高層建築におけるループ通気方式排水立て管システムの
排水能力把握とその予測手法に関する研究STUDY ON THE UNDERSTANDING OF THE DRAINAGE PERFORMANCE OF THE LOOP VENT
STACK SYSTEM FOR HIGH-RISE BUILDINGS AND A PREDICTION METHOD THEREOF大塚 雅之^{*1}, 杉本 遼太^{*2}, 河野 慎^{*3}, 小林 直史^{*4}Masayuki OTSUKA, Ryota SUGIMOTO, Shin KOUNO
and Naofumi KOBAYASHI

Drainage performance values of loop vent stack systems refer to the values specified by SHASE-S 206-2009, but these values are not supported by any systematic experimental study. This study aims to identify, systematically, the drainage performance of the loop vent stack system for high-rise buildings by understanding in-pipe pressure variations and air flow characteristics thereof, and suggests new drainage performance values. The study further discusses a prediction method of drainage performance by using a series of models developed by the authors with the intention of identifying the effectiveness of the method on the loop vent stack system.

Keywords : Drainage performance, loop vent system, Drainage stack system, Prediction method

排水能力, ループ通気方式, 排水立て管システム, 予測手法,

1. はじめに

業務用建物では、集合住宅に比べ排水横枝管への衛生器具の設置数も多く、それらの同時使用によって排水立て管への排水負荷も増加するため、管内圧力変動を緩和し、トラップ封水を保護する目的から排水立て管に通気立て管とループ通気管を併設したループ通気方式の排水立て管システムが一般に用いられている。特にループ通気方式は、伸頂通気方式に比べ排水配管と通気配管から成る複雑な通気管路網を構成するため、トラップの破封の要因となる管内圧力や通気流量について、実験的かつ理論的に解明し、それらの結果をもとに、設計に用いる排水立て管システムの排水能力（設計用許容流量）^{注1）}を適正に把握する必要がある。

しかし、既往研究において、わが国では石原¹⁾が換気管路網を模した排水・通気管路網モデル図を提案したが、それを解析するための通気特性データの収集や排水能力の推定までには至らなかった。その後は、幾つかの実証研究²⁾³⁾が先行して実施され、現行の SHASE-S 206-2009（以下、SHASE-S 206）のループ通気方式の設計用許容流量や必要通気流量が決定され、現在に至っている。しかし、それら

の数値が決定された当時には、現行の SHASE-S 218-2014（以下、SHASE-S 218）のような排水立て管システムの排水能力試験法も策定されていない。一方、海外においては、米国の技術基準である National Plumbing Code（以下、NPC）において、主に各個通気方式の排水・通気管の設計法や複雑な配管方法が示されているが、実務的な内容が主であり、設計用の数値等を決定に至った理論的な根拠が示されていない⁴⁾。欧州では CIB W062 シンポジウム等において、Swaffield らがループ通気管路内の通気流量や管内圧力変動の解析について一連の研究を展開してきた⁵⁾。しかし、欧州の一連の研究結果については、理論解析は実施されているが、排水能力や通気流量の解析結果を設計実務へ反映させるまでに至っていない。筆者はこのような国内外の課題点を指摘し、伸頂通気方式、通気弁通気方式、ループ通気方式などの各種通気システムの排水能力や通気特性を実験的かつ理論的に解明するための研究を実施してきた⁶⁾。その研究の一環として、既報^{7)~9)}において、通気弁を伸頂通気管、排水横枝管に設置した通気弁排水横枝管設置システムの管内圧力と通気流量に関

^{*1} 関東学院大学建築・環境学部建築・環境学科
教授・工博

^{*2} (株)日本設計 工修(元 関東学院大学工学研究科)

^{*3} 高砂熱学工業(株) 工修(元 関東学院大学工学研究科)

^{*4} (株)日立プラントサービス 工修
(元 関東学院大学工学研究科)

Prof., Dept. of Architecture and Environmental Design, College of Architecture and Environmental Design, Kanto Gakuin Univ., Dr.Eng.
NIHON SEKKEI INC., M.Eng. (Former Graduate School of Engineering, Kanto Gakuin Univ.)
Takasago Thermal Engineering Co., Ltd., M.Eng. (Former Graduate School of Engineering, Kanto Gakuin Univ.)
Hitachi Plant Services Co., Ltd., M.Eng. (Former Graduate School of Engineering, Kanto Gakuin Univ.)

する実験と排水・通気管路網を用いた理論的な解析を実施しており、その内容の一部は海外でも紹介されている¹⁰⁾。

このような背景より、本報はこの研究を発展させ、ループ通気方式を中心に検討を行い、以下の3点を明らかにする。まず、高層建築のループ通気方式の排水立て管システムに、SHASE-S 218に基づく排水能力試験法により系統的に排水負荷を与えた際の管内圧力と通気流量に関する特性を把握する。次に、その実験結果より得られた排水能力を設計用許容流量と見なし、現行のSHASE-S 206に規定するループ通気方式の値と比較し、新たに設計に資するデータとして提案する。最後に、理論的な根拠として、既報^{7)~9)}の排水・通気管路網モデルとその理論解析をさらに拡張させ、代表的なループ通気方式の通気流量を求め、それから管内圧力、さらには排水能力の推定へと予測手法を展開させ、同手法の適用の可能性を検討する。

