

わんどの開口部制御による土砂堆積抑制に関する研究

指導教員 富永晃宏 教授

1.はじめに 近年、環境に配慮した河川の改修が行われており、その一環で多種の生物生息を目的としたわんどの造成が多く行われている。しかし、人工的に作られたわんでは維持管理についての検討が十分になされているとは言い難く、洪水時等の土砂堆積によってわんどが埋没し機能を失うことがしばしば起こる。2008年3月に矢田川右岸(2.2k+60km)の直線河道に人工的につくられた「矢田川子どもの水辺わんど」(以下矢田川わんど)の施工が完了した。この人工わんどは開口部が広い台形型をしており、施工直後から著しい土砂堆積が見られた。また2008年8月の大規模な出水によりわんど上流側開口部が閉塞した、土砂による埋没の恐れがある。そこで本研究では、矢田川わんどをモデルとした実験水路を用いて、土砂のわんど内への進入を抑制する方法として、本川とわんどの境界に遮蔽物を置き、土砂堆積抑制効果の違いを明らかにすることを目的とした。

2.実験条件 実験に使用した実験水路は、全長6mの塩ビ製長方形断面水路で、15cm幅の本川の右岸にブロックを置き図-1で示す上流45度、下流30度の台形型わんどを水路の上端から3mに形成した。また模型は矢田川わんどの歪模型であり、水平縮尺1/234、鉛直縮尺1/20とした。実験で再現する主要な諸元の一覧を表-1に示す。現地と模型の相似にはフルード相似則を用いた。図-2は実験ケースを示す。遮蔽物には一辺1.5cmの鉄の角棒を用いて、遮蔽物は全てわんど内に納まるようにした。case6は高さ3cm、長さ20cmの遮蔽物を上流側と下流側にそれぞれ置いた。case8は高さ3cm、直径0.5cmの円柱の木を1.5cm間隔で置いた。流速計測にはI型電磁流速計(KENEK)を用い、主流方向流速と横断方向流速に底面から1.5cmと4.5cmの2断面を計測した。サンプリング周波数は100Hzで40秒間計測した。流砂堆積実験は一樣砂と混合砂で行った。一樣砂には6号砂を3kg、混合砂には6号砂と8号砂を3kgずつ混ぜたものを使用した。6号砂は $d_{50}=0.30\text{mm}$ 、8号砂は $d_{50}=0.13\text{mm}$ である。250lの水を貯めた貯水槽に砂を入れ、攪拌した状態でポンプにより2時間循環させた。実験終了後に、河床形状をレーザー距離計により計測し、わんど上下流端を結んだ境界でわんどと本川に分け、それぞれに堆積した砂を集め、乾燥させたものの重さを量った。また混合砂ではふるい分けも行った。ふるい分けでは0.21mmのメッシュを通過したものを8号砂、通過しなかったものを6号砂とした。

3.実験結果 図-3にcase1のわんど内流速ベクトル、図-4にcase1の境界部($y=15\text{cm}$)の横断流速を示す。本川との境界部からわんど内に流れが入り込み、わんど

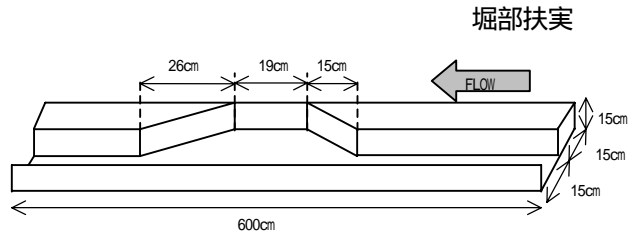
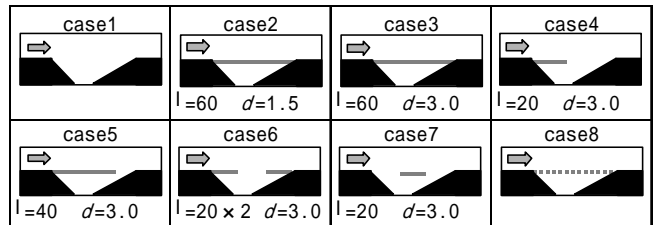


