

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 7 日現在

機関番号：32704

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25289201

研究課題名(和文) 超節水型トイレ対応排水設備配管システムの計画手法に関する研究

研究課題名(英文) A study on a method for planning a water-saving toilet compatible drainage piping system

研究代表者

大塚 雅之(Otsuka, Masayuki)

関東学院大学・建築・環境学部・教授

研究者番号：20288088

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,800,000円

研究成果の概要(和文)：節水型トイレが建物内の排水設備システムに設置された場合の衛生性や安全性確保のために、計画設計に資する以下の点を明らかにした。排水横管内での搬送性能の低下に伴う汚物やトイレトーパーの搬送距離を予測し、配管設計支援に活用できるシミュレーションツールを開発した。排水立て管システムの排水能力への影響を実験手的に評価し、節水型トイレの適用の可能性を明確にした。伸頂通気管部(ペントキャップ)等における外部風速、換気設備等が節水型トイレ等のトラップに及ぼす影響を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：The following matters have been clarified, which contribute to planning and designing a piping system for a building drainage system with a water-saving toilet installed thereto, in terms of ensuring hygiene and safety. The prediction of carrying distances of waste, toilet paper, etc., in relation to the decline of carrying performance in the horizontal drainpipe, followed by the development of a simulation tool conducive to piping design support. The experimental evaluation of how a piping system affects the drainage performance of a drainage stack system, followed by the clarification of applicability of a water-saving toilet to the piping system. The clarification of how the speed of external wind in the stack vent pipe (vent cap) and ventilation facilities affect the trap of the water-saving toilet.

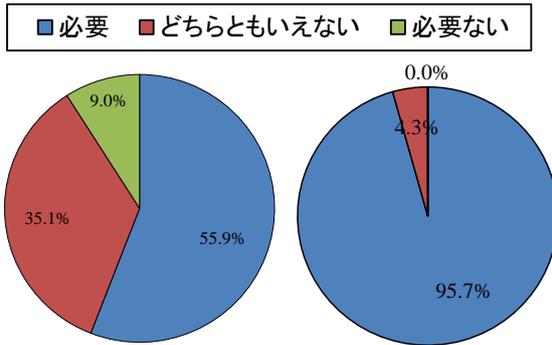
研究分野：建築学

キーワード：給排水衛生設備 節水形トイレ 排水設備システム 排水横管 搬送性能 搬送特性 シミュレーション CFD

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 世界各国でトイレの節水化が推進され、洗浄水量は米国西海岸で 4.8L、中国都市部で 6L の規制がかけられている。一方、わが国においては、1980 年代から 2013 年にかけて、洗浄水量は 13L から 5L 程度まで削減されてきており、JIS 規格でも、節水Ⅰ型 (8.5L 以下)、節水Ⅱ型 (6.5L 以下) の節水型トイレが規定されている。

(2) 図 1 に示す一般居住者・学生等へのアンケート調査の結果からも、トイレの節水化の必要性は多くの消費者が認識していることがわかっている。



(1) 集合住宅 (UR 関連 n=365) (2) 学生 (n=23)

図 1 節水型トイレの必要性の意識調査

(3) 排水設備システムに及ぼす影響として、排水横管内でのレットペーパーや汚物の停滞・詰りの可能性があり、配管の計画・設計手法の策定が必要とされていた。また、同トイレが排水立て管システムに設置された場合、従来トイレに比べ短時間に多量の排水が排出される機構を有しており、大きな管内圧力変動が発生し、衛生器具のトラップ防水へ影響 (破封) が懸念されていた。

(4) 高气密化した建物内での換気システムの運転や外部風圧の影響を受け、管内に過度の圧力変動が生じ溜水面の小さな節水型トイレでは、破封の可能性が高いことも危惧されていた。

### 2. 研究の目的

本研究は、超節水型トイレが建物内の排水設備システムに設置された場合に、衛生面で支障なく安全な排水配管システムの計画・設計を行うためのガイドラインの整備に向け、工学的な知見を得ることを目的としている。そのために、使用者等の節水意識アンケート調査結果なども参考しながら、以下の 3 つの技術的課題について検討した。

