H3-12

- 様な急勾配水路における定常的な孤立波の形成に関する実験的検討

Experimental investigation on the formation of stationary solitary waves in uniform steep slope channels

○加藤拓磨1, 安田陽一2

*Takuma Kato¹, Youichi Yasuda²

Abstract: This report presents experimental results on the formation of stationary solitary waves in uniform steep slope channels. A stationary solitary wave is formed as a transition from supercritical through subcritical to supercritical flows by installing a local roughness sheet in a smooth channel. The effects of roughness height, roughness region, and uniform Froude number on the formation of a stationary solitary wave were discussed, and also different water surface profiles were shown. In addition, the water surface was measured at center line of channel.

1. はじめに

一般に、射流から常流に遷移する場合、射流のフルー ド数 Fr が1近くでは表面渦が形成されることなく定 常的な波状水面を呈した流況が形成されるようにな る.このような流況は,一般に波状跳水と呼ばれている. 波状跳水について,実験的・解析的な検討がなされて いる. 古典的な水面形の解析として, 跳水始端から一 波目の山頂部までを孤立波として,その山頂より下流 側では、クノイド波として解析している^{[1],[2]}. 最近で は, Schneider ら^[3]によって, Kdv 方程式を用いて波 状水面を解析し、実験結果との比較をしている. その 一方で,波状跳水の流況は射流のフルード数,レイノ ルズ数,アスペクト比,乱流境界層の発達状態によっ て異なり[4],[5],[6],解析解と対応する条件は限られてい る.開水路中に定常的な単独の波の形成は,常流中の 場合と射流中の場合は断面形状またはマウントを用 いることによって形成される.射流から常流を経て射 流へ遷移する場合に定常的な波を形成するためには, 底面の相当粗度が一定の場合,水路下流端で形成する

1	a	bl	le	1	. 1	£	xperi	imen	tal	c	on	li	tio	ns	
---	---	----	----	---	-----	---	-------	------	-----	---	----	----	-----	----	--

No.	Fo	xr/hr	B/hr	Slope	Re	sand no	smooth plate (mm)	enlarged roughness plate (mm)
1	1.086	10.85	8.86	1/291	86680	40	5	4.5
2	1.086	5.43	8.86	1/291	86680	40	5	4.5
3	1.086	5.43	8.86	1/291	86680	60	5	4.5
4	1.065	5.43	8.74	1/291	64280	40	5	4
5	1.110	5.51	8.99	1/275	64280	40	5	4
6	1.056	5.33	8.70	1/309	64280	40	5	4
7	1.056	5.33	8.70	1/309	64280	60	5	4
8	1.065	5.36	8.74	1/291	64280	60	5	4
9	1.110	5.51	8.99	1/275	62480	60	5	4
10	1.090	5.39	8.80	1/280	63720	40	5	4
11	1.074	5.38	8.79	1/287	63720	40	5	4

必要がある.急勾配等流中に形成させる場合には,水路の途中で相当粗度を大きくする必要がある.本実験では,急勾配等流中で射流から常流を経て射流へ遷移する場合を対象とした定常的な波の水面形状について検討する.

2. 実験方法

Table 1 に示す実験条件をもとで、実験は行われ,幅 0.80m,長さ 15.5m,高さ 0.60m を有する長方形断面急 勾配水路の途中に,幅 0.8m,長さ 1.0m,厚さ 5 mm の鉄板(滑面になるように表面加工)を計 6 枚,その 中間に相当粗度を大きくした鉄板を設置した(写真 1). この場合,JIS 規格で定めた No.40 および,No.60 の 布製サンドペーパー(Table 2 参照)を用いた.水中の 中でも剥がれにくいように、表面にスプレーのりで表 面仕上げ,2時間程度は維持できるようになった.設 置区間について,98cm および 49cm の2 種類につい て検討した.なお,流量測定は水路下流側に設置された 全幅刃型堰を用いた.また,水深測定にはポイントゲ ージを用いた.デジタルカメラで流況の記録を行った.

