一箇所排水時の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1

A PREDICTION METHOD OF AIR PRESSURE DISTRIBUTION OF DRAINAGE
STACK SYSTEMS IN CASE OF SINGLE-POINT STEADY DISCHARGEStudy on pressure distribution of drainage stack systems
in high-rise apartment houses Part 1

鄭 政利*, 鎌田元康**, 倉渕 隆***, 坂上恭助****, 田中 徹*****

*Cheng-Li CHENG, Motoyasu KAMATA, Takasi KURABUTI,**Kyousuke SAKAUE and Toru TANAKA*

Systematic full scale model experiments were performed using a 100m class experiment tower in order to simulate actual water discharge of high-rise residential buildings. Preliminary experiments showed that high level of discharge entry leads not only large peak negative pressure but also peak position being apart from the branch entry, which has not been observed in the 30m class tower experiments. In order to develop a numerical prediction method of pressure distribution, the drainage stack system is hypothetically divided into four parts and each part is separately modeled. A new semi-empirical hydraulic model is developed to relate constant pressure gradient at final stack length to stack air flow rate, based on the balance of pressure and frictional forces. Distance between discharge entry and a downstream point of the same recovered air pressure is successfully modeled as a function of stack air flow rate. Other parts of the drainage stack systems are handled based on the empirically determined friction loss coefficients. Finally, we assembled each model and formed a full numerical prediction method of air pressure distribution of drainage stack systems, which includes prediction of peak negative pressure and stack air flow rate. The calculated results are satisfactory compared to both 108m tower and 30m tower experiments, in case of single-point steady discharge.

Keywords: drainage stack, high-rise buildings, 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、管内圧力分布予測、最大負圧、通気流量

1. はじめに

建物内の排水システムは、確実な作動が要求されるため、エネルギーを使用しない重力式排水システムが世界的に主流となっており、また、排水管内の悪臭・衛生害虫等の阻止にも、単純な機構の水封トラップの使用が一般的である。排水を流す際にトラップ内の封水を保護するため、重力式排水システムの排水立て管内では、満流で排水を流すことは許されず、固形物を含む排水と空気が混在する混相流となっている。排水管内の空気の駆動力は、水が重力で落下する際の水・空気間の摩擦力により生じるものの他、一部空気が排水に巻き込まれることにより、排水と一体化して流下することによるものである。その一方で排水が排水横枝管から排水立て管に流れ込む位置、及び排水立て管から排水横主管に流れ込む位置では、跳水現象等の複雑な流れが生じることにより、管の比較的短い区間で通気断面積が大幅に変化する。

従って、これらの部位ではダクトの急縮小、急拡大部分と同様な圧力損失が生じ、一部排水と空気の流下速度差に関連した摩擦応力が生じるものの、主に通気抵抗として作用する。このように、重力式排水システムにおける管内流動は、混相流としての複雑な流れであること、重力が支配的な要因であり、模型実験が極めて困難なことなどから、特に超高層排水システムについては解明が十分になされておらず、排水システムの設計が、主に経験的な算法によってなされている現状にある。

関連する海外の研究として、Pinkは32層規模の建物（約100m）に設置された排水立て管を用いて、定流量負荷による排水実験を行っている。その結果得られた知見で注目すべき点は、排水負荷階が高くなるに従い、通気流量が増加することが挙げられ、負荷高さの相違による通気流量が管内圧力分布の予測法確立のポイントとなることが指摘されている。日本では、大塚らが30m級（10

* 東京大学大学院工学系研究科 大学院生

** 東京大学大学院工学系研究科 教授・工博

*** 東京理科大学工学部建築学科 助教授・工博

**** 明治大学理工学部建築学科 助教授・工博

***** 佐藤総合計画㈱ 工修

Graduate Student, Dept. of Architecture, Univ. of Tokyo

Prof., Dept. of Architecture, Univ. of Tokyo, Dr. Eng.

Associate Prof., Dept. of Architecture, Science Univ. of Tokyo, Dr. Eng.

Associate Prof., Dept. of Architecture, Univ. of Meiji, Dr. Eng.

AXS SATOW INC., M. Eng.

