

雨水管の流水音に関する実験的検討

(その3) 排水タワーを利用した検討

EXPERIMENTAL STUDY OF THE SOUND OF WATER FLOWING THROUGH A STORM DRAIN

Part 3 Investigation using drainage test tower

佐脇真平*1, 土屋裕造*2, 山内崇*1, 竹中優揮*2
 Shimpei SAWAKI, Yuzo TSUCHIYA, Takashi YAMAUCHI and Yuki TAKENAKA

The authors conducted an experimental study on the sound of running water in a rainwater pipe to reduce the level of the noise which is transmitted to an adjoining room from rainwater pipes. Previous measurements and experiments have been conducted in the existing building and laboratory, but because of the limitations in the facilities and the method itself, it was not possible to investigate the effects of flowrate, pipe diameters and roof drainage systematically. In this context, experiments were carried out using a drainage test tower to clarify the effects of the parameters above, from which we gained the following knowledge:

1. The effect the flowrate exerts varies according to the presence or absence of sound insulation cover.
2. FDP has less noise radiation than VP.
3. The larger the VP pipe diameter at the elbow, the louder the radiated sound.
4. When there is a sufficient flow in the siphon drainage system, the radiated sound is largely reduced.

Keywords : Storm drain, Water flowing sound, Drainage test tower, PVC pipe, Steel pipe, Fireproof two-layered pipe, Siphonic drainage system
 雨水管, 流水音, 排水タワー, PV 管, 鋼管, 耐火二層管, サイフォン式ドレン

1. はじめに

建物内部に雨水管が配置される場合、降雨時の流水音が居室内に伝搬することが懸念される。筆者らはこれまで雨水管の流水音について、実建物における実験¹⁾及び実験室実験²⁾を通じて検討を行ってきた。しかし、以上の実験では流量の違いによる発生音の推移及び管径の違いによる発生音と実際の配管流水音との対応についての検証が不十分であった。そこで、今回筆者らは排水タワーを用いた実験によって、より広範な条件の下で配管の流水音を測定した。本報では、排水タワー内に雨水管を想定して設置された配管を対象とし、流量、管種、管径、屋上ドレンの違いが音圧レベル、振動加速度レベルに与える影響を検討した結果を報告する。

2. 実験概要及び設定条件

本実験で使用した排水タワーの概要を図 1, 2 に示す。所定の流量をポンプにより揚水し、高さ 12m (5 階) で水を供給する。水の供給方法として縦管上部に接続した配管から直接水を供給する方法と、ドレンが設置された水槽内に水を流し込む方法の 2 種類を用いる。排水タワーは鉄骨造で建屋内に設置されており、2, 4 階の直管部分には遮音室が設けられ、最下階 1 階のエルボ部分は内部を吸音処理した木板で構成された遮音ボックスで囲まれている。

管種として VP (硬質ポリ塩化ビニル管), FDP (耐火二層管), PE (ポリエチレン管), SGP (鋼管) を採用し、管径は 75A ~ 150A とする。VP100A に関しては GW25 kgm³, 25 mm の上に遮音シートを巻いた場合の測定を行う。水槽内に水を流し込む条件では、一般的

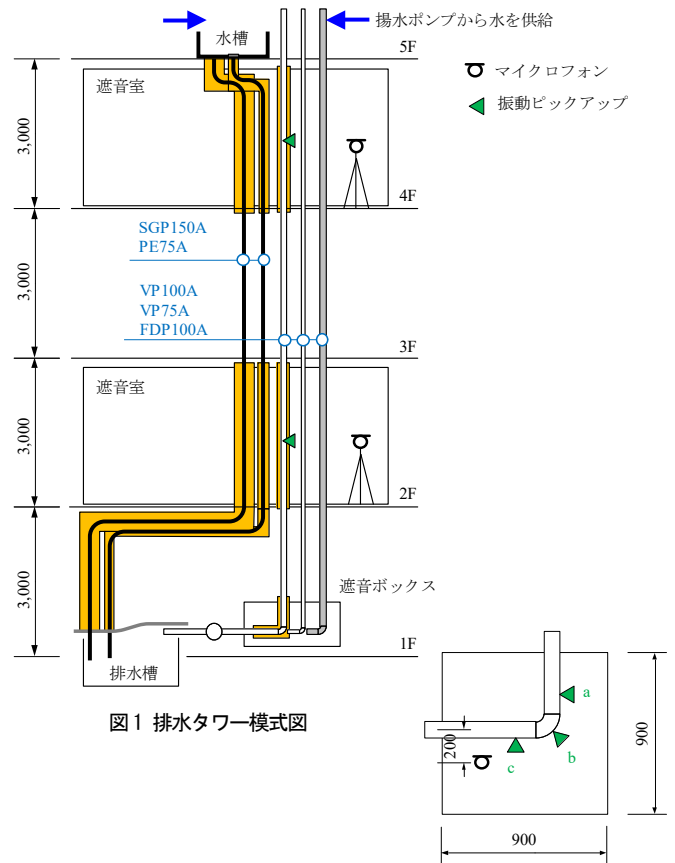


図 1 排水タワー模式図

図 2 1F 遮音ボックス模式図

*1 戸田建設株式会社技術研究所 修士 (工学)

*2 戸田建設株式会社技術研究所

Technology Research Institute TODA CORPORATION, M.Eng.

