

神戸大学都市安全研究センター 正会員 藤田一郎
 神戸大学工学部建設学科 学生員 ○丸山達弥

1. はじめに

水路床にトレンチなどの凹部を設置した開水路流れは、流入流量・勾配・凹部形状などによって様々な流れの状況を呈する。また、水理的にみても、剥離せん断層の発達や、組織渦の発生・発達・崩壊、あるいは逆流域、死水域の存在といった複雑な乱流場を形成しており、興味深い局所流であるといえる。このようなトレンチ流れに関する既往の研究¹⁾²⁾では、水面の大きな変形を伴わない流れが対象とされている。本研究では、トレンチ形状を非対称とした場合に生じる水面の変形を伴う流れに着目する。そこで、水路床の全幅にわたって凹部が存在する開水路流れの実験を行い、トレンチのアスペクト比などの変化に対する水路内の流動特性に関して検討した。

2. 実験概要

使用した実験水路は全長 7.5m、幅 30cm の可変勾配型循環式直線水路であり、幅 30cm、長さ 2m、厚さがそれぞれ 1cm と 0.5cm の 2 種類の塩ビ板を水路底面に敷き重ねることによって、数種類のトレンチ部形状を作成した。

非対称トレンチ部の流況の模式図を図-1 に示す。ここで、 Z_u : 上流側の段高さ、 Z_d : 下流側の段高さ、 h_1 : 上流水深、 h_2 : トレンチの上流端での水深、 h_3 : 剥離後跳水が起こるまでの水深、 h_4 : 下流水深、 L_1 : トレンチ長、 L_2 : トレンチの上流端から跳水までの距離である。また、表-1 には水理条件を示す。ここで Fr_1 は h_1 の測定地点におけるフルード数である。実験はトレンチ長 L_1 を 0cm から徐々に大きくしていき、最終的には落差のさらに大きな段落ち流れとなるようにした。

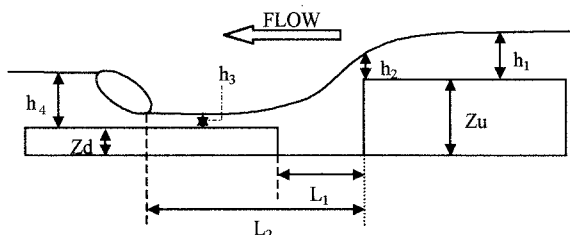


図-1 非対称トレンチ部の流況

表-1 水理条件

CASE	勾配 i	流量 $Q(m^3/s)$	$Z_d(cm)$	$Z_u(cm)$	Fr_1
B5_DIU2	1/500	5.0×10^{-3}	0.5	2.0	0.91
B5_DIU3	1/500	5.0×10^{-3}	0.5	3.0	0.95
B5_DIU4	1/500	5.0×10^{-3}	0.5	4.0	0.84
B5_DIU5	1/500	5.0×10^{-3}	0.5	5.0	0.97
B5_DhU3	1/500	5.0×10^{-3}	1.0	3.0	0.86
B5_DhU4	1/500	5.0×10^{-3}	1.0	4.0	0.90
A3_DhU2	1/1000	3.0×10^{-3}	1.0	2.0	0.81
C3_DhU2	1/250	3.0×10^{-3}	1.0	2.0	1.28
B10_DhU3	1/500	10.0×10^{-3}	1.0	3.0	1.02

3. 実験結果および考察

実験結果から、トレンチ長 L_1 を徐々に大きくしていくに従って、 L_2 が短くなることがわかった。これはトレンチ内部でのエネルギー散逸量が L_1 に伴って大きくなり、下流側水深 h_3 が増大した結果、跳水後の共役水深が減少したためである。すなわち、下流側ではせき上げ背水となっているために、共役の関係が成立する地点が h_3 の増大に伴って上流側へ移行したことが要因である。さらに L_1 を増大させると、ある限られた範囲で跳水が非常に規則的な振動を起こすようになり、それを過ぎると振動は再び定常状態に戻ることも確認された。これらの現象はどのケースにおいても同様に起こっていた。B5_DhU3 の場合における、この一連の現象の模式図を図-2 に示す。

