

# 雨どいの排水能力評価に関する研究

小石 一 宇 飯 田 有 未  
染 川 大 輔 大 塚 清 敏

## A Study on Evaluation of the Drainage Performance of Eaves Gutter

Ichiu Koishi Yumi Iida  
Daisuke Somekawa Kiyotoshi Otsuka

### Abstract

For buildings with large areas, rainwater drainage treatment of eaves gutters is important. Poor drainage due to rainfall exceeding the design criteria and water leakage into rooms due to clogging of drains and pipes are expected to increase in the future owing to the recent increase in short-term heavy rainfalls. Therefore, a proper evaluation of the drainage capacity in buildings and the factors that hinder it are required. In this study, we examined an evaluation method using a numerical analysis of the drainage performance. First, we experimented using the proposed model. We performed a reproduction analysis to verify the applicability of computational fluid dynamics. Next, we evaluated the drainage capacity under different clogging conditions of the drainage port, targeting a full-scale model of the eaves gutter.

### 概 要

とい(樋)の雨水排水において、建築面積の大きな建物では設定降雨量を超えた降雨による排水不良やドレイン、配管の目詰りによる室内への漏水などが発生する可能性がある。これらの現象は、近年の降雨の傾向から今後さらに増加することが予測されるため、建築物の排水能力や阻害要因を的確に把握することが求められている。そのため本研究では建物の雨水排水能力の数値流体解析による評価手法の検討を行った。はじめに、雨どい模型を用いた室内実験と数値流体解析を行うことで数値解析手法の適用性の検証を行った。次に、実物件への適用を想定し、折板屋根の雨どいの一部を対象に、数値実験により排水口の目詰り状況の違いによる排水能力評価を行った。その結果、雨水の流入量が多い場合は落とし口周りの目詰り状況の違いにより排水能力が著しく変化することが分かった。今後は、建物や敷地全体を対象とした雨水排水評価手法の構築を目指す。

### 1. はじめに

近年、短時間豪雨が増加傾向にある。気象庁の観測データによると、全国アメダスの1時間降水量50mm以上の年間発生回数は約30年前と比べ約1.4倍、1時間降水量80mm以上の年間発生回数は約1.7倍に増加している<sup>1)</sup>。また、気象庁の報告では、地球温暖化の進行によって短時間豪雨の発生回数と降水量がともに増加することが予測されており、1時間降水量50mm以上の年間発生回数は現在と比べて21世紀末には全国平均で2倍以上となることが示されている<sup>2)</sup>。

近年の短時間豪雨の増加に伴い、建築面積の大きな建物における雨水排水能力が課題となってきている。例えば、設計時の設定降雨量を超えた降雨による排水不良や、ドレイン、配管等の目詰りによる室内への漏水などは、近年の降雨の傾向から今後さらに増加することが予想される。そのため、建築物の排水能力や阻害要因の適正な把握が求められている。

以上の現状を踏まえ、本研究ではまず初めに建物外部の雨どいを対象とした雨水排水能力の数値流体解析による評価手法の検討を行った。ここでは、雨どいの縮小模

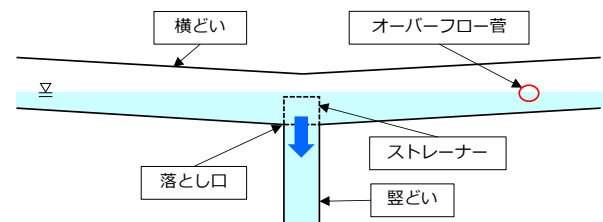


Fig. 1 雨どいのイメージ  
Image of the Eaves Gutter

型による実験を実施し、実験結果の再現解析を行うことで数値流体解析手法の適用性の検証を行った。

次に、数値流体解析手法の実物件への適用を想定し、折板屋根の雨どいの一部を実大規模でモデル化し数値実験を行った。Fig. 1はモデル化した雨どいのイメージ図である。雨どいの不具合の多くは、落とし口(横どいと縦どいの接続部)周りの目詰りが原因となっている。このような目詰りは、落ち葉や土砂、ゴミなどが落とし口に溜まる、あるいは落ち葉などがストレーナーに張り付くなどして引き起こされる。落ち葉などで詰まっている部分はほとんど水を通さない。そのため、ここでは落ち葉やゴミが張り付いて目詰りを起こした落とし口の状況を、