- (1) 排水横管内での排水特性と搬送性能を把握するためシミュレーション手法の開発とその検証
- (2) 排水立て管システムの排水能力への影響の把握
- (3) 伸頂通気管部における外部風圧と換気設備の影響の検討

### 3. 研究の方法

#### (1) 排水横管における搬送性能実験とシミュレーション手法

様々な排水横管モデルにおいて、管内の汚物等の搬送性能 (汚物等の搬送距離で表示)

を把握する上で必要となる節水型トイレの器具排水特性を図 2 に示す SHASE-S220 「器具排水特性試験法」により測定し、初期データとして捉えた。その際には、供試節水型トイレは市販の洗浄水量の異なる 8L、6L、4.8L の 3 種類を用い、最も基本となる①ストレート配管、②等間隔曲り配管、実在配管モデルとなる③バリエーション配管の 3 つについて実測した。同時に土木工学で用いる開水路不等流の運動方程式、連続の式に加え、新たに角度方程式、角運動方程式などを併用することで、前記①～③の各種形態を有する排水横管の器具排水特性を数値シミュレーションにより求めた。実測値とシミュレーションより求めた計算値を比較し、その計算精度を含めて検討した。次に、その知見を基に代用汚物として定量化しやすい形状と比重を有する PVA スポンジ (2 種 (比重 1.01~1.07))、実使用するトイレットペーパーを図 3 のように排水にそれぞれ混入させた場合に、それらの搬送距離を予測する図 4 に示すモデルを提案した。同様に実測値と計算値を比較検討し、そのモデルの有効性を検証した。

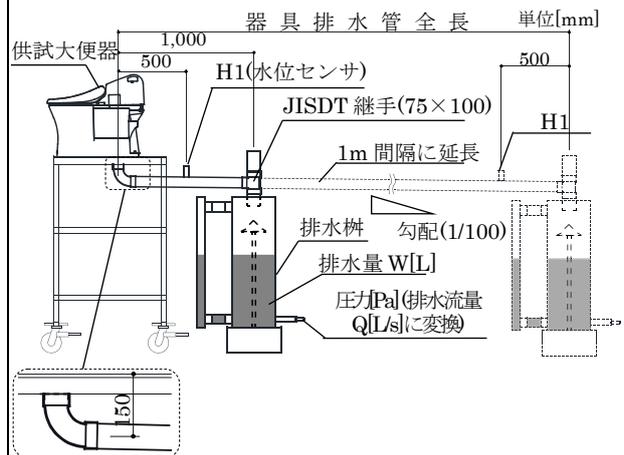
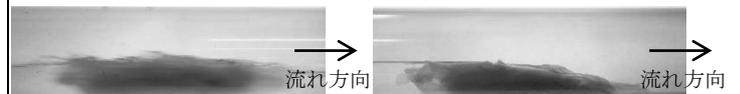
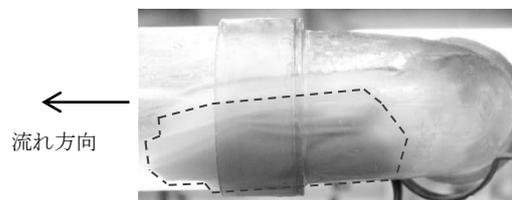


図 2 SHASE-S220 器具排水特性試験装置

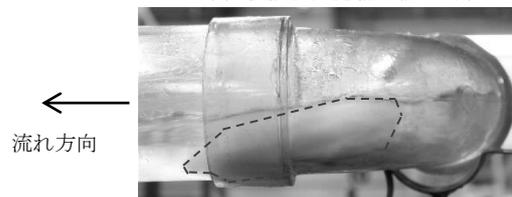


(1) 排水初期 (ストレート)

(2) 排水後期 (ストレート)