2. 実験概要

実験は、以下の2. 1と2. 2について実施する。

2. 1 各種通気方式における排水能力把握実験

実験は、関東学院大学敷地内にある地上9階建て（高さ約25m）の高層建築環境設備シミュレーションタワー装置を用いて実施する。Fig. 1に、ループ通気管を全階の排水横枝管に設置した供試排水立て管システムの例（後述のTable 1(5)全箇所設置方式）を示す。同システムの管径は、排水立て管を100A、排水横枝管を75A（こう配1/100）、排水横主管を125A（こう配1/150）とする。また、通気立て管及びループ通気管の管径は同径の75Aとし、排水横主管はストレートに長さ約11m延長したもの（以下、ストレート）、排水立て管の管芯より1m、3mの位置にそれぞれ第1水平曲りを設けたもの（以下、1m曲がり、3m曲がり）とする。ただし、一部、実験条件に応じて排水・通気管の管径を変更する。本報では、ループ通気管の効果を系統的に捉えるため、Table 1(1)~(5)に示す5つの方式について、順に検討していく。同表には既往研究においても基準システムとした伸頂通気方式、それに通気立て管のみを併設した通気立て管方式、中間階（6階）の排水横枝管のみにループ通気管を設置した1箇所設置方式、7階と5階の2箇所の排水横枝管にループ通気管を

Fig. 1 Experimental drainage stack system

Table 1 Variations of the experimental drainage

(1) Single stack system	(2) Vent stack system	Loop vent system		
		(3) One-floor system (6F)	(4) Two-floor system (7F,5F)	(5) All-floor system (9F-1F)

※1) House drain (125A), Air extraction part TY fitting (75A) 2) House drain (125A), Air extraction part TY fitting (100A) 3) House drain (150A), Air extraction part TY fitting (75A)

設置した2箇所設置方式、全階に同様に設置した全箇所設置方式の系統図を示す。

2.2 配管部位の差異による排水能力への影響把握実験

供試実験システムとして、ループ通気方式の基準システムとなるTable 1(5)、Fig.1に示す全箇所設置方式を用いる。排水負荷流量の増加とともに、排水横主管の充水率が増加し、下層階での圧力変動が大きくなりトラップの跳ね出し破封の可能性があるため、排水横主管の管径を150Aに拡張し、1m曲がり、3m曲がりを設けたシステムでの実験も実施する。さらに、既往文献³⁾でも推奨されているように、排水横主管の管径を125Aのまま、排水立て管基部からの通気立て管の取出し部のTV継手の管径のみ75Aから100Aに拡張し、75Aの通気立て管に接続した場合での検討も加える。また、同システムにおいて、通気立て管及びループ通気管の管径を75Aから共に50Aまたは65Aに縮径した場合に排水能力へ及ぼす影響も検討する。

2.3 排水負荷の与え方

Table 1の各供試排水立て管システムへの排水負荷の与え方はSHASE-S 218に準拠し、Table 2に示す排水負荷・流量パターンのおりとする。最上階(9階)より定流量負荷を0.5[L/s]刻みで最大2.5[L/s]まで与える^{注2)}。さらに、最上階(9階)より2.5[L/s]の負荷を与えた状態で、下層階(8階)より同様に排水負荷を合流させ、同様に最終的には9、8、7階の3層からの合計排水負荷流量 Q_w を与え、その値がSHASE-S 206に規定するループ通気方式(排水立て管径100A)の設計用許容流量6.7[L/s]を超える7.5[L/s]まで実施する。但し、2.2で述べたように、排水横主管径を拡張し、その効果を確認する場合には、さらに6階からの排水負荷も同様に加え10.0[L/s]まで実施する。

2.4 測定項目及び測定方法

測定項目及び測定方法は、Fig.1中に示すとおり、伸頂通気管内と各階ループ通気管内、通気立て管内の管内中心風速変動を熱線風速計で、伸頂通気管部と各階排水横枝管部等の管内圧力変動を圧力センサで測定する。また、通気管内通気方向は、通気管各部においてタフトを設置し、風向を確認する。通気流量 Q_a は、管内中心風速変動の平均値に管断面積を乗じて算出する。また、Table 1の各排水立て管システムの排水能力 Q_{sc} (設計用許容流量)は、各階の排水

横枝管内の圧力変動の最大値 $P_{max}(k)$ 、最小値 $P_{min}(k)$ 、平均値 $P_{ave}(k)$ から、システム全体における最大値、最小値となるシステム最大圧力 P_{smax} 、システム最小圧力 P_{smin} を求め、両値がSHASE-S 218の判定基準値となる ± 400 [Pa]以内におさまる範囲で排水可能な最大合計排水負荷流量とする。

