

つなぎ空間と開口部を有する RC 造建築物前面における津波浸水深の推定法

秋田大学 学生員○紺野友恵 正員 松富英夫

1. はじめに 建築物に作用する津波の水平力や鉛直力は建築物の前面浸水深 h が推定できれば、既往の研究成果を用いて推定可能な状況にある¹⁾。

本研究は「つなぎ空間と開口部」を有する直方体 RC 造建築物へ津波が直角に入射する場合の入射津波条件を用いた前面浸水深推定法の一般化を試み、推定値と実験値²⁾の比較・検討を通して提案推定法の有用性を論じる。

2. 前面浸水深の推定法 津波が建築物を越流しない場合を対象とし、水平床上の定常的な入射津波氾濫流を考え、圧力は静水圧分布とする。図-1 に示すように、建築物間のつなぎ空間が狭くて、前面浸水深が津波氾濫流の縦横断両方向にほぼ一樣（反射段波領域内の浸水深がほぼ一定）となる場合³⁾を考える。建築物の影響を受けていない入射津波の氾濫水深と氾濫流速を各々 h_i , u_i , 入射フルード数を F_{ri} とする。入射津波衝突後の反射段波領域内におけるつなぎ空間と建築物の直前面での断面平均流速 u_{fop} と u_{fB} は異なる。反射段波領域内上流部における断面平均流速（横断方向に一樣と仮定）を u_p , つなぎ空間直前面における断面平均流速 u_{fop} を ku_f ($k>1$ で、反射段波上流域の「支配域幅係数」または断面平均流速を表現する「流速係数」とも呼ぶべき係数) とする。このとき、次式が成立する。

$$h + \frac{u_f^2}{2g} = h + \frac{u_{fB}^2}{2g} + h_{IB} = h + \frac{k^2 u_f^2}{2g} + h_{Iop} = h_i + (1 + \zeta) \frac{u_i^2}{2g} \quad (1)$$

ここで、 h_{IB} は建築物直前面までにおけるエネルギー損失水頭 ($= (k-1)^2 (B'/B-1)^2 u_f^2 / 2g$ で、正值), h_{Iop} はつなぎ空間直前面までにおけるエネルギー利得水頭 ($= -(k^2-1) u_f^2 / 2g$ で、負値), B' は建築物幅とつなぎ空間幅の合計幅, ζ は広義のエネルギー損失係数²⁾, g は重力加速度である。

反射段波領域内の上流部から下流部にかけての領域における質量保存則は式(2)である。

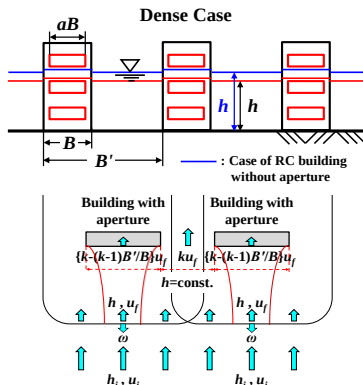


図-1 流れのパターン（狭いつなぎ空間と開口部を有する RC 造建築物の場合。青実線は開口部がない場合）

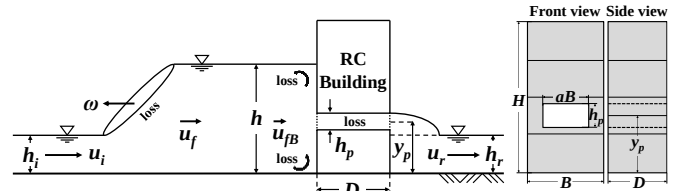


図-2 建築物前面浸水深 h の推定モデルと開口部の定義

$$B'hu_f = Bhu_{fB} + (B' - B)hku_f = aBh_pu_p + (B' - B)hku_f \quad (2)$$

ここで、 a ($0 < a < 1$) は開口部幅 aB / 建築物幅 B , h_p は開口部の換算高さ（単数または複数の任意形状の開口部を 1 つの矩形開口部に換算したときの高さ）, u_p は開口部内の流速であり、「反射段波領域内の浸水深は一定」と「建築物直前面における流体は開口部から全て抜け出る」という仮定を導入している。

式(2)から、建築物直前面における断面平均流速 u_{fB} として $\{k(k-1)B'/B\}u_f$ を得る。 k は $1 < k < B'/(B'-B)$ の値域で、一般に未定である。建築物の前背面における本研究の縦断モデルを図-2 示す。

