特殊継手排水システムを含む排水立て管内平均圧力分布の予測手法

超高層住宅における排水立て管内圧力分布に関する研究 その2

A PREDICTION METHOD OF MEAN AIR PRESSURE DISTRIBUTION OF DRAINAGE
STACK SYSTEMS INCLUDING SPECIAL FITTING SYSTEMSStudy of pressure distribution of drainage stack systems
in high-rise apartment houses Part 2符立偉^{*1}, 鎌田元康^{*2}, 倉渕隆^{*3}, 坂上恭助^{*4}大塚雅之^{*5}, 鄭政利^{*6}*Liwei FU, Motoyasu KAMATA, Takasi KURABUCHI,
Kyouusuke SAKAUE, Masayuki OTUKA and Cheng-Li CHENG*

This paper studies the prediction method of mean air pressure distribution of drainage stack systems, which includes special drainage fittings. The results of the study are as follows:

- 1) Clearing the phase of the air pressure distribution of special drainage fitting systems
- 2) Verifying the prediction method that was reported by part 1 in special drainage fitting systems and making the margin of application clear.
- 3) In addition to reinvestigating parameters applied in previous prediction method, the study proposes a new method to easily acquire parameters and offers a wide application range.
- 4) Proposing a 100 meters class prediction method of mean air pressure by using 30 meters class experiment data.

Keywords: *drainage stack, high-rise buildings, special drainage fittings,**mean air pressure distribution of drainage stack, the peak negative pressure, air flow in stack vent pipe*

排水立て管、超高層建物、特殊排水継手、管内平均圧力分布、最大負圧、通気流量

1. はじめに

前報¹⁾では、JIS-DT 継手を用いた排水システムにおける1箇所排水時の排水立て管内平均圧力分布の予測手法（以後、既往予測手法という）を提案した。本報では、前報に引き続き、特殊継手を用いた排水システムを含む排水立て管内平均圧力分布の予測について検討した、以下の内容について報告する。

- ① 超高層集合住宅・ホテルなどで採用例が増えている特殊排水継手を用いた排水システム（以下、特殊継手排水システムという）を含む排水実験を行った結果から、特殊継手排水システムでの排水立て管内平均圧力分布の様相を明らかにするとともに、予測に用いる各種パラメータを得ること。

なお、前報で報告した排水実験は、一箇所からの排水負荷であったが、1999年に制定された空気調和・衛生工学会の規格「HASS-218 集合住宅の排水立て管システム能力試験法」（以下HASS-218という）では、1箇所からの排水を2.5L/sまでに限定し、負荷流量がそれを超える場合は順次1層下の階から

負荷を加えることとしており、本報でもこれに従った実験を行っている。以後、この負荷方式を制限付き複数箇所排水という。

- ② 前報で提案した予測手法が、特殊継手排水システムで、かつ制限付き複数箇所排水時にも適用できるかを検証するとともに、その適用限界を明確にすること。
- ③ 上記②より明らかになった問題点を改良し、より適用範囲の広い予測手法を提案すること。
- ④ 特殊排水継手メーカーが所有している排水実験装置は、30m級（約10層程度）のものが多く、これらの装置から得られるデータから、100m級の排水立て管内平均圧力分布を予測できる手法を検討すること。

2. 実験概要

前報と同様に本実験は、都市基盤整備公団総合研究所技術センターの108m超高層住宅実験タワーを使用した。前報との実験との相違点のみを以下に示す。

^{*1} 東京大学大学院工学系研究科 客員研究員・工博^{*2} 東京大学大学院工学系研究科 教授・工博^{*3} 東京理科大学工学部 助教授・工博^{*4} 明治大学理工学部 教授・工博^{*5} 関東学院大学工学部 助教授・工博^{*6} 国立台湾科技大学 副教授・工博

Researcher, Graduate School, Tokyo Univ., Dr. Eng.

Prof., Graduate School, Tokyo Univ., Dr. Eng.

Assoc. Prof., Dept. of Faculty of Eng. Science Univ. of Tokyo, Dr. Eng.

Prof., College of Science & Technology, Meiji Univ., Dr. Eng.