Table 2.Relationship betweenParticle No and roughness height

	Mesh size of	Residual rate		
Particle no	fifth sieve	of particle in		
	(last sieve)	fifth sieve		
30	500 µm	more than 92%		
40	300 µm	more than 96%		
50	250 μm	more than 96%		
60	212 µm	more than 92%		
80	150 μm	more than 96%		
100	125 um	more than 92%		

Sand cloth paper For first, second, and hird experiments Sand cloth paper For the other experiments Figure 1. Connection between smooth and roughness plates





1) No.1 (roughness region: 98cm) 2) No.5 (roughness region: 49cm)



3) No.8 (roughness region: 49cm)

Photo 1. Flow conditions of stationary single waves 1:日大理工・学部・土木,2;日大理工・教員・土木



8.5

500 606 200300 1) Water surface profile for No.5 2) Water surface profile for No.9

X1 (cm)







1) Water surface profile for No.4

8.5

8

2) Water surface profile for No.8

Figure 4. water surface profiles for Fr = 1.065 (Effect of relative roughness)

3. 急勾配等流水路中に形成される定常的な波の流況

急勾配等流水路中に形成される流況の一例を Photo 1に示す.写真に示されるように、水面の観察では水 面の凹凸は大きく見られない.このことから、定常的 な波がどのように変化するのかを明確にするために, 水面形状を測定することによって, 流入射流のフル・ ド数、レイノルズ数、アスペクト比、相対粗度(サン ドペーパーNo.), 粗度設置範囲に影響が示される.

4. 定常的な波の水面形の比較

与えられた流入射流のフルード数,レイノルズ数, アスペクト比,および相対粗度(サンドペーパーNo.) に対して, 粗度設置範囲の違いによる水面形の比較を Figure 2 に示す. 図に示されるように、粗度設置範囲 が大きくなることによって,常流区間が広がり,定常 的な波が複数にまたがる傾向となる. 与えられた流入 射流のフルード数、レイノルズ数、アスペクト比、お よび粗度設置範囲に対して,相対粗度(サンドペーパ –No.)の違いによる水面形の比較を Figure 3,4 に示 す. 図に示されるように、相対粗度が小さくなるにつ れて、波の山頂位置が下流側に後退し、波高が小さく なる. その傾向は, 流入射流のフルード数が小さくな るほど高くなる. なお, 実験 No.1,2,3 の場合, Figure 1に示されるように、滑面区間と粗度区間の天端の高 低差が他のケースに比べて大きいため,常流区間の水 位および波形が大きくなっている.

5. まとめ

急勾配等流中で射流から常流を経て射流へ遷移す る場合を対象とした定常的な波の水面形状について, 表1に示す実験条件のもとで検討した. 定常的な波の 水面形状に対する流入射流のフルード数、相対粗度 (サンドペーパーNo.), 粗度設置範囲の影響を明らか にし, その特徴の一例を Figure 2.3.4 に示した. 粗度 設置範囲が大きくなることによって, 常流区間が広が り、定常的な波が複数にまたがる傾向となる.相対粗 度が小さくなるにつれて, 波の山頂位置が下流側に後 退し、波高が小さくなる. その傾向は、流入射流のフ ルード数が小さくなるほど高くなる.

Xa. (cm)

664

500

6. 参考文献

1) Andersen, V. M., Journal of Hydraulic Division, American Society of Civil Engineers, Vol.104, No.8, pp.1185-1188, 1978. 2) Iwasa, Y., Proc., 5th Japan National Congress for Appl. Mech., Paper II-14, Japan, pp.315-319, 1995.

3) Grillhofer, W., and Schneider, W., Physics of Fluids 15, pp. 730-735, 2003.

4) Ohtsu, I., Yasuda, Y., Gotoh, H., and Iahr, M., Journal of

Hydraulic Research, IAHR, Vol.39, No.2, pp.203-209, 2001.

5) Ohtsu, I., Yasuda, Y., and Gotoh, H., Journal of Hydraulic

Engineering, ASCE, Vol. 129, No.12, pp. 948-955, 2003.

- 6) Gotoh, H., Yasuda, Y., and Ohtsu, I., Transactions on Ecology and the Environment 83, WIT, Southampton, pp. 33-42, 2005.
- 7) Schneider, W., and Yasuda, Y., Stationary Solitary Waves in Turbulent Open-Channel Flow: Analysis and Experimental Verification, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, to be published, approved on April 23th 2015.