

平成 30 年 4 月 26 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H04073

研究課題名(和文) 氾濫流が建築物に及ぼす荷重効果に関する研究

研究課題名(英文) Study on load effects of inundation flow on buildings

研究代表者

桑村 仁 (Kuwamura, Hitoshi)

東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・教授

研究者番号：20234635

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 8,800,000円

研究成果の概要(和文)：陸上を遡上する津波、大雨による洪水、台風による高潮など、市街地を氾濫する水の流れが建築物に及ぼす荷重効果を、水理実験によって明らかにした。氾濫流の荷重効果は様々であるが、建築物の流出・流失を引き起こす荷重効果として最重要と考えられる流れ方向の流体力すなわち抗力と建築物を持ち上げる揚圧力の算定方法を直方体状および円筒状の構造体について提案し、水害避難ビルなどの耐水建築の設計に必要なデータを提供した。

研究成果の概要(英文)：The load effects on buildings of inundation flow caused by uncontrollable events such as tsunami, flood, and storm surge were investigated in this study by means of hydraulic experiment. Among various load effects, drag force and uplift force were focused, because these two are the most serious factors for the safety of hydro-resistant buildings. The methods of calculating the drag and uplift forces were proposed for buildings of cuboid and cylindrical shapes, which will be substantially useful for the design of flood refuge buildings and eventually for hydro disaster mitigation.

研究分野：建築構造学

キーワード：耐水建築 氾濫流 津波 洪水 高潮 水害避難ビル 流体力 揚圧力

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 氾濫流の荷重効果については、今まで土木分野の海岸工学と河川工学において研究が進められてきた。海岸工学では津波を対象とし、護岸を越流した津波の衝撃力を扱ったものが圧倒的多数を占める。このうち、護岸背後にある陸上構造物に作用するサージフロント衝撃力に関する研究を基にして、内閣府の津波避難ビル設計荷重が浸水深の3倍の水深に相当する静水圧荷重として暫定的に定められた。これは米国ハワイのホノルル建築条例が採用している津波サージ力の規定を踏襲したものである。ところが、最近の津波被害調査によると、この津波荷重が市街地にある陸上構造物に対しては過大であることが明らかとなってきたため、津波荷重を抜本的に見直す必要が出てきた。

(2) 一方、河川工学では洪水を対象とし、定常流での流体力、特に流れ方向の抗力について研究されてきた。しかしながら、抗力係数にもっとも影響を及ぼすとされているフルード数が0.3程度以下の小さい範囲でしか実験が行われておらず、堤防の決壊域で起こりうる高フルード数でのデータは皆無である。フルード数が1.0未満の常流から1.0を超える射流の範囲までを含む抗力係数についてはほとんど未解明である。

(3) 建築分野では、流体の荷重効果を風工学で扱ってきたが、風の知見をそのまま水の流れに援用するのは無理がある。その理由は、氾濫流には水面があるが、風には水面に相当する自由境界面がないことである。特に、水害避難ビルのように氾濫流の水面から上層階をもつような場合の荷重効果は風とは全く異なる。

(4) さらに、空気の密度は水の1/1000で重力ポテンシャルを無視できるが、水では無視できないことである(風工学では浮力の概念がない)。このことは、氾濫流にさらされた建築物の床下や基礎スラブ下に水が浸入あるいは浸透すると、構造物を持ち上げる揚圧力が働き、建築物の滑動と転倒を助長することになる。このような荷重効果についてはほとんど解明されていないのが現状である。

### 2. 研究の目的

(1) 本研究は、陸上を遡上する津波、大雨による洪水、台風による高潮など、市街地を氾濫する水の流れが建築物に及ぼす荷重効果を、水理実験によって明らかにすることを目的とする。氾濫流の荷重効果は様々であるが、建築物の流出・流失を引き起こす荷重効果として最重要と考えられる流れ方向の流体力と建築物を持ち上げる揚圧力に焦点を絞って研究を行う。