Assoc. Prof., Dept. of Faculty of Eng. Science Kanto Gakuin Univ., Dr. Eng.

Assoc. Prof., National Taiwan University of Science and Technology, Dr. Eng.

- ① 前報では、排水横主管の配管形態として水平方向で曲がりのないストレート、水平方向で1曲がり、2曲がりの3種類の実験および排水横主管にオリフィスを挿入し、通気抵抗を変化させた実験を行ったのに対し、本報ではストレートのみとし、オリフィス実験も行わなかった。
- ② 前報の供試排水継手は、JIS-DT 継手のみであるのに対し、本実験は JIS-DT 継手以外に JIS-LT 継手、JIS-TY 継手（以後、これらを JIS 継手という）、MD 継手（以後、JIS 継手+MD 継手を JIS 系継手という）および特殊排水継手（旋回型 A～E 継手の5種類、オフセット型 F、G 継手の2種類計7種類）を用いた。また、JIS-DT 継手に関しては、排水立て管 150mm、排水横主管 150mmの実験も行った。図1に排水システムの概

図1 排水システムの概念図

念図を示す。

- ③ 前述のように、前報の1箇所排水負荷と異なり、HASS-218に準じた制限付き複数箇所排水とした。
- ④ 管内圧力の測定方法において、前報では2Hzローパスフィルタを使用した。本報ではHASS-218に準じ、3Hzローパスフィルタを用いた。なお、本報で扱う平均圧力に関しては、両者のローパスフィルタを用いた測定値に相違がないことを確かめている。

3. 既往予測手法の特殊継手排水システムへの適用可能性の検討

3.1 特殊継手排水システムの管内平均圧力分布

特殊継手排水システムの管内平均圧力分布の例として図2にC継手の場合を示す。(a)は排水システム規模35階（排水立て管に接続される排水横枝管の最上階をもって排水システム規模〇〇階のように呼称する。この場合、最上階排水横枝管から伸頂通気管端部までの管径・長さ・曲がり数などは一定）における最上負荷階（HASS-218に準じた制限付き複数箇所排水での最上負荷階をいう）35階の場合の管内平均圧力分布を示す。図から負荷流量の増加に従い、最大負圧（負圧の絶対値の最大値をいう）も増加することが分かる。(b)は排水システム規模が異なる条件で、最上負荷階から排水負荷6L/sを与えた時の管内平均圧力分布を示す。図から排水システム規模が大きくなるにつれ、最大負圧も大きくなる傾向が見られる。(c)は排水システム規模35階において、負荷流量を6L/sに固定し、最上負荷階を変化させた場合の管内平均圧力分布を示す。

図3、図4に35階規模、C継手を用いた特殊継手排水システムにおける最上負荷階と最大負圧の関係と負荷流量が6L/sの時の最上負荷階と管内圧力 P_a 、 P_b 、 P_a+P_b （最大負圧）の関係を示す（ P_a 、 P_b などについては図7参照）。前報で報告した JIS-DT 継手の場合および今回実験したその他の JIS 系継手とも、上層階から流すほど最大負圧が大きくなるが、特殊排水継手の場合、必ずしもそのような結果とはならない。この現象は、図2(c)にも示されている。

図5に各特殊排水継手を用いた排水システムにおける管内平均圧力分布の比較の例（負荷流量6L/s、排水システム規模35階、最上

図2 特殊継手排水システムの管内平均圧力分布の例（C継手）

図3 35階規模最上負荷階と最大負圧の関係

図4 35階規模最上負荷階と管内圧力の関係(6L/s)

図5 各特殊排水継手の管内平均圧力分布の比較

図6 JIS継手と特殊排水継手の管内平均圧力分布の比較

図7 管内平均圧力分布の概念図

(Pdの上段は既往予測法、下段は新予測法)

負荷階 35 階の場合)を示す。排水継手によって最大負圧は異なるが、管内平均圧力分布形状そのものは、ほぼ同一の傾向となる。

図6に JIS-DT 継手と特殊排水継手 (C 継手)を用いた場合の管内平均圧力分布の比較を示す。管内平均圧力分布の形状はよく似ていることが分かる。また、JIS-DT 継手の負荷流量 (2L/s) が特殊排水継手 (6L/s) より小さいにもかかわらず、管内に生じる最大負圧が特殊排水継手より大きくなっていることから、特殊排水継手が B ゾーンの管内平均圧力を低減する効果があることが分かる。

