルード数が大きくなるにつれて、両者の区分が難しくなる。よって、曖昧が残るが、新判定基準として $h/h_s=1.58$ を提案する。図-2~6中に示す実験値の区分は新判定基準に基づいている。

図-5に入射フルード数と水路側壁浸水深・入射浸水深比( $h_s/h_i$ )の関係を示す。図から、実験値の大小関係が逆転しているが、実験値の変動傾向は前面浸水深・水路側壁浸水深比の場合と同じであることが判る。

反射段波と跳水の判定基準 $h/h_s=1.58$ を採用した場合の反射段波・跳水発生境界条件として式(2)を得る。

$$\frac{B}{B'} = -0.175 \frac{D}{B'} + 0.0091 \exp(1.43 F_{r1}) \quad (2)$$

図-3中の実線は式(2)で、実験値をよく説明している。

3.3 つなぎ空間率への依存 図-6に入射フルード数をパラメータとして、つなぎ空間率 $O_{cs}(=100 \times (1 - B/B'))$ と前面浸水深・水路側壁浸水深比の関係を示す。図から、跳水が発生する場合の前面浸水深・水路側壁浸水深比の上限はつなぎ空間率に依存することが判る。

4. おわりに 追加実験のデータを加えて既報<sup>7)</sup>の建築物前面における反射段波・跳水発生境界条件式(1)の妥当性を検討し、より適用度の高い条件式(2)を提案した。また、上限の前面浸水深・水路側壁浸水深比( $h/h_s$ )のつなぎ空間率 $O_{cs}$ への依存性を確認した。

#### 参考文献

- 1) 日本建築学会：建築物荷重指針・同解説，pp.577-579, 2015.
- 2) 岡本，松富：海岸工学論文集，第56巻，pp.296-300, 2009.
- 3) 有川，大家：土論集B2（海岸工学），No.2, pp.806-810, 2014.
- 4) 松富，飯塚：海岸工学論文集，第45巻，pp.361-365, 1998.
- 5) 松富，大向，今井：水工学論文集，第48巻，pp.559-564, 2004.
- 6) 松富ら：土論集B2(海岸工学), Vol.69, No.2, pp.326-330, 2013.
- 7) 松富，紺野，高尾：土論集B1（水工学），Vol.73, No.4, 2017.
- 8) Stoker, J. J.: Interscience Publishers, Inc., pp.326-333, 1957.
- 9) 松富ら：日本地震工学会・大会-2017梗概集，P-14, 2017.