

限界勾配矩形断面水路における漸変流の水面形

Shape of water surface of gradually varied flow in critical slope rectangular cross section channel

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 ○清水涼太郎
日本大学理工学部土木工学科 学生会員 西沢敏矩

1. はじめに

広長方形断面水路における漸変流の水面形について、摩擦抵抗係数 f が一定、エネルギー補正係数 α を 1 と仮定して整理された漸変流の式より、緩勾配および急勾配における水面形の概形として推定されている^{1)~5)}。また、解析的に漸変流の式より Bresse の式が導出され水面形が推定されている。限界勾配の場合、上記の仮定を認めると、射流および常流の場合の漸変流の水深の流下方向への変化率は共に一定値 i （水路勾配）と推定される。限界勾配そのものが想定した下り勾配の水路に対して限定された流量の場合に定義されるものであるため、実際の水面形状についての情報が乏しい。ここでは、矩形断面水路を用いて限界勾配を設定し、射流および常流の水面形を計測し、漸変流の水面形について検討した。

2. 実験方法

実験は、水路幅 $B=0.40\text{m}$ 、水路長さ 17.0m 、高さ 0.60m を有する長方形断面水路を用い、実験条件を表 1 に示す。流量を計り、計測値を用いて限界流の条件から限界水深を求める。水路下流端 $x=0$ を起点とし、 $x=100\text{cm}$ 、 550cm 、 950cm 上流側の位置にポイントゲージを設置し、水深が限界水深になるように水路勾配を調整し、限界勾配を設定した。C1 曲線の漸変流を形成させるために、水路下流端に設置されている堰上げ式のスルース・ゲート高さを変化させ、漸変流の形成範囲を変化させて検討した。また、C3 曲線の漸変流を形成させるために、水路中央部のスルース・ゲートを用いた。水深測定にあたって、水面が非定常に変動するため、時間平均した水位が得られるように測定した。漸変流が常流の場合、ポイントゲージを水中に挿入したときに、圧力伝播が生じるため、ポイントゲージを水面から引き揚げてから十分な時間をかけて水面を測定した。流量は水路下流端に接続する全幅刃形せきを用いて測定している。

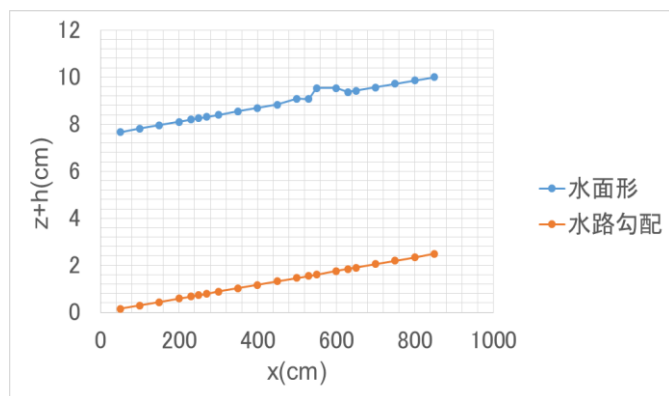
3. 実験結果

常流状態で下流ゲートの高さを 3 パターンに変化させた場合の水面形と、射流状態の水面形の 4 パターンの水面形を図 1 に示す。図中、 z は水路を水平にした状態を基準面とした水面までの高さである。図 1-a に示されるように、水路下流端が自由放流の状態となっているので上流部で等流状態の水面形となる。なお、水面の一部が凸状になっているのは水路内の接合部の凹凸の影響を受けたものである。図 1-b に示されるように、漸変流が射流の場合、C3 の水面形となり、水面の凹凸が見られるもののほぼ直線的な変化を示す。図 1-c および図 1-d に示されるように、漸変流が常流の場合、水路下流端のゲート高さが 2cm の場合、 500cm - 800cm の

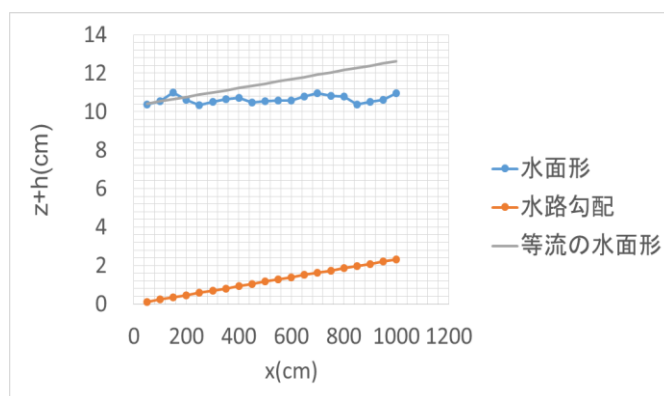
表 1 実験条件

	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5
水路下流端のゲート高さ (m)	0	0	0.02	0.03	0.04
流量 $Q\text{ (m}^3\text{/s)}$	0.0258	0.0414	0.0258	0.0258	0.0258
限界水深 $h_c\text{ (m)}$	0.0752	0.1031	0.0752	0.0752	0.0752
水路勾配 i	1/341	1/342	1/341	1/341	1/341