3.2 排水システムにおける各ゾーンのパラメータ

以上の検討から、特殊継手排水システムの管内平均圧力分布の形状は、JIS-DT 継手とほぼ同様の傾向になることを確認した。そこで、前報と同様に特殊継手排水システムの管内平均圧力分布を A～D の 4 つのゾーンに区分し (図7参照)、既往予測手法で管内平均圧力分布を予測するために用いたパラメータの分析を行う。

なお、 P_a 、 P_b 、 P_d の予測式、 P_b と B ゾーン長さ L (図7に示すように、最上負荷階から、伸頂通気管基部の管内平均圧力と同じ管内平均圧力に復帰するまでの垂直距離) の関係式としては、前報と同様に式 (1)、式 (2) を用いる。

$$P_{a,b,d} = \xi_{a,b,d} \times \frac{\rho}{2} \times V_a^2 = \xi_{a,b,d} \times \frac{\rho}{2} \times \left(\frac{Q_a}{A} \right)^2 \dots\dots (1)$$

$$P_b = L^n \dots\dots (2)$$

1) A ゾーン

伸頂通気管基部における A ゾーンの抵抗係数 ξ_a を図8に示す。 ξ_a は通気流量によらず、ほぼ一定となる。図9に排水システムにおける伸頂通気管基部から最上負荷階までの継手間隔あたりの圧力損失と通気流量の関係の例を示す。図には二次の回帰曲線を示しているが、JIS-DT 継手、特殊排水継手の旋回型・オフセット型によらず、良好に適合している。また、特殊継手排水システムの継手間隔あたりの圧力損失は JIS-DT 排水システムの値より大きくなる傾向がある。

図8 ξaとQaの関係

図9 継手間隔あたり圧力損失とQaの関係

図10 Qaとξbの関係

2) Bゾーン

図10に特殊継手排水システムにおける通気流量 Q_a とBゾーンの抵抗係数 ξ_b の関係の例として、A、F継手の場合を示す。前報では、 ξ_b は通気流量によらず負荷流量ごとにほぼ一定となることを示した。特殊排水継手を用いたシステムでは、F継手のようにほぼ前報と同様の結果が得られる場合と、A継手のように、通気流量の影響が明らかな場合がある。しかしながら、特殊継手排水システムで得られたデータ全体を検討したところ、通気流量 Q_a の変化幅が狭いことが判明したため、各負荷流量で得られた抵抗係数 ξ_b の平均値を用いることとした。

図11に負荷流量 Q_w とBゾーンの抵抗係数 ξ_b の平均値の関係を示す。同一の Q_w に対して、B継手を除く特殊排水継手および150mmのJIS-DT継手の ξ_b は100mmのJIS継手およびMD継手の1/2~1/3となる。

図12に負荷流量3L/sのときの P_b と L の関係を示す。同一の L に対して、JIS系継手の P_b が大きくなっている。A継手を除くと、特殊継手排水システムにおける P_b と L の関係のべき指数 n が、前報で報告した100mmのJIS-DT継手の0.7よりかなり小さい。ただし、HASS-218の判定基準による排水能力^(注)に近い負荷流量になると、特殊継手排水システムでも100mmのJIS-DT継手と同様0.7程度となるものが多い。

(注) ローパスフィルタ3Hzを用いた瞬時圧力の全測定値が ± 400 Pa以内であること。

3) Cゾーン

通気流量 Q_a と圧力勾配の平方根 $\sqrt{CB}$ の関係は、負荷流量ごとに一次式となることを前報で示した。図13に負荷流量3L/sの場合の $\sqrt{CB}$ と Q_a の関係を示す。特殊継手排水システムの場合も、前報の関係が成立する。なお、図13から、100mmのJIS継手はほぼ一本の直線で回帰できること、特殊継手排水システムの場合、同じ通気流量 Q_a に対し、JIS継手の1/2以下の $\sqrt{CB}$ となること、同じJIS継手でも管径が大きくなると傾きが変わることなどが分かる。

