

開口部を有する RC 造建物に働く津波鉛直力の変化パターン*

秋田大学 松富英夫

秋田大学 長沼駿介

秋田大学 決得元基

1. はじめに

津波による建物の移動や転倒では、津波の水平力ばかりでなく、鉛直力（全揚圧力¹⁾）も重要である。しかし、全揚圧力の検討例^{1), 2)}は非常に少ない。

開口部を有する鉄筋コンクリート（RC）造建物に働く津波の全揚圧力は(a)浮力、(b)揚圧力、(c)揚力、(d)建物の内部へ流入した濁水の重量の4種類からなる（**図-1**）。浮力は建物の移動や転倒において危険側、揚圧力は負も考えられ、危険側と安全側の両方、揚力と流入濁水の重量は安全側に作用する。したがって、全揚圧力は浮力と正の揚圧力を考慮すれば、建物の移動や転倒において危険側を考えたことになる。

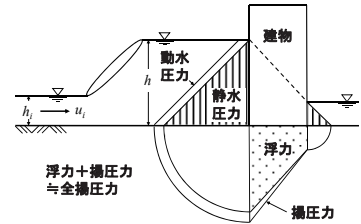


図-1 津波流体力の構成

全揚圧力の構成は津波の実況次第で異なる。床下換気口が小さく、透水性の低いかつ液状化しにくい地盤上の建物の場合は浮力と揚圧力、揚力を無視できる。したがって、建物の底面高（床高）による全揚圧力の経時変化パターンや特性の把握は建物の移動や転倒の検討において重要である。

本研究は建物の高さ（2種類）、開口率（4種類）、床高（5種類）、入射津波条件（5種類）をパラメタとした実験を行い、津波による全揚圧力の経時変化パターンや特性を検討する。

2. 実験

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-2**に示す。高さが0.50 m、幅が0.30 m、貯水長 L_U 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 $S=1/26$ ）、平坦な陸上部（地盤高 $h_G=0.01$ m）が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。

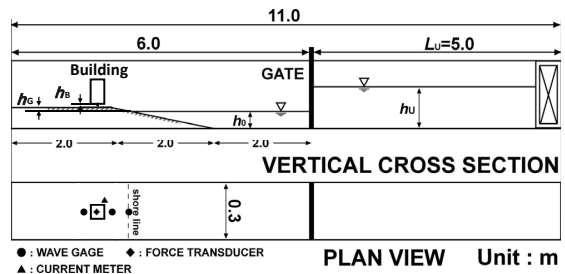


図-2 実験水路、測定機器の配置と記号の定義

実験対象の建物模型を**図-3**に示す。縮尺は1/100で、建物の床は各階に設けているが、屋内の間仕切りは設けていない。RC造建物を模擬しており、2階建ては高さ $H=7$ cm、4階建ては高さ14 cmで、実際の「窓（開口部）あり」（開口率 O_p は海側、陸側ともに20%、40%）、仮

* Change Pattern of Vertical Tsunami Fluid Force Acting on RC Building with Aperture

