

RC 造建築物に作用する津波鉛直荷重の低鉛直壁隙間間隔への依存性*

秋田大学 松富英夫
秋田大学 登丸夏希

1. はじめに

地震や津波時には想定外のことが生じ得る。津波避難ビルのような人命に関わる RC 造建築物では最悪の場合を想定しておく必要がある。これまでの RC 造建築物に作用する津波荷重の検討は水平荷重が中心であった^{1), 2)}。RC 造建築物の津波に対する安定問題では鉛直荷重も重要であることが認識されており^{3), 4)}、限られた実験条件下であるが、鉛直荷重の検討も行われている⁵⁾。同様なことは津波荷重の低減法にも言え、水平荷重の低減法についても検討例があるが⁶⁾、鉛直荷重の低減法についてはないようである。本研究は既報⁷⁾の「津波鉛直荷重低減」に関する研究の継続で、低鉛直壁による津波鉛直荷重の低減特性を実験により検討する。

2. 模型実験

2.1 実験水路と模型

津波氾濫流はゲート急開流れで模擬した。実験水路の概略、測定機器の配置と諸記号の定義を図-1に示す。実験水路は高さが 0.50 m、幅が 0.30 m、貯水長が 5.0 m、一様水深部（静水深 $h_0=0.067$ m）、一様勾配斜面部（勾配 $S=1/23$ ）、平坦な陸上部（地盤高 $h_G=0$ m）が各々 2.0 m、全長が 11.0 m の両面ガラス張り鋼製矩形水路である。また、 h_U は初期ゲート上流域の貯水深である。

建築物模型諸元の詳細を図-2 に示す。高さ $H=14$ cm、幅 $B=7$ cm、奥行 $D=5.4$ cm の模型の外形は 2011 年東北地方太平洋沖地震津波の時に被災した宮城県女川町の 4 階建ての旅館を模擬している。縮尺は 1/100 で、模型重量（材種と材厚）はフルードの相似則⁸⁾と実際の RC 造建築物が $1.3 \text{ tf/m}^2/\text{階}$ 程度であることから決めた。鉛直荷重の低減検討実験では、不確定要素をできるだけ除くために開口率 0% の模型を用いた⁹⁾。

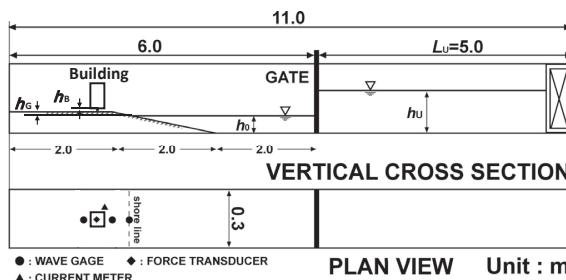


図-1 実験水路の概略、測定機器の配置と諸記号の定義

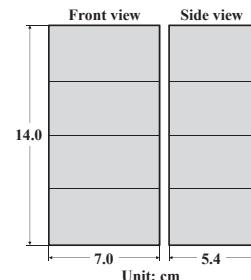


図-2 建築物模型の諸元

* Dependency of the vertical tsunami force acting on RC building on the gap interval between a low vertical protective wall and the RC building
by Hideo MATSUTOMI and Natsuki TOMARU

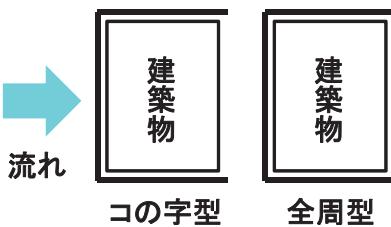


図-3 低鉛直壁（太実線）の平面配置

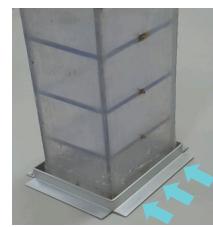


図-4 模型と低鉛直壁設置例(全周型)

表-1 実験条件

貯水深 h_U (cm)	20, 25, 30
静水深 h_0 (cm)	6.7
斜面勾配 S	1/23
地盤高 h_G (cm)	2.0
床 高 h_B (cm)	0.5
開口率 O_p (%)	0
低鉛直壁幅 B_W (cm)	7.2, 7.6, 8.0
低鉛直壁高 h_W (cm)	0.5, 0.7, 1.0
隙 間 B_{gap} (cm)	0.1, 0.3, 0.5