Technology Research Institute, TODA CORPORATION

表1 比較条件

流量 (L/min.)	管種	管径	遮音 巻き	水の供給方法
125	VP	100A	なし	直接
250	VP	100A	なし	直接
500	VP	100A	なし	直接
720	VP	100A	なし	直接
125	VP	100A	あり	直接
250	VP	100A	あり	直接
500	VP	100A	あり	直接
720	VP	100A	あり	直接
500	FDP	100A	なし	直接
250	VP	75A	なし	直接
250	PE	75A	なし	サイフォン式ドレン
500	PE	75A	なし	サイフォン式ドレン
1,000	PE	75A	なし	サイフォン式ドレン
1,200	PE	75A	なし	サイフォン式ドレン
500	SGP	150A	なし	通常ドレン
1,000	SGP	150A	なし	通常ドレン

な屋上ドレンと、管内でサイフォン現象が生じるように設計されたドレンの2種類を使用する。揚水量は各配管の想定流量に応じて125～1,200 L/min.の範囲で変化させる。本実験における比較条件を表1に示す。測定項目は、管芯から200 mmの位置での音圧レベルと管表面の振動加速度レベルとする。1階、2階、4階に設けられた測定点を図1、2に示す。

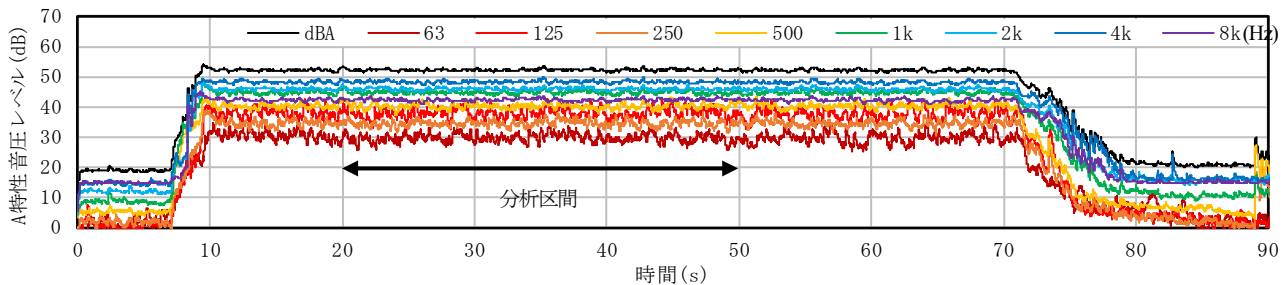


図3 音圧レベル時間変動：VP100A, 500 L/min, 1/1 オクターブバンド

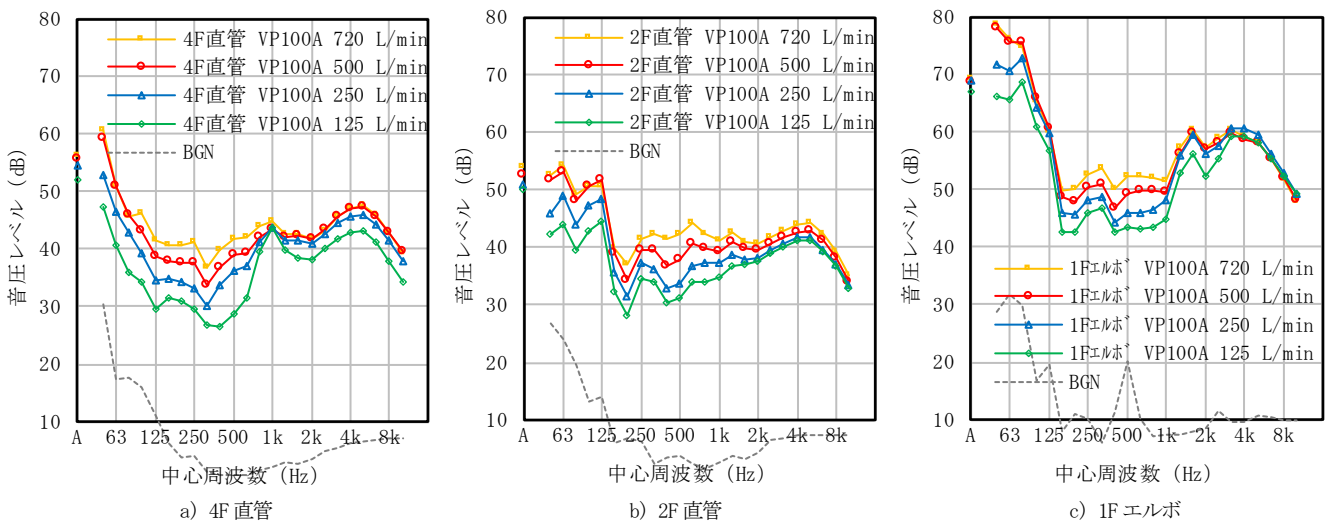


図4 流量別音圧レベル (VP100A 裸管)