入射津波が定常的で、圧力が静水圧分布する場合、Stoker 理論⁴⁾はつなぎ空間や開口部がある場合へ拡張できる。2 次元直立壁（越流を含む）やつなぎ空間、建築物の開口部を想定して、岩崎・富樫⁵⁾, 富樫・古賀⁶⁾, 池谷ら^{7,8)}と松富・小野²⁾がその拡張理論を提示しており、基礎式は式(3)と(4)である。

$$h_i(\omega - u_i) = h(\omega - u_f) \quad (3)$$

$$h_i(\omega - u_i)u_i - h(\omega - u_f)u_f = \frac{1}{2}gh_i^2 - \frac{1}{2}gh^2 \quad (4)$$

ここで、 ω は反射段波伝搬速度で、 $\omega \leq 0$ である。式(3)と(4)から次の前面浸水深係数 h/h_i に関する 3 次式が得られ、岩崎・富樫⁵⁾, 富樫・古賀⁶⁾, 池谷ら⁷⁾と松富・小野²⁾が解（数値解を含む）を導いている。

$$\left(\frac{h}{h_i}\right)^3 - \left(\frac{h}{h_i}\right)^2 - \left\{1 + 2F_{ri}^2 \left(1 - \frac{u_f}{u_i}\right)^2\right\} \frac{h}{h_i} + 1 = 0 \quad (5)$$

建築物の開口部領域における質量と運動量の保存則は式(6)（式(2)を変形したもの）と(7)である。

$$\left\{k - (k-1)\frac{B'}{B}\right\}hu_f = ah_pu_p \quad (6)$$

$$g(h - y_p)h_p + \left\{k - (k-1)\frac{B'}{B}\right\}^2 h_p u_f^2 \cong h_p u_p^2 + f \left\{W + \frac{h_p}{aB}\right\} Du_p^2 + gA \quad (7)$$

ここで、 y_p は地面から開口部中心までの高さ, f は合成摩擦係数, W は開口部の上端位置が前面浸水位以下の

場合は1, 前面浸水位より上の場合0.5, 右辺の()内は無次元化された潤辺の半値, D は建築物の奥行で, 開口部内の壁面せん断応力 τ_0 の定義と A (建築物背面からの静水圧力項)は ρ を流体密度として次式である.

$$\tau_0 = \frac{1}{2} \rho f u_p^2 \quad (8)$$

$$= \frac{1}{2} \rho f \left[\frac{\{k - (k-1)B'/B\} h u_f}{a h_p} \right]^2 = \frac{1}{2} \rho f \left[\frac{\{k - (k-1)B'/B\} u_f}{O_p} \right]^2$$

$$A = (h_i - y_p) h_p \quad h_i > y_p + \frac{h_p}{2} \quad (9)$$

$$= \frac{1}{2} \left(h_i - y_p + \frac{h_p}{2} \right)^2 \quad y_p + \frac{h_p}{2} \geq h_i > y_p - \frac{h_p}{2}$$

$$= 0 \quad h_i \leq y_p - \frac{h_p}{2}$$

式(6)と(7)から h と u_f の関係式を得て, その関係式を式(5)に代入すると最終的に解くべき式(10)を得る.

$$\left(\frac{h}{h_i} \right)^3 - \left(\frac{h}{h_i} \right)^2 - \left\{ 1 + 2 \left[F_{ri} - \frac{1}{\{k - (k-1)B'/B\}} \sqrt{\left(\frac{h}{h_i} - \frac{y_p}{h_i} \right)^2 a^2 \frac{h_p^3}{h_i^3} - A a^2 \frac{h_p^2}{h_i^4}} \right] \right\} \frac{h}{h_i} + 1 = 0 \quad (10)$$

式(10)の解析解の導出は難しいので, 本研究では逐次計算により解を得ることとする. ただし, k は幅広の孤立したRC造建築物($k=1$)と狭いつなぎ空間で開口部がないRC造建築物($k=B'/(B'-B)$)の場合を除いて未定で, 別途その評価法を考案する必要がある. 本研究では, Bernoulliの定理に基づく流速と流積要素の積の積分で開口部とつなぎ空間の流量が求まるとして, 流量の観点から評価する(詳細は紙幅により省く).

3. 実験 津波氾濫流はゲート急開流れで模擬した. 実験水路, 測定機器およびそれらの配置, 測定項目などは参考文献2)に詳しい. 実験値は松富・小野²⁾によるものを使用することにした.

建築物模型諸元の詳細を図-3に示す. 建築物の開口率 O_p は仮想的な「窓なし(窓があっても, 壊れない)」(開口率0%)と実際の「窓(開口部)あり」(開口率は海側と陸側の上部または下部が同一の5, 10, 25%, 両側が0%)の7種類とした.