(2) 一般に、建築物は、流線形をした飛行機

や船舶などと異なり、ずんぐりした形状のため、流れが外壁のコーナー部あたりで剥離し、微視的なレベルから巨視的なレベルの乱流が生じる。この種の問題は、現代のスーパーコンピュータをもってしても直接、ナビエ・ストークスの方程式を解くことができない。本研究では模型を用いた水理実験の手法によりこの課題に当たる。

### 3. 研究の方法

(1) 水の流体力を実験的に調べる時、従来、実験室に貯水槽と水路を設けて、大量の水道水を使っていた。本研究の特色は、そのような大掛かりな装置を必要とせず、河川に図1のような試験装置を浸水設置し、河川自然流を用いる点にある。このとき、試験床の上流側と下流側に整流板を設置することにより、実験室で行うのと同様の等流(一樣流)かつ定常流が得られる。この現場実験は、自然を改変することなく、また水道料金も掛からず非常に安価に実験が可能である。流体力の実験において河川自然流を用いた例は今までになく、本研究はその実験方法に独創性があるといえる。建築分野では、水害に関わる水理研究が行われてこなかった関係で、水理実験装置を保有している建築の研究機関がない。本研究の手法は建築分野の水理研究に一計を投じることとなる。本研究により、建築物を代表する直方体あるいは円筒体状の構造物に作用する流体力(抗力)と揚圧力を計算できるようになるので、津波避難ビルなど水害対策の拠点となる建築物の構造設計における安全性の検証に決定的な役割を果たすと期待される。



図1 河川自然流を用いた水理実験

(2) 一般的な建築物を模した直方体及び円筒体の構造模型を使って、河川自然流を用いた水理実験を行い、抗力と揚圧力を明らかにする。建築物は水害避難ビルを対象とし、流れが越流しない条件で実験を行う。実験場所は、栃木県那珂川水系の標高500メートルにある沢の直線部分を用いる。自然の中にある流れの状況(水深と流速)は季節によってかなり変動するので、広範囲のフルード数でのデータを得るためには、実験を年間10回程度断続的に行う。実験装置を河川に設置するには重機が必要である。自然の護岸周辺は地盤が軟らかいのでアクセスするために、キャタピラ付きの揚重機が必要となる。データの計測・収録システムは、図2に示すように、センサー、コントローラー(増幅器・演算装置内臓)、インターフェイス(AD変換器・同調

器内臓), ノートパソコン(モニター・収録ソフト内臓)で構成される。

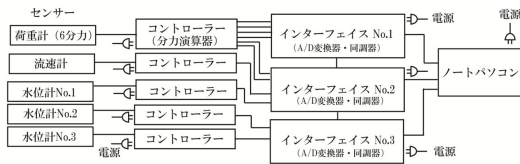


図2 計測・収録システム

(3) 初年度には, 開口のない直方体状構造物の抗力と揚圧力を調査する。構造模型は一般の建築物を模した直方体( $B \times L \times H$ )とし, その立体形状は図3の上に描いたとおりである。上面にはつなぎ材が接合されており, その中央に設けたねじ穴にねじ棒を取り付け, そのねじ棒の反対側を荷重計に接続する。開口のない条件で直方体の抗力と揚圧力を荷重計で調べる。模型の高さ $H$ は越流しないように設定する。模型の断面は図の通り, 7 ケースとする。流れに直面する幅 $B$ を3段階とするのは水路閉塞率 $B/B_0$ の影響を見るためである。また, アスペクト比 $L/B$ が抗力係数に及ぼす影響を見るために,  $B \times L$ の組合せを考慮する。