鉛直荷重の低減工は、鉛直荷重の大きな低減が期待できる、前面と両側面を囲んだ「コの字型」と全周を囲んだ「全周型」（図-3）について追加実験を行った。低鉛直壁はアルミ製で、厚さは1mm、高さ h_W は5, 7, 10mmの3種類、建築物と低鉛直壁間の隙間 B_{gap} はどこでも同じ0.1, 0.3, 0.5cmの3種類とした。低鉛直壁幅 B_W は7.2, 7.6, 8.0cmの3種類とした。建築物模型例と全周型低鉛直壁の設置例を図-4に示す。水平陸上部の底面から模型底面までの床高 h_B は5mmのみとした。表-1に実験条件をまとめて示す。実験は各ケース3回行った。

2.2 測定項目

測定項目は模型の前面から沖方向に25cmと5cm、背面から岸方向に7.5cmの3位置における超音波式変位計（（株）KEYENCE社製、UD-500）による氾濫水深 h_{f25} , h_{f5} , $h_{r7.5}$ 、四分力計（（株）SSK社製、定格容量：水平力1000gf(9.8N)、鉛直力2000gf(19.6)）による水平荷重 F_x と鉛直荷重 F_z 、模型の前面左端から水路横断方向へ3cm離れた位置におけるプロペラ流速計（中村製作所製、直径3mm）による氾濫流速 u （一点法）である。模型と低減工が設置されていない場合の模型設置位置における入射氾濫水深と入射氾濫流速の測定も行った。模型周辺の流況観察のため、水路の上方と側方からビデオ撮影も行った。

3. 結果と考察

3.1 経時変化例

鉛直荷重などに関する元データの変動が激しいため（サンプリング時間間隔0.01s），データの評価において個人差が出やすい。それをできるだけ避けるため、図-5に示しめすように全データに対して7個（0.07s）の移動平均操作を行った。

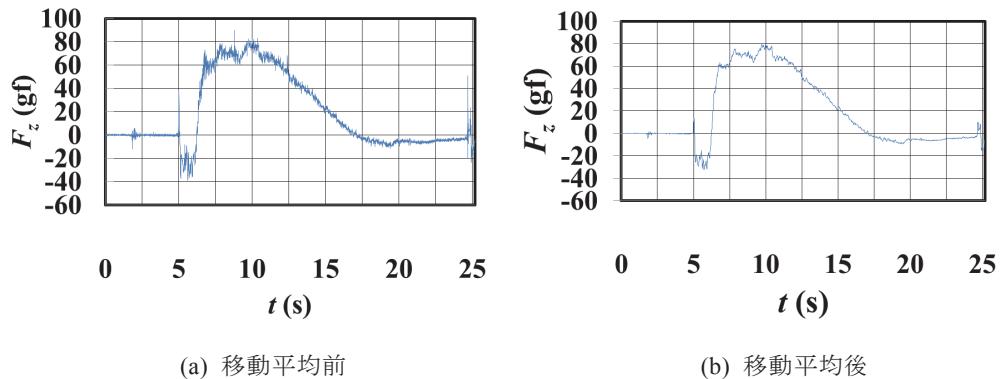


図-5 鉛直荷重 F_z の移動平均前後における経時変化例(貯水深 $h_U=20\text{cm}$, 低鉛直壁無しの場合)