層規模)の実験タワーを用いた排水実験により、管内圧力分布の予測手法を提案している。同手法は超高層への対応をも考慮し、また、Pink等の実験結果との比較検討も行っているが、超高層排水システムを直接模擬できる装置を用いた検証実験は行っていない。

この点に関し、筆者らは住宅・都市整備公団の八王子試験所内に設置された高さ 108 mの実験タワーの使用機会を得たので、実際の超高層住宅を模擬した一連の排水実験を実施した。本報では、実験の結果得られた新たな知見について述べるとともに、実験結果を整理・統合することにより開発した超高層にも適用可能な、新たな管内圧力分布予測法の概要について述べる。

なお、本報では、これまで十分な解明がなされていない超高層を含む任意高さの排水管における複雑な流れ現象のモデル化とその妥当性の検証を主たる目的としたので、検討対象を極力単純化し以下に示す条件に限定した。

①対象排水システムは伸頂通気方式とする。

②排水としては排水立て管に接続する排水横枝管 1 箇所からの定常排水のみを考慮する。

③排水には固形物を含めず、水と空気のみ気液二相流を想定し、洗剤混入もないものとする。

また、現象のモデル化に際し以下を基本方針とした。

①排水管内の気相、液相の管内分布等のモデル化を行うことは当面行わず、平均通気速度等の断面平均値のみを考慮する。

②排水立て管への排水の流入部及び排水立て管と横主管結合部で生じる圧力損失は、ダクトにおける断面形状変化による抵抗と類似した取扱いが可能とする。

③排水立て管内の空気駆動力は空気と空気に接触する排水との落下速度の差に起因した摩擦力が主たるものであり、排水と一体化して落下する空気の影響は小さいものとする。

2. 既往研究との関連

重力式排水システムの管内流動に関する最初の研究としては、1940年代にR. B. Hunter¹⁾により行われたものが挙げられるが、測定機器の制約などもあり、定性的な記述にとどまっている。給排水設備に関する国際会議として継続的に開催されているのは、C I B W-62のセミナーのみであるが、そこで発表される論文でも、定量的かつ解析的に記述されたものは非常に少ない。また、実験結果に関しても先に述べたように100m規模の実験タワーを用いたものは、B. J. Pink²⁾の一例のみである。

国内では、大塚他³⁻⁴⁾と根路銘ら⁵⁾が管内圧力予測法に関し報告しており、大塚らの提案は先述したように超高層建物への拡張可能性を踏まえたものであるが、30m級のタワーの実験結果からの外挿の域を出ず、超高層固有の現象への適用には限界がある。

本研究では、従来、その平均的な様相さえも十分には

解明されていなかった超高層住宅における重力式排水システムの管内流動現象を、実大試験設備を用いて観測し、その支配要因別にモデルを作成した。また、これらのモデルを総合することにより、基本的には排水立て管の高さに関する適用範囲の制約を受けない管内圧力分布計算手法の開発を試みた。

3. 実験及び測定概要

実験は、住宅・都市整備公団八王子試験場内の108m実験タワーと明治大学の30m実験タワーを用いて、超高層と中層の集合住宅を想定し、各種排水実験を行った。超高層(108m)の場合の実験装置概要を図1に示す。

図1 高層タワー実験装置概要

排水立て管は管径φ100mm(JIS-DT継手を使用)、排水横主管は管径φ125mm、排水横枝管は管径φ75mmとした。排水管内の圧力は、拡散半導体小型圧力変換器により排水横枝管内の35点と横主管の2点を測定した。更に、伸頂通気管頂部の中心風速を熱線風速計により測定し、十分発達した管内の風速分布を仮定して通気流量 Q_a （註1）を求めた。実験条件を表1に示す。

表1 超高層タワー実験条件

横主管形態	オリフィス	負荷階	負荷流量
ストレータ配管	なし	34 F	1.0 (l/s)
	上部	25 F	2.0 (l/s)
	下部	17 F	3.0 (l/s)
1曲がり配管	なし	9 F	4.0 (l/s)
2曲がり配管	なし		

横主管の配管はストレータ、1曲がり、2曲がり及びストレータ配管にオリフィス（管径の1/2、2/3、3/4、4/5、5/6の5種類）を挿入する形態であり、かつ伸頂通気管頂部にオリフィス（内径φ30, 35, 40, 45, 50 mmの5種類）を挿入し、通気抵抗を変化させた実験も行った。

