

排水立て管・継手から発生する排水騒音の測定事例

Experimental Study on Radiated Noise from Drainage Stacks and Fittings

環境・エネルギー技術部 市川 友己 TOMOKI ICHIKAWA
 環境・エネルギー技術部 小林 秀彰 HIDEAKI KOBAYASHI
 環境・エネルギー技術部 嶋田 泰 YASUSHI SHIMADA

集合住宅などの排水立て管から発生する排水騒音は、その特性や低減対策に関する検討が行われているものの、それを評価するための測定法や評価基準が確立されていない現状にある。本研究では、集合住宅の排水システムを模擬した排水実験タワーを用いて、様々な条件下での排水立て管と継手から発生する排水騒音の測定を行い、音圧レベルの特性について検討を行った。その結果、排水方法、排水負荷流量、立て管と継手の被覆処置、パイプシャフト界壁の仕様などに伴い、排水騒音の特性が変化する傾向を確認することができた。

キーワード：排水立て管、排水騒音、排水実験タワー、樹脂製管、騒音低減対策

The noise from drainage stack in a residential building is being investigated for its characteristics and noise reductions. However, there is not the established standard applicable to measurement and evaluation of the noise. In this study, measurements of the drainage noise under various conditions have been conducted using drainage experimental tower that simulated the drainage system of a residential building, and the characteristics of sound pressure level of them were examined. As a result, it was confirmed that it is useful to check various indexes according to the length of drainage time when examining the noise. Furthermore, the level change in a wide range of flow rate is increased linearly with the logarithm.

Key Words: Drainage stack, Drainage noise, Drainage experimental tower, Resin pipe, Noise Reduction

1. はじめに

集合住宅において、居室内の静ひつ性に対する要求は高まっている。それに伴い、住戸間および外部騒音に対する遮音性能の向上が求められ、居室内の暗騒音が小さくなってきており、それに応じて、共用部や住戸内の設備騒音等についても、適切な騒音低減対策が求められるようになってきている。特に、排水立て管からの排水騒音など音圧レベルが比較的小さい音に対する低減対策は、これまで以上に要求が厳しくなっており、適切な測定および評価の必要性が増してきている¹⁾。

また、排水立て管は、近年の防火区画処理方法の多様化により、これまで採用することが出来なかった樹脂製の排水継手が新たに製品化されるなど管種が多様化してきており、今後も継続的な排水騒音の検討が必要である。

しかしながら、建物内に設置されたポンプや給湯器などの給排水設備機器に対する騒音の測定に関する規格²⁾は存在するものの、排水立て管の管路から発生する排水騒音に関しては、統一した測定や評価の方法が確立され

ていない。そのため、様々な機関が独自の方法を検討・提案^{3)~6)}している現状にある。

筆者らは、集合住宅の排水システムを模擬した実験タワーにおいて、樹脂製の排水用特殊継手（以下、継手と呼ぶ）を用いた排水立て管から発生する排水騒音について、種々の条件下における測定を行い、その特性や低減対策による効果などを継続的に検討している^{7)~9)}。本報では、排水方法、排水負荷流量、立て管および継手の被覆処置、パイプシャフト界壁の仕様の違いに着目し、それぞれの条件下における排水騒音の測定を実施した。その結果から、種々の条件における排水騒音の音圧レベルの特性について検討した。

2. 実験の概要

(1) 実験施設

図-1に、排水騒音の測定を実施した実物大の実験タワーの概要を示す。当該タワーは集合住宅用排水立て管の排水能力試験（規格 SHASE-S218-2014）に対応した