4) 通気流量 Q_a

図14に排水システム規模35階、最上負荷階35階の場合の負荷流量 Q_w と通気流量 Q_a の関係を示す。いずれの継手の場合も Q_w の増加とともに Q_a は増加するが、その増加傾向が顕著なJIS系継手に対し、特殊排水継手では概して緩慢で、 Q_w が大きいくところでは Q_a の値そのものもJIS系継手の半分程度となる。

3.3 適用結果および適用限界

前報で報告した管内平均圧力予測手順に従って、特殊排水継手C継手を用いたシステムの場合を予測した結果と実験値の比較を図15に示す。他の特殊排水継手でもほぼ同様の結果となり、既往予測手法が特殊継手排水システムに適用できることを確認した。

ただし、図16に示すように、Bゾーンの長さ L が得られない場合は予測不能であり、得にくい場合は予測精度が悪くなることになり、適用範囲に限界があることが判明した。

4. 管内平均圧力の新予測手法

4.1 各ゾーンパラメータ

新予測手法では、既往予測手法と同様に管内平均圧力分布をA～Dの4つのゾーンに区分し(図7参照)、以下を仮定する。

① 排水システム・排水負荷・排水負荷高さが決まれば、通気流量・

図11 Q_w と ξ_b の平均値の関係

図12 P_b とBゾーン長さ L の関係(負荷流量3L/sの場合)

図13 通気流量 Q_a と圧力勾配の平方根 $\sqrt{CB}$ の関係

図14 負荷流量 Q_w と通気流量 Q_a の関係

図15 管内圧力分布予測と実測の比較(C継手)

最大負圧および管内平均圧力の分布が一意的に決まる。

- ② A、Dゾーンの管内圧力は、伸頂通気管部の平均風速の2乗に比例し、Bゾーンの管内圧力は、排水が環状流として流れ、排水と空気が同速で流下するとして求められた流速（表1の式(c)）の2乗に比例する。

表1に既往予測手法と新予測手法の比較を示す。以下では、各ゾーンのパラメータごとに新予測手法を説明する。

Aゾーン：既往予測手法と同様の式(a)で表すことができる。

Bゾーン：抵抗係数 ξ_b' は②の仮定に基づき、式(b)、式(c)より Q_a+Q_w の関数で表すことができる。 Q_w と式(b)、式(c)に基づいて求められた抵抗係数 ξ_b' の関係の例として、図17にA継手の場合を示す。多少のバラツキがあるものの、 ξ_b' はほぼ負荷流量 Q_w の関数と見なす。

図18に最上負荷階と最大負圧発生階（最大負圧が発生する階をいう）の関係を示す。継手種類によらず、ほぼ一本の直線で回帰することができる。既往予測手法では、最大負圧の発生位置を特定していない。新予測手法では図18を用いて、HASS-218に準じた排水負荷を与えた場合の最上負荷階から最大負圧発生階を予測することができる。

Cゾーン：管内平均圧力分布を詳細に検討すると、各排水システム規模で最上階より排水を負荷した場合、排水立て管内部に生じる圧力 $P_i = P_a + P_b + P_d$ を負荷高さFLで除した値が大きくなるにつれ、圧力勾配CBも大きくなる傾向がある。図19に両者の関係の例としてC継手の場合を示す。HASS-218に定められた排水能力試験判定条件以内であれば、ほぼ直線で回帰することができる。

Dゾーン：既往予測手法と同様の式(f)で表すことができる。ただし、Dゾーンの管内平均圧力 P_d については、既往予測手法と異なり、図7に示すCゾーンの圧力勾配と横主管との交点の値とする。

