H3-8

限界勾配および急勾配矩形断面水路における等流から漸変流への水面形

Transition from uniform to gradually varied flows in both critical and steep channel slopes with rectangular section

安田陽一[1]，○清水涼太郎[2]，西沢敏矩[2]
Yoichi Yasuda[1]，*Shimizu Ryotaro[2]，Toshinori Nishizawa[2]

Abstract: This paper presents water surface profiles of transition from uniform to gradually valid flows in both critical and steep slopes. The authors conducted the experiments in the rectangular channels with two different channel widths. In critical channel slope, the water surface profile of gradually valid flow has small undulations in subcritical flow region, and also the degree of the undulation depends on the aspect ratio. If the channel slope changes from critical to steep slopes, undular hydraulic jump is formed in the transition from uniform to gradually valid flows, and an undulation continues far downstream.

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]．限界勾配の場合，上記の仮定を認めると，射流および常流となる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．しかしながら，限界勾配において等流から漸変流に遷移する実際の水面形についての情報が乏しい．また，同一の水路（水路の断面形状が一定）においても流量規模によっては急勾配に変化するが，等流から漸変流に遷移する実際の水面形について不明な点が多い．ここでは，水路幅の異なる矩形断面水路を用いて限界勾配と限界勾配近い急勾配における等流から漸変流へ遷移する水面形について実験的に検討した．

２．実験方法

実験は，矩形断面水路を用い，実験条件を Table 1 に示す．なお，限界水深は限界流の条件（エネルギー補正係数を 1 とする）から算定している．水路下流端 x=0 を起点とし，x=100cm，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．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，水面形が乱れるため，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．

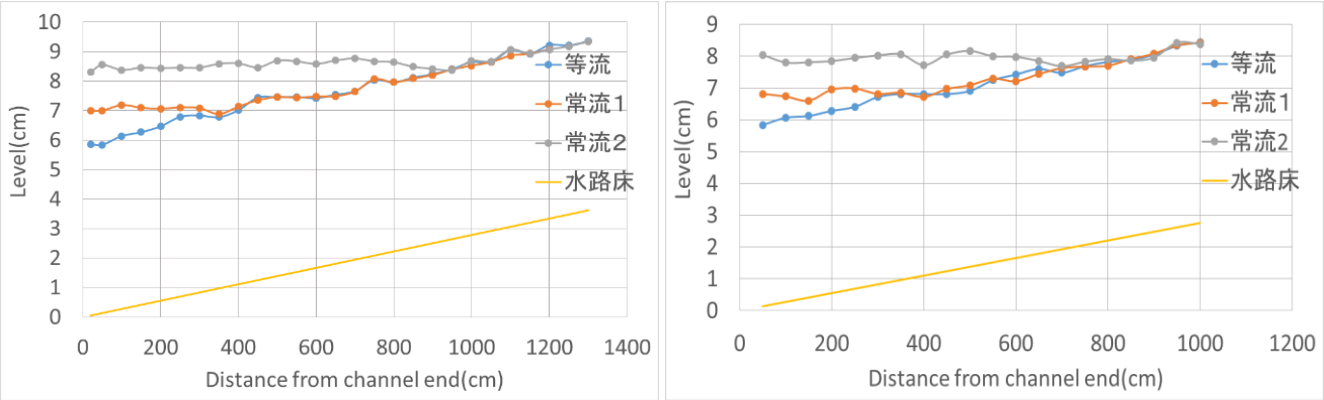
３．実験結果

限界勾配を設定し，アスペクト比を変えた２つの水面形を Figure1，限界勾配近い急勾配を設定し，アスペクト比を変えた２つの水面形を Figure2 に示す．Figure1-a に示されるように， アスペクト比が 7 近くでは，漸変流の水面形は，ほぼ水平な水面形を示しているが，水面の凹凸がわずかながら見られ，アスペクト比が 14 近くの場合より凹凸は小さい．Figure1-b に示されるように，アスペクト比が 14 近くの場合，漸変流の水面形は，ほぼ水平な水面形を示しているが，不規則な波状水面が確認される．