3. 実験結果及び考察

3.1 時系列データ

図3にVP100A, 500 L/min.の場合の2階における1/1 オクターブバンドA特性音圧レベルの時系列データを示す。時定数は0.125秒、サンプリング周期は0.1秒である。今回利用する排水タワーでは揚水開始から10秒程で管の流水が安定し、音圧レベルは概ね定常状態となる。以下では周波数別音圧レベル及び振動加速度レベルとして、ポンプ揚水開始から停止までの70秒間中、配管の流水音が安定している時間帯30秒間 (VP100A, 100 L/min では図中に示す分析区間) の L_{90} を分析した結果を示す。なお測定は各条件3回ずつ行い、3回の音圧レベル、振動加速度レベルが概ね一致することを確認している。

3.2 流量の影響

図4、5にVP100A 裸管及び遮音巻きの流量別の音圧レベルと振動加速度レベル、図7に過去に行った集合住宅用排水管の音圧レベル³⁾を示す。排水管では既往論文^{3,4)}により流量を倍にすることで音圧レベルが約3 dB増加するという知見が得られているのに対し、今回の雨水管ではA特性音圧レベルの増加量が小さい。これはA特性音圧レベルを決定している高音域において、排水管と比べて流量増加に対する増加幅が小さいことによる。排水管では各階に設けられている集合継手により回転を与えられた流水が管壁面に沿って落下するのに対し雨水管では障害なく落下し、こうした流れ方の違いが、流量と発生音の関係に差異をもたらす要因となっている可能性がある。高音域での増加幅が小さい傾向は測定階の違い、エルボの有無に依らず見られ、振動加速度レベルも同様の結果を示した。VPに遮音巻きを施した場合の音圧レベルを図6に示す。同

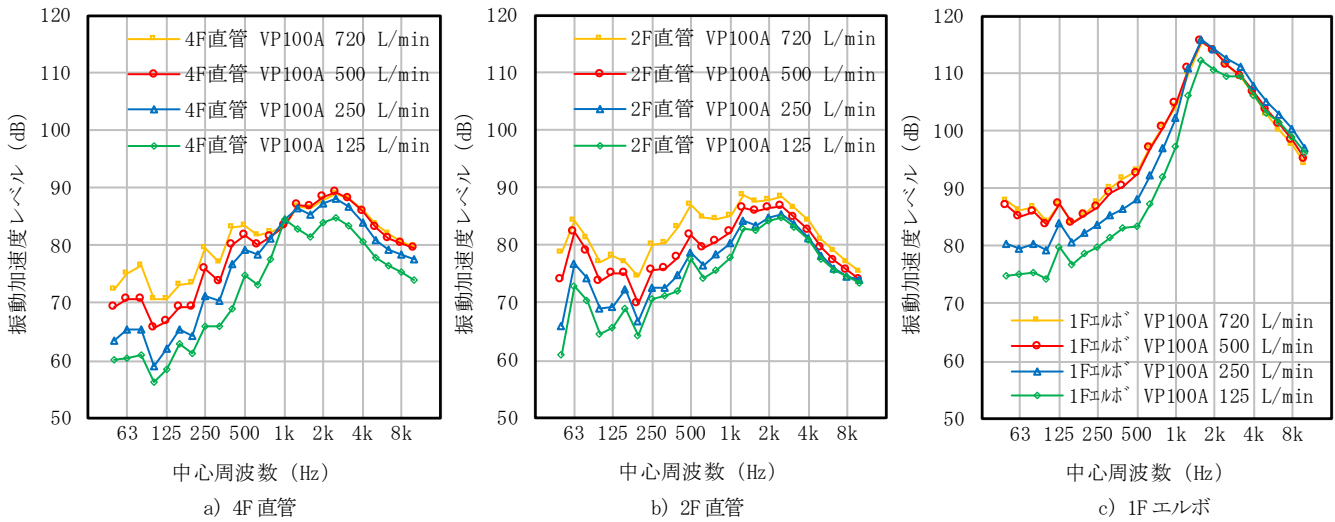


図5 流量別振動加速度レベル (VP100A 裸管)