4.2 予測手順と結果

既往予測手法は、Bゾーンの長さLを用いて、繰り返し収束計算によって通気流量 Q_a を予測したが、前述のように、Lが得にくい場合、得られない場合があることから、新予測手法では、このLを用いないことにした。具体的には、図13に示した通気流量 Q_a と圧力勾配の平方根 $\sqrt{CB}$ の関係と、今回新たに示した図19の P_i/FL と圧力勾配CBの関係を用い、繰り返し収束計算によって Q_a を予測し、管内平均圧力を予測する。図20に新予測手法の予測手順を示す。この新予測手順に従い最大負圧を予測し、実測値と比較した例として、図21にC継手の場合を示す。最大負圧が大きい場合、バラツ

図16 Bゾーン長さLが得られない場合

表1 既往予測手法と新予測手法の比較

	既往予測手法	新予測手法
Aゾーン	$P_a = \xi_a \times \frac{\rho}{2} \times V_a^2$ (a)	同左
Bゾーン	$P_b = \xi_b \times \frac{\rho}{2} \times V_a^2$ $P_b = C \times L^n$	$P_b = \xi_b' \times \frac{\rho}{2} \times V_a^2$ (b) $V_a = V_w = V_b = \frac{Q_a + Q_w}{A_p}$ (c)
Cゾーン	$CB = F(Q_a)$	$CB = F(Q_a)$ $CB = F(P_i/FL)$ (d) $P_i = P_a + P_b + P_d$
Dゾーン	P_d : 実測の平均最大値 $P_d = \xi_d \times \frac{\rho}{2} \times V_a^2$ (e)	P_d : CBと横主管交点の圧力 $P_d = \xi_d' \times \frac{\rho}{2} \times V_a^2$ (f)

図17 Q_w と抵抗係数 ξ_b' の

図18 最上負荷階と最大負圧発生階の関係

図19 P_i/FL と圧力勾配CBの関係 (C継手)

図20 新予測手法の予測手順

図 21 最大負圧の予測値と実測値の関係

キがあるものの、HASS-218 に定められた排水能力判定条件内のデータ (図中黒ヌリ) であれば、最大負圧の実測値と予測値の対応は極めてよい。

4.3 既往圧力予測手法と新予測手法の比較

図 22 に両予測手法を用いて予測した最大負圧の実測値と予測値の比較の例を示す。図から新予測手法は、既往予測手法とほぼ同程度あるいはそれ以上の精度を有することが分かる。

図 22 最大負圧の実測値と予測値の関係

5. 30m程度の実験に基づく超高層排水時の管内平均圧力の予測

以上で超高層実大実験のデータに基づき、特殊継手排水システムにおける管内平均圧力に関する既往予測手法の検証と新予測手法の提案を述べた。しかしながら、各排水継手メーカーが保有している実験装置の多くは、高さ約 30m (約 10 層) 程度であるため、30m 級実験装置で得られた実験データから、超高層排水時における管内平均圧力分布を予測する手法の確立が要求されている。そこで、手法確立の手始めとして、A、D ゾーンの形態が一定の場合について以下で検討する。

5.1 通気流量 Q_a の予測

排水管内通気の原因力と考えられる負荷高さ FL、負荷流量 Q_w を指標とすることとし、単位負荷高さ×単位負荷流量の場合の原因力を 1 と定義し、出力となる通気流量 Q_a との関係求めたものの例として、図 23 に C 継手の場合を示す。最上負荷階 10 階の場合のみのデータから求めた回帰曲線と、10 階～35 階のすべてのデータから求めた回帰曲線の両者が示されている (ただし、排水能力判定条件内のデータを使用)。両者はほぼ一致しており、最上負荷階が 10 階のデータから、超高層排水時の通気流量が予測可能である。

5.2 他のパラメータの予測

図 24 に $Q_a + Q_w$ と ξ_b' の関係、図 25 に P_i/FL と圧力勾配 CB の関係の例として C 継手の場合を示す。10 階規模の実験による回帰曲線と 10～35 階規模の実験による回帰曲線はほぼ一致することが確認でき、これらの図から B ゾーンの抵抗係数、A、B、D ゾーンの管内平均圧力および C ゾーンの圧力勾配が求められる。

5.3 予測手順と予測結果

図 26 に示した予測手順に従い、通気流量 Q_w および最大負圧 ($P_a + P_b$) を予測した結果と実測値の比較の例として、図 27 に C 継手の場合を示す。排水能力判定条件内であれば、ほぼ満足できる予測結果となっている。