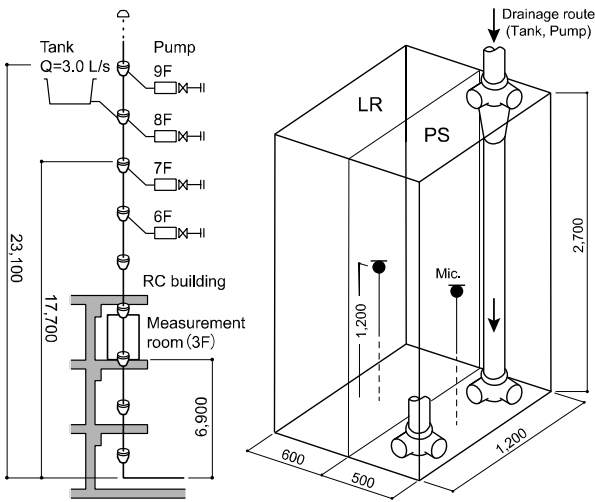


図-1 実験タワーと排水騒音測定室の概要

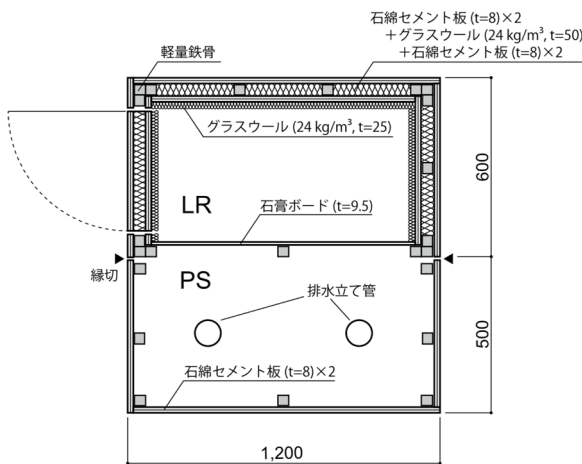


図-2 排水騒音測定室の詳細仕様

ものである^{10, 11)}。タワーは9階建て高さ23.1mで、排水立て管は各階にて継手で連結された構造となっている。タワーの4階から下部はRC造建物の床スラブ(普通コンクリート製、スラブ厚さ200mm)を貫通している。通気には、特殊排水通気方式(伸長通気方式の一種)が採用されている。排水騒音の測定は、実験タワー3階(地上高さ6.9m)のRC床スラブ上に設置された排水騒音測定室にて行った。測定室は通常の建物におけるパイプシャフトを模擬した空間(PS)と、石膏ボード製の界壁を隔ててPSに隣接した空間(LR)とから構成されている。

図-2に排水騒音測定室の詳細仕様を示す。LRの周壁部の仕様は、壁の内側(床面と界壁面を除く)に、グラスウール(密度24kg/m³、厚さ25mm)貼りによる吸音処理を施している。PSとLRとを隔てる界壁の仕様は、厚さ9.5mmの石膏ボード1枚の場合と、厚さ9.5mm+12.5mmの2枚を用いた場合の2通りとした。

表-1 測定対象とした管種の仕様 (Type A-K)

Type	中高層用				超高層用	
	A	B	C	E	J	K
立て管	PVC	PVC + FP×2	PVC + GW + SI	PVC + UF + SI	PVC	PVC + UF + SI
継手	PVC+UF+SI 床上高さ: 205 mm ガイド: 2枚				PVC+UF+SI 床上高さ: 360 mm ガイド: 3枚	

PVC: 硬質ポリ塩化ビニル, FP: 耐火被膜(繊維モルタル),
GW: グラスウール, UF: ウレタンフォーム,
SI: プチルゴム製遮音シート

表-2 各階からの排水負荷流量 Q (汲み上げ式ポンプ)

Q [L/s]	1.7*	3.0	5.0	6.5	7.5	10.0*
9階	1.7	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
8階		0.5	2.5	2.5	2.5	2.5
7階				1.5	2.5	2.5
6階						2.5

* 超高層用継手 (Type J, K) のみ

(2) 実験条件

a) 立て管と継手の仕様

表-1に、測定に用いた立て管と継手の仕様を示す。立て管の仕様は、ポリ塩化ビニル製 (PVC/Type A, J) を基本として、その外周に被覆材として耐火被膜 (FP)、グラスウール (GW)、ウレタンフォーム (UF)、遮音シート (SI) を組み合わせて巻いた4種類 (Type A (J), B, C, E (K)) である。