3. 結果及び考察

3.1 各種通気方式における排水能力の把握

(1) 管内圧力の把握

Fig.2に代表例として負荷階9階、8階から各々2.5[L/s]、 Q_w が5.0[L/s]の排水負荷をTable 1に示す排水立て管システム(1m曲がり)に与えた場合の $P_{min}(k)$ 、 $P_{max}(k)$ 、 $P_{ave}(k)$ を用いた管内圧力分布を示す。ここで、 Q_w が5.0[L/s]の場合を示した理由は、SHASE-S 206の技術要項の設計例にもあるように、標準的なオフィスビルの基準階の男子便所に設置された大便器3個と小便器3個と、女子便所の大便器3個が接続された排水横枝管から排水立て管に流入する設計負荷流量が約2.5[L/s]であり、それを2階層より与えた場合に相当し、設計例も参考にしたことによる。同図は、排水横主管1m曲がりの場合で、破線で同図(1)に伸頂通気方式、同図(2)に通気立て管方式、同図(3)(4)に1箇所通気方式、2箇所通気方式の結果を比較するために示す。これより、伸頂通気方式と通気立て管方式では、管内圧力分布に差異はほとんど見られず、通気立て管の効果は見られない。それに対して、同図(2)、(3)のようにループ通気管の設置箇所を1箇所、2箇所と増やすことで、ループ通気管の設置階で空気の給気や排気が行われることにより、管内圧力が緩和され、2箇所設置することで判定基準値となる ± 400 [Pa]以内におさまる。よって、この程度の排水負荷と規模の排水立て管システムにおいては上・中層階の2箇所にループ通気管を設置することで判定基準値をクリアできると考えられる。さらに、全箇所設置では、管内

Table 2 Drainage load flow rate patterns

Floor applied	Drainage load flow rate [L/s]															
	One-floor drainage				Two-floor drainage				Three-floor drainage				Four-floor drainage*			
9F	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
8F					0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
7F									0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	2.5	2.5	2.5
6F													0.5	1.0	1.5	2.0
Total drainage load flow rate	Q_w [L/s]	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5
		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5

*In the case of expanding the diameter of the house drain, a drainage load

Fig.2 Comparison of internal pipe pressure distributions (When applying drainage loads from 9F and 8F; total drainage load flow rate 5.0[L/s])

圧力はさらに緩和され、概ね±200[Pa]以内におさまリ、各階での変動幅も均等になると見せる。Fig. 3 に、Table 2 の排水負荷・流量パターンの中の全同一排水負荷条件時において、伸頂通気方式を基準とした各排水立て管システムのシステム最小圧力 P_{smin} 、システム最大圧力 P_{smax} の関係を示す。同図(1)より排水横主管がストレートの場合の P_{smin} については、ループ通気管を1箇所を設置するだけで伸頂通気方式に対し 50%程度、全箇所設置することで 70%程度緩和できることがわかった。一方、同図(2)より正圧発生において厳しい条件となる排水横主管曲がり 1m の場合の P_{smax} については、2 箇所設置の場合に伸頂通気方式に対し正圧が 24%増加したほか、1 箇所設置や全箇所設置でも 13~16%の緩和にとどまり、通気立て管方式の方が 42%の緩和となり、最も効果がある。2 箇所設置の場合に正圧が増加した要因は、伸頂通気方式や 1 箇所設置の場合と比較し、負圧が緩和され平均圧力は負圧側から正圧側に寄り、ループ通気管の接続箇所が全箇所設置に比べ少ないため、下層階からの還気が不十分であり、正圧が十分に緩和されなかったものと考えられる。

(2) 通気流量の把握

Fig. 4 に、合計排水負荷流量 Q_w と各種通気方式における伸頂通気管部の通気流量 Q_a の関係を示す。排水横主管がストレートの場合に比べ、1m 曲がりの場合には同一合計排水負荷流量において、排水横主管部の抵抗が大きいため通気流量は小さく抑えられている。排水横主管がストレートの場合は、ループ通気管の設置箇所数を増加させて行くと、通気流量は同一合計排水負荷流量で比較しても徐々に増えて行く傾向にある。ただし、2 箇所設置の場合には 3.1(1)で述べた理由から、1 箇所設置の場合より通気流量が減少することも確認できる。一方、排水横主管が 1m 曲がりでは排水横主管部の通

Fig.3 Comparison of P_{smax} values and comparison of P_{smin} values

Fig.4 Comparison of air flow rate in the stack vent pipe
※SHASE-S 206 Necessary Air flow rate

Fig. 5 Correlation between the air flow rate in the loop vent and the drainage load flow rate

Fig.6 Correlation of Q_w with P_{smax} and P_{smin} (Measured values)

気抵抗が大きくループ通気管の効果は顕著には見られない。また、Fig. 5 に排水負荷階となる 9 階、負荷階とならない 7 階の排水横枝管に接続したループ通気管内の通気流量を示す。9 階では、排水負荷流量が 2.0 [L/s] 以上で、排水横枝管内は、ほぼ満流となり、通気の供給が困難となるものと考えられる。また、SHASE-S 206 においては各種通気方式において、各部位の設計用の必要通気流量を設定しているが、Fig. 4 に伸頂通気方式（排水負荷流量の 2 倍）、ループ通気方式（排水負荷流量の 4 倍）の伸頂通気管における必要通気流量線も示したが、実測値はそれらを大きく上回ることがわかる。Fig. 5 に排水横枝管部のループ通気管での必要通気流量（排水負荷流量と同流量）も示す。これらより、排水負荷流量に対する必要通気流量は、SHASE-S 206 の計算値に対し、実際は、排水立て管の管径 100A のループ通気方式の設計用許容流量が 6.7 [L/s] に対し、伸頂通気管部で 5.5~6.0 倍程度、排水横枝管内が半満流となる 1.0 [L/s] 時のループ通気管部で 1.5~3.0 倍程度となり、実測値と SHASE-S 206 の算定値との間には乖離があることが確認できる。