次に中層(30m)の場合の実験装置の概要を図2に示す。

図2 中層タワー実験装置概要

配管と計測機器は超高層の場合の実験装置と同様であるが、横主管の配管はストレートのみとした。通気管の頂部に回転数制御型の送風機を取り付け、通気流量を増加させる場合には運転し、減少させる場合には吸込ダンパーを調整し、広い範囲の通気流量を設定して実験を行った。

4. 管内平均圧力に関する実験結果

4.1 超高層実験の結果

オリフィスなしの条件における排水立て管内時間平均圧力分布の測定結果の例を図3、図4に示す。図3は排水負荷高さを9〜34階の範囲で変化させ、図4は排水負荷流量を

図3 負荷高さと管内圧力分布（超高層）

図4 負荷流量と管内圧力分布（超高層）

図5 上部抵抗と管内圧力分布（超高層）

図6 下部抵抗と管内圧力分布（超高層）

図7 負荷流量と管内圧力分布（中層）

図8 通気流量と管内圧力分布（中層）

1.0〜4.0 l/sで変化させた場合における1箇所排水時の測定結果の一例を示したものである。

超高層の排水の場合は、従来の30m級の実験装置^{3~5)}で観察された最大負圧より、明らかに大きな値の出現が確認された。また、排水負荷階が高くなるに従い、排水階とその下流の最大負圧発生地点の間隔が拡大する傾向が認められ、これも30m級の実験装置では確認されていない。逆に、オリフィスを挿入し、通気流量を絞ると最大負圧発生位置は負荷階に近づく傾向がある。オリフィスを挿入した条件の測定結果の例を図5、図6に示す。

4.2 中層実験の結果

中層実験タワーで、排水負荷流量を1.0〜4.0 l/sで変化させた場合における1箇所排水時の測定結果を図7に示し、伸頂通気管頂部に送風機を取り付けて、強制的に通気流量を調整した実験結果を図8に示す。図より、圧力勾配は既往研究^{3~4)}の結果と同じように、負荷流量と通気流量 Q_v に強く関連していると判断される。

5. 管内平均圧力分布の予測法に関する検討

排水立て管内部に生じる圧力分布に関し、一箇所定常排水時の条件では、排水立て管を図9に示すように、4ゾーンに区分し検討を進めた。

図9 ゾーン区分の模式図

排水立て管のゾーン区分は、伸頂通気管頂部から、排水負荷階までの空気のみが流れている部分をAゾーン、排水横枝管からの排水流入地点より、排水が主に通気抵抗として作用し、管内圧力が最大負圧を生じた後に、負荷階における圧力に回復するまでの垂直距離を長さ L 、この範囲をBゾーン、この地点から下流は、排水が空気を誘引し圧力勾配が一定とみなせる領域となり、排水立て管基部までをCゾーン、排水横主管での跳水現象等により再び通気抵抗として作用する部分をDゾーンとした。

5.1 P_A 、 P_B 、 P_D の計算法

Aゾーンについて Aゾーンは空気のみの流れであるため、通常のダクトと同様に扱え、大塚らの①域と同様、

図10 Aゾーン通気管抵抗係数計算図

図11 Bゾーン圧力P_BとQ_a²の関係 図12 Bゾーン圧力P_BとQ_aの対数関係 図13 通気流量と抵抗係数(ξ_B)の関係 図14 通気流量と抵抗係数(ξ_B)の相関

図15 Dゾーンの抵抗係数と負荷流量の関係

以下の式(1)の適用が妥当であると考えられる。図10は排水負荷階より上部の通気管と排水立て管の抵抗係数 ξ_A の変化を示したものであり、 ξ_A の増加はほぼ排水管の長さ に比例する。以下では図中の回帰直線を用いて排水管内の抵抗係数および圧力分布を計算することにした。

$$P = \xi \times \left(\frac{Y}{2g}\right) \times V_a^2 \quad \text{--- (1)}$$

Bゾーンについて 当初、最大負圧が発生するBゾーンにおける圧力 P_B には式(1)が成立し、抵抗係数 ξ_B は通気流量によらず、負荷流量のみの関数になると考えた。図11に P_B と通気流量 Q_a^2 の関係を示す。図から分かるように、 P_B は Q_a ($\propto V_a$) のほぼ2乗に比例するが、図12に示す様に、 P_B と Q_a の関係を両対数軸上で表わすと、完全に2乗とはならないことが分かる。また、抵抗係数 ξ_B と通気流量 Q_a の関係は図13に示す様に^{註2)}、バラツキが見られるものの、全般的に通気流量の増加に伴い減少する傾向が認められる。この点を考慮すれば、式(1)の ξ_B は大塚らと同様 Q_a により変化させることが妥当と考えられる。