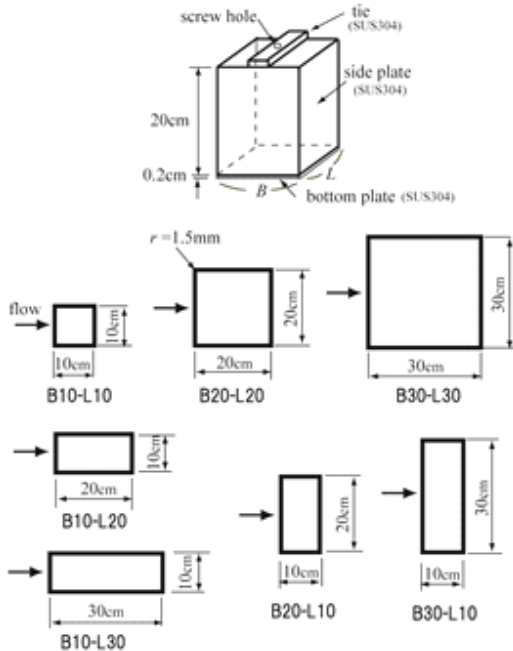


図3 直方体模型

(4) 二年目は, 前年度の直方体模型の実験を基にして, 円筒体模型の実験を同じ要領で行う。円筒体は直方体よりも抗力係数が小さくなると考えられており, 津波避難ビルの形状として有効とされている。流体力学的に見ると, 直方体との違いとして想定されるのは, 流れの剥離位置が異なってくることである。直方体の場合は, フルード数に関係なく前面壁の両側エッジで流れが剥離するが, 円筒の場合の剥離点はフルード数の影響を受ける

可能性があるため, ビデオカメラでのモニタリングを行う。模型としては, 図4のように, 直径が 10, 20, 30cm の 3 ケースとする。円筒の場合は, 表面の粗さが流体力の大きさに影響を及ぼす可能性があるが, 本研究では円筒をステンレス鋼で製作し, 粗さの影響は実験パラメータには含めないことにする。ステンレス鋼の表面は滑らかであるので, 建築構造物の外壁の状況とはやや異なることになる点については注意する必要がある。なお, 海浜地区に立つ石油貯蔵タンクのような円筒構造物には非常に有用な知見となるはずである。

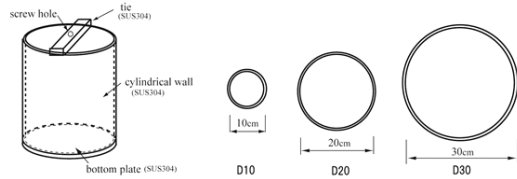


図4 円筒体模型

(5) 三年目(最終年度)は, 開口部を有する構造模型の実験を行う。開口部として取り上げるのはピロティである。ピロティは氾濫流に対する受圧面が小さくなるので, 抗力を低減させる効果があるとされているが, 抗力係数については未知であるため, 抗力を計算することが現時点ではできない。水理実験装置にラックジャッキを装着し, 模型を上下させることによって開口の高さを変化させた実験を行う。さらに, 三年間の研究の総まとめを行い, 水害避難ビルの安全性検証の方法を提示する。

#### 4. 研究成果

(1) 図5に示すような6分力計の測定値から, 直方体をした構造物に作用する抗力と揚圧力について三つの知見が得られた。

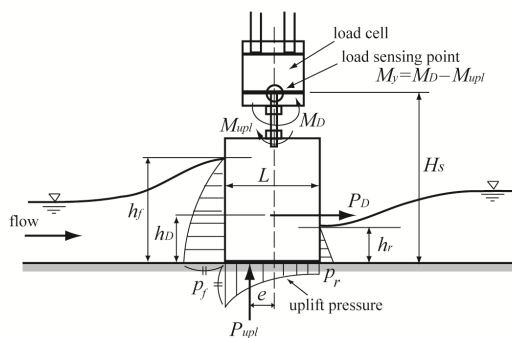


図5 流体力の測定

まず, 耐水構造設計上, もっとも重要な抗力係数が主としてフルード数に支配され, 図6のような関係があることがわかった。流体力の性質上, ばらつきが避けられないが, 抗力係数の標準値として 1.2 を設計に用いるこ