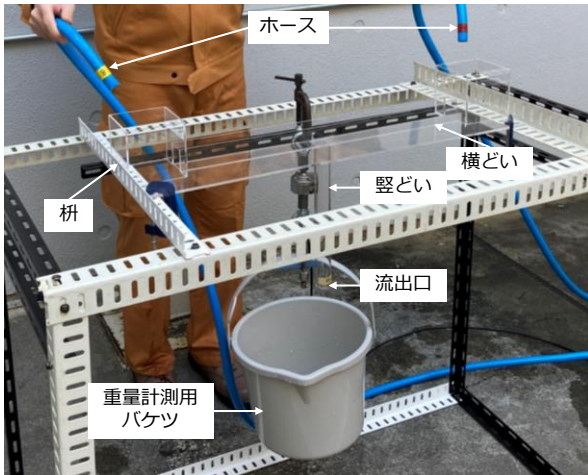


Photo 1 模型と実験の様子  
Status of Experiment on Eaves Gutter

ストレーナーの一部が完全に水を通さない状況と仮定した。そして、汎用的な2種類の形状のストレーナーを対象に、排水口の目詰り状況の違いによる排水能力評価を行った。本論文では、これらの結果について述べる。

## 2. 雨どい模型実験と数値流体解析手法の構築

### 2.1 実験模型と実験条件

数値流体解析の適用性検証に先立ち、解析の検証データを得ることを目的として、横どいと縦どいからなる模型を用いた排水の室内実験を行った。Photo 1は模型と実験の様子である。実際の雨どいの設置状況を参考に横どいの両端部に集水口の枅を設け、枅に集水された水が横どいをつたって中央部にある縦どいに流入し排水される形状とした。実験では、縦どい流出口からの流出量の計測を行う。目標流入量は両端の枅への流入量を合わせて約0.4L/s(実際は0.33L/s)とした。縦どいは管径28mm(以下、D28)を採用した。さらに、管径に応じた排水能力の評価を行うため、管径を2mmずつ小さくしたD26, D24, D22, D20と、D20の1/2の管径のD10, 計6ケースの縦どいを用いた。

横どいについては、矩形断面の横どい模型を採用し断面の幅を42mmとした。既製品は断面の幅が120~200mmであるのに対し、本実験模型は1/5~1/3程度の縮小模型である。横どいは所定の流量が排水できるよう、設計時に陸屋根の横走り管の排水量算出に用いられるマンングの式より横どいの勾配を1/100とした<sup>3)</sup>。

### 2.2 実験方法と実験結果

本実験では、横どい両端の枅(流入部)への流入量と縦どいからの流出量をそれぞれ計測した。流入量および流出量の計測は、流入口および流出口の直下で水の重量をロードセルで測り、水の重量と計測時間から流量を換算する方法を採用した。流入量および各縦どい管径の流出量をそれぞれ3回ずつ測定し、その平均をとることで流

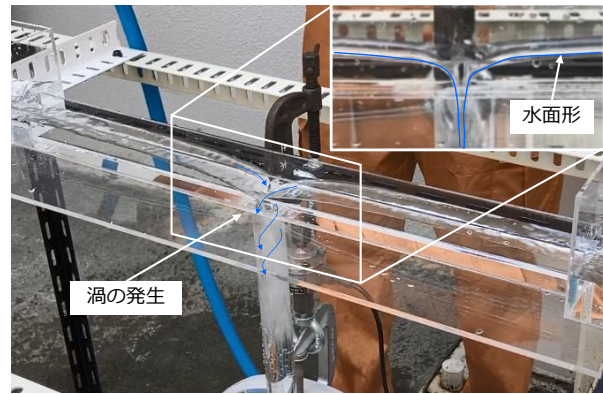


Photo 2 縦どい管径D26における渦の発生状況  
Vortex at the Vertical Gutter Inlet in Case D26

Table 1 縦どい管径毎の流出量および流入量

Inflow and Outflow Discharge for Each Diameter Case						
縦どい管径	D28	D26	D24	D22	D20	D10
流出量(L/s)	0.328	0.321	0.323	0.339	0.331	0.140
流入量(L/s)	0.330					