なお、 ξ_B のバラツキが大きい理由としては、 ξ_B の計算には P_B と Q_a の実測値を用い、 P_B/Q_a^2 の形で算出するため、両者の測定誤差が影響を及ぼしたこと、また、最

大負圧発生位置が測定階と階の間で生じたことが考えられる。 ξ_B の Q_a に対する依存性を説明するために、回帰式を用いて実験結果を近似したものを図14に示す。この回帰式は Q_a が極端に小さい場合にも適用できることを意図して作成したが、 Q_a が極端に小さい場合のデータは十分とは言えないため、今後、この領域に対する実験データの蓄積を計る必要がある。

Dゾーンについて Dゾーンは排水横主管での跳水現象等により、Aゾーンと同様に通気抵抗として作用する部分である。そこで、式(1)と同様の式の成立を仮定し、図15に示す様に、一定の排水横主管形態に対応する ξ_D を排水流量の関数としてプロットした。その結果、一定の排水横主管形態に対し、排水流量 Q_d が同一の条件では通気流量が異なる場合においても、ほぼ同一の ξ_D となることが確認された。従って、 P_D は式(1)により、計算することにした。

5.2 Cゾーン圧力勾配の計算法

立て管内圧力分布におけるCゾーン圧力勾配は、管内の水・空気間の相互作用をモデル化して計算する手法を考えた。一定圧力勾配となる同ゾーン中の管要素 ΔH を模式的に図16とする。

図16 Cゾーン圧力勾配の模式図

図より、鉛直方向の力の釣り合いを考えると、水と空気の接触面では、水の落下速度 V と空気の平均速度 U の差により相互に摩擦力を受けており、空気はこの摩擦力によって下向きの力を受ける。同時に水は空気により上向きの力を受けることになるが、空気と水の比重量の比は1:1000程度と極端に相違することから、空気側が水の運動に及ぼす影響は一定の通気流量の範囲では無視できると考えられる。そこで、今回は通気断面積 A 、水-空気の接触長さ S 、空気と接触する水の落下速度 V は通気流量 Q_a によらず一定となることを仮定した。また、水の落下速度は管中心付近をほぼ自由落下する部分と、環状流となって管壁の拘束力を受ける部分では大きく異なることが予想されるが、今回の解析では先述したように、管内の分布性状については立ち入らない方針で検討を進めたため、 V は空気との摩擦に関わる水-空気接触面での代表速度（以下は V と呼ぶ）として取り扱った。

落下する水が空気に及ぼす力を考慮するため、接触面の単位面積あたりに作用する摩擦応力を τ 、平均接触長さを S とおけば、要素中の空気に作用する摩擦力は $\tau S \Delta H$ となる。一方、連続条件から管を通過する風量は一定となるので、この力と平衡する圧力差による力が作用し、管の通気断面積を A 、上部と下部の圧力をそれぞれ P_1 、 P_2 とおけば、それは $(P_1 - P_2) A$ と表わされる。即ち、力の平衡式は以下となる。

$$\tau S \Delta H = (P_1 - P_2) A = \Delta P \cdot A \quad (2)$$

式(2)を変形すれば以下となる。

$$\frac{\Delta P}{\Delta H} = \frac{S}{A} \tau \quad (3)$$

つまり、圧力勾配には接触長さ、通気断面積、摩擦応力が関連する。この中で、摩擦応力 τ は、空気と水の相対速度に関する動圧に摩擦係数 ζ を乗じて表すことが自然と考えられるので、下式を仮定する。

$$\tau = \zeta \frac{\gamma}{2g} (V - U)^2 \quad (4)$$

式(4)の ζ は、厳密には管内流れのアナロジーから粗度と相対速度 $V - U$ に関するレイノルズ数の関数となると考えられる。しかし、落下する水の表面の凹凸は、排水量が極端に小さくない限りかなり大きいこと、レイノルズ数は一般に大きいことより、実用上は一定として取り扱ってよいと考えられる。従って、式(4)を式(3)に代入し、下式を得る。

$$\frac{\Delta P}{\Delta H} = \frac{\zeta \gamma}{2g} (V - U)^2 \frac{S}{A} \quad (5)$$