図-1 実験水路

表-1 模型再現諸元

諸元		矢田川	実験水路	備考
河川地形	河床勾配 I	1/856	1/800	再現不可
	河川幅 B	35m	15cm	地形測量結果を再現
流量 Q		$75\text{m}^3/\text{s}$	$3.6\text{l}/\text{s}$	フルード相似則より設定
水深 h		1.5m	7.5cm	
河床材料	本川 d_{50}	2.83mm	6, 8号砂	現地粒度を考慮し設定
	わんど d_{50}	1.25mm		



d : 遮蔽物の高さ(cm), l : 遮蔽物の長さ(cm)

図-2 実験ケース

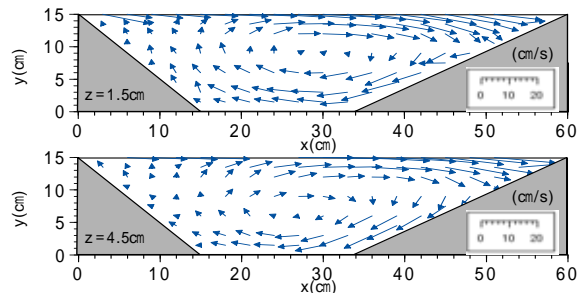


図-3 流速ベクトル (case1)

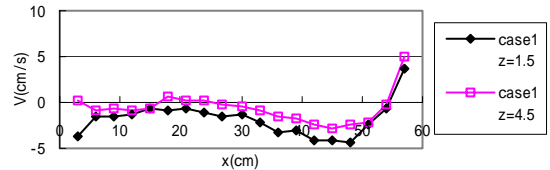


図-4 横断流速縦断方向分布 ($y=15\text{cm}$)

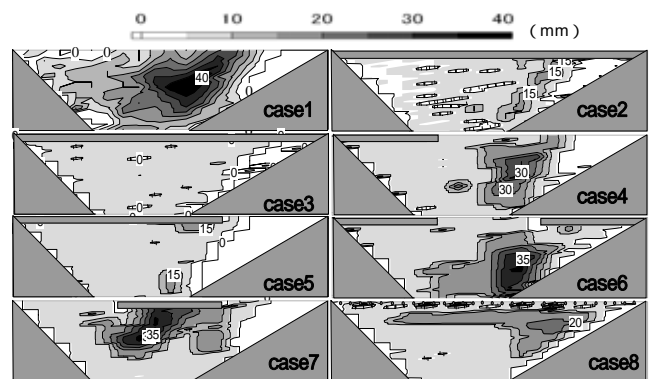


図-5 堆積形状 (混合砂)

内全域で平面渦がみられる。z = 4.5cm も z = 1.5cm 同様に平面渦が見られるが流れがやや弱い。また図 - 4 で示すように下流側からの入り込みが強く、また z = 1.5cm の方が入り込みが強いことが分かる。図 - 5 は全ケースの混合砂の堆積形状を示す。case1 はわんど全域で堆積し、堆積高は全ケースの中で最も高い 40mm にもなり、遮蔽物を置いたケースは土砂堆積抑制に効果があることが分かる。これらの遮蔽物によるわんどへの堆積抑制効果を評価するため、わんど内に堆積した流量を面積で割った平均堆積質量を使用した。図 - 6 は全ケースの平均堆積質量を示し、混合砂に含まれる 6 号砂と 8 号砂の平均堆積質量も示す。また図 - 7 は混合砂に含まれる 6 号砂と 8 号砂の割合を示す。図 - 7 が示すように、わんど内に堆積した砂の 7 割以上が 8 号砂で占められている。これは 8 号砂が掃流砂及び浮遊砂としてわんど内に堆積したためである。図 - 6 で示す 6 号砂のみと混合砂で値が異なるのは 8 号砂の影響であると考えられる。図 - 6 より、全ケースの中で case3 が最も小さく、土砂堆積抑制の効果が高い。しかし、開口部全面に高い遮蔽物を置いたため、わんどの定義である「平水時において流水域に開口部を有する」の条件を満たさない。このため平水時の水深 2.5cm に開口部を有する他のケースで土砂堆積抑制効果を比較すると、6 号砂のみでは case2、混合砂では case5 が最も効果が高い。さらに、この 2 ケースを比較するために平均堆積質量だけではなく、わんどの水理的課題を用いて比較を行う。水理的課題には以下の 5 つが挙げられる。

- わんどに堆積する土砂量を最小限にする
- わんどでの局所洗掘を抑制する
- わんどの存在による水深の増加を予測し対策する
- わんど内静隠域を確保する
- わんど内の水質悪化を防止する