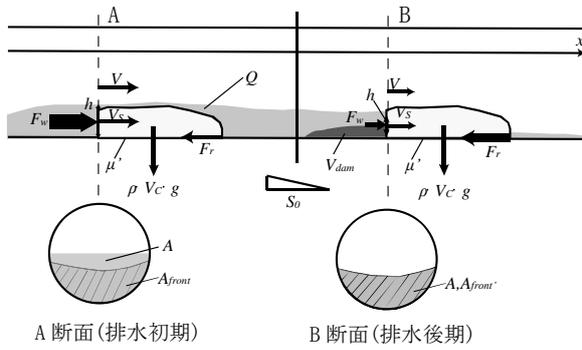


(a) 供試代用汚物 D (曲がり)

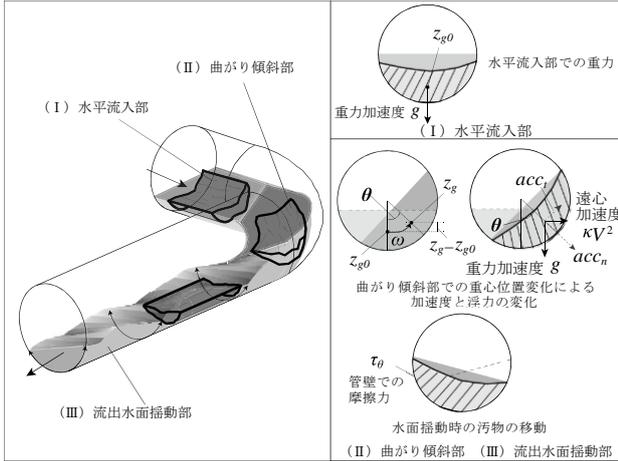


(b) 供試代用汚物 BL (曲がり)

図 3 搬送中のトイレットペーパー



(1) ストレート配管での搬送モデル



(2) 等間隔曲がり配管での搬送モデル

[記号]

$V_c$ : 代用汚物の体積[m<sup>3</sup>],  $g$ : 重力加速度[m/s<sup>2</sup>],  $\mu'$ : 動摩擦係数  
 $Q$ : 排水流量[m<sup>3</sup>/s]  $A$ : 充水面積[m<sup>2</sup>],  $x$ : 管軸方向長さ[m],  $h$ : 水深[m]  
 $R$ : 動水半径[m],  $S_0$ : 勾配,  $V$ : 流速[m/s],  $F_w$ : 搬送力[N]  
 $F_r$ : 摩擦力[N],  $\rho$ : 代用汚物密度[kg/m<sup>3</sup>],  $V_s$ : 代用汚物速度[m/s],  
 $A_{front}$ : 代表面積[m<sup>2</sup>],  $V_{dam}$ : 堰さ止め水量[m<sup>3</sup>],  $z_g, z_{g0}$ : 重心位置  
 $acc_r$ : 法線方向加速度[m/s<sup>2</sup>],  $acc_n$ : 接線方向加速度[m/s<sup>2</sup>]  
 $\omega$ : 角速度[rad/s],  $\theta$ : 水面角度[rad],  $\tau_\theta$ : 壁面摩擦力

図4 トイレトペーパーのストレート及び曲り部計算モデル

## (2) 排水立て管システムの排水能力への影響の把握

市販の洗浄水量 6.0L、4.8L、4.0L の供試節水型トイレを用い、それらを図5に示す9層建ての高層供試排水立て管システムに設置し、高層階8階、7階から器具排水実験を行った。その結果、トラップ封水に影響を及ぼす排水管内圧力変動、トラップ封水の水位変動・封水損失等を指標に、どの程度、排水能力へ影響を及ぼすかを検証した。この供試立て管システムには、配管途中にオフセット配管、排水横管の水平曲り配管を設け、厳しい条件下で実験を設定した。

## (3) 伸頂通気管部における外部風圧と換気設備の影響

①レンジフード等の換気設備により、室内に大きな負圧が生じた場合を模擬するために、封水されたトラップの片側に吸引機を取り付け、トラップ内の空気を吸引する実験を行った。対象としたトラップはSトラップと

