

## 自由放流端を有する管路入口での損失係数に関する実験的検討

## Experimental investigation on energy loss coefficient at inlet of effluent pipe

日本大学理工学部土木工学科○正会員 安田陽一

日本大学大学院理工学研究科土木工学専攻 学生員 西井 俊

地方共同法人日本下水事業団 石川 眞

## 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、雨水管から氾濫することが見られる。従来、下水整備事業として、汚水対策および雨水対策に取り組んでいる一方、最近の降雨に対応する雨水対策に至るまでには課題が多く残されている<sup>1)</sup>。雨水管の排水向上のための手段として、ボルテックス管<sup>2)</sup>（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）を敷設することも行われている。

下水道内の雨水対策は喫緊の課題であり、既設構造からのわずかな改善技術の確立により、自治体の経済状況を考慮した改善の普及速度の向上が可能となる。最近、著者らは満水時の横引き管の排水機能の向上を目的とし、矩形水路の途中に設置した鉛直壁に接続した横引き管の設置条件（管路の相対長さ、勾配など）による排水機能の違いについて実験的検討を行った。その結果、横引き管内が自然に満水状態になる範囲では横引き管の勾配の増加に伴い排水機能が向上することが明らかとなった。その一方、勾配を過剰に大きくすると管路内が常に開水路射流となり排水機能が低下することを示した<sup>3),4),5)</sup>。

排水能力の向上のためにも、貯留池または貯留タンクと管路との接続部で生じる入口での損失係数について軽減する必要がある。入口での損失係数は基本的には0.5と示されている<sup>6)</sup>が、流入口の形状によって損失係数が約0.5～1.0に変化することが報告されている<sup>7),8)</sup>。しかしながら、管路の相対長さ、管路の勾配、貯留池内の相対水深などによって、どのように入口での損失係数が異なるのか不明である。ここでは、自由放流端を有する管路と貯留池との接合部での損失係数に着目し、管路の相対長さ、管路の勾配、流入部の管路の相対突き出し長さ、貯留池内の相対水深を変化させ、実験的に検討した。

## 2. 実験

実験は長さ16 m、水路幅40 cm、水路高さ（下流部）60 cmを有する矩形断面水路に、写真1、2に示されるように、内径10 cmの透明塩ビ管(7 mm厚)を設置し、表1に示す実験条件のもとで実験を行った。



写真1 透明塩ビ管の設置状態



写真2 貯留池のモデル化のために設置した止水板

表1 実験条件

管路長さ L (m)	相対長さ L/D	管路勾配 i (-)	相対水深 ( $h_u \cdot S \cdot D$ )/D	相対突き出し長さ t/D	レイノルズ数 Re × 10 <sup>4</sup>
1.90	19.0	0, 1/380	0.7 ~ 4.7	0.2	6.35 ~ 20.0
2.10	21.0	1/420	0.8 ~ 4.0	0.19	6.83 ~ 18.0
4.00	40.0	1/267, 1/400, 1/800, 0	0.8 ~ 4.9	0, 0.20, 0.38, 0.60	5.62 ~ 18.7
6.00	60.0	1/150, 0	0.9 ~ 4.5	0.19	5.53 ~ 16.0
8.00	80.0	0	0.9 ~ 4.5	0.20	5.53 ~ 15.4

注：表に示す記号は図1を参照のこと

キーワード：管路、損失係数、自由放流端、雨水対策、排水機能

連絡先 〒101-8308 東京都千代田区寒暖駿河台1-8, TEL: 03-3259-0409, E-mail: yasuda.youichi@g.nihon-u.ac.jp

### 3. 入口損失係数に関する解析方法

図1に示す自由放流端を有する単線管路を対象に、貯水池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。

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

貯留池の水深、流量、管路の内径、管路の長さ、管路勾配を与えて、(1)式から入口での損失係数  $f_e$  を推定する。摩擦抵抗係数については、管路が透明塩ビ管であるため、滑面の実験式に従うものとする。

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2.0 \log(Re\sqrt{f}) - 0.8 \quad (2) \quad \text{ただし, } Re = \frac{VD}{\nu}$$