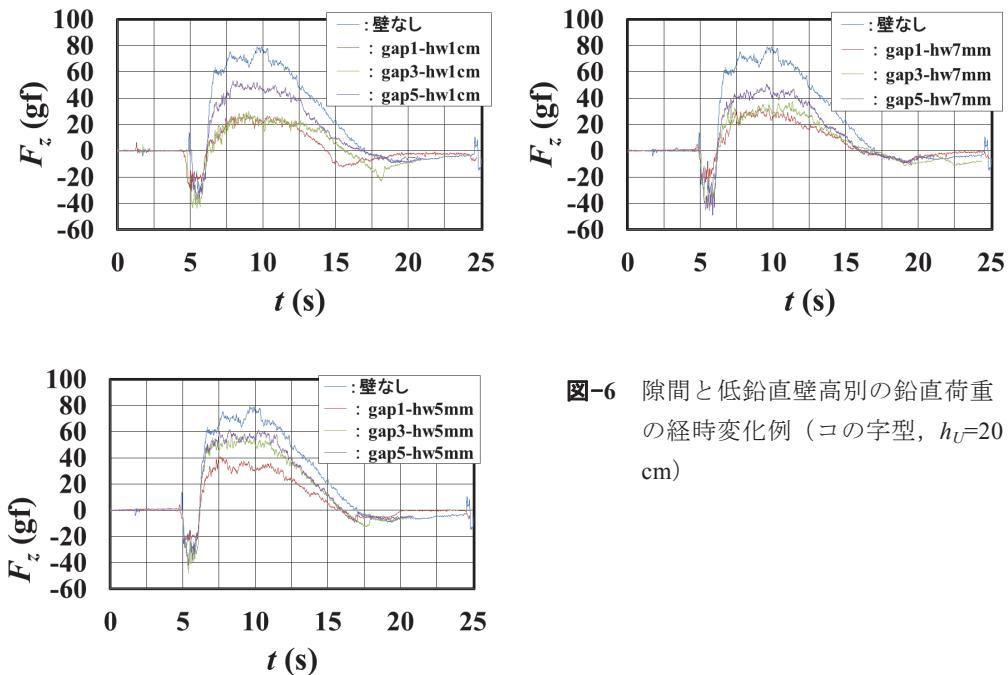


図-6 隙間と低鉛直壁高別の鉛直荷重の経時変化例 (コの字型, $h_U=20$ cm)

図-6に「コの字型」における鉛直荷重 F_z の経時変化例を示す。貯水深 $h_U=20\text{ cm}$ の場合のものである。図中には比較のため低鉛直壁無しの場合のものも示してある。図から、①低鉛直壁と建築物間の隙間 B_{gap} が小さくなるにつれて、鉛直荷重が小さくなる、②低鉛直壁高 h_W が高くなるにつれて、鉛直荷重が小さくなる傾向にあることが判る。鉛直荷重作用直後の下向きの揚力は、低減工がない場合に比べて、 $B_{gap}=3, 5\text{ mm}$ では大きく、 1 mm では小さくなっている。これは、建築物前面の底面近傍と底面下における流況が複雑であることを物語っている。 1 mm の場合については、①を考慮すると、下向き揚力の絶対値は大きくなないが、作用域が広いことを示唆していると判断される。