by Hideo MATSUTOMI, Shunsuke NAGANUMA and Genki KETTOKU

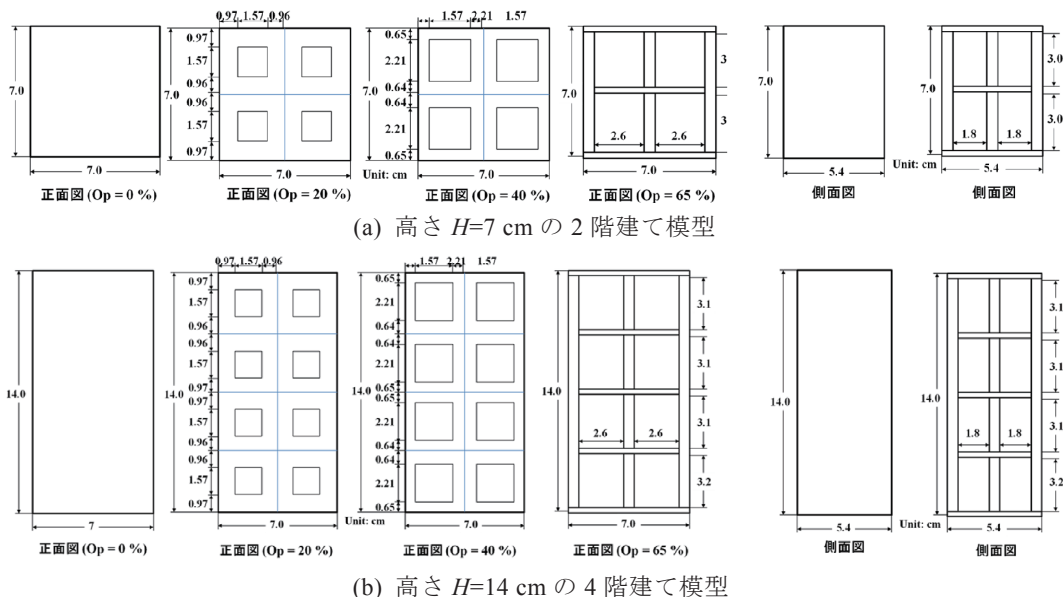


図-3 実験対象の建物模型の詳細 (縮尺 1/100)

表-1 実験条件

貯水深 h_U (cm)	15, 20, 22.5, 25, 27.5	
静水深 h_0 (cm)	6.7	
斜面勾配 S	1/26	
地盤高 h_G (cm)	1	
床高 h_B (cm)	0.1, 0.5, 1, 2, 3.5	
開口率 O_p (%)	0, 8, 29, 65	
模型の種類	7 cm	0% (109 gf), 20% (100 gf), 40% (91 gf), 骨組 65% (66 gf)
	14 cm	0% (203 gf), 20% (184 gf), 40% (168 gf), 骨組 65% (116 gf)

想的な「窓なし (窓があっても、壊れない)」と「骨組のみ」の計 8 種類を作製した。海側と陸側の開口率は同じである。「骨組のみ」を除き、両側に開口部はない。何れも幅は 7.0 cm, 奥行は 5.4 cm である。重量はフルード則³⁾と実際の RC 造建物の平均像が 1.3 tf/m²/階程度であることを考慮して、高さ 7 cm のときの「 $O_p=20\%$ 」が 100 gf (0.98 N), 「 $O_p=40\%$ 」が 91 gf (0.89 N), 「窓なし ($O_p=0\%$)」が 109 gf (1.07 N), 「骨組のみ ($O_p=65\%$)」が 66 gf (0.65 N), 高さ 14 cm のときの「 $O_p=20\%$ 」が 184 gf (1.80 N), 「 $O_p=40\%$ 」が 168 gf (1.65 N), 「窓なし」が 203gf (1.99 N), 「骨組のみ ($O_p=65\%$)」が 116 gf (1.14 N) である。「骨組のみ」は柱の幅が 0.6 cm, 厚さが 0.6 cm で、鉄骨造建物の壁面がはがれた場合を想定した。実際の鉄骨造建物の平均像が 0.8 tf/m²/階程度であることを考えると、重量は重ためである。

測定項目は模型の前面から 25 cm と 5 cm, 背面から 7.5 cm 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 , 四分力計 ((株)SSK 社製, 定格容量 1000 gf (9.8 N)) による水平力 F_x と鉛直力 F_z , 模型の前面左端から水路横断方向へ 3 cm 離れた位