ここで、 L_1 の増加に対する各諸量の変化の関係を調べるため、 $L_1=0(\text{cm})$ の状態での L_2 の値を $L_{\max}$ 、 h_3 の測定地点におけるエネルギーを E_0 として、それぞれの変化量 ΔL_2 、 ΔE_3 に着目する。ここに ΔL_2 、 ΔE_3 は、 $L_1=X(\text{cm})$ のときの L_2 を L_X 、エネルギーを E_X とすると、次式のように表せる。

$$\Delta L_2 = L_{\max} - L_X \quad (1)$$

$$\Delta E_3 = E_0 - E_X \quad (2)$$

また、B5 のケースにおける L_1/h_1 の値を横軸に、 ΔE_3 を $\Delta Z(=Zu - Zd)$ で無次元化した値を縦軸にとってプロットしたものを図-3に示す。図-4には横軸を同様に設定し、縦軸に $\Delta L_2/h_4$ をとったものを示している。この2つのグラフをみると、どちらも L_1/h_1 が2を過ぎたあたりから ΔE_3 、 ΔL_2 ともに急激な増加傾向を示しており、しかもその増大傾向には相似性が見られるのがわかる。図-5には $\Delta L_2/h_4$ と $\Delta E_3/\Delta Z$ との関係を示す。これから、値に多少のばらつきがあるものの、両者には以下に示す線形関係が成立していることがわかる。

$$\frac{\Delta E_3}{\Delta Z} = 0.0646 \frac{\Delta L_2}{h_4} \quad (3)$$

このように、 L_1 の増加に伴ってエネルギー損失が生じるのは、 L_1 の増大によってトレンチ内の逆流域の規模が増し、それに伴ってエネルギーの散逸が活発に行われたためと考えられる。

4. おわりに

本研究では、開水路トレンチ流れの実験を行い、それを一次元的に解析した。その結果、トレンチ長の増大に伴って跳水位置が上流側に移動する現象が、トレンチ内のエネルギー損失に起因していることを明らかにした。また、そのエネルギー損失量と跳水の移動量との間には強い相関があることを示した。今後は勾配、流量などをさらに変化させ、さまざまな凹部形状について解析を行い、その流況の変化について検討する必要がある。

参考文献

- 1) 藤田正治，道上正規，檜谷治：トレンチ内の流れと浮遊砂濃度分布の数値シミュレーション，水工学論文集第35巻，pp.377-382，1994。
- 2) 藤田一郎，神田徹ら：開水路凹部流れのPIVおよびLESによる乱流解析，土木学会論文集，No.539/II-35,pp.79-88,1996。

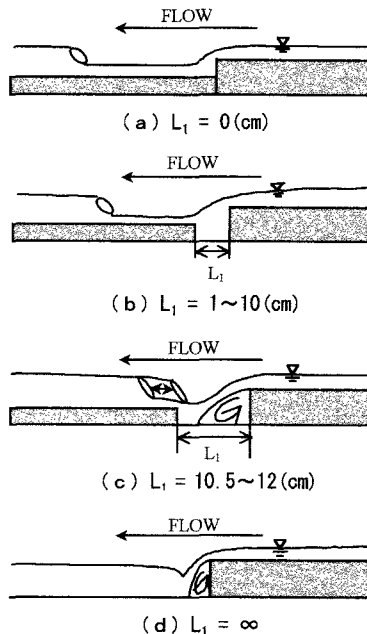


図-2 流況概略図 (B5 DhU3)

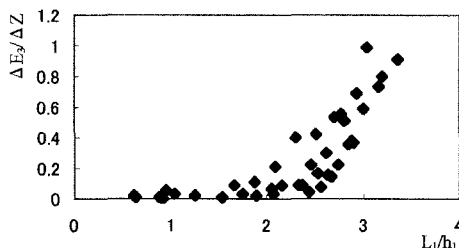


図-3 L_1/h_1 と $\Delta E_3/\Delta Z$ の関係

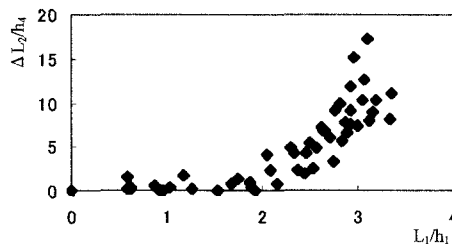


図-4 L_1/h_1 と $\Delta L_2/h_4$ の関係

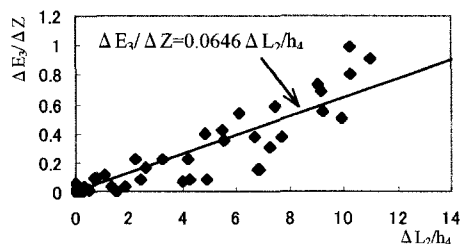


図-5 $\Delta L_2/h_4$ と $\Delta E_3/\Delta Z$ の関係