H3-1

雨水貯留施設流入部における渦流の形成を利用した流入制御の試み

The possibility of inflow control due to a vortex flow at inflow section of rainwater storage facility

○安田陽一[1]，石川　眞[2]，西井　俊[3]
*Youichi Yasuda[1], Makoto Ishikawa[2], Shun Nishii[3]

Abstract: Recently, drainage countermeasure against rainwater in torrential rain must be improved as sewage maintenance. This report presents a possibility of inflow control due to a strong vortex flow at inflow section of rainwater storage facility. The authors proposed the installation of a spiral tube at central axis of drainage pipe in order to form a strong vortex flow by postulating that the formation of vortex flow like a tornado in a drainage pipe should be significant in order to drainage rainwater efficiently through a drainage pipe. Drainage function in a vertical pipe connected to the channel bottom was investigated experimentally, and it was found that drainage capacity was improved to about 1.6 times by installing a spiral tube at central axis of the vertical pipe.

１．はじめに

近年，ゲリラ豪雨と呼ばれる短時間の集中豪雨時による浸水被害が頻繁に発生している．このため，下水道事業において，計画対象降雨の見直しが行われている[1]．従来の下水道管を有効利用するため，雨水貯留施設で対応する場合がある．雨水貯留施設の流入部に渦流を発生させることにより，流入制御を行う．手法の一つとして，ボルテックス管（排水能力が向上するように管の壁面の形状を工夫した管）[2]を敷設することも行われている．降雨初期の流入量を減少させ，降雨ピーク時の流入量を増加させる．これにより，雨水貯留施設の有効な貯留能力を増加させることができる．現時点では有効な手段として確立されたものはない．

最近の著者らの研究[3],[4]により，駅舎に敷設する谷樋の排水機能に関する検討を行うため，駅舎に実際に設置されている横引き管との組み合わせを意識した原型規模の排水機能に関する実験を行い，排水機能の予測モデルを構築した．排水機能に着目すると，排水効率が向上する場合，常に谷樋に接続する鉛直管への吸い込み口で水面から空気を巻き込む渦が形成されていた（Photo 1 参照）．上記の研究成果を向上するために，追加実験を行ったときの装置(Photo 2)を用いて鉛直管の吸い込み口の流れに注視したところ，排水能力向上に空気を巻き込む渦が貢献されるのではなく，巻き込み渦が形成されたことによって生じるトルネードのような強い渦流の形成が排水能力の向上につながることが想定できた．

ここでは，Photo 2 に示す装置を用い，鉛直管内に強制的に強い渦流が形成されるように，螺旋状にチューブを巻きつけたものを管路の中心軸に敷設することを提案し，螺旋状のチューブ(Photo 3)を中心軸に敷設したことによって，鉛直管に流入する排水能力がどのように変化するのかを検討した成果を紹介する．

２．実験方法

螺旋状のチューブを挿入したことによる水路底部に接続する鉛直管内の流れに与える影響を明らかにするため，Photo 2 に示す簡易模型を用いて実験を行った．実験は，上部水路に流入する流量を変化させ，水路内の水深測定および排水口付近および鉛直管内の流況観察を行った．なお，排水管の内径は 0.10 m，鉛直高さは 0.343 m, 谷樋の寸法は幅 0.50 m, 高さ 0.2 m である．

Photo 1. Vortex formation (right side: enlarged photo)

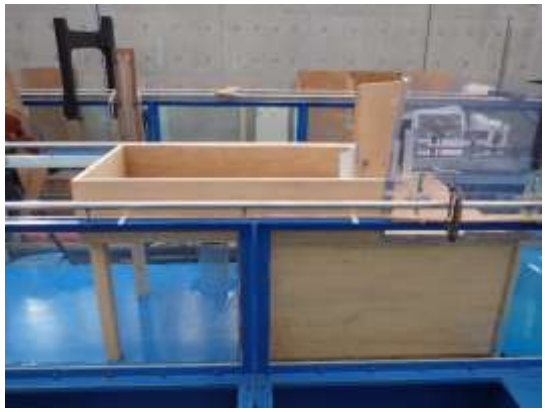

Photo 2. Physical model (simple canal connected vertical pipe)

Photo 3. spiral pipe model

３．螺旋状のチューブ設置の提案

増水時の雨水管内の排水能力を向上する手法として提案した「螺旋状のチューブ」を Photo 3 に示す

提案した構造が想定したように排水機能の向上につながるかを定性的に調べるために，実験室内にある材料を用いた．チューブは外径 15 ㎜（肉厚 2.5 ㎜）の透明チューブ，軸となる素材は断面寸法 21 ㎜×30 ㎜，