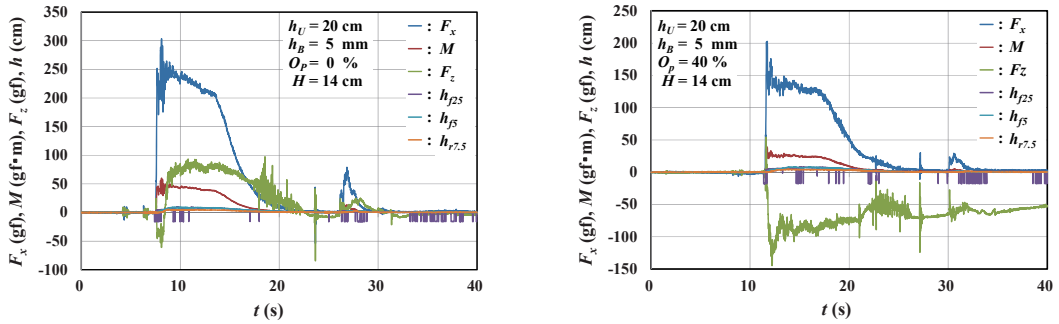
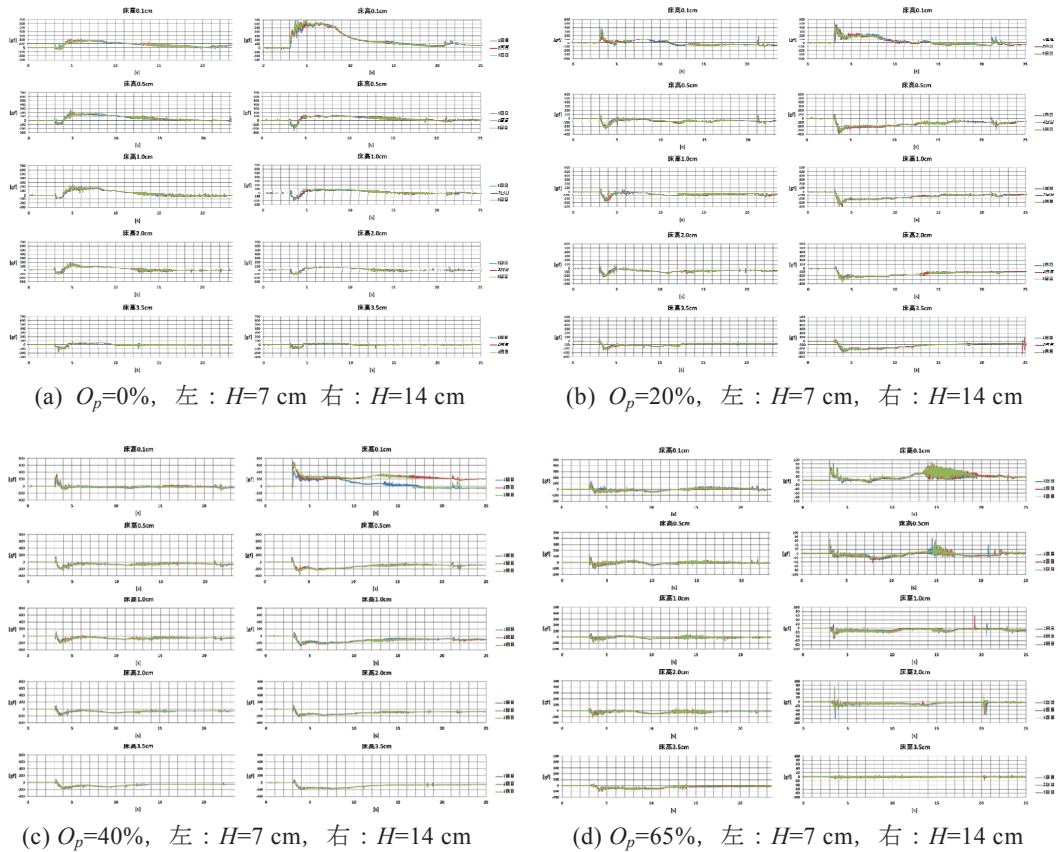


図-4 水平力 F_x , モーメント M , 全揚圧力 F_z , 浸水深 h の経時変化例



(a) $O_p=0\%$, 左 : $H=7$ cm 右 : $H=14$ cm

(b) $O_p=20\%$, 左 : $H=7$ cm, 右 : $H=14$ cm

(c) $O_p=40\%$, 左 : $H=7$ cm, 右 : $H=14$ cm

(d) $O_p=65\%$, 左 : $H=7$ cm, 右 : $H=14$ cm

図-5 全揚圧力の経時変化例 ($h_U=27.5$ cm)

置におけるプロペラ流速計（中村製作所製，直径 3 mm）による氾濫流速 u である．模型がないときの模型設置位置における氾濫水深と氾濫流速（一点法）も測定した．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．