式(5)は、空気の平均速度が空気と接触する水の平均落下速度に一致するとき、圧力勾配は0となることを示しており、後にこの解釈を排水落下速度の推定に用いることにする。式(5)は通気流量を Q_a 、通気断面積を A とすれば式(6)と書ける。

$$\frac{\Delta P}{\Delta H} = \frac{\zeta \gamma}{2g} \left(V - \frac{Q_a}{A} \right)^2 \frac{S}{A} \quad (6)$$

これをさらに変形すれば、

$$\frac{\Delta P}{\Delta H} = \frac{\zeta \gamma}{2g A^2} \cdot \frac{S}{A} (AV - Q_a)^2 \quad (7)$$

図17 圧力勾配と通気流量の相関

図18 圧力勾配と通気流量の相関

図19 圧力勾配と通気流量の相関

となるが、

$$\alpha^2 = \frac{SY}{2gA^2} \cdot \frac{S}{A} \quad (8)$$

$$\beta = AV \quad (9)$$

を、先の仮定を基に排水負荷流量のみで表されるパラメータであり通気流量には無関係であるとすれば、式(7)は

$$\frac{\Delta P}{\Delta H} = \alpha^2 (\beta - Q_a)^2 \quad (10)$$

なる形をとる。従って実験的に各排水負荷流量別に α 、 β を定めることにより、通気流量と圧力勾配を関連づけることが可能となる。具体的なパラメータの決定には式(10)を変形し、各負荷流量別に実験データを

$$\sqrt{\frac{\Delta P}{\Delta H}} = \alpha(\beta - Q_a) \quad (11)$$

なる1次式に当てはめて行うこととした。

なお、圧力勾配の取り方については、上述の長さ L を基準として圧力勾配を取る方法を用いている。具体的には図9において最大負圧の下方で管内圧力が再び P_A に復帰する点CからD点(測定の下階)までを直線で結んで圧力勾配を計算した。点Cが負荷階の中間点となる場合は、その前後の負荷階から直線補間することにした。

図17、図18に圧力勾配の平方根と通気流量の関係を負荷流量ごとに示す。図17には低層タワー及び大塚ら^{3~4)}の既往研究の測定データを併せてプロットした結果を、図18には超高層タワーの測定データを示す。図17で注目すべき点は今回の測定データと既往研究の測定データがほぼ同じバラツキの範囲に収まっていることである。これは実験

装置の相違が測定データに著しい影響を与えていないことを示唆しており、今回の測定データに一般性があることも物語っている。今回の中層タワーの測定では、オリフィス及びファンを用いてかなり広範囲(およそ0~0.03 (m³/s))の通気流量を再現した。また、図18は超高層タワーのデータを示しているが、図17のデータと0.02~0.03(m³/s)の範囲で通気流量が重なっており、この部分は中層タワーで超高層タワーのCゾーン圧力勾配が模擬できる可能性を示唆している。実際超高層と中層のデータを併せてプロットした図19によれば、通気流量が重なる範囲の圧力勾配はほぼ対応している。中層タワーと超高層タワーのデータを比較してみると、負荷流量2.0(1/s)以下では圧力勾配の平方根はほぼ通気流量の増加に伴い、一定の勾配で低下すると見なすことができる。しかし、3.0(1/s)以上では通気流量の増加により、勾配が緩やかになる傾向がある。これは通気流量の変化が水の落下速度に影響を与えることを示唆しているが、本報の範囲では当面のモデルに従い、直線で近似することにする。各負荷流量ごとの α 、 β の値を表2及び図20に示す。

以上の回帰直線と Q_a 軸との交点は式(11)より β を与えることになり、 β は式(9)の定義から通気断面積 A と水-空気接触面での水の落下速度の代表値 V の積となる。このようにして得られた β 中の V が、排水平均速度 V_w のよい近似値になっているものとすれば、管断面中の充水面積は排水流量 Q_w を V で割った値となるので、通気断面積 A は管断面積を A_p として $A = A_p - Q_w/V$ と表される。

