

自由放流端を有する横引き管の排水能力に関する実験的検討

Practical investigation on drainage capacity of transverse pipe with free discharge edge

日本大学理工学部土木工学科 正会員 安田 陽一

日本大学理工学部土木工学科 学生会員 ○増井 啓登

1. はじめに

近年ゲリラ豪雨等による内水氾濫が各地で発生している。内水氾濫は下水道の設計流量を超過することで発生するが、氾濫時の雨水管内の水の挙動は解明されていない。管路内の流況を把握し、管路内の雨水を速やかに排水することは喫緊の課題である。

本研究室では横引き管の排水機能を向上させるための実験を行い、横引き管内が満水状態である時、横引き管の長さを小さくし、横引き管の勾配を大きくすることで排水能力が向上することを明らかにした¹⁾。なお、排水能力が最も大きくなるための条件については実験的に検討できていない点などがあり不明である。また、水温変化に伴う動粘性係数の変化が既存のデータには考慮されていなかったため、レイノルズ数よる排水能力に及ぼす影響は明らかにされていなかった。さらに、水路幅、管径などを一定として実験的な検討が行われたため、流量係数および入口での損失係数の支配影響因子の抽出が十分ではなかった。ここでは、次元解析的検討に基づき、相対管路長さ $L/D \doteq 10, 15$ を加えて排水能力が最大となるための条件を検討した。また、水温変化に伴う動粘性係数の変化を考慮して入口での損失係数に対するレイノルズ数の影響について検討を行った。さらに、管径 $D=0.13\text{m}$ とした場合を加えて、新たな支配影響因子の存在について検討を行った。

2. 実験方法

長さ 16m 水路幅 0.4m, 水路高さ(下流部)0.6m を有する矩形断面水路に水路勾配, 相対突出長さを 0 とし実験を行った. 写真 1 および写真 2 に示す実験模型を設置し, 自由放流端を有する管路と遮蔽板との接合部での流量係数および損失係数に着目し実験を行った. また, 管の内径を 10 cm および 13 cm に変化させ, 管路の相対長さ ($L/D \div 15$), 管路の勾配, 水路幅 ($B=40\text{cm}$) を同一にして比較検討を行った. なお, 水深測定には, ポイントゲージを使用し, 流量の測定は水路下流端に設置された全幅刃形堰を用いた.

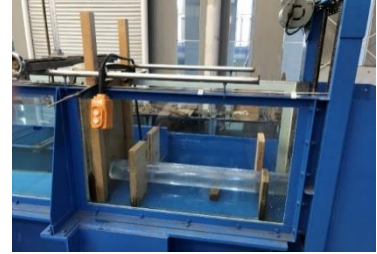


写真1 自由放流端を有する横引き管の実験模



写真2 上方から見た横引き管の設置状態

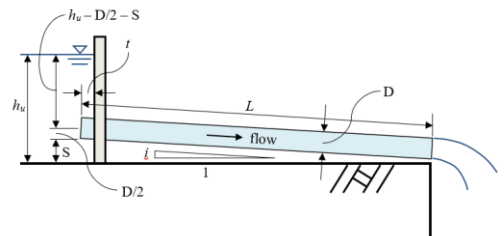


図1 横引き管を接続した貯留池の模型概要図

表 1 実験条件

L/D	S(cm)	i (-)	B(cm)	D(cm)	t(cm)	Q(m ³ /s)	$v \times 10^6$ (m ² /s)
10	4.5	0	40	10	0	0.0364-0.0193	0.967
15	4.5	0	40	10	0	0.0364-0.0193	1.43
15.4	4.6	0	40	13	0	0.0364-0.0193	1.31
19	4.5	0	40	10	0	0.0364-0.0193	0.761-1.37

3. 解析方法

(1) 管路流入部での流量係数

水路の途中に設けた遮蔽板より横引き管を設置した場合(図 1), 流量係数 C_d は Torricelli の定理に準じて次式によって定義する^{2),3),4)}.

$$Q = C_d \frac{\pi D^2}{4} \sqrt{2g \left(h_u - \frac{D}{2} - S \right)} \quad (1)$$

キーワード 自由放流端, 横引き管, 排水能力, 相対管路長さ, 水路の幅と横引き管の管径との比

連絡先 東京都千代田区神田区神田駿河台 1-8 TEL.03-3529-0409 E-mail.cske15194@g.nihon-u.ac.jp

(2) 入口での損失係数

図 1 に示す自由放流端を有する単線管路を対象に、遮蔽板直上流側の断面と自由放流端との間で Bernoulli の定理を適用すると、次式が得られる²⁾。

$$H = h_u - \frac{D}{2} - S + Li = \frac{V^2}{2g} \left(1 + f_e + f \frac{L}{D} \right) \quad (2) \text{ここに } V = \frac{Q}{(\pi D^2/4)}$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2.0 \log(R_e \sqrt{f}) - 0.8 \quad (3) \text{ここに } R_e = VD/\nu$$

なお、横引き管内の流れが満水状態になる場合を対象としている。

4. 実験結果

次元解析的な考察から検討した結果、流量係数および入口での損失係数は貯留池内の水深と横引き管の管径との比 $(h_u - (D/2) - S)/D$ 、水路の幅と横引き管の管径との比 B/D 、横引き管の長さ L/D 、横引き管の管径との比 L/D 、貯留池内の底面から横引き管の上流端の下縁までの高さ S/D 、横引き管内のレイノルズ数 Re 、横引き管の勾配 i 、突出長さ t/D によって支配されるものと推論される。