入・流出量を求めた。なお、流入量の計測は流出量の計測と同時に実施できないため、別途計測した。

Table 1は横どいの両端の枅(流入部)への流入量と各縦管径の流出量の測定結果(3計測の平均値)である。D28, D26, D24, D22, D20のケースの結果(Table 1)では、管径の比較的小さいD22とD20のケースにおいて流出量が流入量を上回り良好な排水結果となった。他方、D10のケースでは、流入量が流出量を約2倍程度上回る排水不良の結果となった。また、Table 1に示す3計測の平均値は流入量が流出量を上回る排水不良の結果であっても、各管径におけるそれぞれ計測結果は流出量が流入量を上回る結果とそうでない結果が混在していた。つまり、D26やD24のケースにおいても平均値は流入量が流出量を上回っているが、3計測の中には流出量が流入量を上回る結果があった。

Photo 2はD26の流出量が流入量を上回ったときの縦どい流入口へ水が流れ込んでいく状況を示した写真である。写真では判別が難しいものの、縦どい流入口の直上では渦が発生し、流入口を中心に縦どい内部に同心円状に水位が下がっている様子が認められた。実験中の目視観察では、D28, D26, D24, D22, D20のケースで間欠的な渦の発生が認められ、渦が発生している間は音を立てながら勢いよく排水されていた。実験では渦の発生している時間が長いケースほど良く排水される傾向があったため、縦どい管径のわずかな違いよりも渦の発生の有無が排水能力に与える影響が大きい。

渦の発生にともなう排水能力の変化は不連続であり、渦の発生頻度や発生間隔はかなりランダム性の高いカオスな現象のようである。このような渦は水力発電施設の取水設備等でもしばしば発生しており、空気吸い込み渦や水中渦などと呼ばれ、設備損傷や発電出力の支障の原

因となっているようである<sup>4)</sup>。しかし、空気吸い込み渦の発生規模の予測やその制御は難しく、現象そのものも未解明であるため<sup>(例えば5)</sup>、本検討とは別に今後取り組むべき課題である。本検討では渦の発生しない状況、つまり排水量の観点から安全側となる状況を数値解析により再現することとした。

2.3 実験の再現解析の概要

本研究では雨どいを流下する水の流れを詳しく再現するため、ナビエーストークス方程式を基礎式とする3次元数値流体解析を行った。解析にはオープンソースの流体解析ソフトウェアであるOpenFOAM-v1606+を用いた。対象とする流れを再現するため、等温、非圧縮、不混和の2相流を対象としたinterFoamソルバを用いることとし、乱流モデルは境界層流と自由剪断流の双方に対し再現性が高いSSTk- $\omega$ モデル<sup>6)</sup>を採用した。Table 2は本検討で採用した水および空気の物性値である。計算時間は実験において流入量と流出量が釣り合う状態に達するのに十分な30秒間とした。計算間隔については、空間に対してはメッシュサイズを5mmとし、時間に対してはCFL条件を満たすよう0.001sを基本とする変則的な時間刻み幅を設定した。

境界条件は、流速に対して横どいの両端部を流入境界とし実験時と同じ流量を定常与えた。縦どいの最下端は流出境界として速度勾配ゼロ、各壁面で壁境界条件をそれぞれ与えた。また、圧力に対しては流入部と流出部、および空気に接する部分を大気開放条件とし、その他の壁面で圧力勾配ゼロを与えた。初期条件は実験と同じく水が無い状態とした。