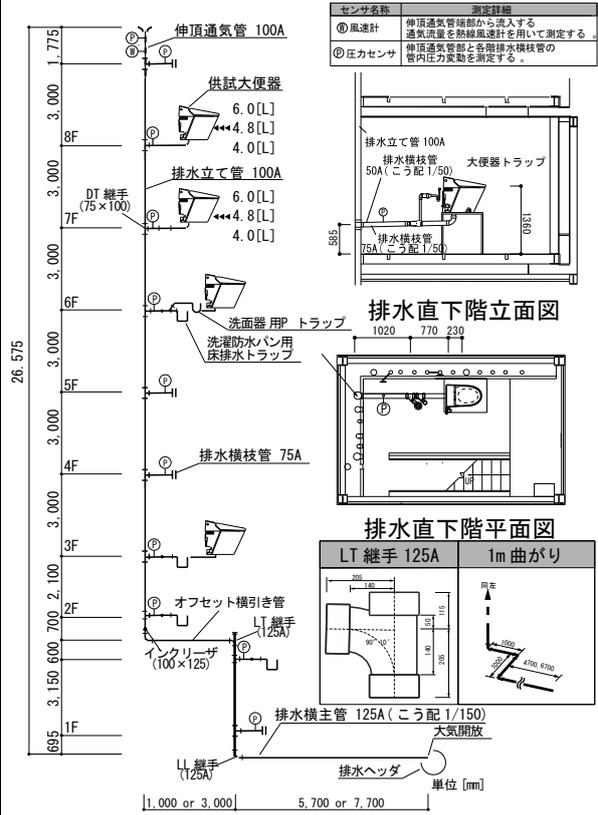


図5 供試排水立て管システム

床トラップであり、-300Pa程度までの負荷を発生させた際の水位変化を検討した。

②屋外風が通気管内圧力変動に及ぼす影響について、CFDによる検討を行った。通気管端部にはベントキャップを取り付け、通気管が屋上の前縁部、端部、中心付近に設置されている場合について、通常の屋外気流状態と台風による強風時状態の検討を行った。また、ペントハウスが通気管の風上側、風下側にある場合の検討も行った。

## 4. 研究成果

### (1) 排水横管における搬送性能実験とシミュレーション手法

①清水排水時において、ストレート配管、等間隔曲がり配管、各種バリエーション配管においても実測値と計算値において、図6のように排水流量波形も概ね一致すること、図7のように配管設計上必要となる器具特性値(排水管接続器具平均排水流量  $q_d^{\sim}$  値、同最大排水流量  $q_{max}^{\sim}$ )も誤差範囲が6~8%以内程度で計算できることがわかった。よって、SHASE-S 220 器具排水特性試験法で測定された諸値を計算の初期値として採用し、本支援ツールを用いることで、様々な形態を有する排水横管における器具排水特性を予測でき、より詳細な配管設計が可能となった。

②代用物となるPVCスポンジ、トイレトペーパーを混入させた場合の搬送距離の実測値と計算値の誤差は、ストレート配管において図8のようにPVAスポンジが0.7m以内、図9のようにトイレトペーパーで1.0m以

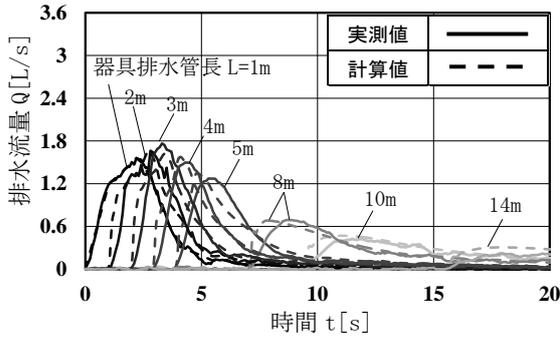
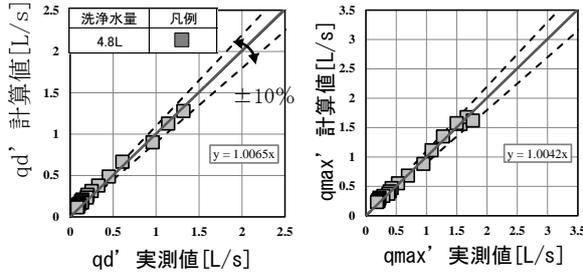


図6 排水流量波形(ストレート)