継手は、形状が異なる中高層用および超高層用の2種類を用いた。継手の仕様は、排水立て管と同様にPVCであり、被覆材は全ての管種に共通で立て管 Type E, Kと同様のUF + SIを巻いた仕様である。超高層用の継手 (Type J, K) は、より大きい排水負荷流量に対応できるように、中高層用 (Type A~E) に比べて高さが155mm長く、羽根形状のガイド(水流を減速させて管壁に沿った旋回流を形成させるための構造)が1枚多く配置されている。なお、継手の床スラブ貫通部は、継手周辺に生じる隙間にモルタルを充填して埋め戻した。

b) 排水方法と排水負荷流量

排水方法(図-1)は、任意の排水負荷流量(以下、単に流量と呼ぶ)が効率的に排水可能な汲み上げ式ポンプによる排水系統(排水系統1)に加え、ポンプ稼働音の影響を受けずに比較的長時間にわたって一定の流量の排水が可能な貯水槽(容量: 180L)による排水系統(排水系統2)の2系統とした。流量Qの設定は、排水系統1はQ=1.7~10.0L/s、排水系統2はQ=3.0L/sである。排水階は排水系統1の場合が表-2のように9~6階の各階から1階当たりの排水可能流量(Q=2.5L/s)に分

割して排水し、貯水槽の場合は8階からとした。なお、一般的な衛生設備からの平均流量は、便器が $Q=1.5$ L/s、浴槽が $Q=1.0$ L/s 程度であり¹²⁾、例えば $Q=5.0$ L/s の条件は3~5台の器具から同時排水されたときに相当する。

(3) 排水騒音の測定および分析方法

排水騒音の測定は、マイクロホン PS と LR 内それぞれの中央付近の高さ 1.2m 点 (図-1 中の●印の位置) に設置し、データレコーダに同期して収録した。なお、測定室外部の排水騒音以外の音の影響を確認するために、測定室外部にもマイクロホンを1点配置した。分析におけるサンプリング時間は、実時間分析器により 100 ms 間隔とした。測定回数は、各管種とも排水系統1の場合が3回、排水系統2の場合が2回である。

3. 排水騒音の測定結果

(1) 音圧レベルの時間変化

図-3は、排水系統2 (流量 $Q=3.0$ L/s) による Type A における排水騒音の A 特性音圧レベルの時間変化である。時間は排水開始後 20~40 s の 20 s 間で、A 特性の 1/1 オクターブバンド音圧レベル (中心周波数 125 Hz~8 kHz)、および各レベルをエネルギー合成した A 特性音圧レベル ($L_{A,100ms}$, オーバーオール値) を示している。なお、2回の測定結果を比較して表したものである。

A 特性音圧レベルでは、測定した2回とも20 s 間にわたりほぼ一致した結果となっている。また、1/1 オクターブバンドごとの結果から、250 Hz 以下の低音域における音圧レベルの時間変化の幅が 10 dB 程度みられるが、通常の住戸内で問題となりやすい 1 kHz 以上の高音域では音圧レベルの変化幅は比較的小さいことが確認できる。

図-4に、排水系統1と2による Type A での PS と LR 内における A 特性音圧レベルの時間変化を比較した結果を示す。図-4(a)は排水系統2 (流量 $Q=3.0$ L/s)、図-4(b)は排水系統1 (流量 $Q=3.0\sim 7.5$ L/s) による結果である。排水系統1では、排水中に発生するポンプ稼働音の影響を除くため、指定の排水流量に到達した後にポンプを停止させ、その直後から 5 s 間を切り出して時間変化を示している。

両排水系統における流量 $Q=3.0$ L/s の結果を比較すると、排水系統1におけるポンプ停止直後の音圧レベルは、排水系統2と同程度である。その後、排水階から排水された水が測定階まで到達して流れ終わる過程において音圧レベルが徐々に低下する傾向がみられる。さらに大きい流量 ($Q=5.0\sim 7.5$ L/s) においても同様に、ポンプ停止後は音圧レベルが低下していく傾向がみられる。