(3) 排水能力の把握

Fig. 6 に各種通気方式の Q_w と P_{smin} , P_{smax} の関係を排水横主管形態ごとに示す。これより、判定基準値より排水能力 Q_{sc} を求めると、伸頂通気方式、通気立て管方式で 2.0 [L/s]、1 箇所通気設置で 3.5 [L/s]、2 箇所通気設置で 5.0 [L/s] となり、各方式共に排水横主

Fig. 7 Influence of expanded diameters of the house drain and the air extraction part (Measured values)

Fig. 8 Comparison of distributions of internal pipe pressure in relation to vent pipe diameter

管の形態の影響を受けることなく、同一の値と見なせる。また、全箇所設置では、それらより排水能力は大きくなり、排水横主管がストレートでは 7.5 [L/s] 以上、1m 曲がりでは 5.5 [L/s]、3m 曲がりでは 6.0 [L/s] と差異が生じる。特に実配管に近い排水横主管 1m 曲がり、3m 曲がりにおいて、全箇所設置でも排水能力は、SHASE-S 206 の設計用許容流量 6.7 [L/s] に達しない。

3. 2 配管部位の差異による排水能力への影響把握

(1) 通気立て管の取り出し方の影響

Fig. 7 に排水立て管の基部からの通気管取り出し部の管径の差異、排水横主管の管径の差異が P_{smin} , P_{smax} , さらに Q_{sc} に及ぼす影響を比較して示す。前述までは、排水立て管の管径が 100A に対し、排水立て管基部からの通気立て管の取出し部の TY 継手の管径を 75A としていたが、既往研究³⁾において排水立て管径と同一として取り出すことが推奨されている。そこで、Fig. 7 に排水立て管と同じ 100A で取出し、その後 75A の通気立て管へ縮径して接続した場合の結果を示す。さらに取り出し部の管径は 75A のままであるが、排水横主管の管径を 125A から 150A へと拡張した場合の結果も併記した。これより、1m 曲がりでは通気立て管の取出し部の管径が 75A の場合では、 Q_{sc} は 5.5 [L/s] (Fig. 6(2)) であるのに対し、通気立て管の取出し部の管径を 100A に拡張することで正圧値が若干緩和され、排水能力は 1m 曲がりでは 0.5 [L/s] 増加し 6.0 [L/s]、3m 曲がりでは 1.0 [L/s]

Fig. 9 Influence of the vent pipe diameter on P_{smin} and P_{smax}

Fig. 10 Correlation of the drainage load flow rate with P_{smin} and P_{smax}

Fig. 11 Drainage performance comparison by type of system

増加し 6.5 [L/s] となる。また、排水横主管の管径を排水立て管の管径に対し 2 サイズ拡張し 150A とすると、排水能力は 10 [L/s] 以上の効果が確保できる。よって、3.1 (3) において、全箇所設置でクリアできなかった設計用許容流量 6.7 [L/s] に、通気立て管の取り出し部の管径を拡張することで近づき、排水横主管の管径を拡張することで、それを超える値となる。

(2) ループ通気管と通気立て管径の差異の影響

Fig. 8 に全箇所設置において、それに接続するループ通気管と通気立て管の管径を両方とも 50A、65A、75A とし、Fig. 2 と同様に、 Q_w として 5.0 [L/s] の排水負荷を与えた場合の管内圧力分布を示す。これより、伸頂通気方式に比べ、 P_{smin} は 50A で 64%、65A で 78%、75A で 81% 緩和されることがわかる。Table 1 (5) の全箇所設置において、Fig. 3 と同様に通気管の管径の差異が P_{smin} 、 P_{smax} に及ぼす影響を比較したものを Fig. 9 (1)、(2) に示す。これより、排水横主管がストレートの場合の P_{smin} については、伸頂通気方式に対し、通気立て管及びループ通気管の管径が 50A で 60%、65A で 73%、75A で 73% の緩和効果があり、総合的に判断すると 65A、75A はほぼ同等と見なせる。また、 P_{smax} について、その傾向が逆転する。これは、通気管径が小さい 50A では通気抵抗が大きく、通気管の管径がそれより大きい 65A、75A では、通気抵抗が小さい分、 P_{smin} は緩和されるが、排水横主管内を通過する通気流量も増加し、 P_{smax} が増加するものと考えられる。Fig. 10 に通気管の管径別に Q_w と P_{smin} と P_{smax} の関係を示す。これより、50A では排水横主管形態の影響を受けず全て 4.5 [L/s]、65A と 75A では排水横主管が 1m、3m 曲がりでも両径による Q_{sc} に差異はなく 5.5~6.0 [L/s] 程度、ストレートでは 7.5 [L/s] 以上となるので、50A では Q_{sc} は低下するが、65~75A では顕著な差異は見られずほぼ同等と見なせる。また、この程度の排水横主管の形態では、 Q_{sc} は P_{smax} (正圧) ではなく、 P_{smin} (負圧) で決定されることがわかる。

