# 段落ち流れの剥離領域における流れの構造に関する研究

徳山工業高等専門学校専攻科	学生会員	○松下	悠太
徳山工業高等専門学校	正会員	渡辺	勝利
徳山工業高等専門学校	正会員	佐賀	孝徳

### 1. はじめに

段落ち流れは、再付着点を伴う剥離流れの典型例であり、 河川における落差工などに見られる.実際の河川の段落ち 部には、出水後に図-1に示すような被災が見られる.①、 ②は空積み護岸の一部が吸い出され崩壊している.この崩 落を放置すれば空積み護岸は崩壊する危険性がある.③、④ はコンクリート護岸の底面隅角付近の被災事例である.こ こでは、表面が削られたような形跡が認められる.

このような段落ち部の被災を防止するには,流れの詳細 な構造の解明が必要である.段落ち流れの特性に関する研 究は,実験<sup>1)</sup>および数値計算<sup>2)</sup>によって進められているが, それらは,流路の中央部の流れ場においてなされており,壁 近傍の流れや剥離領域に注目した研究は非常に少ない.

以上のことを踏まえて、本研究では、段落ち流れの剥離領 域における流れの構造の特徴の解明を目的として、流速計 測法を用いて検討した.

## 2. 実験装置および方法

本実験には、図-2 に示した幅 40cm,長さ 9m,高さ 25cm の透明アクリル樹脂板製の滑面湾曲開水路を用いた.本水 路の壁面上に厚さ(h)4cm の塩ビ樹脂板を水路の最上流端か ら 1m 下流まで設置し、その下流端を段落ち流れとして取り 扱った.水路の上流端には径 4mm,厚さ 3.2cm,幅 40cm, 高さ 25cm のハニカムを整流装置として設置した.また、水 路の下流端には水路調整用の堰を設けた.図-3 には段落ち 部水路形状および座標系を示している.

実験では、PTV(Particle Tracking Velocimetry)による流速 計測を行った. PTV においては、トレーサーとして微細粒子

(平均粒径 150µm, 比重 1.04),照明としてレーザースリッ ト光膜(厚さ 1mm)を用いた.この微細粒子を混入した水 溶液を上流端から流れに連続に連続的に注入した. 混入し た粒子が流れ場に一様に拡散したことを確認した後,流れ の縦断面,水平断面におけるトレーサー粒子の流動状況を ハイスピードカメラ(DITECT LHA1)で,1秒間に 200枚

キーワード 段落ち流れ,剥離領域,渦構造,PTV 連絡先 〒742-8585 山口県周南市学園台 TEL0834-29-6326



図-1 河川段落ち部被災事例





図-3 水路横断面形状

で30秒間に亘って撮影した.

PTV の解析においては、その粒子画像(1280×720 ピクセル)を連続的にコンピューターに取り込んだ. 画像データを取り込み後,「Flow PTV」((株)ライブラリ)を用いて, 瞬時流速成分を求め, それらについて統計処理を行うことによって平均流速分布を求めた.

## 3. 実験結果および考察

図-4 には z=6.0cm の場合の分布を示している. 水表面側 は高速で底壁面側は低速で顕著な逆流域となっていること が明らかである.図-5 には、同位置における瞬時の流速べ





図-5 瞬間主流速ベクトル分布 (u,v)(T=2s)



図-8 段落ち剥離領域の流れ構造の概念図

クトルを示している.これより,鉛直断面内には,赤線で囲 んで示すような時計方向に回転する単数または複数の旋回 流が形成されることが明らかである.

図-6 では、底壁からの高さ y=15mm における主流速の 水平断面分布を示している.これより、この高さでの主流速 は大部が逆流であるが、側壁近傍では順流の存在が確認さ れ、その流下方向への分布範囲が段落ち高さの 2 倍程度で あることが明らかになった.図-7 は、同断面における瞬時 流速ベクトルである.これより、側壁と段落ちの隅角付近に 形成される反時針方向の旋回流による順流と逆流が衝突し 対岸方向の流れが形成されていることが注目される.これ は側壁面を引き剥がす力となって作用し護岸内部の土砂が 排出され図-1 の①、②のような損傷が発生すると考えられ る.また上流から流下してきた土石が旋回流内に入ると回 転運動により重い石が外側へ跳ね飛ばされ図-1 の③、④の ようなコンクリートが削られる損傷が生ずると考える.

図-8 では、上述の検討事項をまとめて段落ち部剥離領域 の流れの構造に関する概念図を示した. 段落ち部には水表 面側の高速域と底壁面側の低速部の速度差によって、横断 面方向に有する時針方向に回転する旋回流が形成される. これは横断方向に連続した渦構造となって流れ場に形成さ れると考えられる.また、底壁面上の顕著な逆流の一部は段 落ち部まで到達、衝突後左右に流向を変え、一方は側壁に沿 って順流に変化する.この過程で鉛直方向に軸を有する反時針方向の旋回流が形成される.また,一方の対岸方向の流 れによって時針方向の旋回流が形成される.これらは鉛直 方向に薄い扁平な渦構造を呈すると考えられる.

### 4. 結 論

(1) 主流速鉛直断面分布から,段落ち剥離領域には順流と 顕著な逆流が共存しており,横断方向に軸を有する旋回流 の存在が見出され,渦構造の存在が示唆された.

(2) 主流速水平断面分布からは、段落ち部の側壁付近には、 段落ち高さの4割程度の範囲で局所的な順流領域が形成さ れることが見出された.これは、顕著な逆流域が段落ち部に 衝突することによって発生する旋回流に起因しており、実 河川の被災状況との相互関係が推察された.

(3) 得られた知見を総合し、段落ち部剥離領域に関する流れの概念図を示した.

#### 参考文献

1) Nakagawa, H., Nezu, I.: Experimental investigation on turbulent structure of backward facing step flow in open-channel flow, *J.Hydr Res*, Vol.25, No.1, pp.67-88, 1987.

2) Eaton, J.K., Johnston, J.P.: Low frequency unsteadiness of reattaching turbulent shear layer, *Turbulent Shear Flows*, Springer-Verlag, Vol.3, pp.162-170, 1982.