2.4 結果と考察

本検討では渦の発生していない排水状況を再現するため、渦が発生しなかったD28のケースに対し実験値との比較を行う。Fig. 2はD28のケースにおける流入量および流出量の計算結果の時系列である。計算開始直後、横どいの枡に流入した水は横どいをつたって縦どいへ流下すると共に横どいの水位は上昇し、計算開始後約10秒で流入と流出量が釣り合う状態に達した。Fig. 3は計算開始後15秒時点における再現解析の結果である。D28は実験において渦が発生しなかったケースだが、再現計算においても渦は発生しておらず、ほぼ定常な流れの状態となっている。Table 3は縦どい管径D28のケースにおいて流入量と縦どいからの流出量の実験値および再現解析値を比較したものである。流入量0.330L/sに対し、実験および再現解析の流出量の値はそれぞれ0.328L/sおよび0.327L/sとほぼ一致した。以上の検討結果より、渦の発生していない状況において本検討で実施した数値流体解析は前節の雨どい実験の結果を良好に再現できることが分かった。

実験で渦の発生したD20のケースの再現解析の結果をTable 4に示す。数値流体解析の結果は、縦どいへの流入

Table 2 物性値

Physical Properties

	水	空気
密度(kg/m <sup>3</sup> )	998.2	1.225
粘性係数(kg/m <sup>3</sup> ·s)	1.003×10 <sup>-3</sup>	1.789×10 <sup>-5</sup>
表面張力係数(N/m)	0.07	

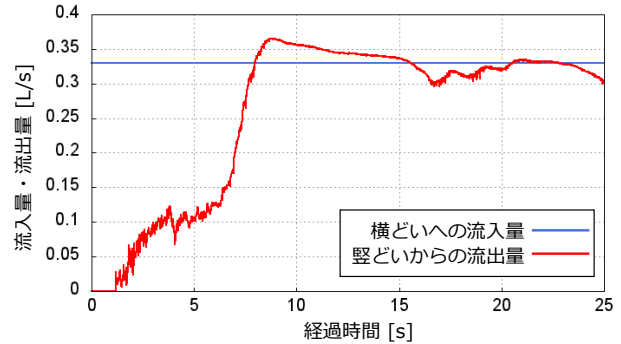


Fig. 2 D28の実験ケースにおける流入・流出量の再現解析値時系列

Time Series of Calculation Results of Cumulative Inflow and Outflow Discharge in Case of D28

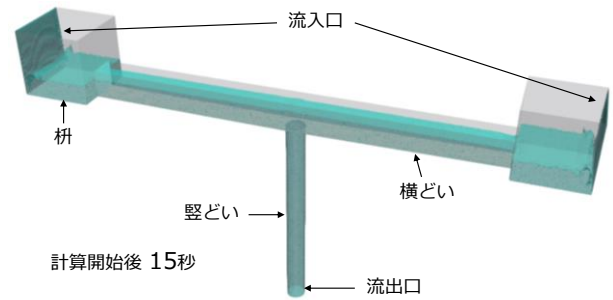


Fig. 3 計算開始後15秒時点での再現解析結果 Numerical Results after 15s Calculation

Table 3 D28の実験ケースにおける流入・流出量の実験値と計算値の比較

Comparison of Experimental Values and Numerical Solutions of Inflow and Outflow in the Case of D28

	実験値	計算値
流出量(L/s)	0.328	0.327
流入量(L/s)	0.330	

Table 4 D20の実験ケースにおける流入・流出量の実験値と再現解析値の比較

Comparison of Experimental Values and Numerical Solutions of Inflow and Outflow in the Case of D20

	実験値	計算値
流出量(L/s)	0.331	0.189
流入量(L/s)	0.330	

量が流出量を上回り横どいで水が溢れる結果となった。数値流体解析では安全側の評価となっているため、本計算結果は実現象において渦が発生しなかったパターンを計算したことに相当している。しかし、実験では渦が発生しその間は排水能力が増加していた。そのため、再現精度をさらに向上させるためには、渦の発生・発達・維持機構の解明、これらの機構を説明可能な乱流モデルの改良等の検討が必要であると考えらる。