表2 実験常数 α 、 β と排水の推定落下速度代表値一覧

排水負荷流量 (1/s)	実験常数 α	実験常数 β	排水の推定落下速度 の代表値 V (m/s)
1.0	42.60	0.043	5.61
2.0	51.93	0.062	8.15
3.0	63.54	0.069	9.17
4.0	75.09	0.073	9.81

図20 実験定数 α 、 β と負荷流量の関係

図21 PB、 Q_a と L の関係モデル図

図22 通気流量 Q_a と長さ L の関係

これらの関係から V_a の近似値である V を試算した結果を表2中に示す。なお、以上の計算の前提となっている関係がどの程度満たされているかについては不明であるため、計算結果の評価には注意を要する。

既往研究⁶⁻⁸⁾においては何れも水の終局速度は排水負荷流量や立て管充水率のみで特定できると仮定しており、通気流量の影響は考慮されていない。しかしながら、本研究の様な超高層タワーを想定した場合、大きな通気流量が生じる可能性があり、前述したように、通気流量が増加するにつれて、圧力勾配が変化する傾向が見られ、排水流下速度はその影響を受けている可能性が高い。従って、今後は超高層タワーを想定した排水立て管内の排水流下速度の実測や通気流量の影響も考慮に入れた理論式の作成が必要であると思われる。

5.3 通気流量 Q_a の予測

排水立て管で実際に排水の流れているA~D点間を一種の送風機とみなした場合、管内の通気流量は、排水が空気を誘引することにより生じる現象である。本研究の予測モデルでは、この通気流量 Q_a を管内排水流れ現象の代表指標とし、管内各部の圧力損失と一定圧力勾配部分による圧力取得がバランスする点を繰り返し計算により見出す。

実験結果を種々検討した結果、 Q_a は P_B と一意的な関係にあると判断されるが、1994年度の段階の検討⁶⁻⁷⁾では、図21に示すようにほぼ同一負荷流量、同一通気流量でありながら、 ϵ が異なる実験結果に注目した。そこで、新たに負荷階直上の圧力 P_A が下流側で同じ値に回復するまでの距離 L をパラメータとして検討を加えた。実験結果により、 Q_a と L の関係を示したものを図22に示すが、図21の排水パターンに対応する点を十字で図中に併せて示す。図22より図21の領域は Q_a の若干の変化が、 L の値に大きく影響する領域に入っており、必ずしも L と P_B が Q_a のみの関数で表わされることを否定するものではないことが判明した。実際に大部分のデータでは Q_a が接近した値の場合に、図23の斜線に示すようにBゾーンの圧力分布は相似形となっている。 L と P_B は Q_a に対し単調増加の関係にあるから、 Q_a によるBゾーンの圧力分布形の相似を仮定すると、 P_B と L は Q_a によらず一意的に対応するはずである。そこで、 P_B と L の関係を示したものを図24に示し、排水負荷流量毎に回帰を行った。 P_B は流量によらずほぼ L の0.7乗に比例することが分かった。

以上の検討結果を総合すれば、次の手順で管内圧力分布の予測が可能である。まず、排水負荷高さ FL 、排水負荷流量 Q_w 、排水横主管形態を設定する。次に適当に仮定した Q_a に基づき、図14、図15、図22、式(1)、式(11)を用い

図23 P、 Q_a と L の対応関係の実測例

図24 Bゾーン圧力 P_B と L の対数関係

図25 管内圧力分布予測法の模式図

図26 管内圧力予測手法のフロー

図27 負荷高さによる圧力分布の実測と予測 (超高層の場合、上・下部オリフィスなし)

図28 負荷流量による圧力分布の実測と予測 (超高層の場合、上・下部オリフィスなし)

図29 負荷流量による圧力分布の実測と予測 (超高層の場合、上・下部オリフィスあり)

図30 負荷流量による圧力分布の実測と予測 (中層の場合、上・下部オリフィスなし)