Table1. Experimental conditions

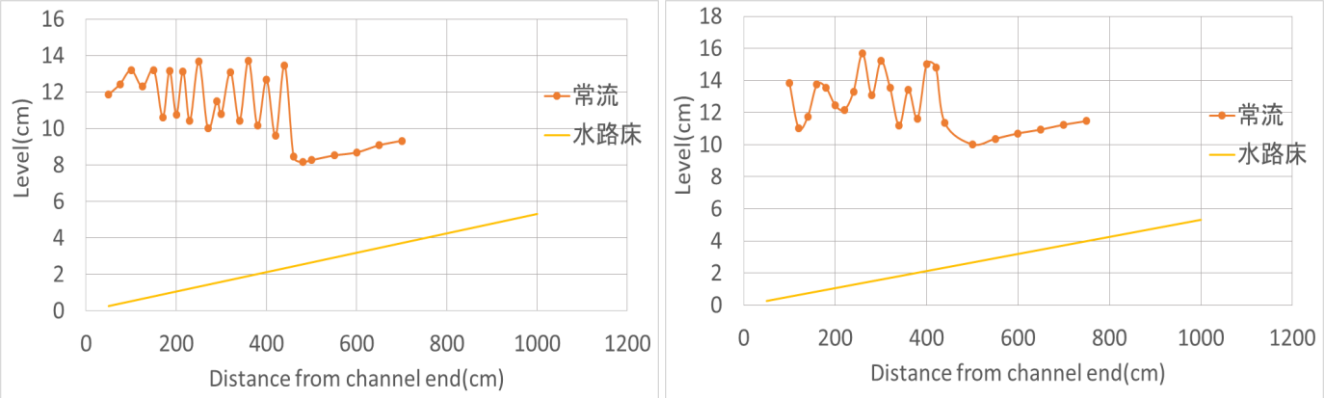
			限界水深hc(m)	水路勾配i	レイノルズ数Re	アスペクト比B/ho
case1	等流	限界勾配	0.0573	1/359	4.77×10^4	6.98
	漸変流(常流)	限界勾配	0.0573	1/359	4.77×10^4	6.98
	漸変流(常流)	限界勾配	0.0573	1/359	4.77×10^4	6.98
case2	等流	限界勾配	0.0573	1/363	5.04×10^4	13.96
	漸変流(常流)	限界勾配	0.0573	1/363	5.04×10^4	13.96
	漸変流(常流)	限界勾配	0.0573	1/363	5.04×10^4	13.96
case3	漸変流(常流)	急勾配	0.0699	1/189	6.00×10^4	8.76
case4	漸変流(常流)	急勾配	0.0749	1/188	6.04×10^4	12.46

１：日大理工・教員・土木　２：日大理工・学部・土木



a) Case1　　b) Case2

Figure1. Shape of water surface of gradually varied flow and uniform flow in critical slope



a) Case3　　d) Case4

Figure2. Water surface profile of transition from uniform to gradually varied flows in steep channel slope

Figure 2 に示されるように，限界勾配から急勾配に変化すると，等流から漸変流への遷移は射流から常流への遷移となり，波状跳水が形成される [6]．この場合，アスペクト比の大きさに関わらず下流側遠方まで波状水面が形成されている．これらの場合，等流中の乱流境界層が十分に発達しているため，水路の中央付近では波状水面が形成されているが，水路の壁面付近では波状水面がほとんど形成されていなかった [6]．

４．終わりに

限界勾配および急勾配水路における等流から漸変流へ遷移する流れの水面形について，異なる水路幅の水路を用いて実験的検討を行い，得られた結果を要約して以下に示す．

限界勾配水路における常流中の漸変流の場合，水面がほぼ水平であるものの，わずかながら不規則な波状水面が形成される．また，アスペクト比の大きさによって，波状水面の凹凸に違いがみられ，アスペクト比が大きい場合が小さい場合に比べて，側壁近くの流れの影響が水路中央部に及びにくくなり，水面の凹凸の水面差が大きくなった．また，限界勾配から急勾配に変化したばかりの急勾配においては，等流から漸変流に遷移すると，射流から常流へ遷移し，波状跳水が形成された．

５．参考文献

[1]大津岩夫・安田陽一編著，水理学　―適用のための理論―，理工図書，pp. 115-121，2013.

[2]岡本芳美著者，開水路の水理学解説，鹿島出版会，pp.85-91，1991.

[3]日野幹雄著者，明解水理学，丸善株式会社，p.160，1994.

[4]A. Osman Akan, Open Channel Hydraulics, Butterworth-Heinemann,pp.99-101,2010.

[5]Chyan-Deng Jan, Gradually-varied Flow Profiles in Open Channels, Advances in Geophysical and Environmental Mechanics and Mathematics, New York, Springer, 184 pages, 2014.

[6]Gotoh, H., Yasuda, Y., and Ohtsu, I., Effect of Channel Slope on Flow Characteristics of Undular Hydraulic Jumps, In River Basin Management III, WIT Transactions on Ecology and the Environment, pp. 33-42, 2005.