### 3. 排水口の目詰り状況の違いによる雨どいの排水能力評価に関する数値実験

#### 3.1 落とし口周りの目詰りによる排水不良

本研究では、数値流体解析手法の実物件への適用を想定し、折板屋根の雨どいの一部を実大規模でモデル化し、数値実験により排水口の目詰り状況の違いによる排水能力評価を行った。

Photo 3は落とし口周りのストレーナーに落ち葉や土砂、ゴミなどが溜まる状況の写真である。ストレーナーとは、配管の接続部に設けられる、ゴミなどの異物を取り除くためのパーツであり、(a)筒型、(b)ドーム型等の形状がある(Photo 3)。ストレーナーにゴミが詰まっている部分はほとんど水を通さない。そのため、数値解析では目詰りを起こした落とし口の状況を、ストレーナーの部分的な閉塞を表す筒型およびドーム型の壁でモデル化した、排水能力を比較する検討を行った。

#### 3.2 数値実験の概要

2章と同様の手法で3次元数値流体解析を行う。ソルバや乱流モデル等の数理モデルの選定、および水や空気の物性値の設定は2章においてチューニングした設定をそのまま採用することとした。

Fig. 4は折板屋根の雨どいの一部を実規模で模擬した計算領域の長手方向の断面図である。折板屋根の谷部から流れてきた雨水が横どいに流入する状況を再現するためFig. 4中の横断面図上部において高さ20mmのスリットを等間隔に20か所設置した。雨水はこのスリットを通過して紙面奥から手前向きに流入し、横どいをつたって中央部にある縦どいへ流入し縦どいを流下する。Fig. 5は落とし口のある横どい中央部における短手方向の断面図であり、(a)は目詰りなし、(b)、(c)はそれぞれ円筒型、ドーム型のストレーナーの一部が落ち葉などにより目詰りしている状態をストレーナーの形に沿った不透壁としてモデル化したものであり、計算メッシュの分割状況と合わせて示している。雨水の流出口は2箇所設けている。1箇所は縦どいの最下端である。もう1箇所は落とし口から上方280mmの位置に5mm高さのオーバーフロー管を模擬した連続スリットを設置した。数値解析上のメッシュサイズは20mmを基本サイズとし、壁面近傍で10mm、落とし口の近傍で5mmとした。計算時間は40秒間とし、時間刻み幅はCFL条件を満たすよう0.005sを基本とする変則



(a)筒型ストレーナー (b)ドーム型ストレーナー

Photo 3 落ち葉やゴミの貼り付きによるストレーナーの目詰りの例

Example of Strainer Clogging due to Fallen Leaves or Dust Sticking

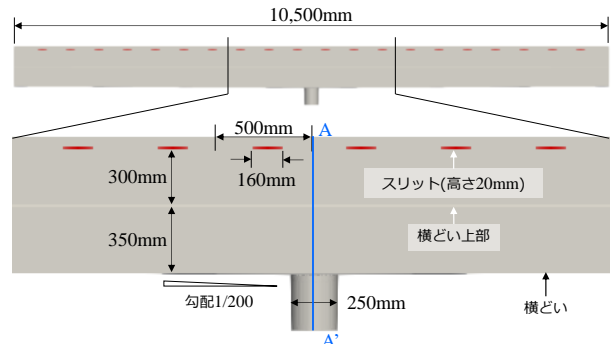
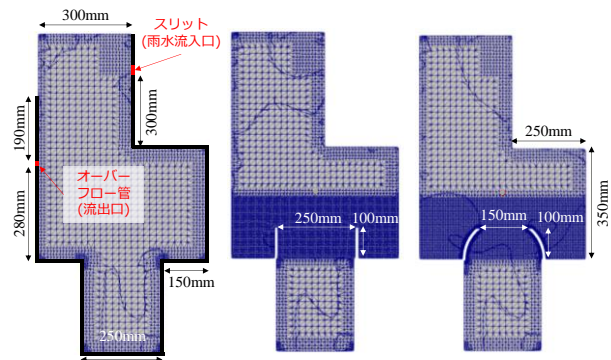