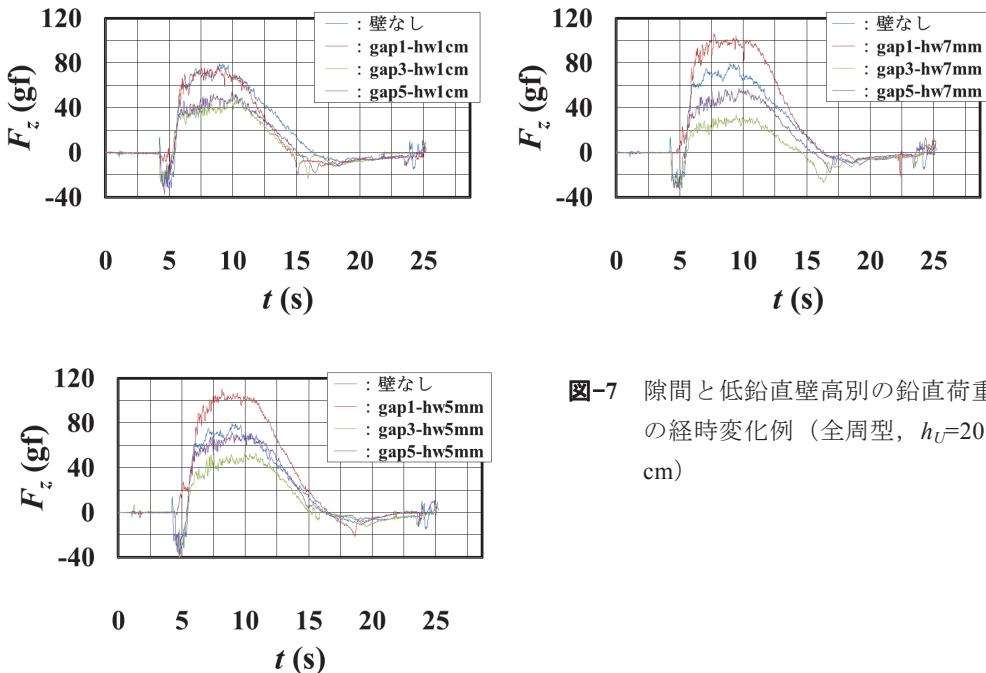


図-7 隙間と低鉛直壁高別の鉛直荷重の経時変化例（全周型, $h_U=20$ cm）

図-7に「全周型」における鉛直荷重 F_z の経時変化例を示す。貯水深 $h_U=20$ cm の場合のものである。図中には「コの字型」と同様に比較のため低鉛直壁無しの場合のものも示している。本図では隙間が 1 mm の条件全てで鉛直荷重が大きな値になっている。これは低鉛直壁と建築物模型の背面の接触に起因している。これ以外は基本的に「コの字型」と同様の結果であると言える。

3.2 低減比

図-8に「コの字型」の貯水深 h_U と低減工（低鉛直壁）毎の準定常部の鉛直荷重 F_x の低減比（=低減工有りの場合の鉛直荷重／低減工無しの場合の鉛直荷重）を示す。図から、①一番隙間が狭く低鉛直壁高が高い B_{gap} 1mm- h_W 1cm の条件で一番低減比が小さくなり、30%の低減比（70%の低減）が期待できる。また、②低減比は隙間毎に右肩上がりになっている傾向にあり、低鉛直壁高 h_W が高くなるにつれて、低減比が小さくなる。

図-9は「全周型」の低減比を示す。本図では低減比の値が大きすぎる隙間が 1 mm の条件のものをあらかじめ省いている。図から、①最小で 40%の低減比であること、②「コの字型」のような特徴は見られないことが判る。この原因として、「全周型」は建築物模型のどの辺においても低鉛直壁が存在するため、建築物底面下の流況が一層複雑になることが考えられる。

図-10に貯水深別の低減比を示す。なお、「全周型」の隙間が 1 mm のものについては、区別をつけるために白抜きのマークで表示した。図から、①低減工と建築物間の隙間が小さい方が低減比は小さい、②「コの字型」と「全周型」では「コの字型」の方が低減比は小さい傾向であることが判る。