3.3 排水能力(設計用許容流量)の比較

Table 1 に示した各種通気方式において、得られた排水能力 Q_{sc} を Fig. 11 に整理して示す。また、同図には 3.2 に示す排水通気管の

部位の差異による影響も考慮した場合の値も示す。これより、伸頂通気方式の排水能力 2.0 [L/s] を基準値とすると、1 箇所、2 箇所のループ通気管 (75A) を設置することで 3.0~5.0 [L/s] となり、1.75~2.5 倍に排水能力は向上する。さらに、全箇所設置によって、排水横主管形態や通気管径の影響により差異はあるが、確認できた排水負荷の範囲で 5.5~10.0 [L/s] となり、2.75~5.0 倍に排水能力が向上する。SHASE-S 218 による排水能力を許容流量とみなすと、排水横主管がストレートである場合や排水横主管の管径を拡張する場合を除けば、現行の SHASE-S 206 のループ通気方式の排水立て管径 100A の設計用許容流量 6.7 [L/s] に対し、5.0~6.0 [L/s] となり、10~25% 程度低下する。よって、今後はループ通気管径や排水横主管径なども考慮し、設計用許容流量を修正することが必要と考える。

3.4 排水通気管路網モデルによる理論検討

(1) 管路網モデルの概要

ここでは、基準システムとなる全箇所設置を例に、解析モデルを提案し理論的な検討を行う。Fig. 12 に全箇所設置の管路網モデルを、Fig. 13 に $Pave(k)$ を用いた管内圧力分布と区分説明図を、Fig. 14 に各階圧力変動を考量した $P_{min}(k)$ 、 $P_{max}(k)$ を求めるための説明図を示す。当該排水方式の管内平均圧力分布 $Pave(k)$ は、Fig. 13 に示すように各域に区分した。Fig. 12 の A 点~U 点の分岐点での通気流量の収支式と式 (1)~(6) までの通気抵抗、吸引力を用いた同図の 11 個の閉回路の管内圧力のバランス式 $f(Q_{ai}) \sim p(Q_{ai})$ より、各部位の通気流量 Q_{ai} を求める。Fig. 15 に一例として C、D、E、F の閉回路を示すように、 $g(Q_{ai})$ の閉回路の管内圧力のバランス式 (式 (7)) と各分岐点 C、D、E、F の Q_a の収支式となる $Q_{a(C)}$ 、 $Q_{a(D)}$ 、 $Q_{a(E)}$ 、 $Q_{a(F)}$ の算定式 (式 (8)~(11)) を示す。同様に Fig. 12 に示した B 点~U 点についても算定式を作り、全点を流れる通気流量を逐次近似法を用いて解析し、各部位①~⑩を流れる全ての通気流量 Q_{ai} を求める。Fig. 16 (1)、(2) に一例として、管内圧力を求める上で必要な、解析上も特徴となる Fig. 13 中の通気抵抗係数 $\zeta_{\text{管}}$ 、排水立て管単位長さ当たりの吸引力 $\angle P_i / \angle L_i$ について通気流量との関係を示す。同図 (1) より、通気流量の増加による $\zeta_{\text{管}}$ の変化が確認で

• • • 式 (1)

• • • 式 (2)

• • • 式 (3)

• • • 式 (4)

• • • 式 (5)

• • • 式 (6)

• • • 式 (7)

• • • 式 (8)

• • • 式 (9)

$$\cdots \text{式 (10)}$$

• • • 式 (11)

き、負荷流量ごとに回帰式を求めて用いる。また、同図(2)では、通気流量による $\angle P_i/\angle L_i$ の変化が小さいため、負荷流量ごとに平均値を求め用いる。管路網の他の通気抵抗係数、吸引力も同様に求め用いる。

(2) 通気流量の予測

3. 3で提案した管路網モデルを解析し、①～⑩の各点を流れる通気流量 Q_{ai} の計算を行い、得られた結果を実測値と比較してFig. 17、Fig. 18に示す。同図(1)、(2)に示すループ通気方式の排水立て管部とループ通気管部の比較では両方とも $\pm 20\%$ 程度の範囲にあり、全排水負荷流量について算出した結果について、実測値に対する計算値のばらつきが把握できた。

(3) 管内圧力分布の予測

算出した Q_{ai} より各点の管内平均圧力 $P_{ave}(k)$ を求め、一例としてFig. 19に全階設置方式で Q_w が5.0 [L/s]、7.5 [L/s]の管内圧力分布の実測値と予測値を比較して示す。また、Fig. 20、Fig. 21に、すべての排水負荷・流量パターンでの平均圧力の最小値 $P_{ave}(min)$ 、最大値 $P_{ave}(max)$ についても同様に比較して示す。これより、Fig. 17、20 Fig. 18のように通気流量にばらつきはあるが、一部を除けば $P_{ave}(min)$ は $\pm 10\%$ 程度の範囲におさまる。 $P_{ave}(max)$ は10%を超える値があるものの、負圧域で -30 [Pa]以下と小さいため管内圧力として支障のないものと判断する。次に、Fig. 14に示すように $P_{max}(k)$ 、 $P_{min}(k)$ を $P_{ave}(k)$ と変動成分 $\sigma_{1(k)} \times N_{1(k)}$ 、 $\sigma_{2(k)} \times N_{2(k)}$ を用いて、式(12)式(13)から算出する。なお、 $N_{1(k)}$ および $N_{2(k)}$ の数値は、1階から9階までの全階の平均値で $N_{1(k)}$ は3.3、 $N_{2(k)}$ は -3.8 を用いる。

$$P_{max(k)} = P_{ave(k)} + \sigma_{1(k)} \times N_{1(k)} \quad \dots \text{式 (12)}$$

$$P_{min(k)} = P_{ave(k)} + \sigma_{2(k)} \times N_{2(k)} \quad \dots \text{式 (13)}$$