とができる。

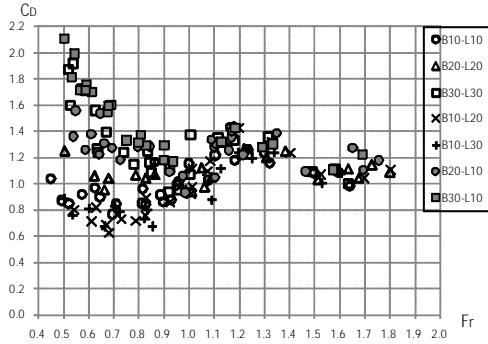


図6 直方体の抗力係数

次に、図7に示すように、揚圧力係数はフルード数と明瞭な関係があることが明らかとなった。

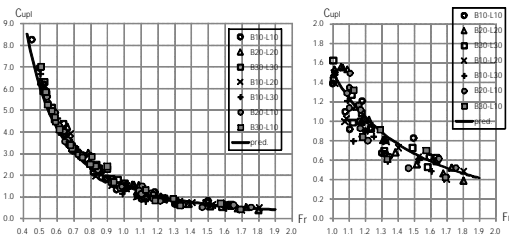


図7 直方体の揚圧力係数

さらに、揚圧力の分布は上流側で大きくなり、その合力の作用点がフルード数の上昇とともに上流側に移行し、構造物に転倒モーメントをもたらすことが明らかとなった。そのときの偏心率は図8のようにになっていることが判明した。

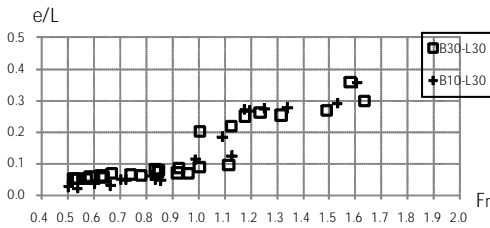


図8 直方体の揚圧力の偏心

(2) 円筒体模型の水理実験では、モニタリングにより、流れの剥離状況が図9のように明瞭に捉えられた。

円筒の抗力係数はフルード数に対して図10のようになっており、直方体より小さいとはいえ、さほど低下せず、1.0前後の値を設計で用いるのがよいことがわかった。これは、水面の変形が円筒でも避けられないため、抗力に占める造波抗力が低下しないためと考えられる。