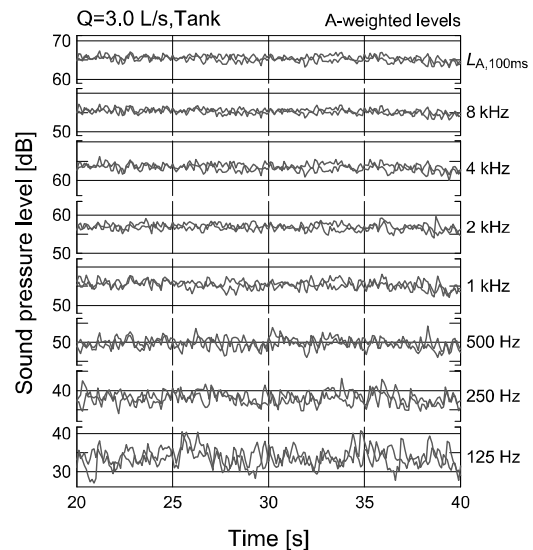
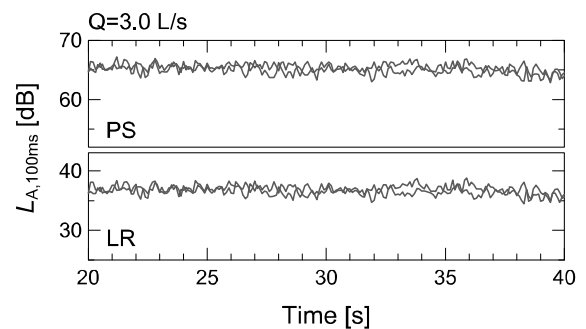
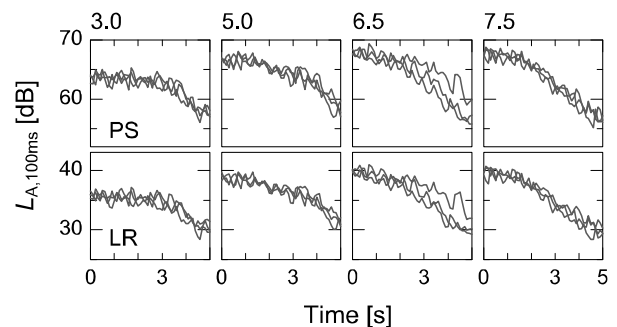


図-3 PS 内における 1 オクターブバンド音圧レベルの時間変化 (Type A, データ数: 2)



(a) 貯水槽 (データ数: 2)



(b) 汲み上げ式ポンプ (データ数: 3)

図-4 PS と LR 内における A 特性音圧レベルの時間変化 (Type A)

(2) 排水系統の違いによる排水騒音の変化

上記の結果より、排水騒音の測定指標として、排水系統2の場合は排水開始後 20~40 s 間における 20 s 間の時間平均音圧レベル $L_{peq,20s}$ 、排水系統1の場合はポンプ停止直後から 5 s 間の時間率音圧レベル $L_{p5,5s}$ (90%レンジの上端値) に着目し、両指標の分析結果を比較した。

図-5に、Type A での PS と LR 内における $L_{peq,20s}$ と $L_{p5,5s}$ の A 特性 1/3 オクターブバンド音圧レベルの例 (流

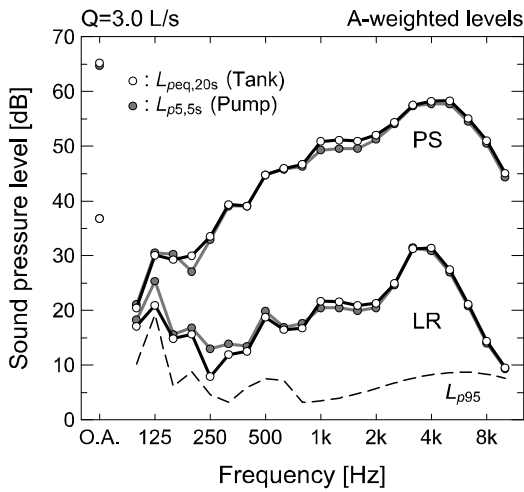


図-5 PSとLR内における排水騒音の音圧レベル (Type A, 各測定値の算術平均)