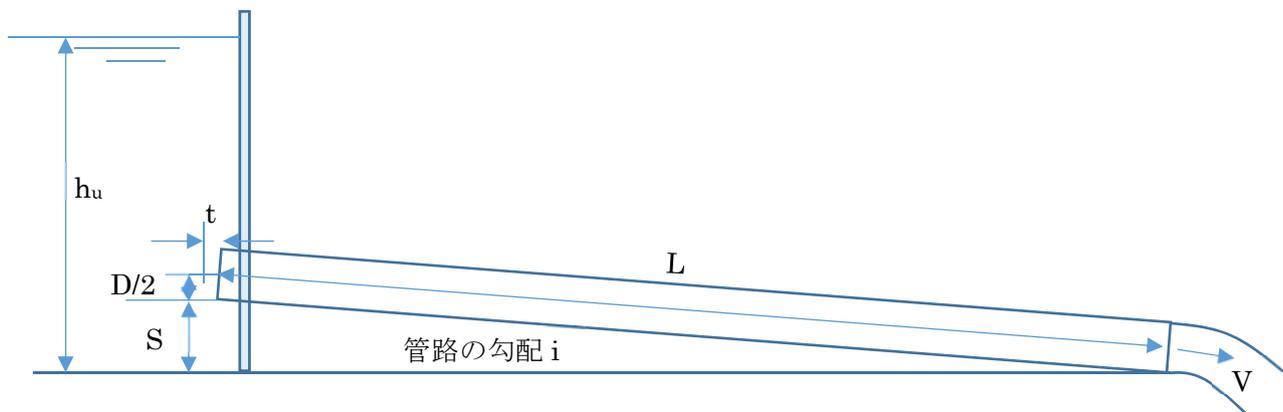


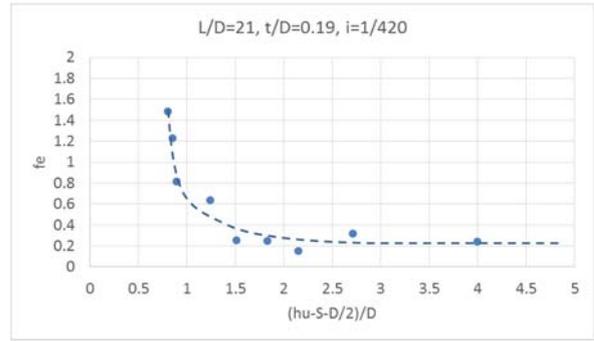
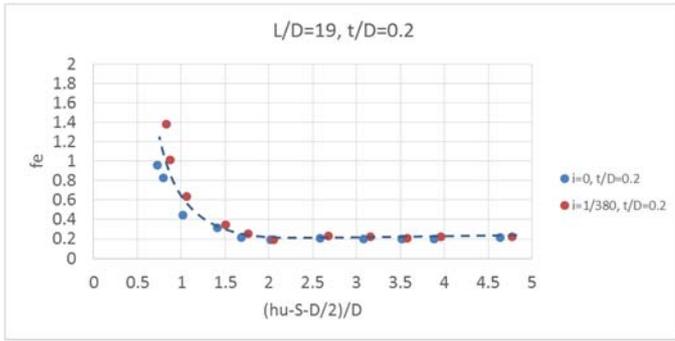
図1 定義図

### 4. 入口損失係数に関する解析結果

次元解析的考察から入口損失係数  $f_e$  は相対水深  $(h_u - S - D/2)/D$ 、管路の相対長さ  $L/D$ 、管路勾配  $i$ 、相対突出高さ  $t/D$ 、レイノルズ数  $Re$  によって変化することが推定される。

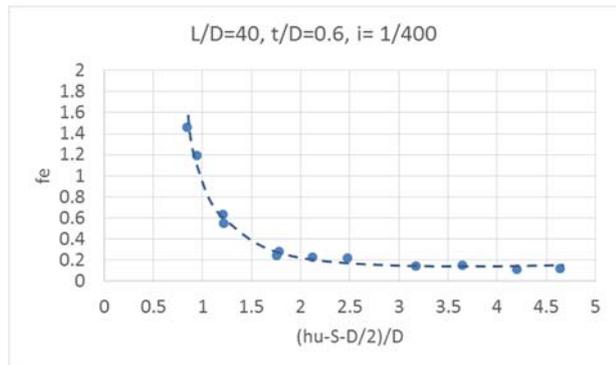
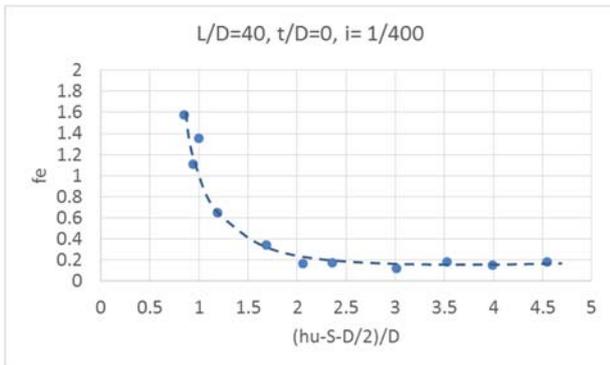
$$f_e = f \left( \frac{h_u - S - D/2}{D}, \frac{L}{D}, i, \frac{t}{D}, Re \right) \quad (2)$$