円筒の揚圧力係数は図11のようになっており、これは直方体と全く同じであることが判明した。

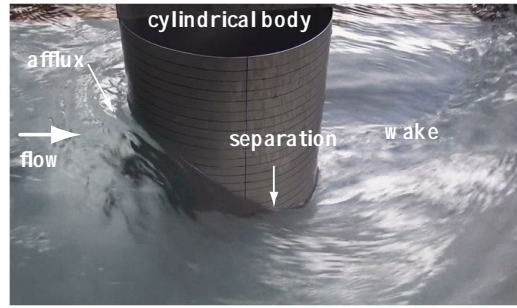


図9 円筒周辺の流れ

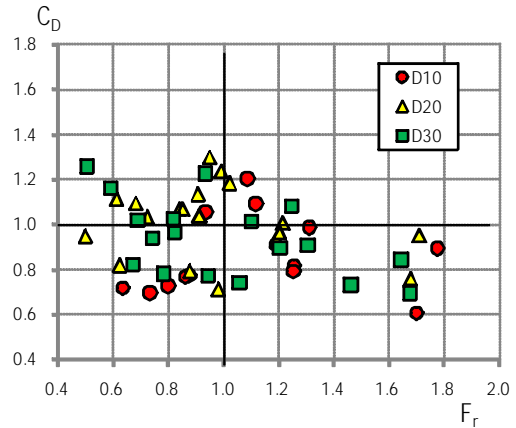


図10 円筒の抗力係数

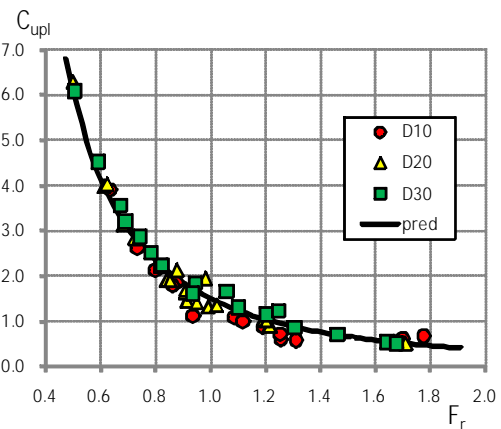


図11 円筒の揚圧力係数

(3) ピロティを模した底部に開口を有する壁体の抗力と抗力係数について実験を行ったところ、図12のようなデータが得られた。時間軸の  $t_1$  から  $t_2$  に向かって開口高さを大きくしていくと、受圧面積が低下するため抗力  $P_D$  自体は減少するが、造波作用が卓越するため、抗力係数  $C_D$  は上昇する傾向を示すことが明らかとなった。

(4) 本研究の成果を取り込んで、『建築水理

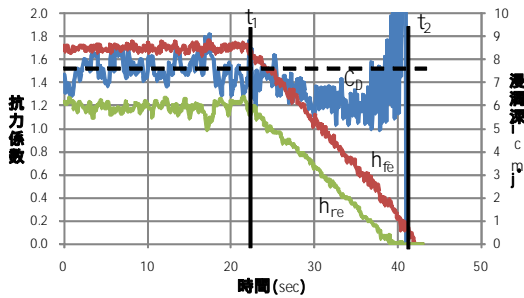
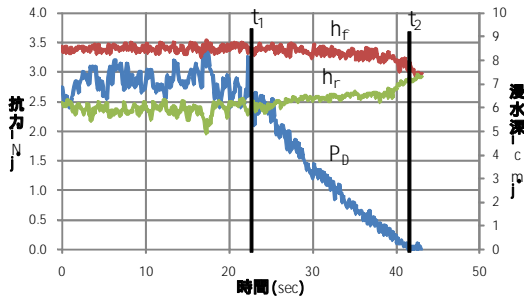


図 12 ピロティ付き壁体の抗力と抗力係数

学 - 水害対策の知識 - 』を出版した。建築技術の視点から水害対策の教材としてまとめたものである。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 2 件)

桑村 仁, 氾濫流に建つ直方体構造物の抗力と揚圧力 -河川自然流を用いた水理研究 その 2-, 日本建築学会構造系論文集, 査読有, 第 81 巻, 第 720 号, 2016, 219-227

桑村 仁, 小山 毅, 奥野寛樹, 佐藤恵治, 家屋の浸水試験方法とその実施例, 日本建築学会構造系論文集, 査読有, 第 80 巻, 第 717 号, 2015, 1763-1771

〔学会発表〕(計 2 件)

桑村 仁, 底部を流れが通過する部分浸水壁体の抗力, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2017, 43-44

桑村 仁, 流れに部分浸水した円筒の抗力と揚圧力, 日本建築学会関東支部研究報告集, 2017, 373-376

〔図書〕(計 1 件)

桑村 仁, 技報堂出版, 建築水理学 - 水害対策の知識 -, 2017, 240

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：

種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等  
<http://www.stahl.arch.t.u-tokyo.ac.jp/index-j.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

桑村 仁 (KUWAMURA, Hitoshi)  
東京大学・大学院工学系研究科・教授  
研究者番号：20234635

(2) 研究分担者

なし ( )

研究者番号：

(3) 連携研究者

なし ( )

研究者番号：

(4) 研究協力者

なし ( )