図 23 FL× Q_w と通気流量 Q_a の関係 図 24 $Q_a + Q_w$ と ξ_b' の関係 図 25 P_i/FL と圧力勾配 CB の関係

6. 結論

本研究では、超高層住宅実験タワーにおいて、各種排水継手を用いた排水システムに関する実験を行った結果を解析し、以下のような結論を得た。

1) 特殊継手排水システムの管内平均圧力分布

① 特殊継手排水システムの管内平均圧力分布の形は、ほぼ JIS-DT 継手を用いた排水システムの場合と同様であり、既往予測手法

図 26 予測手順

図 27 通気流量および最大負圧の実測値と予測値の比較

のゾーン分けが可能である。

- ② 排水システム規模・負荷流量・負荷高さが同じである場合、JIS系継手を用いたシステムと比べ特殊排水継手の場合の管内平均圧力は極めて小さい。
- ③ JIS系継手を用いたシステムでは、上層階から流すほど最大負圧が大きくなるが、特殊排水継手の場合、必ずしもそのような結果にはならない。

2) 特殊継手排水システムにおける既往管内平均圧力予測手法の適用と限界

- ① JIS-DT 継手を用いたシステムを対象に開発された既往の管内平均圧力予測手法は、特殊継手排水システムにもほぼ適用可能であることを確認するとともに、適用限界を明らかにした。
- ② 既往予測手法は、1箇所排水負荷に対するものであったが、HASS-218 に準じた制限付き複数箇所排水負荷の場合にも対応可能であることを確認した。

3) 新管内平均圧力予測手法

- ① 新たな排水特性パラメータ P_i/FL を導入し、既往予測手法で求めにくい C ゾーンの圧力勾配 CB を容易に求める方法を提案した。
- ② ①で提案した方法を用いることにより、新たな管内平均圧力予測手法を提案し、既往予測手法と同程度以上の精度を有することを確認した。

なお、新予測手法は B ゾーンの長さ L を用いないため、 L が特定できない条件の場合にも用いることができ、既往予測手法より適用範囲が広い。

- ③ 既往予測手法では、最大負圧が発生する階を特定できなかったが、それを特定するための関係式を示した。

4) 低層の実験データに基づく超高層排水時の管内平均圧力予測

- ① 通気流量の予測について新たな提案をした。
- ② 排水システムの A、D ゾーンの形状が等しい場合、低層の実験の結果から、超高層排水時の管内平均圧力を予測できる手法を開発した。

参考文献：

- 1) 鄭政利他、超高層住宅における排水立て管内圧力分布に関する研究 その 1 一箇所排水時の排水立て管内平均圧力分布の予測手法 日本建築学会計画系論文集 No.481, pp.83-91, 1996.3
- 2) 符立偉他、集合住宅の排水システムに関する研究 (その4) 1 箇所排水時の管内平均圧力分布とその予測法に関する検討Ⅱ 日本建築学会大会学術講演梗概集 pp.1769-1770, 1993.9

本報使用の記号と単位：

P_a : A ゾーン管内平均圧力 (Pa)	V_w : 水の流下速度 (m/s)
P_b : B ゾーン管内平均圧力 (Pa)	Q_a : 通気流量 (m ³ /s)
P_d : D ゾーン管内平均圧力 (Pa)	Q_w : 負荷流量 (L/s)
ξ_a : A ゾーンの抵抗係数	$P_i = P_a + P_b + P_d$ (Pa)
ξ_b : B ゾーンの抵抗係数	L : B ゾーンの長さ (m)
ξ_d : D ゾーンの抵抗係数	FL : 負荷高さ (m)
ξ_b' : 新予測手法の B ゾーンの抵抗係数	CB : 圧力勾配 (Pa/m)
ξ_d' : 新予測手法の D ゾーンの抵抗係数	A_p : 管断面積 (m ²)
V_a : 空気流速 (m/s)	ρ : 空気密度 (kg/m ³)
$V_b : V_a = V_b$ としたときの空気流速 (m/s)	

(2001年11月9日原稿受理, 2002年4月10日採用決定)