図31 通気流量 Q_a 予測値と実測値の比較

図32 Bゾーン最大負圧予測値と実測値の比較

図33 Cゾーン圧力勾配予測値と実測値の比較

て、 ξ_b 、 P_D 、 L 、 P_B と圧力勾配を求め、この方法によって求めたAゾーンの圧力を P_{A1} とする。一方、 Q_a より式(1)からただちに同ゾーンの圧力 P_{A2} が求められる。一般に P_{A1} と P_{A2} は一致しないので、 P_{A1} となる Q_a を式(1)を用いて求め、前回の Q_a との平均値を新たな Q_a として用いることを、 $|P_{A1} - P_{A2}| < \varepsilon$ まで繰り返す。以上の通気流量と管内圧力分布の予測の過程を図25と図26に示す。

5.4 管内圧力分布の予測

図27、図28と図29には超高層の場合の管内圧力分布の予測と実測の比較例を示し、また、図30には中層の場合の管内圧力分布の予測と実測の比較例を示すが、対応はかなり良好である。通気流量が極端に小さいケースを除き、これまでに超高層と中層タワーで行った全実験ケースに対する通気流量 Q_a 、Bゾーン最大負圧及びCゾーン圧力勾配の実測値と予測値の比較結果を図31～図33に示す。中層の場合の予測結果にややバラツキが大きいのが、実験範囲内(1.0～4.0 l/s)では、全体としての再現性は非常に良好であり、本計算手法の妥当性を示していると思われる。

6. まとめ

JIS継手(DT継手)を用いた伸頂通気方式(立て管径100mm)で4.0 l/sまでの排水負荷を1箇所から与えた場合の排水立て管内平均圧力分布に関し、本報で得られた結論をまとめると以下となる。

- 1) 超高層からの排水では従来の30m級の実験タワーで観察された値よりも大きな負圧が生じ得る。
- 2) 最大負圧が発生する階と負荷階の間隔は通気流量の増加に伴い拡大する。
- 3) P_A は配管形態、 P_D は配管形態と負荷流量によって決まる一定の圧力損失係数 ξ_A 、 ξ_D に平均空気速度に関する動圧を乗じて表すことができる。

- 4) Cゾーンの圧力勾配は本報で開発したモデルによれば、その平方根は通気流量の一次関数で表すことができ、実験との対応は比較的良好である。
- 5) P_B 及び L は、各負荷流量ごとに、ほぼ Q_a のみの関数として表すことができた。従って、Bゾーンの圧力分布形は、 Q_a が決まれば一意的に決まると考えられる。
- 6) 以上の結果を総合して開発した圧力分布予測モデルは、超高層、中層いずれの排水立て管内圧力分布の予測に適用可能であり、その予測精度は、特に Q_a と P_B について非常に良好である。

なお、今後の課題としては、

- 1) 今回提案した予測手法は、現有実験タワー(108m)より高い条件への適用妥当性が必ずしも明確ではないため、特に L の予測に関し、任意の排水負荷高さの条件に対応可能な予測法について検討する必要があること
- 2) 中層タワーの実験データを用いて超高層条件を予測する際の適切な実験条件の設定方法
- 3) Bゾーンにおける最大負圧発生位置の予測
- 4) 複数箇所同時排水の条件への対応や、時間平均圧力分布と圧力変動の関係説明等、が挙げられる。

記号表:

P : 管内圧力 (mmAq)	ξ : 抵抗係数
P_A : Aゾーン管内圧力 (mmAq)	ξ_A : Aゾーン抵抗係数
P_B : Bゾーン管内圧力 (mmAq)	ξ_B : Bゾーン抵抗係数
P_D : Dゾーン管内圧力 (mmAq)	ξ_D : Dゾーン抵抗係数
γ : 空気の比重 (kgf/m³)	g : 重力加速度 (m/s²)
V_a : 空気流速 (m/s)	V_w : 排水落下速度 (m/s)
Q_a : 通気流量 (m³/s)	Q_w : 排水負荷流量 (m³/s)
A_p : 管断面積 (m²)	A : 通気断面積 (m²)
S : 水と空気の接触長さ (m)	U : 平均空気速度 (m/s)
V : 空気と接触する水の落下速度 (m/s)	ε : 許容誤差
ΔH : 管要素長さ (m)	ΔP : 管要素による圧力差 (mmAq)
τ : 摩擦応力 (mmAq)	ζ : 摩擦係数
α 、 β : 圧力勾配予測モデルの負荷流量による実験常数	
L : Bゾーンにおける負荷階の圧力が再びA点の値に復帰する垂直距離(m)	
FL : 負荷高さ (m)	CB : $\Delta P / \Delta H$ 圧力勾配 (mmAq/m)