Fig. 22にループ通気方式の Q_w が7.5 [L/s]の場合の各階の $P_{min}(k)$ 、 $P_{max}(k)$ による管内圧力分布の実測値と予測値をFig. 19と同様に比較して示す。同図より、 $P_{min}(k)$ では、概ね一致しているが、排水横主管1m曲がりの場合に下層階の P_{smax} が50 [Pa]程度の誤差が生じる。他の Q_w についても同様に圧力分布を描き、排水能力の判定基準となる P_{smin} 、 P_{smax} を読みとる。Fig. 23、Fig. 24に全ての Q_w の P_{smin} と P_{smax} の実測値と予測値を比較して示す。Fig. 23の P_{smin} で判断すると、排水横主管がストレート、1m曲がりの場合ともに、実測値と予測値の誤差は概ね $\pm 10\%$ 以内におさまるが、Fig. 24に示す P_{smax} では、排水横主管が1m曲がりの場合、判定基準値となる400 [Pa]付近で誤差は10～20%程度に広がる。よって、排水横主管

Fig. 19 Comparison of measured and predicted internal pipe pressure (P_{ave})

Fig. 17 Comparison between measured and predicted airflow rates (Straight)

Fig. 20 Comparison between measured and predicted $P_{ave}(min)$ values

Fig. 18 Comparison between measured and predicted airflow rates (With elbows at 1m intervals)

Fig. 21 Comparison between measured and predicted $P_{ave}(max)$ values

Fig. 22 Comparison of measured and predicted internal pipe pressure Drainage load flow rate 7.5[L/s]

Fig. 23 Comparison between measured and predicted P_{sm} values

Fig. 24 Comparison between measured and predicted P_{sm} values

Fig. 25 Comparison between measured and predicted drainage performance values

に 1m 曲がり を有する場合、約 10~20% 程度の誤差を考慮する必要がある。誤差の原因は、計算に用いる Fig. 12、Fig. 13 に代表例を示した各区分域の通気抵抗と吸引力の精度、各階の変動成分の差にあると考えられる。

(4) 排水能力の予測

Fig. 25 に、全箇所設置の場合の Q_w と実測値及び計算値の P_{sm} 、 P_{smax} の関係を示す。これより、 P_{sm} は実測値と予測値の誤差は小さいが、 P_{smax} は Q_w の増加に伴い誤差が大きくなる。しかし、予測値の排水能力 Q_{sc} は、 P_{sm} 値で排水能力が決定され排水横主管がストレートでは 7.5[L/s] 以上、1m 曲がりでは 5.5[L/s] 程度の値となり、実用上は実測値と概ね一致する。 P_{smax} 値においては精度に課題が残るものの、全箇所設置の排水・通気管路網の計算を、より多層のシステムへ展開する上で、有効な手段となるものと考えられる。

4. まとめ

高層建築への適用を目的とした各種ループ通気方式の排水立て管システムへ SHASE-S 218 による排水能力試験を実施した。その結果より、排水能力を実験的に把握するとともに、それを推定する管路網モデルへの適用の可能性について検討した結果、以下の知見を得た。

(1) 排水横枝管と通気立て管とを結ぶループ通気管の設置箇所を 1 箇所、2 箇所、全階とした場合における圧力分布の変化を把握し、設置箇所の変更に伴う伸頂通気方式に対するシステム最大値・最小値の増減を定量的に把握した。

(2) (1) に関連して、伸頂通気管部及びループ通気管部を通過する通気流量は、SHASE-S 206 定常流量法で計算される必要通気流量より同一排水負荷流量に対し大きな値となることを指摘し、その値を定量的に示した。

(3) 各種ループ通気方式における排水能力を定量的に把握できた。その結果より、排水横主管がストレートの場合以外となる 1m、3m 曲がりでは、SHASE-S 206 のループ通気方式の設計用許容流量を下回ることがわかった。ただし、排水立て管からの通気立て管の取り出し部、排水横主管の管径を拡張させることで SHASE-S 206 の設計用許容流量に概ね達することがわかった。よって、現行の SHASE-S 218 におけるループ通気方式の設計用許容流量は、ループ通気管径や排水横主管径を考慮して決定する必要があることを指摘した。

(4) 既報^{7)~9)}で提案した通気流量と管内圧力の管路網解析モデルを拡張させ、ループ通気方式（全箇所設置）の解明に適用した。その結果、排水横主管に曲がり抵抗がある場合にシステム最大値（正圧）が計算値と実測値の誤差が大きくなるが、ストレート配管においては管路網解析モデルの適用が可能と考えられ排水能力の推定が可能である。今後の課題として、排水横主管に曲がり を有する場合の下層階に発生する正圧について、計算精度を向上させるために、管路網解析モデルを構成する部位の通気抵抗と吸引力、変動成分の詳細な検討を行う必要がある。