\*: 図中の回帰式の x は実測値を、y は計算値を示す。

図7  $qd'$  と  $q_{max}'$  の実測値と計算値

内、同様に等間隔曲がり配管でも誤差 0.8m 以内と 0.7m 以内となった。各種バリエーション配管において、図 10 のように PVA スポンジで 10%以内、トイレトペーパーで 10~20%以内の精度での計算が可能となった。これより、実際の各種配管において、日常使用のトイレトペーパーの停滞距離は予測でき、設計者が配管設計を行う上での支援ツールの開発ができた。

(2) 排水立て管システムの排水能力への影響把握

供試排水立て管システムに横引き管オフセット(距離 1m)、排水横主管(形態ストレート)を設置した状態で、各種節水形大便器を用い清水による単独排水と合流排水をそれぞれ与えた。その結果、図 11 に示す管内圧力分布の図より評価指標となるシステム最大値  $P_{smax}$ 、システム最小値  $P_{smin}$  は判定基準となる  $\pm 400Pa$  を 60%程度下回る結果となった。また、同様に汚物混入排水負荷の 5 回分の連続排水時に生じた  $P_{smax}$ 、 $P_{smin}$  の平均値を図 12 に示すように全ての供試大便器で標準的な排水負荷範囲では、判定基準とした  $\pm 400Pa$  の範囲内であることが確認できた。ただし、過度の代用汚物(Dタイプ)が混入された際には  $P_{smax}$  は判定基準値以内におさまるが、 $P_{smin}$  は 6.0L、4.8L の大便器で  $-400Pa$  を 20%程超え、トラップ封水が破封に至ることも確認できた。参考として横引き管オフセット(距離 3m)では、4.0L 大便器から標準的な代用汚物混入時でも  $P_{smin}$  が  $-200Pa$  程度となった。

また、図 13 より排水横主管内の代用汚物の搬送距離については、横引き管オフセット(距離 1m)、排水横主管形態 1m 曲がりの結果

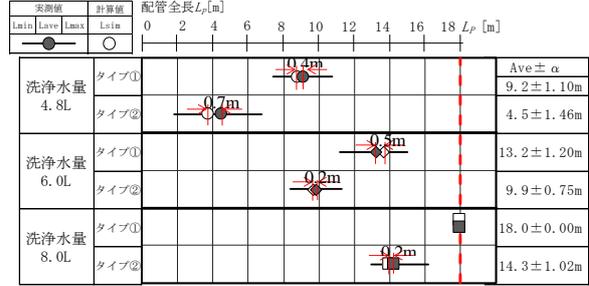
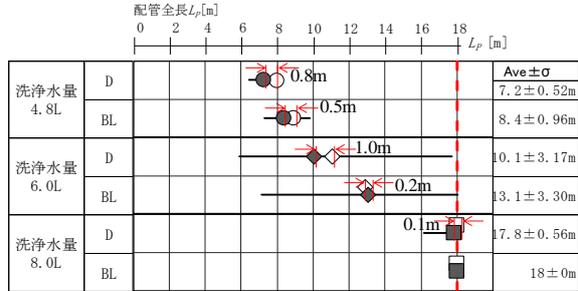