Fig. 4 折板屋根の雨どいの一部を実大規模でモデル化した解析用モデルの長手方向の断面図

Longitudinal Cross Section of an Actual Scale Model of a part of an Eaves Gutter with a Folded-Plate Roof



(a)目詰りなし (b)筒型目詰り (c)ドーム型目詰り

Fig. 5 落とし口部分の計算領域の短手方向断面図 (Fig. 4のA-A'断面図)、計算メッシュ分割状況、および目詰り状況のモデル化

Short-Length Cross Section of the Calculation Area of The Inflow Port, Computational Mesh, and Modeling of Clogging Situations

的な刻み幅とした。

境界条件は、流速についてはFig. 4の上部スリット部を流入境界とし、中央の縦どいの最下端と横どい壁面の連続スリットは流出境界として速度勾配ゼロ、各壁面で

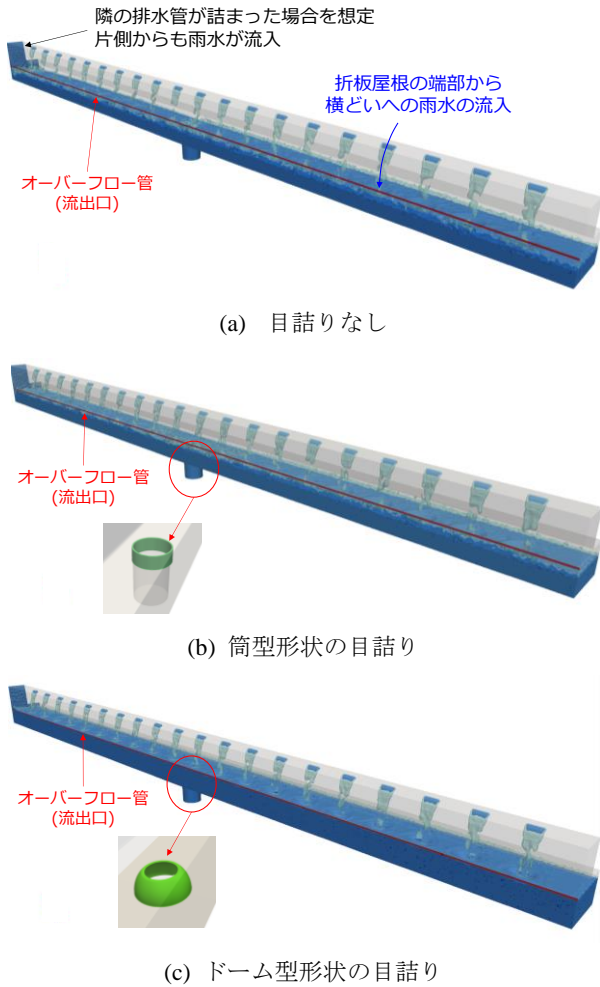


Fig. 6 落とし口形状の違いによる排水状況の比較  
Comparison of Drainage Conditions  
as the Difference in the Shape of the Strainer  
at the Gutter Outlet Numerical Results

壁境界条件をそれぞれ与えた。また、圧力については流入部と流出部、および空気に接する部分を大気開放条件とし、その他の壁面で圧力勾配ゼロを与えた。初期条件は全区間で水が無い状態とした。

本数値実験では、近年の局地的短時間豪雨において災害をもたらす恐れのある降雨強度100mm/hが約1,200m<sup>2</sup>の屋根面に降った場合を想定し、これに相当する流量(約33L/s)を上部スリット部に定常に与えた。また、流入量の違いによる目詰り状況の違いを分析するため、上部スリットからの雨水の流入量約33L/sと同じ流量を横どいの片側端部にも与え合計で約66L/sの流量を与えた数値実験も各落とし口の形状に対し行った。これは、隣のストレーナーが詰まり、倍の雨水が流入してくる状況を想定している。