謝辞

本研究は住宅・都市整備公団の委託により(財)ベターリビング内に設けられた研究委員会:「超高層住宅における排水通気性状に関する研究」の研究活動の一環として行われたものであり、関係者各位に感謝の意を表します。また、文部省科学研究費一般研究(B)「重力式排水システムにおける管内流動現象の解明(代表者:鎌田元康)」の支援を受けた。さらに、測定装置の試作において、ご協力頂いた須田宗夫(北斗理研)、浅野達郎(アイテクノ)、斉藤正(北斗電子研究所)の諸氏に、記して感謝の意を表します。

本論文に関係する既発表文献

- 1) 鈴木幸人他:集合住宅の排水システムに関する研究(その1)超高層実験タワーを用いた排水負荷実験,日本建築学会大会学術講演梗概集,1992
- 2) 趙 琳娟他:集合住宅の排水システムに関する研究(その2)実験方法及び管内圧力分布測定結果の概要,日本建築学会大会学術講演梗概集,1993
- 3) 田中 徹他:集合住宅の排水システムに関する研究(その3)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1,日本建築学会大会学術講演梗概集,1993
- 4) 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11,日本建築学会大会学術講演梗概集,1993
- 5) 鄭 政利他:集合住宅の排水システムに関する研究(その5)複数箇所排水時の管内平均圧力分布と圧力変動に関する検討,日本建築学会大会学術講演梗概集,1993
- 6) 鄭 政利他:集合住宅の排水システムに関する研究(その6)実験結果の再検討及び横主管部抵抗挿入時の予測に関する検討,日本建築学会大会学術講演梗概集,1994
- 7) 田中 徹他:集合住宅の排水システムに関する研究(その7)圧力勾配・抵抗係数の再検討と管内圧力変動とトラップ水位変動の分析,日本建築学会大会学術講演梗概集,1994

参考文献

- 1) Roy.B.Hunter;BMS 79 Water Distributing System for Building, 1941
- 2) B.J.Pink;排水立て管内気流に及ぼす立て管管長の影響(訳),給排水設備研究会1-4,1978
- 3) 大塚雅之他;排水システム性能試験と理論体系のための基礎的研究(第1報),空気調和・衛生工学会論文集, No.36, 1988
- 4) 大塚雅之他;排水システム性能試験と理論体系のための基礎的研究(第2報),空気調和・衛生工学会論文集, No.38, 1988
- 5) 根路銘勇他;伸頂通気方式排水システムの横枝管内圧力予測法に関する研究(その1)平均圧力予測モデルの基礎的検討,空調調和・衛生工学会学術講演論文集,1986
- 6) R.S. Wyly and H.N. Eaton: Capacities of Stacks in Sanitary Drainage System for Building, N.B.S. Monograph 31, 1961
- 7) 浅野他;建築における排水立管の流れ性状に関する基礎的研究_終局速度・終局長さおよび誘引される空気流量について,日本建築学会論文報告集, No.278, 1979
- 8) 塚越他;排水立管の流れ性状に関する実験研究,空気調和・衛生工学会学術講演論文集,1977

註

- 1) 通気流量の算出は以下の式(12)を用いた。

$$Q_a = 0.82 \times A \times V \dots\dots\dots (12)$$
 但し、 Q_a :通気流量(m^3/s), A :立て管通気断面積(m^2), V :管内中心風速(m/s)、なお、管内中心風速 V には、校正用風洞により、校正した熱線風速計を使用した。また、実験範囲でのレイノルズ数は3000~60000である。
- 2) 年度ごとに平均値が異なる主な要因は、各年度で検討した通気流量範囲が異なることにあるが、これに加えて測定結果のばらつきや年度ごとに計測システムを一部更新してきたことの影響が考えられる。そこで、本報では計測システムの確立を目標として行った初年度のデータを除き、93,94年度データを分析の対象とした。

(1995年7月3日原稿受理, 1995年11月1日採用決定)