(2) の関係に基づいて、実験値を整理したものを図2a)~h)に示す。図に示されるように、入口損失係数  $f_e$  は相対水深  $(h_u - S - D/2)/D$  および管路の相対長さ  $L/D$  によって変化し、相対突出高さ  $t/D$ 、レイノルズ数  $Re$  による影響は小さい。管路勾配  $i$  による影響については、相対長さ  $L/D$  によって異なる。相対長さ  $L/D$  が大きくなると、ある段階で損失係数の値が一定値に近似する。これは、貯水池内の水位が低いときに生じる巻き込み渦の影響が小さくなったためと考えられる。従来示されている入口での損失係数の値と比較すると、貯水池内の水位が低い場合には、巻き込み渦の影響が大きく0.5より大きくなる。なお、入口での損失係数の値が1より大きくなっている箇所については、管路下流端で満水状態になっていない場合を含む。また、貯水池内の水位が高くなると、0.5より常に小さくなる。相対長さ  $L/D$  が大きい場合、管路勾配  $i$  が小さくなるにつれて、断面平均流速が減少し、 $f_e$  の値が大きくなる。その一方、相対長さ  $L/D$  が小さい場合 ( $L/D=19, 21$  の場合)、管路勾配  $i$  が小さくなるにつれて、巻き込み渦の形成が異なり、 $f_e$  の値が小さくなる。この場合、相対水深  $(h_u - S - D/2)/D$  が大きくなると、管路勾配  $i$  による  $f_e$  の違いは小さい。



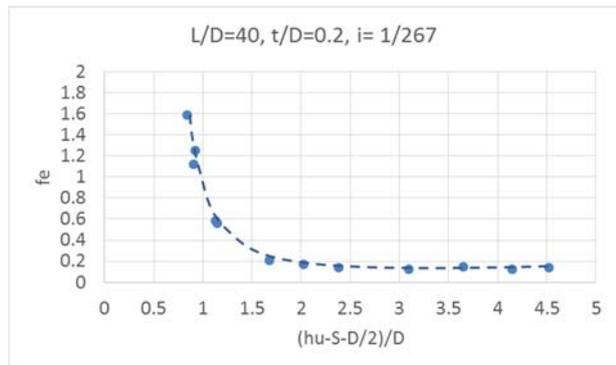
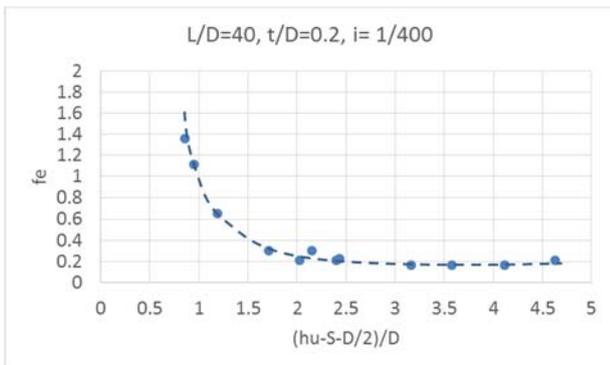
a)

b)



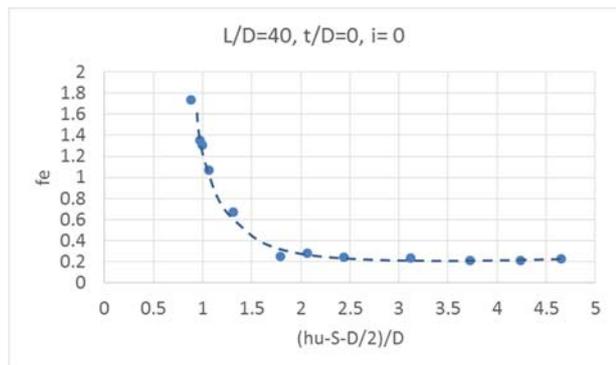
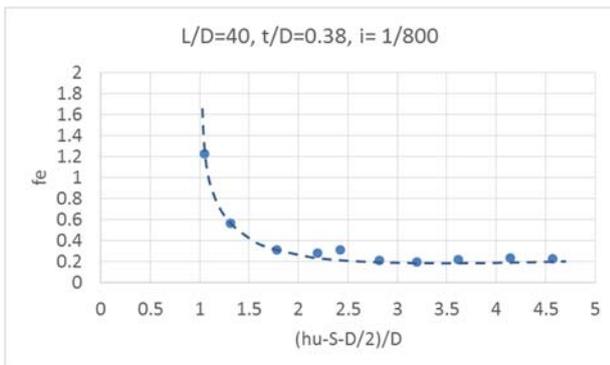
c)

d)



e)

f)



g)

h)