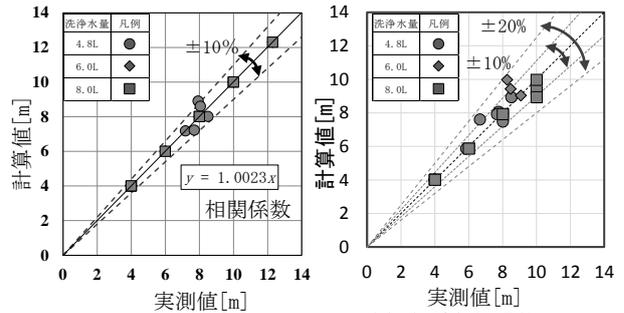
図8 PVA スポンジ搬送距離の実測値と計算値



\*実測は 10 回行い、搬送距離のばらつきと平均値を求めた。

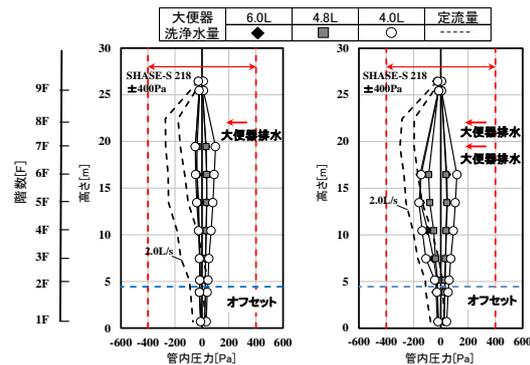
D: シングルペーパー、BL: ベタリビング試験タイプ

図9 トイレトペーパー搬送距離の実測値と計算値



(1) PVA スポンジ (2) 供試代用汚物 BL

図10 バリエーション配管における搬送距離の比較



(1) 単独排水 (2) 合流排水

図11 管内圧力分布(排水横主管ストレート)

において、標準的な代用汚物では完全搬送が可能であった。また、合流排水に対して単独排水の方が、搬送性能が低下することも確認できる。単独排水では 7m 以内に停滞することが多く、搬送するために必要とされる水量が十分ではなかったため注意を要する。以上を総合的に判断すると市販の節水形大便器においては、排水立て管システムに設置す

ると設計上、大きな支障を来たすことが明らかになった。

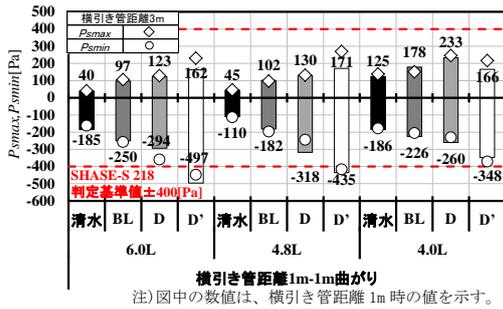


図 12  $P_{smax}$ ,  $P_{smin}$  の比較 (オフセット横引き管距離 1m)

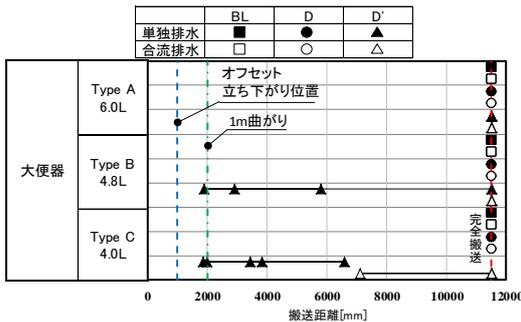
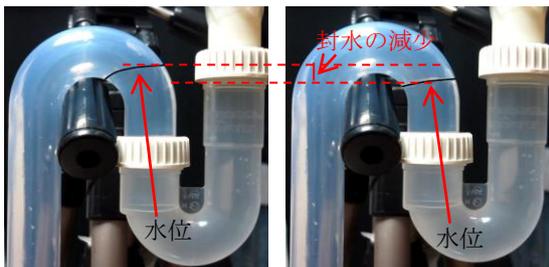


図 13 搬送距離(1m 曲がり)

### (3) 伸頂通気管部における外部風圧と換気設備の影響

Sトラップの封水に $-213\text{Pa}$ の負圧を生じさせた後に圧力を解放した際の水位変化を図 14(1)(2)に示す。圧力をかけていない $0\text{Pa}$ 時の結果に比べ、大きな負圧を生じた場合は水位が低くなったことが分かる。この程度の極端に大きな圧力変化が短時間で生じた場合、封水の水量が減少することが想定されるが、このような圧力変化は実住宅では現実ではなく、換気設備の運転による破封の可能性は低いと考えられる。