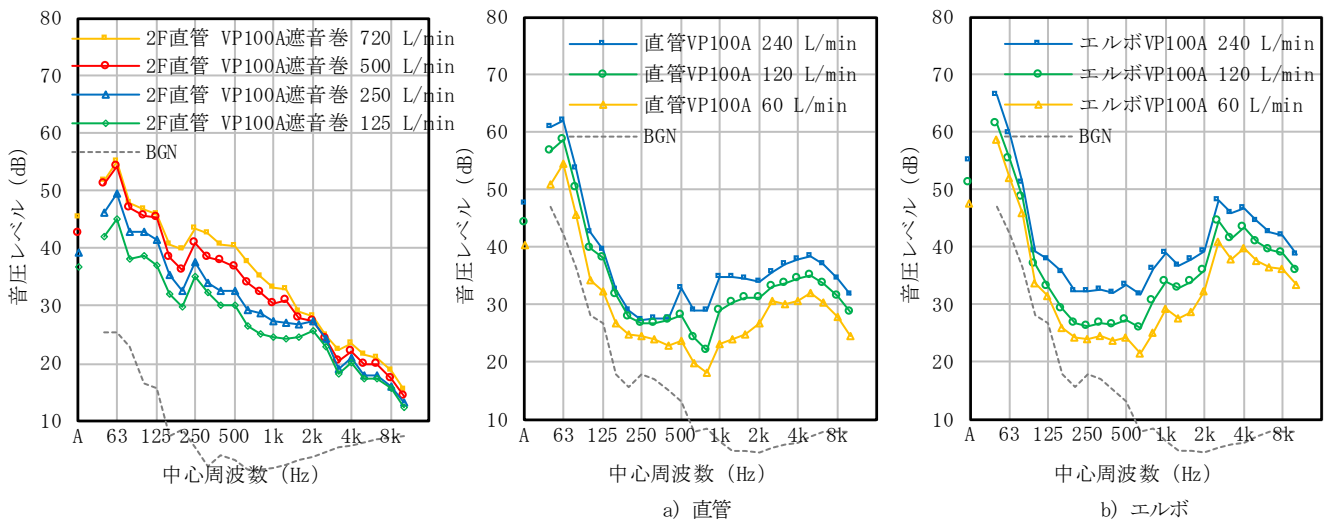


図6 流量別音圧レベル (2F 直管, VP100A 遮音巻き)

図7 流量別音圧レベル (排水管, VP100A, 集合管継手あり)

じ位置の VP 裸管の音圧レベル図 5b)と比べて、遮音巻き条件では高音域の音圧レベルが大きく低減し、A 特性音圧レベルは中音域で決定している。このため遮音巻きを施した雨水管では裸管と比べて流量増加による A 特性音圧レベルの増加幅が大きくなった。

3.3 管種の影響

(1) 直管

100A の VP 及び FDP における流量 500 L/min.の場合の、2 階の直管近傍における音圧レベルを図 8 に、配管表面の振動加速度レベルを図 9 に示す。図 8 の音圧レベル測定結果によると、A 特性音圧レベルが VP が約 53 dB、FDP が約 48 dB となり、FDP が 5 dB 小さい結果となった。周波数特性をみると 50 Hz 帯域を除くすべての帯域で FDP のレベルが VP を下回っている。また、図 9 の振動加速度レベルも全帯域で FDP が VP を下回っており、音圧レベルの結果と概ね対応している。これらの結果は、FDP が内管 (硬質ポリ塩化ビニル) と外管 (繊維モルタル) で構成されており、VP に対して構造的に遮音性、剛性が高いことに起因すると考えられる。

(2) エルボ

エルボにおける管種の影響として、1 階エルボでの VP 及び FDP の音圧レベル測定結果を図 10 に、エルボ立管部 (a)、エルボ曲部 (b)、エルボ横引管部 (c) における振動加速度レベル測定結果を図 11 に示す。図 10 の音圧レベル測定結果によると、A 特性音圧レベルが VP が約 69 dB、FDP が約 61 dB となり、直管を上回る 8 dB 差となった。周波数特性は 80 Hz 以下、800 Hz 以上の帯域で FDP が VP を下回っており、直管と異なる特性となった。図 11 の振動加速度レベルをみると、いずれの測定点においても多くの帯域で FDP が VP を下回っており、特に 630 Hz 以上の帯域ではその傾向が顕著にみられる。管内の流水がエルボの管壁に衝突する位置である測定点 b に着目すると、VP が 1.6 kHz にピークを持つ特性であるのに対し、FDP では 4 ~ 5 kHz となっており、FDP の方が卓越周波数が高くなっている。これは FDP の繊維モルタルによる管壁の密度や剛性の増加に伴い、共振系が高域にシフトしたためと思われる。