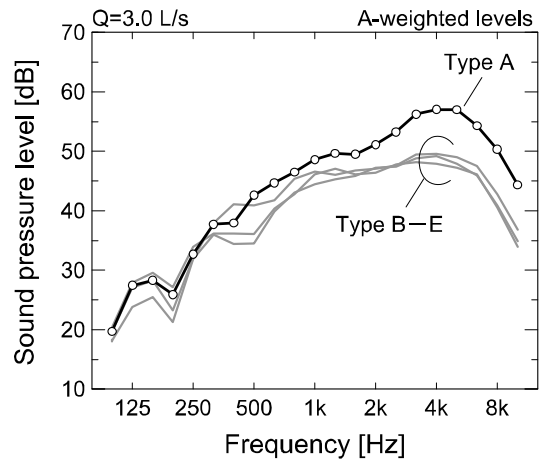


図-7 PS内における各管種の排水騒音の音圧レベル (各測定値の算術平均)

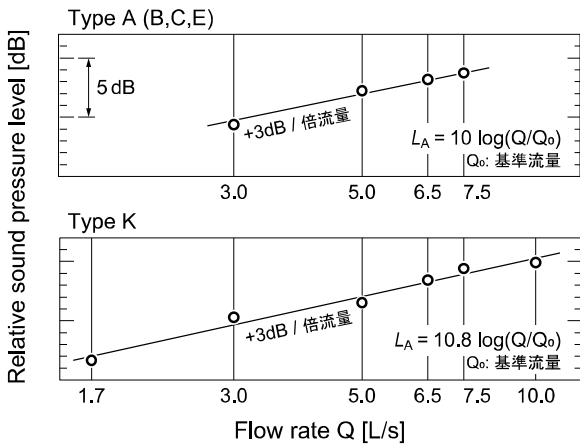


図-6 排水負荷流量と音圧レベルとの関係 (PS内, 各値の算術平均)

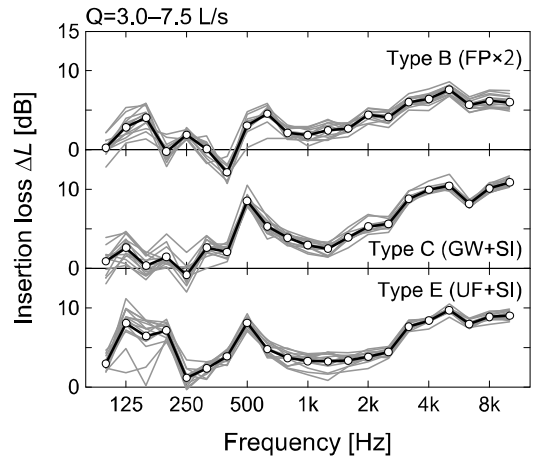


図-8 各被覆処置による音圧レベル低減量 (PS内, データ数: 15)

量 $Q=3.0$ L/s, 排水系統1,2ごとの算術平均値)を示す。これより、 $L_{peq,20s}$ と $L_{p5,5s}$ の両値は、PSとLR内ともに500 Hz以上の中高音域においてほぼ一致した結果となっており、4 kHz付近の帯域を中心とした高音域が卓越した傾向を示している。なお、LR内では250 Hz以下の低音域において $L_{peq,20s}$ と $L_{p5,5s}$ とで多少の差がみられるが、LR内における暗騒音(図中の破線 L_{p95})の影響を受けている可能性もあると考えられる。