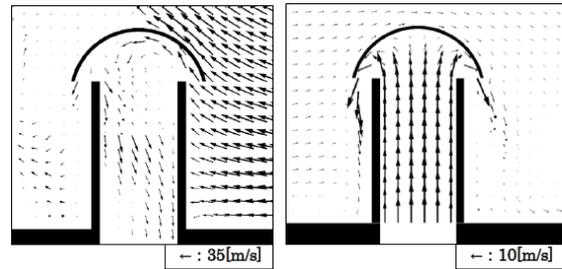


(1) 圧力  $0\text{Pa}$  (2) 圧力  $-213\text{Pa}$

図 14 Sトラップ内封水の水位変化

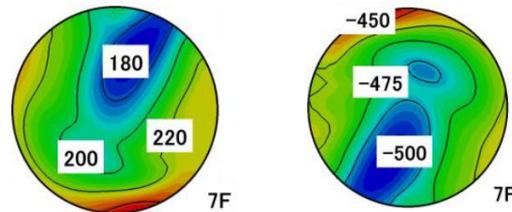
通常の気流状態では管内圧力への大きな影響は見られなかった。強風時に、ペントハウスの影響を最も受けた結果の風速ベクトル分布を図 15(1)(2)、通気枝管断面静圧分布を図 16(1)(2)に示す。どちらも(1)図はペントハウスが風下側、(2)図はペントハウスが風上側にある場合である。ペントハウスが通気管の風下側にある場合には、屋上での循環渦の気流がペントキャップ内に流入してい

る様子が分かる。ペントハウスが風上側にある場合には、はく離による循環渦の影響で管内の気流は流出となっている。



(1) ペントハウス風下 (2) ペントハウス風上  
図 15 強風時の風速ベクトル分布

渦の影響により、通気管端部に大きな正圧が生じる場合(図 16(1))には、高層階の管内で $200\text{Pa}$ 程度までの正圧が生じるが、大きな負圧域に通気管がある場合(図 16(2))には、管内に $-500\text{Pa}$ 程度の負圧が生じていることから、このような場合には、排水性能への影響が懸念されることがわかった。



(1) ペントハウス風下 (2) ペントハウス風上  
図 16 強風時の通気枝管断面静圧分布 [Pa]

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 6 件)

- ① 秋山和也、大塚雅之、重藤博司、松尾隆史、節水形大便器の排水横管内における器具排水特性と搬送性能のシミュレーション手法に関する研究 第 2 報-供試代用汚物の搬送性能シミュレーション手法の提案と検証、空気調和・衛生工学会論文集、査読有、227 巻、2016、49-59
- ② Kazuya Akiyama, Masayuki Otsuka, Hiroshi Shigefuji, Further Consideration on the Prediction Method of Carrying Performance of Horizontal Drain Pipes for Water-saving Toilets, CIB W062 2015 41th International Symposium Book of papers (China), 査読有、2015、601-614
- ③ 大塚雅之、秋山和也、重藤博司、節水形大便器の排水横管内における器具排水特性と搬送性能のシミュレーション手法に関する研究 第 1 報-器具排水特性のシミュレーション手法の提案と検証、空気調和・衛生工学会論文集、査読有、217 巻、2015、29-39
- ④ Kazuya Akiyama, Masayuki Otsuka, Hiroshi Shigefuji, Basic study on a method for predicting the water

-carrying performance in the horizontal drain pipe of a water-saving toilet, CIB W062 2014 40th International Symposium Book of papers(Brazil), 査読有、2014、131-142

- ⑤ Kazuya Akiyama, Masayuki Otsuka, Hiroshi Shigefuji, A study on a Method of Predicting the Discharge Characteristics of Water-saving Toilets when Installed to the Fixture Drain, Proceedings of CIB-W062 Symposium39 (Nagano), 査読有、Vol 39、2013、185-196
- ⑥ Hirofumi Kagami, Masayuki Otsuka, Tatsuhiko Nakato, A study on the Discharge Characteristics of Water-saving Toilets using Different Amounts of Flushing Water and the Evaluation of the Carrying Performance Thereof, Proceedings of CIB-W062 Symposium39 (Nagano), 査読有、Vol 39、2013、129-142

[学会発表] (計 15 件)