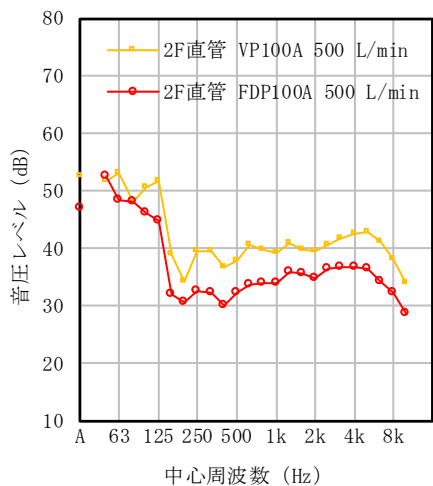


図8 管種別音圧レベル（直管）

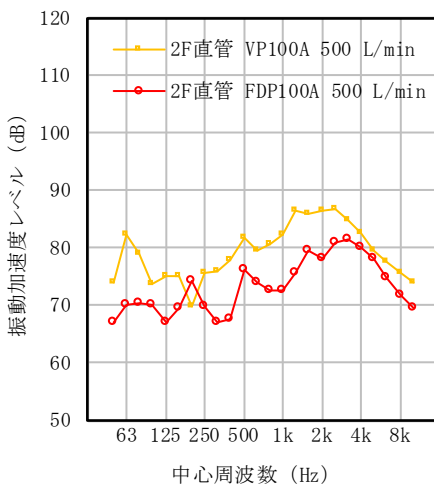


図9 管種別振動加速度レベル（直管）

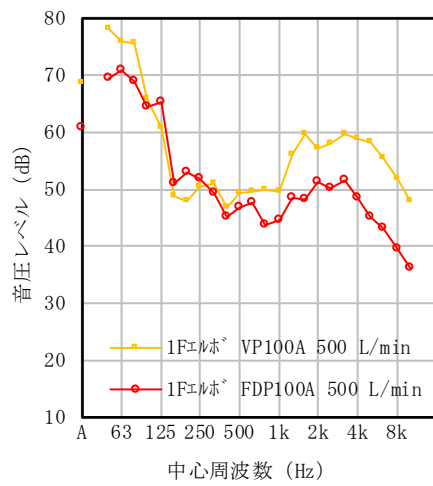
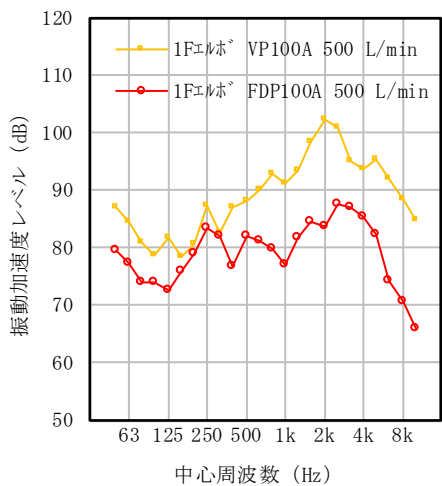
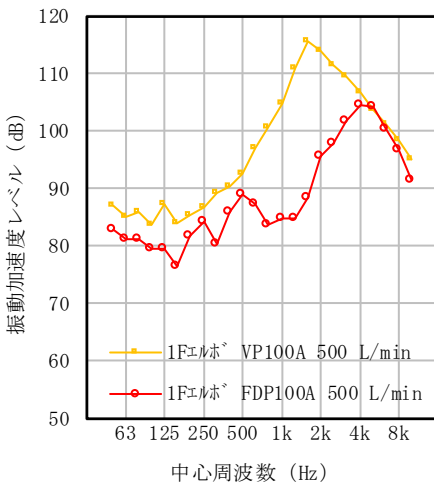