実験条件を表-1にまとめて示す. h_U は初期ゲート上流域の貯水深, h_B は平坦な陸上部の底面から模型底面までの床高で, 今回は開口率を正確にするため0cmとした. 実験は各ケース3回行った.

4. 結果と考察 狭いつなぎ空間と開口部を有する場合の前面浸水深係数 h/h_i に関する本研究の推定値と実験値の比較を図-4に示す. 狭いつなぎ空間のRC造建築物として計算した場合のものである. ただし, $B=7.0$ cm, $f=0.02$, $B'=21$ cm($\neq 30$ cm)としている. また, 開口部がない場合は2つの計算方法によって求めている.

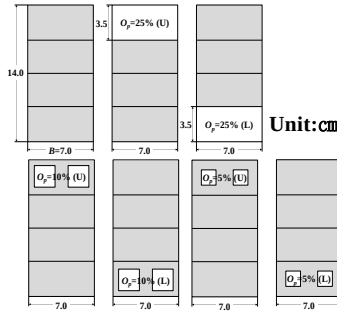


図-3 建築物模型諸元の詳細(縮尺は1/100, 奥行 D は全て5.4cm, 開口率 O_p は建築物の全表面積に対するもの)

表-1 模型実験の条件

貯水深 h_U (cm)	25.5, 27
静水深 h_0 (cm)	5.0, 6.7, 8.7
斜面勾配 S	1/26
地盤高 h_G (cm)	3.7, 2, 0
床高 h_B (cm)	0
開口率 O_p (%)	0, 5, 10, 25
模型の高さ H (cm)	14
模型の幅 B (cm)	7
模型の奥行 D (cm)	5.4

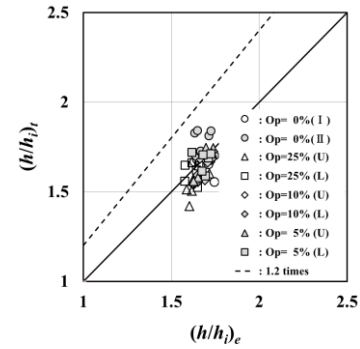


図-4 前面浸水深係数 h/h_i の推定値(式(10))と実験値の比較($k \neq 1$)

る. 仮想開口部法Iは仮想的に小さな開口部($O_p=0.1\%$ 程度, 本研究では縦0.15cm, 横0.70cmの矩形とし, $y_p=0.075$ cmの位置に1箇所想定)を地面付近に設ける方法, 仮想開口部法IIは建築物幅とつなぎ空間幅の合計幅 B' を建築物幅 B と考え, つなぎ空間幅($=B'-B$)と B' の比を a と考える方法である. 計算法の一貫性や前面浸水深を大きめ(安全側)に評価することを考えると, 仮想開口部法Iが推奨される.

図-4によると, 狭いつなぎ空間を考慮すれば, 推定値と実験値の一致度がよくなるように見える. しかし, よく見ると, 狭いつなぎ空間で開口部がない場合(図中の○)と狭いつなぎ空間で開口部があり, 前面浸水位が開口部の上端位置に達しない場合(特に $O_p=25\%$ の△)の2条件において両者の差が大きい傾向があり, 改良の余地が認められる.

5. おわりに 「つなぎ空間と開口部」を有する直方体のRC造建築物へ津波が直角に入射する場合の入射津波条件を用いた前面浸水深 h の推定法の一般化を試みた. 推定値と実験値の比較・検討を通して, 狭いつなぎ空間で, 開口部がない場合と狭いつなぎ空間で, 開口部があり, 前面浸水位が開口部の上端位置に達しない場合の2条件において改良の余地があるが, 提案推定法は全般的に, 特に開口部を有し, それが水没する場合に有用であることを確認した.

参考文献

- 1) 建築物荷重指針・同解説, pp.577-579, 2015.
- 2) 松富ら: 土論集B2, Vol.71, No.2, pp.361-366, 2015.
- 3) 高尾ら: 土木学会東北支部研究発表会概要, 2016(投稿中).
- 4) Stoker, J. J.: Water Waves, pp.326-333, 1957.
- 5) 岩崎ら: 第14回海講演論文集, pp.179-181, 1967.
- 6) 富樫ら: 第30回海講演論文集, pp.332-336, 1983.
- 7) 池谷ら: 土論集B2, Vol.69, No.2, pp.816-820, 2013.
- 8) 池谷ら: 土論集B2, Vol.70, No.2, pp.386-390, 2014.