- ① 矢部暁、大塚雅之、杉本遼太、排水立て管システムオフセット形態が排水能力へ及ぼす影響に関する基礎的研究、2015 年度空気調和・衛生工学会東北支部学術・技術報告会、2016 年 03 月 11 日、東北工業大学 (仙台市)
- ② 中野翼、大塚雅之、矢部暁、節水形大便器排水がオフセット配管を有する排水立て管システムの排水能力へ及ぼす影響評価に関する研究、2015 年度日本建築学会関東支部研究発表会、2016 年 03 月 01 日～2016 年 03 月 02 日、建築会館 (東京都)
- ③ 田中英、遠藤智行、通気管内及びベントキャップ周辺気流の CFD 解析、2015 年度日本建築学会関東支部研究発表会、2016 年 03 月 01 日～2016 年 03 月 02 日、建築会館 (東京都)
- ④ 秋山和也、大塚雅之、重藤博司、節水形大便器の排水横管内における排水特性と搬送性能のシミュレーション手法に関する研究 その 1. 円柱状代用汚物の搬送距離の予測、2015 年度日本建築学会大会、2015 年 09 月 04 日～2015 年 09 月 06 日、東海大学 (平塚市)
- ⑤ 鈴木一聡、大塚雅之、石神諒、杉本遼太、矢部暁、戸建住宅用排水システムの性能評価に関する研究(第 2 報)、日本建築学会大会学術講演梗概集、2014 年 09 月 14 日、神戸大学 (神戸市)
- ⑥ 山崎洋式、秋山和也、大塚雅之、節水型大便器の器具排水管の搬送性能に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、2014 年 09 月 12 日、神戸大学 (神戸市)
- ⑦ 鈴木一聡、大塚雅之、杉本遼太、矢部暁、石神諒、戸建住宅用排水システムの性能評価に関する研究、空気調和・衛生工学

大会学術講演論文集、2014 年 09 月 03 日～2014 年 09 月 05 日、秋田大学 (秋田市)

- ⑧ 樋之津祥作、大塚雅之、秋山和也、山崎洋式、節水型大便器の器具排水管の搬送性能に関する研究(その 1)、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、2014 年 09 月 03 日～2014 年 09 月 05 日、秋田大学 (秋田市)
- ⑨ 山崎洋式、友成弘志、柴田信次、大塚雅之、節水型大便器の器具排水管の搬送性能に関する研究(その 2)、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、2014 年 09 月 03 日～2014 年 09 月 05 日、秋田大学 (秋田市)
- ⑩ 樋之津祥作、大塚雅之、秋山和也、山崎洋式、節水型大便器の器具排水管の搬送性能に関する研究 - 器具排水管曲がり位置と接続継手形状の影響 -、空気調和・衛生工学会東北支部第 3 回学術・技術報告会、2014 年 03 月 18 日、株式会社ユアテック (仙台市)
- ⑪ 樋之津祥作、大塚雅之、秋山和也、山崎洋式、排水横管形態が節水型大便器の搬送性能に及ぼす影響、2013 年度日本建築学会関東支部研究発表会、2014 年 02 月 20 日、日本大学 (東京都)
- ⑫ 山崎洋式、友成弘志、柴田信次、大塚雅之、(第 2 報) 洗浄水量 4.8L の超節水型大便器の器具排水管内での搬送能力評価に関する研究、平成 25 年度空気調和・衛生工学会大会、2013 年 09 月 26 日、信州大学 (長野市)
- ⑬ 小林直史、大塚雅之、既存ストック集合住宅の排水立て管システムへの節水型大便器適用に関する研究、平成 25 年度空気調和・衛生工学会大会、2013 年 09 月 26 日、信州大学 (長野市)
- ⑭ 秋山和也、大塚雅之、重藤博司、節水型大便器を器具排水管に設置した場合の排水特性の予測手法に関する研究 その 1. ストレート配管及び曲がり配管での基礎的検討、平成 25 年度空気調和・衛生工学会大会、2013 年 09 月 26 日、信州大学 (長野市)
- ⑮ 各務紘史、大塚雅之、洗浄水量の異なる節水型大便器の排水特性と搬送性能評価に関する研究、平成 25 年度空気調和・衛生工学会大会、2013 年 09 月 26 日、信州大学 (長野市)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

大塚 雅之 (OTSUKA Masayuki)  
関東学院大学 建築・環境学部・教授  
研究者番号：20288088

### (2) 研究分担者

遠藤 智行 (ENDO Tomoyuki)  
関東学院大学 建築・環境学部・准教授  
研究者番号：90385534