(3) 排水負荷流量による音圧レベルの変化

図-6に中高層用(Type A, B, C, E)および超高層用(Type K)のそれぞれの管種について、流量とA特性音圧レベルとの対応を示す。なお、横軸の流量 Q は対数で表している。中高層用の管種については、Type A, B, C, EにおけるA特性音圧レベルを流量ごとに算術平均した結果を示している⁷⁾。流量の範囲は、中高層用(Type A, B, C, E)は $Q=3.0\sim 7.5$ L/s, 超高層用(Type K)は

$Q=1.7\sim 10.0$ L/sである。

これより、両者とも既往の研究^{3,4)}と同様、流量の対数に比例して音圧レベルが増加し、流量が2倍になると音圧レベルが3 dB程度増加する傾向がみられる。また、中高層用と超高層用の管種では継手内部の構造が異なるが、両者の傾向に大きな差はみられなかった。

(4) 被覆材による排水騒音の低減効果

図-7に、中高層用の4管種(Type A, B, C, E)によるPS内でのA特性の1/3オクターブバンド音圧レベル(流量3.0 L/s, 測定系統1,2を併せた算術平均値)を示す。立て管に被覆を施していないType Aでは、前述のように4 kHz付近の帯域を中心とした高音域が卓越する傾向がみられる。一方、立て管に被覆材を巻いたType B, C, Eでは、その高音域を中心に音圧レベルが低減している傾向が確認できる。

図-8に、Type Aに対するType B, C, Eのそれぞれにお

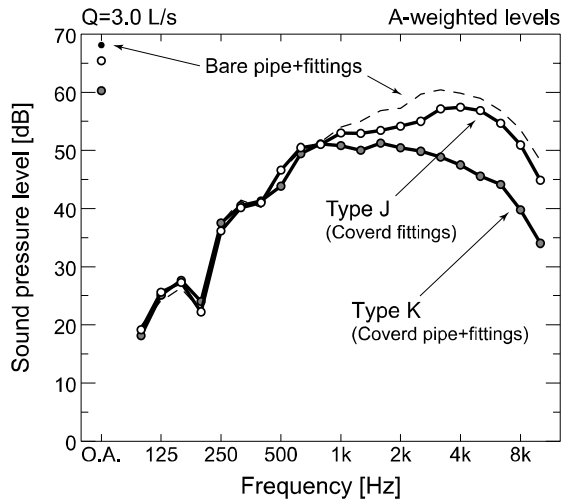


図-9 継手部の被覆処置の有無による排水騒音の音圧レベルの比較 (PS内, 各測定値の算術平均)

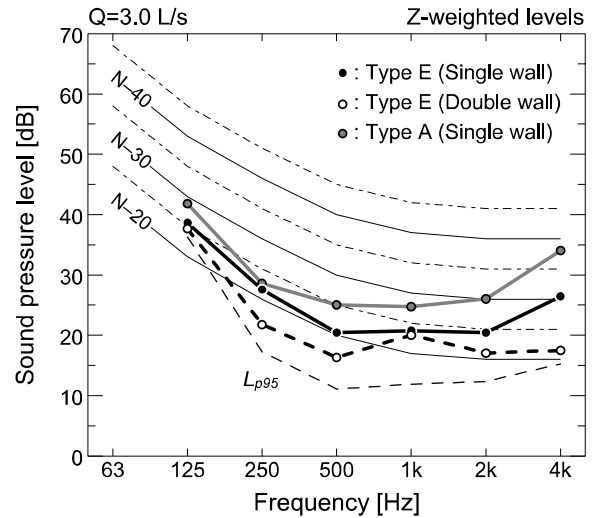


図-11 界壁の仕様ごとの排水騒音の音圧レベル (LR内, 各測定値の算術平均)

