

一様な急勾配水路における定常的な単独の波の形成に関する実験的検討

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

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 ○加藤拓磨

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

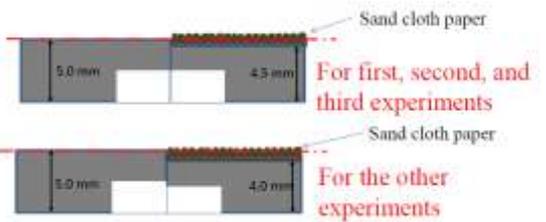
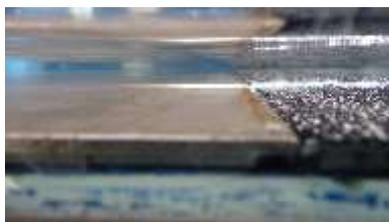
表 1 に示す実験条件をもとで、実験は行われ、幅 0.80m、長さ 15.5m、高さ 0.60m を有する長方形断面急勾配水路の途中に、幅 0.8m、長さ 1.0m、厚さ 5 mm の鉄板（滑面になるように表面加工）を計 6 枚、その中間に相当粗度を大きくした鉄板を設置した（写真 1）。この場合、JIS 規格で定めた No.40 および、No.60 の布製サンドペーパー（表 2 参照）を用いた。水中の中でも剥がれにくいように、表面にスプレーのりで表面仕上げ、2 時間程度は維持できるようになった。設置区間について、98cm および 49cm の 2 種類について検討した。なお、流量測定は水路下流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

表 1 実験条件

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

表 2 サンドペーパーの番号と粗さとの関係 (JIS 規格)

Particle no	Mesh size of fifth sieve (last sieve)	Residual rate of particle in 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 μm	more than 92%



1) プレート全体

2) 滑面と粗面との接続状態

図 1 滑面と粗面との接続状態の詳細図

写真 1 水路にプレートを設置した状態



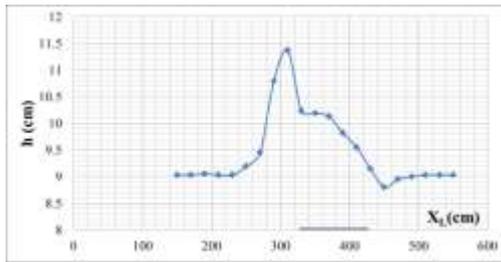
写真 2 No. 1 の流況 (粗度区間 98cm)

写真 3 No. 5 の流況 (粗度区間 49cm)

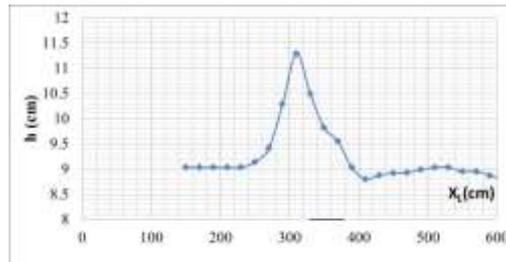
写真 4 No. 8 の流況 (粗度区間 49cm)

キーワード：孤立波、波状跳水、開水路流、定常流、局所流

連絡先：〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8-14, TEL:03-3259-0409, E-mail:yokyas@civil.cst.nihon-u.ac.jp

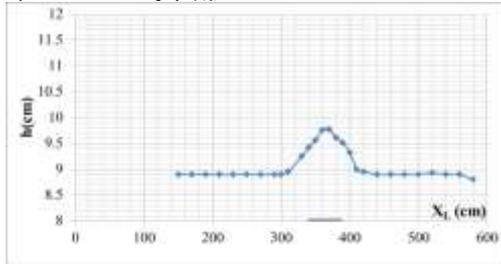


1) No. 1 の水面形

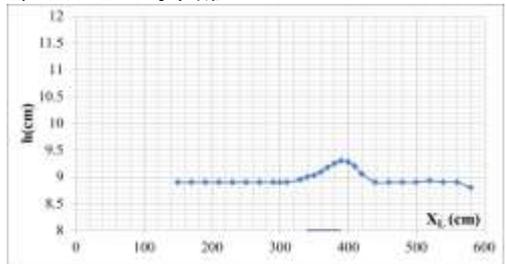


2) No. 2 の水面形

図2 $Fr = 1.086$ の水面形の比較 (粗度設置範囲の影響)

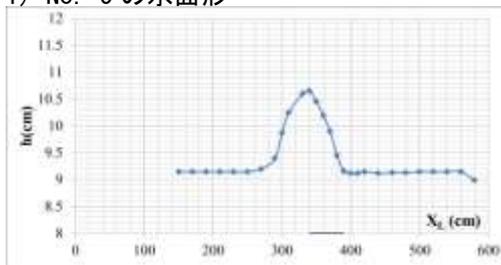


1) No. 5 の水面形

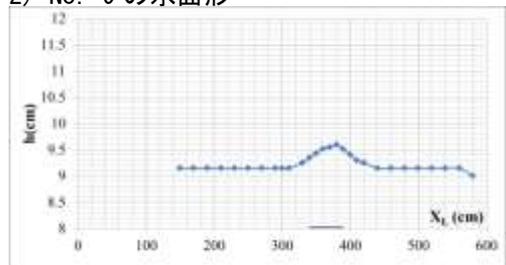


2) No. 9 の水面形

図3 $Fr = 1.10$ の水面形の比較 (相対粗度の影響)



1) No. 4 の水面形



2) No. 8 の水面形

図4 $Fr = 1.065$ の水面形の比較 (相対粗度の影響)

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写真 2, 3, 4 に示す。写真に示されるように、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、流入射流のフルード数、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図 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 (サンドペーパーNo.) の違いによる水面形の比較を図 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、図 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、その特徴の一例を図 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。

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.