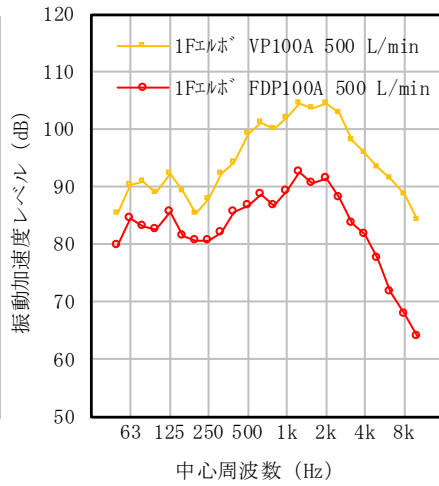
図10 管種別音圧レベル（エルボ）



a) 1F エルボ測定点a



b) 1F エルボ測定点b



c) 1F エルボ測定点c

図11 管種別振動加速度レベル（エルボ）

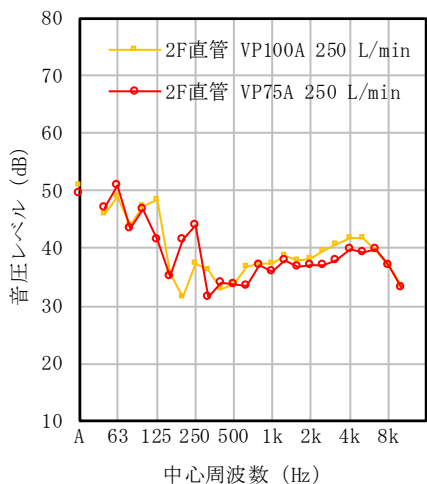


図12 管径別音圧レベル（直管）

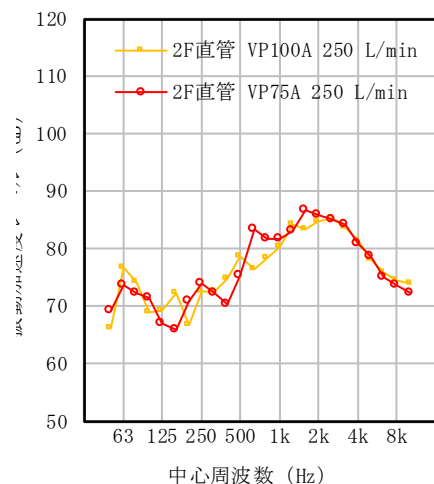


図13 管径別振動加速度レベル（直管）

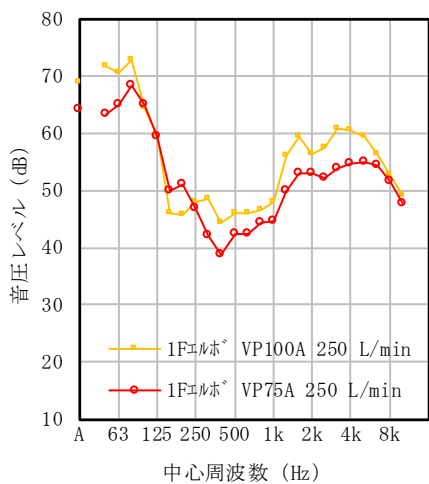


図14 管径別音圧レベル（エルボ）

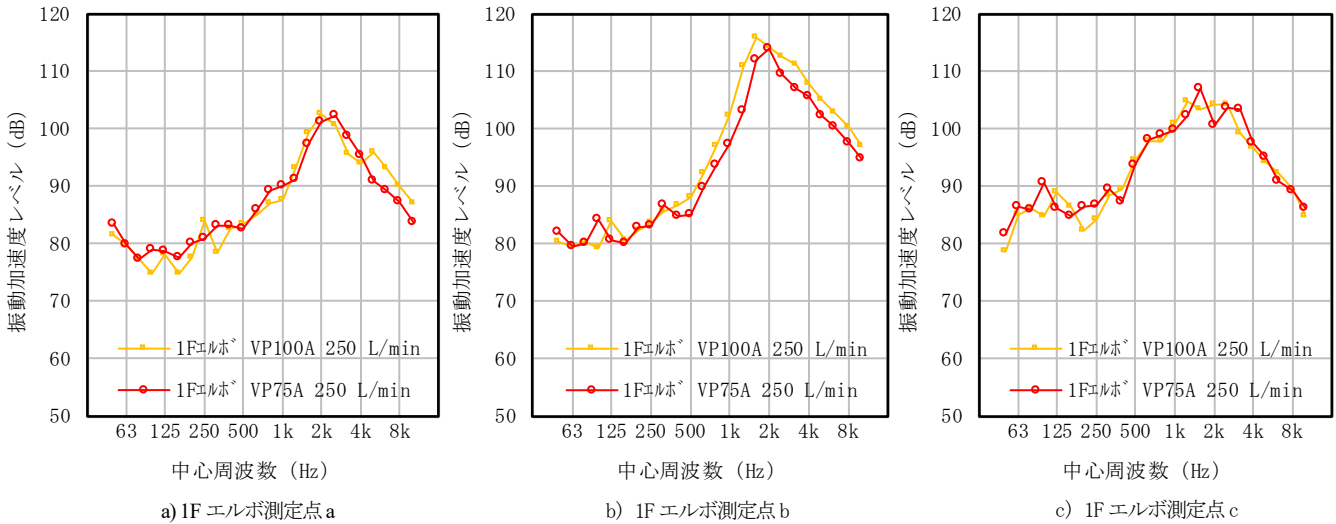


図 15 管径別振動加速度レベル (エルボ)

3.4 管径の影響

(1) 直管

直管での管径の影響として、VP の 100A と 75A について前節と同様の測定を行った結果を図 12, 13 に示す。流量は 250 L/min. とする。図 12 の音圧レベル測定結果によると、800 Hz 以上では管径の違いによる変化はみられない。630 Hz 以下では帯域によって差がみられるものの、A 特性音圧レベルは 100A が 48 dB, 75A が 47 dB と同程度となり影響は軽微であるといえる。図 13 の振動加速度の結果をみると、1.6 kHz 以下ではレベル差がみられるが、2 kHz 以上では変化は確認できない。管径が大きくなることにより、放射面積が増え、管壁面の剛性が低下することが予想されるが、一方で、肉厚は 75A が 5.5 mm, 100A が 6.6 mm と管径の増加と共に増大している。そのため、それぞれの影響が相殺され、直管においては管径が放射音に及ぼす影響は限定的といえる。

(2) エルボ

エルボにおける管径の影響として、VP の 100A と 75A について測定を行った結果を図 14, 15 に示す。図 14 の音圧レベル測定結果によると、A 特性音圧レベルは 100A が 69 dB, 75A が 64 dB となり、管径が大きい 100A が 5 dB 大きい結果となった。周波数特性では 315 Hz 以上で 100A のレベルが大きくなっているのが確認できる。これらの傾向は直管の場合と異なる。図 15 の振動加速度レベルの測定結果をみると、測定点 a, c では管径の違いによる明確な

差はみられないが、測定点 b は 400 Hz 以上で 100A のレベルが大きくなっている。この測定点 b での傾向は音圧レベルの結果と近似していることから、流水が管壁に衝突する部位からの放射音の寄与が大きいことがうかがえる。

3.5 屋上ドレンの影響

図 16 ~ 18 に PE75A (サイフォン式) で流量を 1,200 L/min. と 500 L/min. とした場合、SGP150A (通常ドレン) で 500 L/min. とした場合の、排水タワー2階における 1/1 オクターブバンド A 特性音圧レベルの時間変動を示す。時定数は 0.125 秒、サンプリング周期は 0.1 秒である。ポンプ揚水開始から停止までの時間は PE75A (サイフォン式) のみ 240 秒、それ以外では 180 秒である。図 16 の PE75A (サイフォン式)、流量 1,200 L/min. の条件では揚水開始後約 60 秒を境に発生音の性状が大きく変わっているが、これは管内が満流状態となりサイフォン現象が生じたことに起因する変化である。満流になる前は、水は空気とともに管内に流れ込み比較的大きな音が発生するが、満流に達した後は放射音が大きく低減している。揚水停止後は水の供給が止まり満流状態が維持できなくなるため放射音が再び増加している。図 17 は PE75A (サイフォン式) の、流量 500 L/min. の場合の結果である。この流量では管内が満流に達することはなく、揚水開始後 20 秒以降は概ね定常状態を維持している。図 18 に示すのは一般的なドレンによる結果であり、この場合も揚水開始後 20 秒以降は放射音が安定しており、揚水を停止するまで