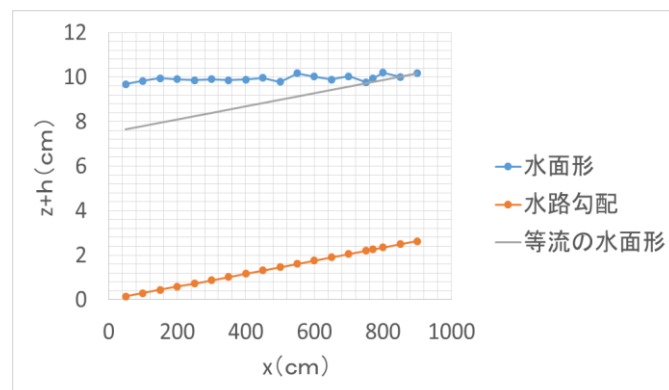
キーワード 漸変流, 水面形, 限界勾配, 波状水面, 局所流
連絡先 〒101-8303 東京都千代田区神田駿河台 1-8-14, TEL:03-3259-0409,E-mail:yokyas@civil.est.nihon-u.ac.jp



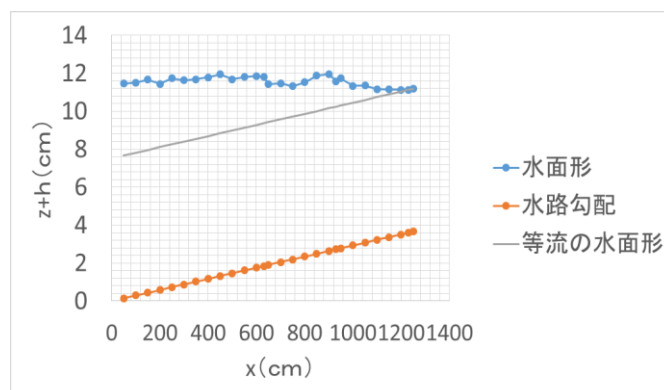
a) 等流の水面形



b) 射流の漸変流の水面形



c) 常流の水面形（下流ゲート高さ 2cm の場合）



d) 常流の水面形（下流ゲート高さ 3cm の場合）

図 1 限界勾配水路に形成される等流および漸変流の水面形

区間、3 cm の場合、600cm-1000cm の区間で定常的な波状水面が形成された。これらのことから、等流から局所流を経て漸変流に移行しているものと推定される。

漸変流が常流の場合、下流水位が高いほど、局所流の影響が大きくなり、水面形の凸凹が大きくなることが認められるが、局所流の形成がどのように変化するかについては、さらなる検討が必要である。なお、図 1 に示す水面形は歪ませて表示しているため、水面の凹凸が見られるが、縦軸と横軸を歪ませることなく表示すると水平に近い水面形となる。

4. おわりに

幅 40 cm の矩形断面水路を用いて限界勾配を設定し、表 1 に示す実験条件のもとで、射流および常流の水面形を計測し、漸変流の水面形について検討した。漸変流が射流となる場合、図 1-b に示されるように、水面の凹凸が見られるものの、局所流の形成もなく水面形はほぼ直線的かつ水平となる。漸変流が常流となる場合、図 1-c, d に示されるように、等流から漸変流へ移行するときに、定常的な波状水面が形成され、局所流の影響が無視できない状況となる。また、下流水位が高くなるにつれて、水面の凹凸が大きくなるが、この点についてはさらなる検討が必要である。

参考文献

- 1) 大津岩夫・安田陽一編著、水理学 一適用のための理論一、理工図書、2013、pp.115-121.
- 2) 岡本芳美著者、開水路の水文学解説、鹿島出版会、1991、pp.85-91.
- 3) 日野幹雄著者、明解水理学、丸善株式会社、1994、p.160.
- 4) A. Osman Akan, Open Channel Hydraulics, Butterworth-Heinemann, 2010, pp.99-101.
- 5) Chyan-Deng Jan, Gradually-varied Flow Profiles in Open Channels, Advances in Geophysical and Environmental Mechanics and Mathematics, New York, Springer, 2014, 184 pages.