1：日大理工・教員・土木，2：日本下水道新技術推進機構・土木，3：日大理工・院（前）・土木

長さ 800 ㎜を有する耐水性合板（角棒部材）である．模型の特長：渦流を強制的に形成させるために，チューブを反時計回りに螺旋状に巻きつけ，巻きつけた形状が固定されるように上端と下端を銀テープで固定した．なお，螺旋の程度については，初回の検討であるため，巻き付けやすい状態（20 ㎝間隔程度）としている．また，対象とする鉛直管の通水断面の通水阻害を考慮し，10cm 内径の鉛直管の約 10%程度としている．

４．実験結果

Photo 4, 5 は螺旋状のチューブを挿入したことによって見られる渦流を水面および水中から記録したものを示す．水路内の水深が鉛直管の内径の 2 倍程度となるときに，螺旋状のチューブを挿入すると，水深が内径の 1.65 倍程度となり，排水能力が向上することが確認できた．なお，水深が相対的に大きい場合，螺旋状のチューブを挿入した場合に強制的に渦流が形成されるほか，水面から空気を巻き込む渦の形成が見られるようになり，水位変動が挿入前より大きくなる．

Torricelli の定理より示された流量係数の定義式(1)に基づき，谷樋内の水深 h と流量係数 C との関係について，安田らによって検討した実験結果[3]を含めて整理したものを Figure 1 に示す．

$$Q = C\frac{\pi D^2}{4}\sqrt{2gh} \qquad (1)$$

図に示されるように，h/D＞1.5 で h/D の増加に伴い，螺旋状のチューブを挿入したことによる排水能力が増加することが示されている．

相対水深 h/D が 2 の場合，螺旋状のチューブを挿入した場合と挿入していない場合では，流入量の比で示すと，約 1.6 倍程度となることが分かった．これらのことから，螺旋状のチューブを挿入したことによって，水深がある程度以上（h/D > 1.5）に達したときに，排水能力の向上につながることを確認した．

５．まとめ

Photo 2 に示す簡易模型を用いて，渦流を利用した水路底部に接続する鉛直管への流入制御について検討した結果を以下にまとめる．

- 流況観察より，増水時に排水能力を向上するには，鉛直管内に強制的に渦流を形成させることが重要であることを推定した．
- 増水時に渦流を強制的に形成させるために，チューブを螺旋状に棒に巻きつけ，巻きつけた形状が固定されるように上端と下端を銀テープで固定した単純な構造を提案した．
- Torricelli の定理より定義された流量係数 C の変化から，h/D＞1.5 で h/D の増加に伴い，螺旋状のチューブを挿入したことにより流入量が増加することを示した．
- 相対水深 h/D が 2 の場合，螺旋状のチューブを挿入した場合と挿入していない場合では，流入量の比で示すと，約 1.6 倍程度になることが分かった．

今後は管路の敷設条件・螺旋状のチューブの形状・寸法の違いによる排水能力の変化を検討していく．

Photo 4. Vortex flow along the spiral tube

Photo 5. Involving vortex near the connection

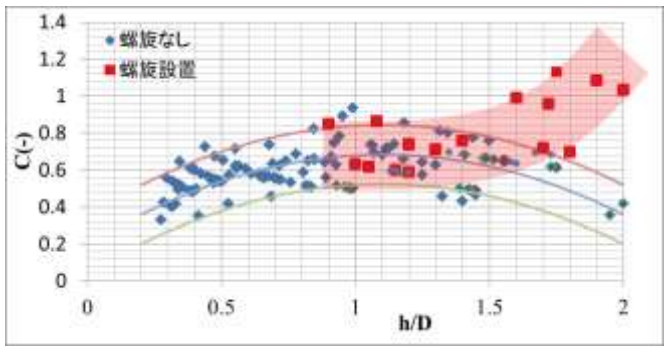

Figure 1. Change of discharge coefficients C with relative depth h/D

[1] 安田陽一「管きょ内の水理学の今後の展開」日本下水道新聞 2015 年 8 月 26 日 9 頁掲載（第 2269 号）
[2] Hager, W.H., Wastewater Hydraulics Theory and Practice, Springer, New York, 628 pages, 1999（日本語版、公共投資ジャーナル社、554 頁、2008 年）.
[3] 安田陽一，坂本　圭司「駅舎の上家に設置された谷樋の排水機能の推定」,土木学会論文集 B1（水工学）, Vol.71,No.4,pp.625-630, 2015.
[4] 安田陽一，西井俊「駅舎の上屋に設置された谷樋の排水機能に関する実験的検討」,土木学会年次学術講演会,第Ⅱ部門,CD-ROM, 2015.