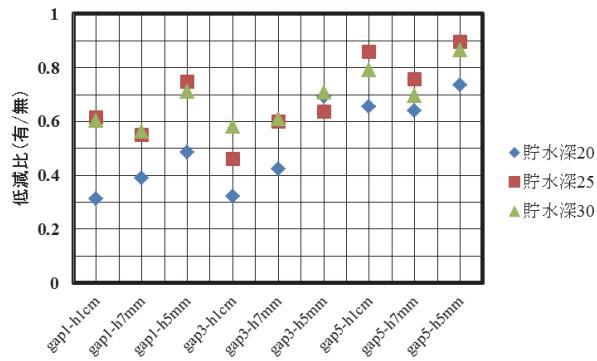


図-8 「コの字型」の低減比

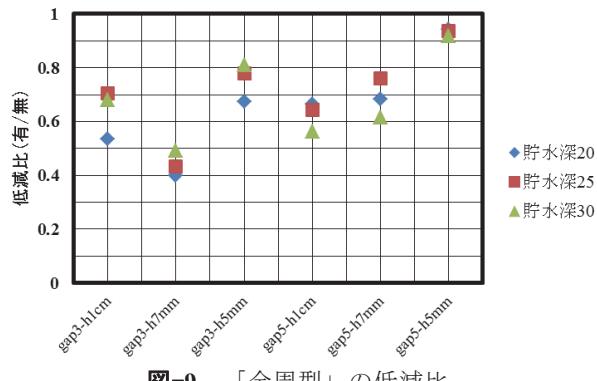


図-9 「全周型」の低減比

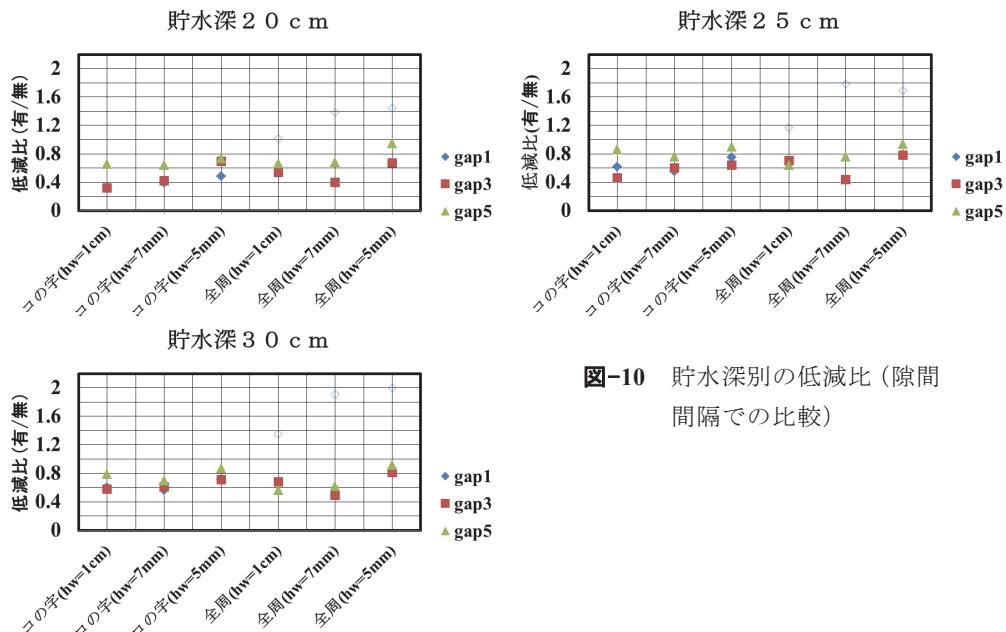


図-10 貯水深別の低減比 (隙間間隔での比較)

4.まとめ

本研究で得られた主な結果は次の通りである。

- (1) 本研究の比較では「コの字型」が一番低減比は小さくなり、本研究提示の低減工により最大で70%程度の鉛直荷重の低減が期待できる。
- (2) 低減工の低鉛直壁高 h_W が高いほど低減比は小さくなる傾向にある。
- (3) 「コの字型」では、低減工の低鉛直壁と模型の隙間 B_{gap} が狭いほど低減比は小さくなる傾向が得られた。
- (4) 鉛直荷重の低減ということだけに注目すれば、「コの字型」の低減工が経済性と効率性からも推奨される。
- (5) 鉛直荷重の低減は低減工に起因した建築物前・背面の底面近傍と底面下における流況変化による揚圧力や下向き揚力の流れ方向分布の変化が原因であると言える。

(2)と(3)の傾向は隙間をなくし、建築物の底面に津波が入らないようにすれば、浮力や揚圧力、揚力が作用しないことと合致している。また、隙間があれば、津波が浸入し、鉛直荷重が作用することも示している。

参考文献

- 1) 飯塚秀則, 松富英夫: 津波氾濫流の被害想定, 海岸工学論文集, 第47巻, pp.381-385, 2000.
- 2) 朝倉良介, 岩瀬浩二, 池谷 肇, 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, pp.911-915, 2000.
- 3) 松富英夫, 大向達也, 今井健太郎: 津波氾濫流の構造物への流体力, 水工学論文集, 第48巻, pp.559-564, 2004.
- 4) 国土交通省国土技術政策総合研究所: 津波避難ビル等の構造上の要件の解説, 国総研資料No.673, 2012.
- 5) 松富英夫, 決得元基, 斎藤雅大: 開口部を有する鉄筋コンクリート建造物に働く津波流体力に関する基礎実験, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.69, No.2, pp.326-330, 2013.
- 6) Al-Faesly, T., Palermo, D., Nistor, I. and Cornett, A.: Experimental modeling of extreme hydrodynamic forces on structural models, *International Journal of Protective Structures*, Vol.3, No.4, pp.477-505, 2012.
- 7) 決得元基, 松富英夫, 藤井俊典, 富井達也: RC造建築物に作用する津波鉛直力とその低減法, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.71, No.2, pp.367-372, 2015.
- 8) 松富英夫, 大沼康太郎, 今井健太郎: 植生域氾濫流の基礎式と植生樹幹部の相似則, 海岸工学論文集, 第51巻, pp.301-305, 2004.
- 9) 松富英夫, 決得元基, 嶋津 朋, 長沼駿介, 桜井 亮: 開口部を有するRC造建築物における津波の水平力と鉛直力の低減, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.70, No.2, pp.371-375, 2014.