### 3.3 結果と考察

Fig. 6(a)~(c)は流入量約66L/sのときの計算開始後40秒時点における数値解析結果を示した図である。隣の排

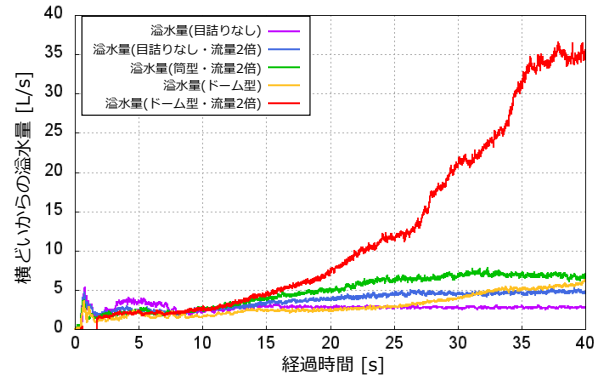


Fig. 7 目詰り状況をモデル化した各落とし口形状および流入量毎の横どいからの溢水流量の時系列グラフ

Time Series of Overflow Discharge from the Horizontal Gutter for Each Inlet Shape and Inflow

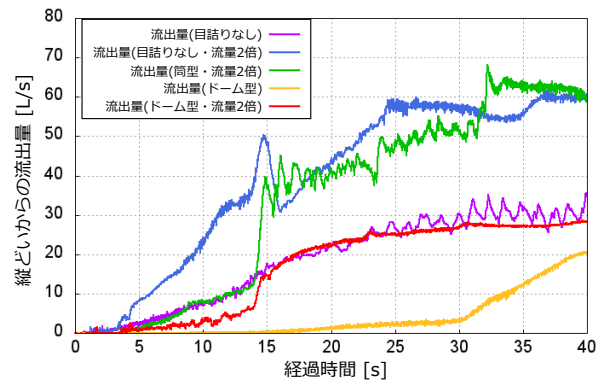


Fig. 8 目詰り状況をモデル化した各落とし口形状および流入量毎の縦どいからの流出流量の時系列グラフ

Time Series of Outflow Discharge from the Vertical Gutter for Each Inlet Shape and Inflow

水管が詰まった場合を想定したケースにおいて、(a)目詰りなしと、落とし口の目詰り状況を再現した(b)筒型、(c)ドーム型のそれぞれの排水状況を示している。横どいの湛水深とオーバーフロー管の位置関係に着目すると、(c)ドーム型形状の湛水深はその他と比べて大きく、横どい壁面のオーバーフロー管(流出口)に到達している。

Fig. 7は目詰り状況を模擬した各落とし口形状における流入量毎の横どい(オーバーフロー管)からの溢水流量の時系列、Fig. 8は縦どい最下端からの流出流量の時系列である。Fig. 7より、流量約33L/sの場合、落とし口の形状の違いによる横どいからの溢水量の差は小さい。しかし、2倍の流量を与えたケースにおいて、(c)ドーム型の流入口形状では排水が追い付かず、横どいから溢れる水量が急激に増える結果となった。他方、Fig. 8より(b)筒型および(c)ドーム型の落とし口形状を設置したケースの縦どいからの流出量は、ある閾値を境に不連続に増加している。これは、落とし口形状の外周部の立ち上が