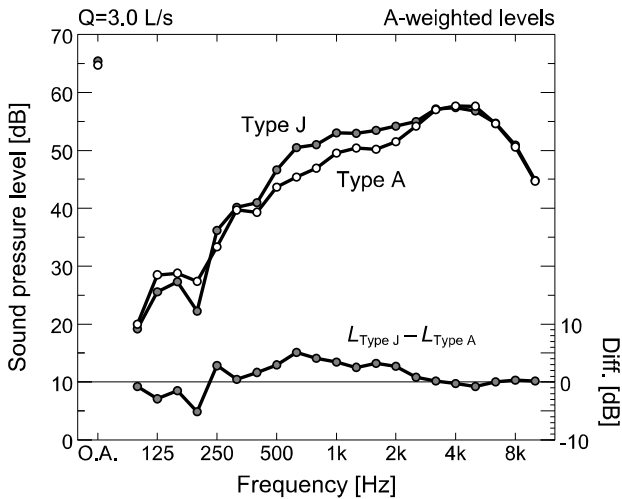


図-10 継手構造ごとの排水騒音の音圧レベル (PS内, 各測定値の算術平均)

ける音圧レベルの低減量 ΔL を求めた結果を示す。図中の細線は流量 $Q=3.0\sim 7.5$ L/sにおける ΔL , 太線はそれらの算術平均値を示す。これより, 細線で示した ΔL の結果はばらつきが少なく, 各流量における低減量 ΔL はほぼ一致した結果となっている。また, 高音域における低減量 ΔL に着目すると, 耐火被膜を用いた Type B では ΔL が5~6 dB程度であるのに対し, グラスウールあるいはウレタンフォームと遮音シートを併用した Type C, E では ΔL が8~10 dB程度と, Type B よりも大きい低減量が得られている。なお, 低音域における効果量は前述した暗騒音の影響を受けた可能性があると考えられる。

さらに, 全ての管種に共通して施した継手の被覆材 (UF + SI) の低減効果を把握するため, 超高層用の管種について, 継手のみに被覆を施した Type J, および立て管と継手に被覆を施した Type K に加え, 立て管と継

手ともに被覆を施していない条件 (Bare pipe and fittings) を加えた3条件で同様の実験を行った。

図-9は, PS内におけるA特性の1/3オクターブバンド音圧レベルの例 (流量3.0 L/s, 排水系統1, 2を併せた算術平均値) である。立て管と継手ともに被覆を施していない Bare pipe + fittings (図中, 点線で示す) に対し, 立て管と継手の両方を被覆した Type K では, 中高層用と同様, 高音域を中心に音圧レベルが大きく低減しているが, 継手のみを被覆した Type J においても2 kHzの帯域を中心とした高音域において音圧レベルが2~5 dB程度低減されている。

(5) 継手の構造の違いによる排水騒音の変化

図-10に, 継手内部の構造が異なる中高層用 (Type A: ガイド2枚) と超高層用 (Type J: ガイド3枚) のそれぞれの管種におけるA特性の1/3オクターブバンド音圧レベルを比較した結果の例 (流量3.0 L/s, 排水系統1, 2を併せた算術平均値) を示す。これより, 超高層用の Type J は中高層用の Type A に比べ, 500 Hz~2 kHzの帯域で2~5 dB程度音圧レベルが大きい傾向がみられるが, 両者とも音圧レベルが卓越している4 kHz付近の帯域ではほぼ同じ音圧レベルとなっている。

(6) 界壁の仕様の違いによる排水騒音の変化

PSとLRとを隔てる界壁の仕様について, 厚さ9.5 mmの石膏ボード1枚とした場合と, 厚さ9.5 mm + 12.5 mmの石膏ボード2枚とした場合のLR内の音圧レベルを比較した。図-11に, 両界壁仕様での Type E (UF + SI) を用いたLR内におけるZ特性の1/1オクターブバンド音圧レベルの例 (流量 $Q=3.0$ L/s, 排水系統1, 2を併せた

算術平均値)を示す。また、参考として、界壁仕様の違いによる音圧レベルの変化量と前述した被覆材による音圧レベルの変化量の比較のため、Type A (立て管の被覆無し)の結果も併せて示す。なお、本検討では、主に設備機器類からの発生騒音に対する居室内騒音の評価方法として、日本建築学会が示しているN等級の評価曲線を併記するため、周波数重み付け特性をZ特性とした音圧レベルで示している。