実験条件をまとめて表-1 に示す． h_U は初期ゲート上流域の貯水深， h_B は陸上部の水路底面から模型底面までの高さ（床高）で，各ケース 3 回実験を行った．

水平力 F_x 、水路横断方向に回転軸をもつモーメント M 、全揚圧力（鉛直力） F_z 、浸水深 h の経時変化例を図-4 に示す。開口率 $O_p=0\%$ と 40% のものである。

3. 実験結果と考察

全揚圧力（鉛直力） F_z の経時変化例を図-5 に示す。図から、実験の再現性がよいことが判る。床高 $h_B=0.1$ cm とそれ以外の床高で全揚圧力（正値が上向き、負値が下向きの力）の経時変化

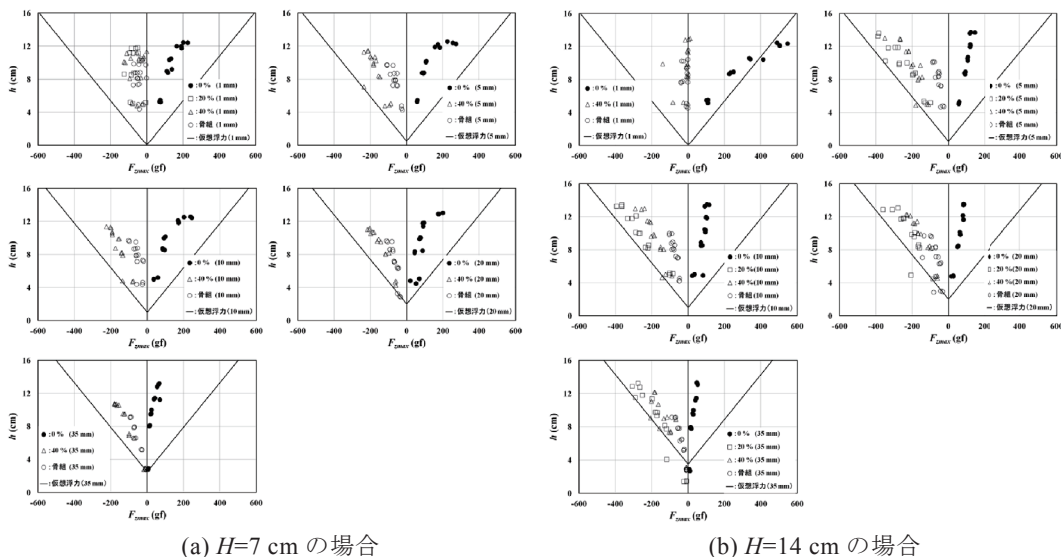


図-6 最大全揚圧力 F_{zmax} と浸水深 h の関係

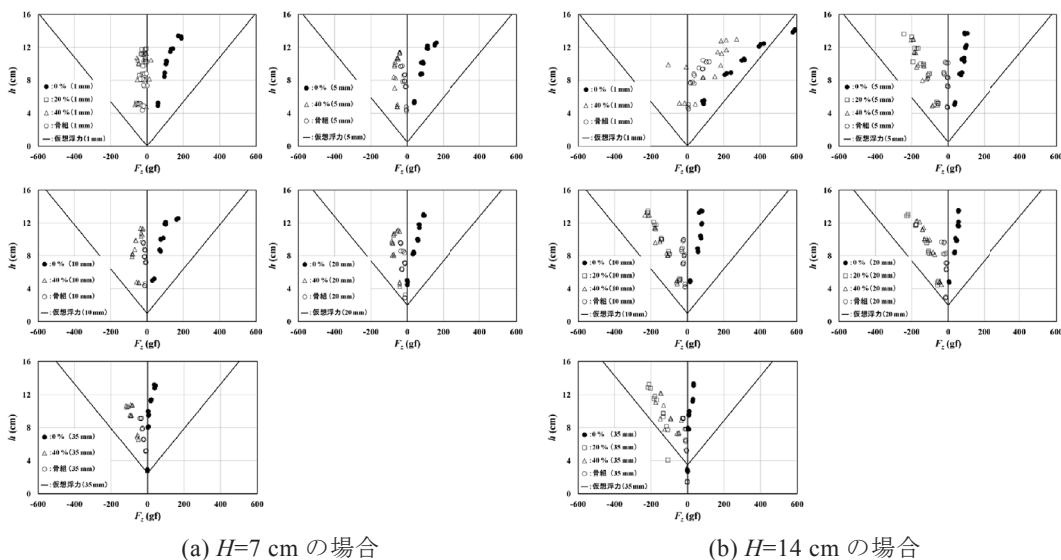


図-7 全揚圧力 F_z と浸水深 h の関係

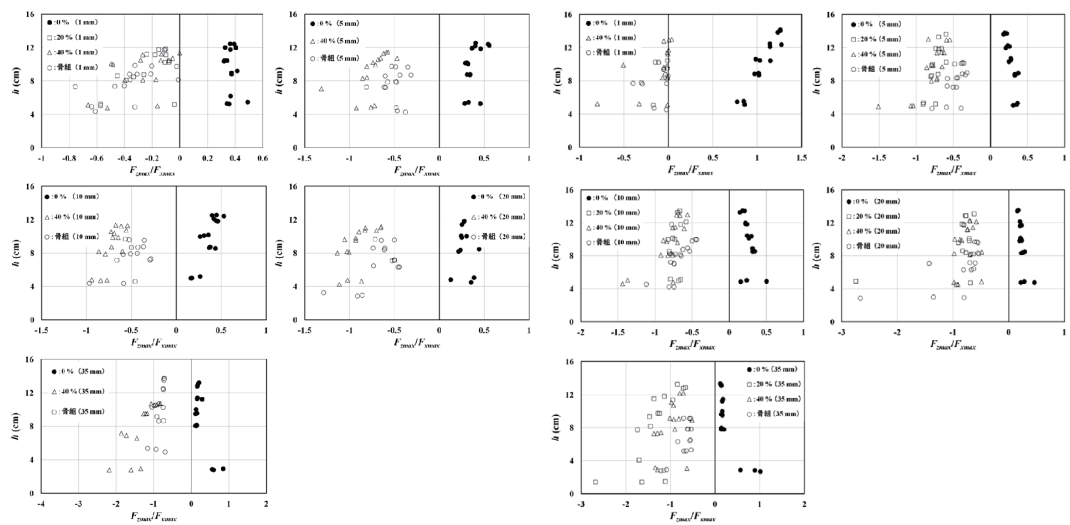
パターンが異なることも判る。前者ではほとんどの場合で下向きの揚力が働いていないが、後者では初期段階において下向きの揚力の貢献度が大きい。さらに、前者では開口率 $O_p=0\%$ とそれ以外で経時変化パターンが異なることも判る。

