

誘導サイホン作用における管内圧力の解析

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2018-11-16 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 藤村, 和也 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10291/19702

「博士学位請求論文」審査報告書

審査委員（主査）理工学部 専任教授

氏名 坂上 恭助 ㊞

（副査）理工学部 専任教授

氏名 酒井 孝司 ㊞

（副査）理工学部 専任教授

氏名 上野 佳奈子 ㊞

- 1 論文提出者 藤村 和也
- 2 論文題名 「誘導サイホン作用における管内圧力の解析」
（英文題）(Analysis of Pneumatic Pressure in Drains on Induced Siphonage)

3 論文の構成

本論文は次のように構成されている。

- 第1章 序論
- 第2章 本研究に関する基礎事項
- 第3章 トラップの有無が管内圧力に及ぼす影響
- 第4章 排水負荷形態が管内圧力変動と封水変動に及ぼす影響
- 第5章 トラップ封水変動の挙動モデル
- 第6章 まとめ

4 論文の概要

空気調和・衛生工学会規格 SHASE-S 218 では、特殊継手排水システムの許容排水流量の決定のための排水能力試験法が規定されている。これはトラップの誘導サイホン作用による破封の防止を主眼としており、その試験判定基準として、トラップの封水損失（25mm 以下）と管内圧力の最大・最小値（ $\pm 400\text{Pa}$ 以内）が規定されている。一般の試験では扱いが簡単な管内圧力規定のみが採用され、各階にトラップが接続されていない配管形態が用いられている。しかしながら、近年の研究により、トラップの接続が管内圧力に影響を及ぼすこと、試験用排水負荷には浴槽を想定した定流量排水が採用されているが、実際の排水では大便器の器具排水負荷の影響も大きいことが指摘されている。

本研究では、実大排水タワー実験を行い、排水負荷形態が管内圧力に及ぼす影響およびトラップの有無が管内圧力変動に及ぼす影響を解析した。また、管内圧力変動に対するトラップの封水変動の挙動の数学モデルを作成し、実験値との比較を行った。

本論文は全6章で構成されている。次に、各章の概要を述べる。

第1章では、本研究の目的と概要、およびその流れについて解説している。また、本研究に関連する既往の研究をまとめている。

第2章では、本研究で用いた排水トラップと管内圧力の解析手法に関する基礎理論について解説している。また、本研究で用いた用語の定義と解説を行っている。

第3章では、トラップ封水が管内圧力と管内圧力変動のパワースペクトル密度分布に影響を及ぼす要因を明らかにするため、形状の異なるトラップを対象に、実大排水実験タワーを用いて定流量排水負荷実験（負荷流量：4.0L/s, 6.0L/s）を行い、管内圧力の解析を行っている。①すべての供試トラップにおいて、トラップ非接続に比べてトラップ接続の管内圧力が小さくなる。また、管トラップと隔壁トラップの比較では、隔壁トラップの方が管内圧力の低減は大きくなる傾向にある。管内圧力変動の標準偏差の平均低減率の比較では、封水量の多いPトラップ（75A）、わんトラップ、逆わんトラップではそれぞれ 0.961, 0.82, 0.88 となり、概ね 10%の低減になっている。封水量の少ない 30A のPトラップとSトラップの平均低減率はそれぞれ 0.96, 0.98 となっている。これらより、トラップ接続は管内圧力が低減傾向になり、トラップの種類によって異なることを明らかにしている。②各供試トラップ接続時のシステム最大圧力 $P_{S_{max}}$ ・最小圧力 $P_{S_{min}}$ は、すべてのトラップにおいて低減率は 1.0 より小さくなっている。また、負荷流量 4.0L/S の場合、トラップ接続による低減率は、 $P_{S_{max}}$ では大きくなるが、 $P_{S_{min}}$ では小さくなる。負荷流量 6.0L/S の場合、トラップ接続による $P_{S_{max}}$ と $P_{S_{min}}$ の「低減率は 0.85~0.96 の範囲にあり、トラップ接続によるシステム最大・最小圧力値は 10%程度の低減になることを確認している。また、管トラップ接続より隔壁トラップ接続の方が $P_{S_{max}}$ と $P_{S_{min}}$ は大きく低減しており、隔壁トラップには低減作用のあることを推察している。③管内圧力変動のパワースペクトル密度分布はトラップによって大きく異なる。卓越振動数に関して、トラップ非接続の場合は 2~3Hz に分布しているの対し、わんトラップや逆わんトラップの隔壁トラップ接続の場合は 2~3Hz の範囲ではほぼゼロになっている。一方、75A と 30A のPトラップではこの傾向はみられない。これは、各供試トラップの固有振動数の違いによるものと推察している。トラップ非接続の場合の管内圧力変動では 2~3Hz の振動成分が多いため、振動域が一致する隔壁トラップ接続の場合に共振現象が生じたと考察している。しかし、固有振動数が 2~3Hz のSトラップではそのような現象はみられない。その理由として、Sトラップの封水量が極めて少ないことを挙げている。これらより、管内圧力はトラップ接続することにより低減すること、トラップ接続による管内圧力の低減傾向はトラップの種類によって異なることを明らかにしている。