注

注 1) ループ通気方式におけるループ通気管の機能は、排水横枝管に接続された複数の衛生器具の排水によって排水横枝管上で生ずる誘導サイフォン作

用の防止であるとともに、伸頂通気方式に比べ、排水立て管システムの排水能力、設計用許容流量を増加させるためにも有効である。本研究は、主に後者の究明に主眼を置いたものである。

注 2) SHASE-S 218 は、主に集合住宅用排水立て管システムの排水能力を把握することを目的とした試験法であるが、今回は業務用建物を対象としたループ通気方式に適用した。その理由は、現試験法は定流量負荷が用いられているが、既往研究¹¹⁾の成果などから、実際の住宅用の器具排水負荷に比べ、かなり厳しい条件での負荷になることが指摘されている。よって、連立大便器等が設置され、住宅に比べ排水立て管へ流入する排水負荷が多い業務用建物へも適応できるものと判断し採用した。

参考文献

- MASAO Ishihara : A Study of a Vent Characteristics of Vent Stack (Report 1), Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Architectural Institute of Japan, pp.401~402, 1973.10 (in Japanese)
石原正雄: 排水通気管系の通気特性に関する研究 1. 伸頂通気管の通気特性, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 401~402, 1973. 10
- TERU Abe : An Experimental Study of indoor Vent Stack on Super High-rise Apartment About the Design Flow Rate on High-rise Apartment (Report 2)Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Architectural Institute of Japan, pp.133~134, 1972.10 (in Japanese)
阿部照: 屋内排水通気設備の実験的研究 (2) 高層集合住宅における排水設計流量について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 133~134, 1972. 10
- NOBUYUKI Tsukagoshi : , Problems of Testing of Drainage System, Technical Papers of Annual Meeting the Society of Heating, Air-Conditioning and Sanitary Engineers of Japan, pp.257~260, 1979.10 (in Japanese).
塚越信行: 排水システムの実験とその問題点, 空気調和・衛生工学会学術講演会論文集, pp. 257~260, 1979. 10
- National Plumbing Code Handbook, Edited by Vincen T.Manas, 1957
- JA Swaffield and LS Galwin : The Engineering Design of Building Drainage System, Chapter5 Vent system design, Chapter5:Vent system design, pp.115~150, 1992
- MASAYUKI Otsuka et al. : A Study of a Method for Predicting the Drainage Performance of Loop Vent Drainage Systems, Proceedings of the 38th International Symposium of CIB W062, pp.205~221, 2012.8, Edinburgh
- MASAYUKI Otsuka et al. : Study of the Performance Evaluation of Air Admittance Valves by Means of the Drainage Capacity Prediction Method for Drainage Stack Systems : Influences on Vent Characteristics of Air Admittance Valves (AAVs) and Drainage Capacities, Journal Environmental Engineering (Transactions of AIJ), Vol. 73 No. 628, pp.783~790, 2008.6 (in Japanese)
- MASAYUKI Otsuka et al. : Examination of Drainage Performance When An air Admittance Valve is Applied in One Location Along the Horizontal Fixture Branch : Study on the Drainage Performance and a Method for Predicting the Same of a High-Rise Stack Drainage System Having Air-Admittance Valves Installed to the Vent Pipe and the Horizontal Fixture Drain Branch (Report 1) , Journal Environmental Engineering (Transactions of AIJ), Vol. 77 No. 674, pp.275~282, 2012.4 (in Japanese)
- MASAYUKI Otsuka et al. : Examination of Drainage Performance When An air-Admittance Valve is Applied in Multiple Locations Along the Horizontal Fixture Drain Branch : Study on the Drainage Performance and a Method for Predicting theSame of a High-Rise Stack Drainage System Having Air-Admittance Valves Installed to the Vent Pipe and the Horizontal Fixture Drain Branch (Report 2), Journal Environmental Engineering (Transactions of AIJ), Vol. 78 No. 693, pp.849~857, 2013.11 (in Japanese)
- John Swaffield : Transient Airflow in Building Drainage System, pp292, 2010
- MASAYUKI Otsuka et al. : The potential of a new drainage system with special resin fittings for multiple water-saving toilet units in commercial buildings, Proceedings of the 43rd International Symposium of CIB W062 Water Supply and Drainage for Buildings, pp.130~141, 2017.8, Netherlands

