H3-10

円形断面水路における水理特性曲線の実験的検討

Experimental investigation on hydraulic characteristic curves in circular open channel

○武石真諭¹, 安田陽一²

*Masato Takeishi1, Yoichi Yasuda2

Abstract: This report presents the possibility for the prediction of hydraulic characteristic curve in a circular open channel. In order to investigate the flow condition, the authors conducted the experiments under three different pipe lengths, and they classified the flow condition in a circular pipe into three categories. The experiments reveal that the hydraulic condition required to change a pipe flow from open channel flow depends on the relative pipe length, the relative critical depth, and channel slope. Further, it might be difficult to predict hydraulic characteristic curve for uniform flow region experimentally.

1. はじめに

首都機能を守るために首都圏内で生じる洪水流による河川氾濫を制御するために、地下河川水路による分水施設などが整備されている。分水路は閉曲断面開水路とする場合があり、分水路としての経済性を考慮して、水理特性曲線を用いた設計を行うことが一般的である[1].このことは雨水排水管の設計にも反映されている。水理特性曲線では等流水深の増加に伴い満水状態直前に流量および断面平均流速の最大値が生じることが理論的に示されている[2],[3],[4].水理特性曲線について、幾何学的な形状によるものとして説明があるが、流入条件等を踏まえた実現象としての説明がない。工学的に水理設計として適用する観点から、実現象からみた説明が必要であるものと考えられる。ここでは、水理特性曲線から示される流量の変化特性について水理実験から考察した。

2. 実験概要

実験は水路幅 40cm, 水路高さ 60cm, 水路長さ 17m の矩形断面水路で行った.この水路では, 水路勾配を水平から下り勾配 1/50 まで調整することが可能である. 円管路内の流れを検討するために, 水路下流部に長さ 2 m の透明塩ビ製の円管路 (内径が 10cm)を長さに応じてアルミテープで接続し設置した. 円管路上流端では厚さ 3 cmの耐水性合板を設置し, 1mm 厚の止水ゴム, 4cm 四方の角材, アルミテープ, およびシリコンを用いて止水した. 円管路を固定するために, 管路を 4cm 四方の角材の上に乗せ, 管路の両側 25mm 厚の耐水性合板で 4 か所にまたがって固定した. さらに, 水路下流端に設置された堰上げ式のスルース・ゲートによって管路下流端を支えるようにした. 管路上流端は耐水性合板の止水壁より少し上流側に突出した状態としてある. 管路内の流況を調整するために, 水路下流端にあるゲートを昇降し勾配の変更, 流量の調整を行った. 管路上流側の水位を把握するためにポイントゲージを使用した.実験流量規模を Table1 に示す.

Table 1. Experimental conditions (Discharges correspond to slope and relative length of pipes)

勾配 L/D	0	1/800	1/400	1/333	1/300	1/286	1/267	1/240	1/200	1/150	1/133	1/100
60	0.0058		0.0065		0.0056			0.0068	0.0088	0.0150		
40	0.0103		0.0062				0.0073		0.0111		0.0157	0.0078
20	0.0051	0.0058	0.0060	0.0059		0.0061	0.0064		0.0123			

3. 理論的アプローチ

Figure1 に示す円形断面水路において、等流状態を対象に、ダルシー・ワイズバッハの式を用いて満水状態との比の形で表示した流量比 *Q/Q*。および断面平均流速比 *V/V*。は次のように示される.

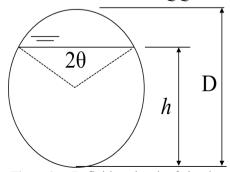


Figure 1. Definition sketch of circular open channel

$$\frac{Q}{Q_o} = \sqrt{\frac{f_o}{f}} \sqrt{\frac{R}{R_o}} \frac{A}{A_o}, \frac{V}{V_o} = \sqrt{\frac{f_o}{f}} \sqrt{\frac{R}{R_o}} \tag{1}$$

$$\Xi \exists V \exists, \frac{1}{\sqrt{f}} = 2.0 \log \frac{2R}{k_s} + 1.74, R = \frac{D}{4} \left(1 + \frac{\tan \theta}{\pi - \theta} \left(\frac{2h}{D} - 1 \right)^2 \right)$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \left(\frac{\pi - \theta}{\pi} + \frac{\tan \theta}{\pi} \left(\frac{2h}{D} - 1 \right)^2 \right), A_o = \frac{\pi D^2}{4}, R_0 = \frac{D}{4}$$