図-6 と 7 に各々最大全揚圧力 F_{xmax} (氾濫流衝突初期の衝撃部で発生するとは限らない)、準定常部の全揚圧力 F_z (以下、「全揚圧力」として示す) と浸水深 h の関係を示す。各図中には実線で前面浸水深に基づく「仮想浮力」²⁾ も示してある。

図から、全揚圧力は開口部が無いときは正值(上向きの力)、開口部が有るときは負値(下向きの力)となることが判る。7 cm 模型のときは模型の高さと床高を合わせた以上の前面浸水深になる場合が多い。模型を越流する場合の浮力は、越流水深に関係なく一定と考えられるが、実験結果は水没後も全揚圧力の増加を示している。これは、氾濫流が模型を越流するとき、建物の上面で上向きの揚力も働くためと考えられる⁴⁾。また、開口部を有するとき、開口率が小さくなるにつれて、下向きの力が大きくなる傾向にある。これは建物内へ流入した濁水の溜まり易さの差によると考えられる。本実験の模型に対する開口率の確保方法では、開口率 20% 模型が流入濁水を一番よく溜め易く、一番大きな下向きの流入濁水重量を生じさせることとなる。14 cm 模型のときは越流が生じず、浸水深が大きくなるにつれて、上向き、下向きともに力が大きくなる傾向にある。この傾向は最大全揚圧力 F_{zmax} 、全揚圧力 F_z の両方で認められる。