P_{QV}	: 伸頂通気管端部の圧力損失 [Pa]
P_{QSI}	: 伸頂通気管直管部の圧力損失 [Pa]
P_{QS2}	: 伸頂通気管分岐部の圧力損失 [Pa]
$P_{Q1\sim Q3}$	: 最大負圧域の圧力損失 [Pa]
$P_{\textcircled{5}}$	: 排水横主管部の圧力損失 [Pa]
P_{Q1}	: 中層階の吸引力 [Pa]
P_{Q2}	: 下層階の吸引力 [Pa]
P_{LOVi}	: ループ通気管内の圧力損失 [Pa]
P_{SVi}	: 通気立て管内の圧力損失 [Pa]
ζ_{QV}	: 伸頂通気管端部の通気抵抗係数
ζ_{QSI}	: 伸頂通気管直管部の通気抵抗係数
ζ_{QS2}	: 伸頂通気管分岐部の通気抵抗係数
$\zeta_{Q1\sim Q3}$	: 最大負圧域の通気抵抗係数
$\zeta_{\textcircled{5}}$	: 排水横主管部の通気抵抗係数
$\angle P_1 / \angle L_1$	: 中層階の排水立て管 1m 当たりの吸引力 [Pa/m]
$\angle P_2 / \angle L_2$	: 下層階の排水立て管 1m 当たりの吸引力 [Pa/m]
L_1	: 中層階の排水立て管の長さ [m]
L_2	: 下層階の排水立て管の長さ [m]
ρ	: 空気密度 [kg/m ³]
A_S	: 伸頂通気管と排水立て管の断面積 [m ²]
A_H	: 排水横枝管と通気立て管、ループ通気管の断面積 [m ²]
A_B	: 排水横主管の断面積 [m ²]
Q_{ai}	: 当該排水方式の各部での通気流量 [L/s]
Q_a	: 伸頂通気管の通気流量 [L/s]
λ	: 摩擦損失係数
$P_{max(k)}$	: 各階圧力変動の最大値 [Pa]
$P_{min(k)}$	: 各階圧力変動の最小値 [Pa]
P_{smax}	: システム最大圧力 [Pa]
P_{smin}	: システム最小圧力 [Pa]
$P_{ave(k)}$	: 各階平均圧力 [Pa]
$P_{ave(max)}$	: 各階平均圧力の最大値 [Pa]
$P_{ave(min)}$	: 各階平均圧力の最小値 [Pa]
$\sigma_{1(k)}, \sigma_{2(k)}$	: 各階最大・最小圧力の最大値・最小値の標準偏差 [Pa]
$N_{1(k)}, N_{2(k)}$	: 各階最大・最小圧力の最大値・最小値の定数
Q_W	: 合計排水流量 [L/s]
Q_{SC}	: 排水能力 [L/s]

STUDY ON THE UNDERSTANDING OF THE DRAINAGE PERFORMANCE OF THE LOOP VENT STACK SYSTEM FOR HIGH-RISE BUILDINGS AND A PREDICTION METHOD THEREOF

*Masayuki OTSUKA^{*1}, Ryota SUGIMOTO^{*2}, Shin KOUNO^{*3}
and Naofumi KOBAYASHI^{*4}*

^{*1} Prof., Dept. of Architecture and Environmental Design, College of Architecture and Environmental Design, Kanto Gakuin Univ., Dr.Eng.

^{*2} NIHON SEKKEI, INC., M.Eng. (Former Graduate School of Engineering, Kanto Gakuin Univ.)

^{*3} Takasago Thermal Engineering Co., Ltd., M.Eng. (Former Graduate School of Engineering, Kanto Gakuin Univ.)

^{*4} Hitachi Plant Services Co., Ltd., M.Eng. (Former Graduate School of Engineering, Kanto Gakuin Univ.)

In Japan at present, SHASE-S206 Plumbing Code regulates the drainage performance (permissible flow rate) of loop vent systems, but the prescribed value is not supported by systematic experimentation, and the theoretical grounds for it are yet to be clarified. Therefore, the study was conducted with the aim of clarifying the following three points: identifying the variation of internal pipe pressure and air flow rate characteristics when systematically applying drainage loads to a loop vent drainage system for high-rise buildings by the testing method specified by SHASE-S218; identifying the drainage performance of the system on the basis of the test results; and correlating said drainage performance with the permissible design flow rate specified by SHASE-S206 so as to propose new design data. Finally, to provide a theoretical basis, the analysis model for drainage/vent pipelines, which was previously proposed by the author and his fellow researchers, was expanded to propose a prediction method for identifying the drainage performance of loop vent drainage systems, and the practicality of the model was discussed. Consequently, the following points were clarified.

(1) In the simulation tower, the loop vent pipe connecting the horizontal fixture drain branch to the vent stack was installed in different locations: on one floor, two floors or all floors, to identify variations in the distribution of internal pipe pressure, and the maximum and minimum system values, which were obtained from the distribution of internal pipe pressure corresponding to each installation location in the single stack system (the standard system), were used as indices to quantitatively measure the relaxation rate, etc., of each value.

(2) In relation to (1), the flow rate of air sucked from the stack vent pipe was actually measured and it was pointed out that the measured flow rate was greater than the required flow rate calculated by the constant flow method specified by SHASE-S206, when the same drainage load flow rate was applied, and the difference between the flow rates was quantitatively obtained.

(3) The quantitative values of drainage performance of the respective vent systems were successfully obtained by testing the systems in accordance with SHASE-S218. The results indicated that the flow rates were below the SHASE-S206 permissible flow rate for loop vent systems when the house drain had elbows spaced at 1m or 3m intervals, i.e., not straight. However, it was indicated that the SHASE-S206 permissible flow rate could be reached more or less depending on the way of drawing the vent stack from the drainage stack and the degree of expansion of the diameter of the house drain.

(4) The pipe network analysis model proposed in the previous report was expanded and applied to the clarification of drainage performance of the loop vent system. Subsequently, it was indicated that when the house drain had elbows, the difference between the estimated value and the actual measured value of the maximum system value (positive pressure), a drainage performance index, was significant, but said difference was small when the house drain was straight. Therefore, the pipe network analysis model was deemed applicable. The analysis model was practically effective in the pipe configuration provided for this study, but for further study, a thorough consideration should be given to the airflow resistance in parts that constitute the model and for the optimization of suction power, while accuracy needs to be improved.