A は流積, f は摩擦抵抗係数, k。相当粗度高さ, R は径深

1:日大理工・学部・土木 2:日大理工・教員・土木

式中の添え字の o は満水状態を示す. なお,摩擦抵抗係数については管水路において乱流粗面の場合の実験式が適用できるとしている. (1)式から, Q/Q_o , V/V_o = $f(h/D, k_o/D)$,およびf = $f(h/D, k_o/D)$ の関係を推定したものを Figure2 に示す. Figure2 に示されるように,相対粗度高さ k_o/D の値にかかわらずh/D = 0.81 で V/V_o の値が最大となる. また,h/D = 0.94 で Q/Q_o の値が最大となる. なお,相対粗度高さ k_o/D が大きくなるにつれて, Q/Q_o および V/V_o の値が大きくなる. これは,満水状態での摩擦抵抗係数と が最大時の摩擦抵抗係数との比が大きくなるためと考えられる. また,摩擦抵抗係数f は相対高さh/D によって変化し,h/D = 0.81 の場合,摩擦抵抗係数f は最小値を示し,満水状態の摩擦抵抗係数との差が最も大きくなるため,断面平均流速比が最大となったものと考えられる.

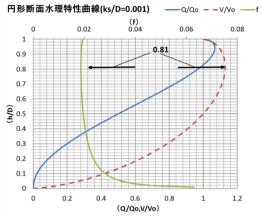


Figure2. Hydraulic characteristic curves in circular open channel

4. 実験結果

流況の観察により、管路に水を流すと流入部の影響を受け3次元的な局所流が発生する.この局所流の断面をFigure3に示す.管路中心部で落ち込み、側面から盛り上がるFigure3左の様な断面からFigure3右に示した断面を交互に形成する.その後管路内にて急激な水深増加が生じ、波状水面に伴ったM2曲線となって排出される.各 L/D で上流から満水になる領域と下流から満水になる領域、開水路流れとなる領域に分類し、各形成領域をFigure4に示す.Figure4より勾配が小さい時、急激な水深増加位置が流入部付近で起き、上流から下流に向けて満水になる.勾配が大きくなるにつれ局所流が管路を沿うように流れ水深増加位置が下流に移動するため下流から上流に向けて満水が形成される。また、勾配が大きくなる程満水になり始める流量が上昇し、直線的な関係を示す。さらに、L/D が小さいほど、満水状態に達成するための流量が大きくなる。管路長により満水状態になる流量規模が変化する結果にについて、管路内で生じる摩擦抵抗の原因が考えられる。管路長が相対的に大きくなることで、摩擦抵抗が加わる範囲が相対的に大きくなるため、管路が長い方が管路内において水位が堰上げられやすくなると推定される。

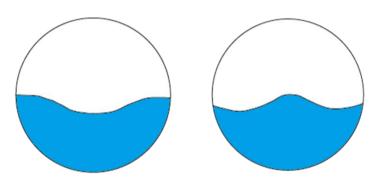


Figure3. Water surface profiles near the inlet of pipe

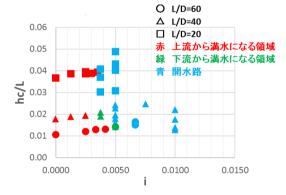


Figure4. Relation of hc/L = f(i, L/D)

5. まとめ

水理特性曲線について、等流水深の増加に伴い満水になる直前に流量および流速が最大となる事が幾何学的に理論展開されているが、Figure4に示されるように管路の相対長さL/Dが大きい方がより小さな流量で満水状態になることがわかった。また、流況との対応を検討すると、必ずしも等流状態で満水状態が形成されるのではなく、流入条件等に影響され不等流区間で満水状態が形成される。このことから水理特性曲線を実現象として再現する事は困難であるものと推定される。今後、排水能力向上を考慮した設計をしていくには不等流区間も踏まえていく必要がある。

6. 参考文献

- [1]建設省河川局監修:改訂新版 河川砂防技術基準(案) 同解説·設計編[I], 第15刷,技法堂出版, 2012
- [2]大津岩夫,安田陽一編,水理学—Theory for Application—,理工図書,第4版,pp.107-113,2013.
- [3]禰津家久, 富永晃宏著, 水理学, 朝倉書店, 319 pages, 2000.
- [4]Water Flow in Open Channels, Chapter 7, 7.5.3, pp.10-13, The Islamic University of Gaza Faculty of Engineering Civil Engineering Department Hydraulics, http://site.iugaza.edu.ps/afoul/files/2010/02/hyd7.doc.pdf (2016.01.10閲覧).