粘性係数の変化に伴うレイノルズ数の変化が入口での損失係数 f_e に与える影響を検討するために温度を $10^\circ\text{C} \sim 30^\circ\text{C}$ 変化させた。その結果、 $L/D=19$ 、 $i=0$ の場合の入口での損失係数は $0.192 \sim 0.223$ と変化し、動粘性係数の変化に伴うレイノルズ数の変化によって f_e の値の変化は 0.03 程度と無視できるほど小さいことが分かった。また、相対管路長さが 10 および 15 の場合について検討した結果、相対管路長さが 10 の場合は、管路長が小さくなったことに伴い、流入口で形成される局所的な波状水面は管路の天端に到達することなく常に管路内が開水路状態となることが分かった。また、相対管路長さ $L/D \approx 15$ において、管径が 0.1m の場合 ($L/D=15$) と 0.13m の場合 ($L/D=15.4$) の比較検討を行った結果を図 2、図 3 に示す。ただし、 $D=0.1\text{m}$ の場合、相対幅は $B/D=4.0$ 、 $D=0.13\text{m}$ の場合、相対幅 $B/D=3.1$ である。管路の勾配 i は共に水平である。図 2 に示されるように、 $(h_u - D/2 - S)/D > 1.5$ で $B/D=4.0$ の場合と $B/D=3.1$ の場合で f_e の値が異なり、 $B/D=3.1$ の方が f_e の値が大きくなる傾向を示している。これは、同一の水路幅 ($B=40\text{cm}$) に対して管径を 10cm から 13cm に変化させたことにより相対水路幅が小さくなり、管路と水路側壁との間が狭くなったため、管路に流入する前に形成される両側の渦による損失が大きくなったためと考えられる。また、図 3 に示されるように、 $B/D=3.1$ の方が $B/D=4.0$ の場合に比べてわずかに C_d の値が小さくなったが、 f_e に示されるほどの差異には至らなかった。これは遮蔽板によってせき上がった水深の大きさに及ばず影響が小さかったものと考えられる。また、 C_d について $L/D=20$ 前後の既存のデータと比べると、ほぼ同程度であり、 $L/D=15 \sim 20$ での C_d が最も大きくなる範囲である。

5. まとめ

本研究では次元解析的検討に基づき、相対管路長さ $L/D \approx 10, 15$ を加えて排水能力が最大となるための条件、水温変化に伴う動粘性係数の変化を考慮して入口での損失係数に対するレイノルズ数の影響について検討した。

- ・相対管路長さが 10 の時、常に開水路状態となることを明らかにした。
- ・ $L/D=15 \sim 20$ での流量係数 C_d が最も大きくなる範囲であることを明らかにした。
- ・動粘性係数の変化に伴うレイノルズ数の変化による入口での損失係数への影響は無視できるほど小さいことが明らかになった。
- ・ $(h_u - D/2 - S)/D > 1.5$ で $B/D=4.0$ の場合と $B/D=3.1$ の場合で f_e の値が異なり、 $B/D=3.1$ の方が f_e の値が大きくなる傾向を示した。また、 C_d の値は f_e に示されるほどの差異には至らないことが明らかになった。

参考文献

- 1) 武石真論, 安田陽一, 石川眞, 亀田瞬, 円形断面開水路における水理特性曲線に関する実験的検討, 平成 28 年度土木学会全国大会 第 71 回年次学術講演会, II-087, 土木学会, 2016.09.07, CD-ROM.
- 2) 大津岩夫, 安田陽一編, 水理学—Theory for Application—, 理工図書, 第 4 版, 306 pages.
- 3) 水理公式集, 第 4 編 用排水・地下水編, 第 3 章 送配 水と下水の集水, 土木学会, pp.373-383.
- 4) 安田陽一, 自由放流端を有する管路の排出機能に関する実験的検討, 土木学会論文集 A2 (応用力学), Vol. 73, No. 2 (応用力学論文集 Vol. 20), 2017, pp.I_571-I_578.

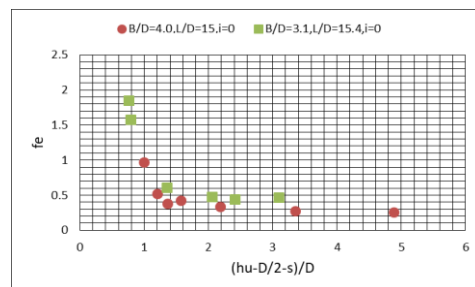


図2 入口での損失係数 f_e についての相対幅の影響 ($L/D=15$, $i=0$ の場合)

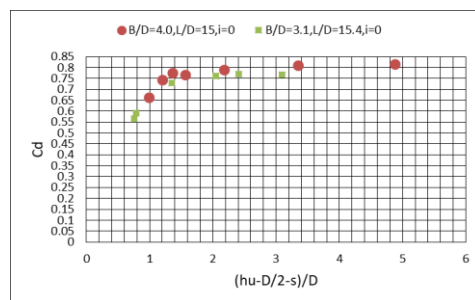


図3 流量係数 C_d についての相対幅の影響 ($L/D=15$, $i=0$ の場合)