第4章では、定流量排水負荷と器具排水負荷が管内圧力に与える影響を明らかにするために、実大排水実験タワーにおいて、SHASE-S218 に基づく定流量排水負荷（1.5L/s, 3.0L/s, 4.5L/s）を与える実験と節水型大便器による器具排水負荷（1台, 2台, 3台）を与える実験を行い、管内圧力変動と封水変動・封水損失の解析を行っている。①封水変動は、両負荷ともに管内圧力変動に応答して振動しているが、その波形は負荷形態によって大きく異なる。定流量排水では、排水が通過する直前に最大正圧が発生し、通過直後に負圧域となって最小圧力が発生するという管内圧力変動パターンになる。逆わんトラップの封水変動は大便器と比べて変動幅の標準偏差が2倍になっている。これは、トラップの構造や封水量によると考察している。②各負荷形態の負荷流量とシステム最小圧力値・封水損失の相関関係について、決定係数 R^2 と一次回帰式を用いて解析している。システム最小圧力値と封水損失の R^2 はそれぞれ 0.64~0.93, 0.64~0.90 の範囲にあり、高い相関性のあることを確認している。また、一次回帰式の回帰係数比 α は、システム最小圧力値では 1.94~2.68 になっていることから、負荷流量が同じである場合、定流量排水におけるシステム最小圧力値は器具排水のその 2.0

～2.5 倍になると予想している。③封水損失の比較では、器具排水に比べて定流量の方が大きくなっている。また、逆わんトラップ（8階）の封水損失は、定流量排水では大便器（9階）と比べて小さくなっているのに対し、器具排水では大きくなっていることから、排水負荷形態によってトラップの耐管内圧力性能は異なることを推察している。回帰係数比 α は逆わんトラップ（8階）では1.32、大便器（9階）では2.91となっていることから、器具排水に対する定流量の封水損失の比率は、逆わんトラップの場合は約1.3、大便器の場合は約3.0倍になること予測している。負荷形態による封水損失の比較では、器具排水に比べて定流量の方が大きくなっている。となっていることから、負荷流量が同じである場合、定流量排水における最小圧力値は器具排水のその2.0～2.5倍になると予想している。②封水損失について、逆わんトラップ（8階）の封水損失は、定流量排水では大便器（9階）と比べて小さくなっているのに対し、器具排水では大きくなっていることから、排水負荷形態によってトラップの耐管内圧力性能は異なることを推察している。回帰係数比 α は逆わんトラップ（8階）では1.32、大便器（9階）では2.91となっていることから、器具排水における封水損失に対する定流量における封水損失の比率は、逆わんトラップの場合は約1.3倍、大便器の場合は約3.0倍になると予測している。

第5章では、トラップの封水変動を1自由度系振動とみなし、封水の挙動モデルを作成し、数値解析を行っている。強制振動モデルにおける解析値は、タワー実験により得られた封水変動波形とよく一致しており、その強制振動モデルは高い精度でトラップの封水変動を再現できると考えられる。

第6章では、各章の結果を総括して総合的な考察を述べるとともに、今後の課題と展望について述べている。

5 論文の特質

本論文は、トラップの誘導サイホン作用について、排水実験により管内圧力変動の特性を明らかにし、排水システムの排水能力試験法の改良に役立つ知見を得ている。また、新規の封水変動の数学モデルを導出し、そのシミュレーションが高精度であることを検証しており、誘導サイホン作用の詳細な解析に有用であると考えられる。

6 論文の評価

空気調和・衛生工学会規格 SHASE-S218-2014「集合住宅の排水立て管システムの排水能力試験法」の試験排水負荷は定流量となっているが、実際は器具排水である。また、性能判断指標としては管内圧力と封水損失が併用されているが、トラップ非接続における管内圧力のみが採用されている。また、管内圧力を強制力とする封水振動応答のシミュレーション化は永年の課題となっている。

本論文は、排水負荷形態が管内圧力変動と封水変動・封水損失に及ぼす影響について体系的に定量化している。さらに、高い精度のトラップの数学モデルの提案を行ったものである。これらの成果は、トラップの誘導サイホン作用による破封の防止を図るための排水システムの排水能力試験法の改訂に資する有用な知見であると評価される。

7 論文の判定

本学位請求論文は、理工学研究科において必要な研究指導を受けたうえ提出されたものであり、本学学位規程の手続きに従い、審査委員全員による所定の審査及び最終試験に合格したので、博士（工学）の学位を授与するに値するものと判定する。

以 上