りが要因と考えられ、横どいの湛水深が落とし口高さに到達する前後で流出量に変化していると推測できる。また、目詰りなしのケースでは流入量が2倍になると流出量も概ね2倍となっているが、(c)ドーム型の落とし口形状を設置したケースでは、流入量が2倍になると流出量の不連続点が現れる時間に明確な違いがあらわれ、最終流出量は流入量1倍のケースと比べて約1.4倍と小さくなっている。流入量が2倍の場合は堅どいからの流出量が小さい代わりに、横どいからの溢水量が急激に増加したのが要因と考えられる。この理由として、横どいにおける湛水深が流入口高さに到達してからは、上から見た時の排水面積（堅どい流入口の大きさ）の違いが排水能力に影響を与えた可能性が考えられる。つまり、(c)ドーム型は(b)筒型と比べ排水面積が小さく流れが遮蔽されるために、流出口の遮蔽効果が抵抗となって排水能力が小さくなり結果的に横どいからの溢水量が急激に増加したと考えられる。

Table 5は2倍の流量を与えたケースにおいて、計算開始後40s時点の横どいからの溢水流量と堅どいからの流出流量の解析値、横どいへの流入流量を比較したものである。これまでの考察で述べた通り、(a)目詰りなしおよび(b)筒型のケースでは流出量と溢水量の合算値に対する溢水量の割合はそれぞれ約7%、約11%であるのに対し、(c)ドーム型のケースでは約50%であり、横どいに流入した雨水の約半分が排水しきれず溢れる結果となった。(b)筒型および(c)ドーム型はその外周部の立ち上がり高さが同じであるにもかかわらず、排水能力はドーム型が著しく小さく、(b)筒型は目詰りのない時と同程度の排水能力を最終的に維持していた。これは、流出口の面積が小さくなることで排水能力が小さくなったことが原因と考えられる。

#### 4. まとめ

本研究では建物外部の雨どいを対象として雨水排水能力の数値流体解析による評価手法の検討を行った。はじめに、モデルによる実験を実施し、実験結果の再現解析を行うことで数値流体解析手法の適用性の検証を行った。次に、実物件への適用を想定し、折板屋根の雨どいの一部を実大規模でモデル化し、数値実験により排水口の目詰り状況の違いによる排水能力評価を行った。得られた知見を以下に示す。

- 1) 雨どいモデルによる室内実験では堅どい流入口での渦の発生の有無によって排水能力が不連続に変化

Table 5 溢水・流出流量の解析値および流入流量の比較

Comparison of Numerical Results of Overflow, Outflow, and Inflow

	(a)目詰りなし	(b)筒型	(c)ドーム型
溢水量(L/s)	4.8	7.0	35.5
流出量(L/s)	60.8	59.0	28.4
流入量(L/s)	66.6		

しており、渦の発生している時間が長いケースほど排水能力が高い傾向があった。

- 2) 本検討で実施した数値流体解析では渦の発生が無いケースの実験結果を良好に再現できることが分かった。
- 3) 2種類のストレーナーの形状をモデル化し、数値実験による排水能力評価を行った。その結果、雨水の流入量が多い場合にドーム型構造の場合は開口面積が小さくなることで排水能力が落ちる可能性があることが確認できた。
- 4) この理由として、排水面積が小さくなると流れが絞られるため、これが抵抗となり排水能力が小さくなったと考えられる。

近年は短時間豪雨が増加傾向にあるため、建築物の雨水排水に関する問題は今後増えてくることが予想される。そのため、今後は建物や敷地全体を対象とした高精度な雨水排水評価手法の構築を目指す。

#### 参考文献

- 1) 気象庁：気候変動監視レポート2021，2022.3
- 2) 気象庁：地球温暖化予測情報第9巻，2017.3
- 3) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説JASS 12 屋根工事 2020年6月改定，2020.7
- 4) 久末信幸，竹原幸生，進藤誠士郎，高野保英：PIVを用いた鉛直取水設備の空気吸込み渦の水利特性把握，水工学論文集B1(水工学)，Vol. 71, No. 4, I\_523-I-528, 2015.2
- 5) 水島二郎，阿部和貴，横山直人：不安定性により発生するバスタブ渦，ながれ：日本流体力学会誌，32(6)，pp. 457-462，2013.12
- 6) Menter, F. R. : Two-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Engineering Applications, AIAA Journal, Vol. 32, No. 8, pp. 1598-1605, 1994.8