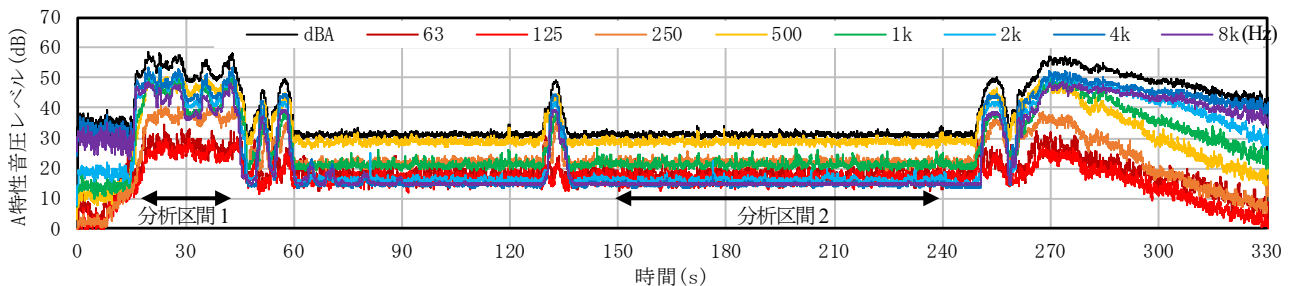


図 16 音圧レベル時間変動 (PE75A, サイフォン式, 1,200L/min.)

目立った変化は生じていない。

図 19, 20 は排水タワー2 階における PE75A (サイフォン式) の放射音と管表面の振動について、流量ごとの周波数特性を示したものである。流量 1,200 L/min. 以外は、放射音が安定している時間帯における 30 秒間の L_{eq} を示しており、流量 1,200 L/min. では満流状態になる前後の 2 区間 (図 16 に示す分析区間 1 と 2) における L_{eq} を示している。

管が満流状態にない場合、流量 250 L/min. の音圧レベルと振動加速度レベルが低周波数域でやや小さな値を示していること以外は、測定値の流量による変化は小さい。一方で管が満流状態にある 1,200 L/min. の分析区間 2 では音圧レベルは中高音域が、振動加速度レベルは全帯域にわたり測定値が大きく低減している。

図 21, 22 は SGP150A (通常ドレン) の 2 階における音圧レベル及び振動加速度レベルである。流量が増加することで低音域での音圧レベル及び振動加速度レベルが増加する一方、高音域では増加量が小さいという、水を配管に直接供給した場合の測定結果と類似した傾向を示しており、通常のドレンを想定する限りは、水を直接供給する方法によって雨水時の管内の水流を模擬できることを示唆している。

4. おわりに

排水タワーを利用して種々の条件で雨水管の流水音を比較することで以下の知見を得た。

- ① 雨水管は排水管と比べて、流量増加による高音域の音圧レベルの増加幅が小さく、流量が A 特性音圧レベルに与える影響は遮音巻きの有無で異なる
- ② 直管, エルボにおいて FDP は VP に比べ放射音が小さい
- ③ VP の管径が異なる場合、直管においては放射音に差は見られないが、エルボにおいては管径が大きい方が放射音が大きい
- ④ サイフォン現象を用いた雨水排水方式では、十分な水が供給され管

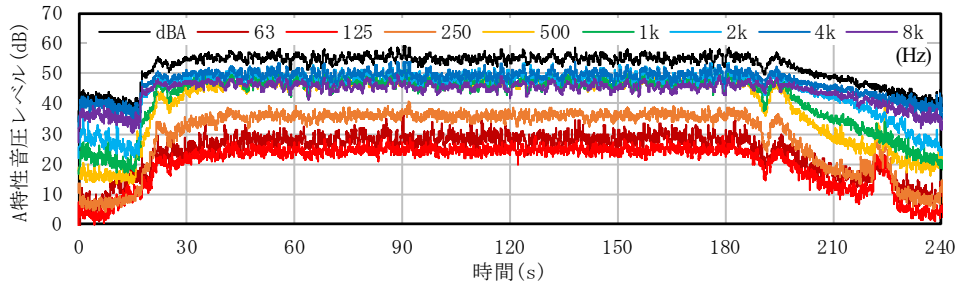


図 17 音圧レベル時間変動 (PE75A, サイフォン式, 500L/min.)