界壁の仕様が石膏ボード1枚と2枚とを比較すると、250 Hz～4 kHzの帯域において、2枚の場合が1枚に比べ音圧レベルがおおむね5 dB程度小さくなる傾向がみられる。前述した被覆材による音圧レベルの低減効果は、Type AとType Eの結果から主に500 Hz以上の高音域でみられるが、界壁が石膏ボード1枚と2枚での音圧レベルの低減効果は、250 Hz以上の帯域を含む広い周波数の範囲に表れている。なお、N等級での評価としては、Type Eで界壁を石膏ボード1枚とした場合でN-30となっている。これは、建築学会が定める集合住宅の居室内における騒音等級の1級(建築学会推奨性能水準)であるN-35を下回る結果となっている。

4. まとめ

中高層および超高層の集合住宅などに採用され始めている樹脂製の排水システムを設置した排水実験タワーを用いて、排水方法、排水負荷流量、立て管および継手の被覆処置、パイプシャフトの界壁仕様など、種々の条件における排水騒音の測定を実施した。その結果、主に以下の傾向が確認できた。

- ①音圧レベルの時間変化の性状が排水方法によって異なる場合における時間平均音圧レベル L_{peq} と時間率音圧レベル L_{p5} など各測定指標の対応
- ②排水負荷流量の増加による排水騒音の音圧レベルの変化
- ③立て管および継手の被覆材やパイプシャフトの界壁仕様の違いによる排水騒音の低減効果

なお、本研究は排水立て管と継手が垂直に配管された条件での実験である。横引管など管路の形状が異なる場合も、引き続き実験および検討を重ねていきたい。

謝辞：本研究の遂行にあたり、名城大学 岡田恭明教授にご指導をいただきました。株式会社小島製作所 小島誠造代表取締役、岩槻剛史氏、名城大学大学院生 間瀬圭祐氏には実験にご協力をいただきました。ここに深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 日本騒音制御工学会編：建物における騒音対策のための測定と評価、技報堂出版、pp.119-137、2006
- 2) JIS A 1429:2007、建築物の現場における給排水設備騒音の測定方法
- 3) 嶋田泰、安岡博人、塚本幸助、小島誠造：集合住宅の排水立て管騒音に関する研究、日本音響学会騒音・振動研究会資料 N-2004-54、2004
- 4) 土屋裕造、山内崇：排水タワーを用いた脚部継手・オフセット排水管流水発生音測定例、戸田建設技術研究報告、第42号、pp.2-1-2-5、2016
- 5) 河原塚透、平松友孝、大川平一郎：排水管管壁からの放射音に関する実験的検討、騒音制御、Vol.22、No.6、pp.346-352、1998
- 6) 大脇雅直：集合住宅における排水立て管の発生音の低減対策、音響技術、No.145、pp.39-42、2009
- 7) 市川友己、間瀬圭祐、岡田恭明、吉久光一：排水立て管・継手から発生する騒音の測定指標に関する一検討、騒音制御、Vol.44、No.3、pp.149-154、2020
- 8) 市川友己、岡田恭明、吉久光一、嶋田泰、岩槻剛史：排水立て管・継手部から発生する流水音の放射特性に関する実験的検討、日本音響学会講演論文集、pp.649-650、2019
- 9) 間瀬圭祐、岡田恭明、吉久光一、市川友己：音圧レベルが変動に着目した排水設備騒音の計測評価事例、日本音響学会建築音響研究会資料、N-2020-32、2020
- 10) 河村憲彦、坂上恭助、小島誠造、張月、永井秀典：集合住宅の排水立て管システムの排水能力に関する一考察、空気調和・衛生工学会学術講演論文集、pp.1077-1080、2002
- 11) 小島誠造、河村憲彦、馬場淳：集合住宅用特殊継手排水システムに関する実験研究、空気調和・衛生工学会中部支部学術講演論文集、pp.175-178、2005
- 12) 土井巖：図解入門 よくわかる最新給排水衛生設備の基本と仕組み、秀和システム、p.150、2019