貯水深 $h_U=27.5$ cm のときの模型設置位置における入射氾濫浸水深 h_i は 8.7 cm 程度で、この浸水深位まで模型が水没するとしたときの模型に働く浮力は 330 gf (3.2 N) 程度となる。開口率 0% 模型に働く全揚圧力 (●) がこの値を超える場合は、 $H=14$ cm、 $h_B=0.1$ cm の場合を除いてなく、入射津波浸水深位まで建物が水没するとして浮力を算定する方法⁵⁾は妥当と言える。

図-8 と 9 に各々無次元最大全揚圧力 F_{zmax}/F_{xmax} 、無次元全揚圧力 F_z/F_x と浸水深 h の関係を示す。7 cm 模型、14 cm 模型ともに、浸水深 h が大きくなるにつれて、多くの場合で無次元最大



(a) $H=7$ cm の場合

(b) $H=14$ cm の場合

図-8 無次元最大全揚圧力 F_{zmax}/F_{xmax} と浸水深 h の関係

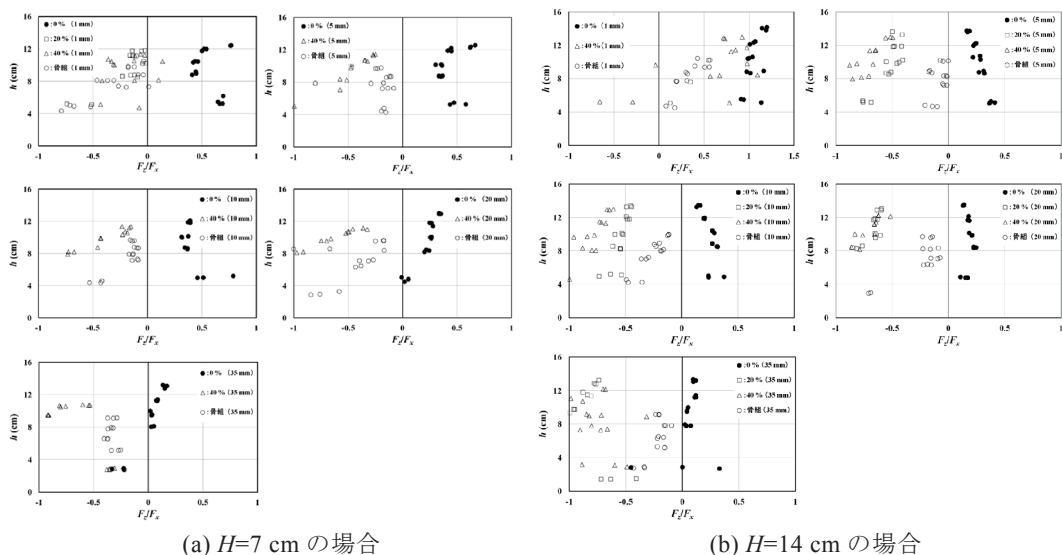


図-9 無次元全揚圧力 F_z/F_x と浸水深 h の関係

全揚圧力、無次元全揚圧力は正值、負値ともに小さくなる傾向が認められ、既報²⁾と同じである。また、開口率 0% 模型（窓があっても、壊れない場合を含む）に対する結果の中に無次元最大全揚圧力と無次元全揚圧力が 0.5 以上となる場合があることも再確認された。

4. おわりに

津波が建物を越流するときは浮力や揚圧力だけでなく、建物の上面で上向きの揚力も働き、越流水深が大きいほど大きな全揚圧力となることが判った。また、入射津波浸水深位（設計用浸水深位）まで建物が水没するとして浮力（全揚圧力）を算定する方法は妥当と言える。

謝辞：科学研究費（基盤研究(C), 24510244）（松富英夫）の補助を受けた。謝意を表する。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 松富英夫・決得元基・齋藤雅大：開口部を有する鉄筋コンクリート造建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.
- 3) 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.
- 4) 松富英夫・山口枝里子・直江和典・原田賢治：東北地方太平洋沖地震津波における鉄筋コンクリート造建物と海岸黒松の被害条件，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol.68, No.2, pp.351-355, 2012.
- 5) 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.