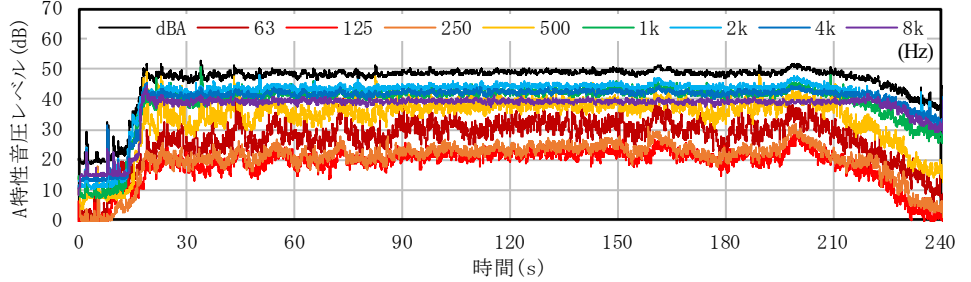


図 18 音圧レベル時間変動 (SGP150A, 通常ドレン, 500L/min.)

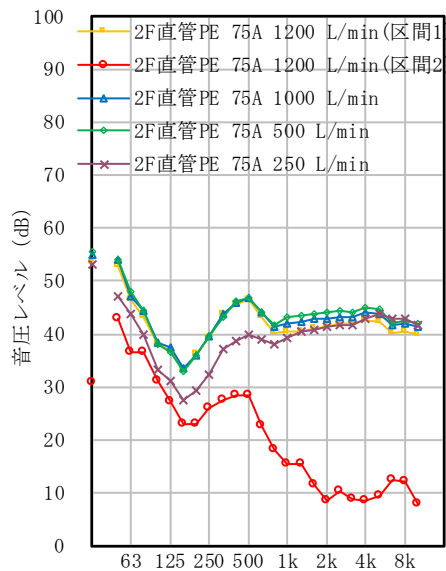


図 19 流量別音圧レベル (サイフォン式)

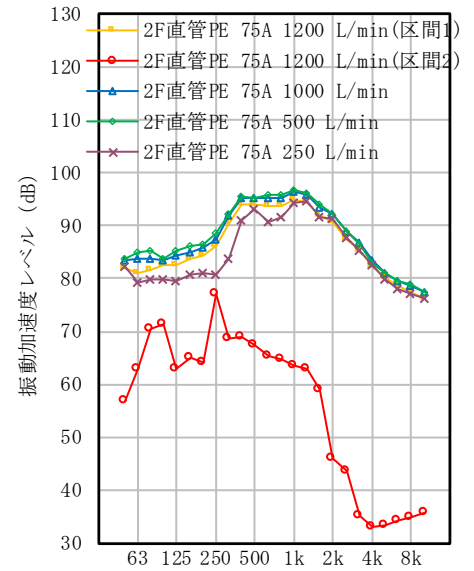


図 20 流量別振動加速度レベル (サイフォン式)

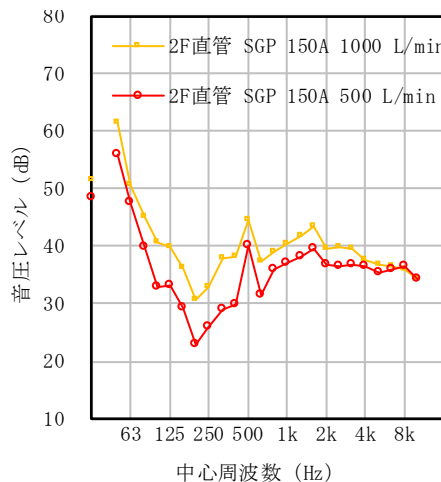


図 21 流量別音圧レベル (通常ドレン)

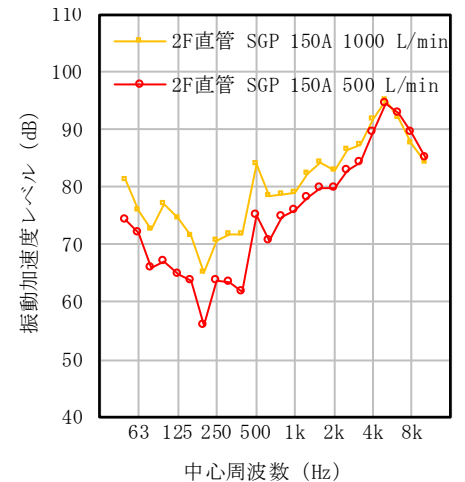


図 22 流量別振動加速度レベル (通常ドレン)

内が満流状態に達すると放射音が大きく低減する
今後は今回の結果を踏まえ、要求される室内静謐性能と必要な雨水音対策の関係を整理し設計に役立てるとともに、より効果的な対策の検討を進めていきたい。

謝辞

本研究において積水化学工業(株)の皆様には多大なるご協力を賜りました。
この場を借りて深く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 佐脇 他 「雨水管の流水音に関する実験的検討その 1, 2」 日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学 pp.363-366 2020.9
- 2) 土屋 他 「雨水管の流水音に関する実験的検討その 3, 4」 日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学 pp.347-350 2021.9
- 3) 土屋 他, 「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(株)技術研究報告第 42 号,2016.11
- 4) 市川 他, 「排水タワーを用いた排水設備音の計測事例」 INCE 研発,2018.10