図2 入口損失係数の変化

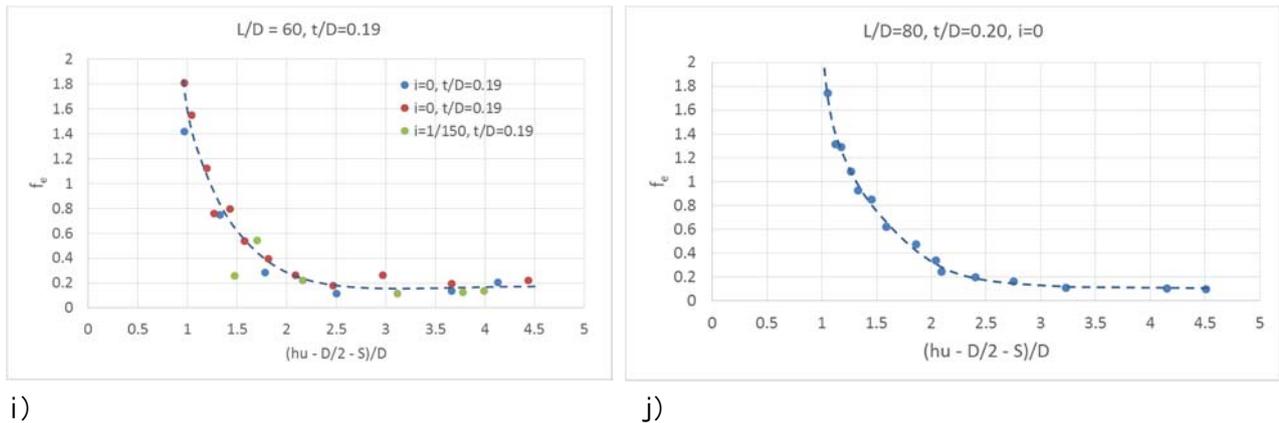


図2 入口損失係数の変化（つづき）

### まとめ

自由放流端を有する管路と貯留池との接合部での入口損失係数  $f_e$  に着目し、貯留池内の相対水深  $(hu - S - D/2)/D$ 、管路の相対長さ  $L/D$ 、管路勾配  $i$ 、流入部の管路の相対突き出し長さ  $t/D$  を変化させ、入口損失係数  $f_e$  の変化傾向を実験的に検討した結果、入口損失係数  $f_e$  は、貯留池内に形成される巻き込み渦の影響を受けて、貯留池内の相対水深  $(hu - S - D/2)/D$ 、管路の相対長さ  $L/D$  によって主に变化する。また、管路内の断面平均流速の増加減少に応じて入口損失係数  $f_e$  に対する管路勾配  $i$  による影響が認められる。従来、管路の入口損失係数の値は、流入口の形状の影響を受けて  $0.5 \sim 1.0$  として示されていた<sup>6),7),8)</sup>が、貯留池内の相対水深  $(hu - S - D/2)/D$ 、管路の相対長さ  $L/D$  による影響によって、管路下流端まで満水状態を対象とすると  $0.1 \sim 1.0$  程度まで変化することを明らかにした。なお、流入部の管路の相対突き出し長さ  $t/D$  による影響は  $0 \leq t/D \leq 0.6$  の範囲では、無視できるほど小さい。レイノルズ数による影響について、本実験では管径を一定としているため、検討の余地がある。

### 参考文献

- 1) 安田陽一「管きよ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) 西井俊，安田陽一，石川 眞，亀田瞬，雨水貯留施設に接続する傾斜下水管の排水機能，平成28年度土木学会全国大会 第71回年次学術講演会，II-004，土木学会，2016.09.07，CD-ROM.
- 4) 安田陽一，西井俊，雨水貯留施設に接続する傾斜下水管の排水機能，第60回日本大学理工学部学術講演会，H3-1，2016.12.03，CD-ROM.
- 5) 武石真諭，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.
- 6) 大津岩夫，安田陽一編，水理学，理工図書，2013（第4版），p.63
- 7) 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，1999，pp.374-375.
- 8) 本間仁，安芸皎一編，物部水理学，岩波書店，1962，p.152.