は平均堆積質量ですでに比較したため、と で比較を行う。を評価するため、水交換を示す指標として、わんどの上下流端を結ぶラインを境界面とし、この面における式(1)¹⁾で定義された質量交換率 M を使用した。

$$M = \frac{1}{\rho U_{max} L} \int_0^L \rho |\tilde{v}| dx \quad (1)$$

ここに ρ : 水の密度 (g/cm³), U_{max} : 最大主流速 (cm/s), L : 開口部長 (cm), \tilde{v} : 瞬間横断流速 (cm/s) となる。値が大きいほど水交換が活発であることを示す。を評価するため式(2)のわんど内の平均合成流速を用いた。

$$Ua = \sum_{i=1}^n \sqrt{U^2 + V^2} / n \quad (2)$$

表 - 2 ケースの分類

遮蔽物高さの違い		遮蔽物長さの違い		遮蔽物形状の違い		遮蔽物の配置の違い			
case	d / h	case	l / L	case	a / A	case	配置位置 x	case	配置位置 x
1	0	1	0	1	0	4	0 ~ 20 (cm)	5	0 ~ 40 (cm)
2	0.2	3	1	3	0.4	7	20 ~ 40 (cm)	6	0 ~ 20 (cm)
3	0.4	4	0.33	8	0.1	-	-	6	40 ~ 60 (cm)
-	-	5	0.67	-	-	-	-	-	-

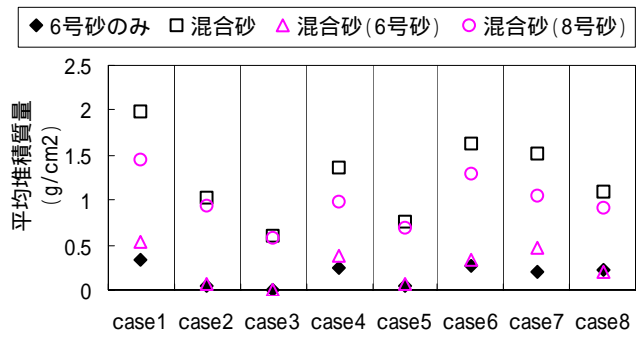


図 - 6 わんど内平均堆積質量

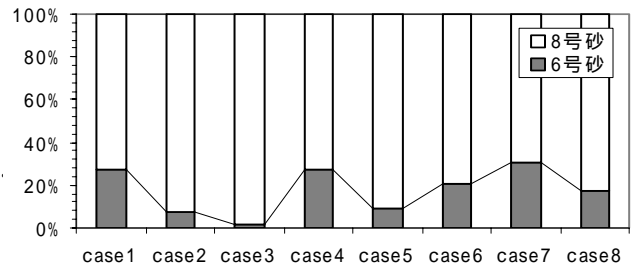


図 - 7 わんど内堆積量割合



図 - 8 質量交換率

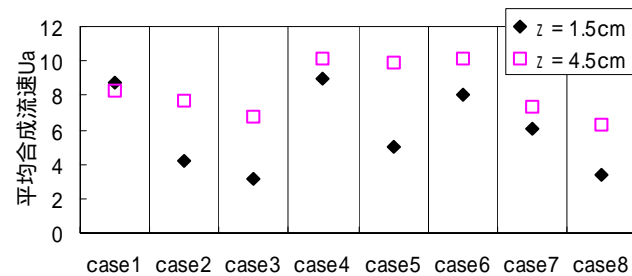


図 - 9 平均合成流速

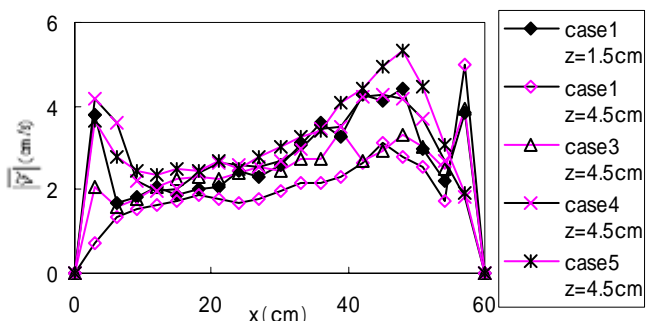


図 - 10 境界面での $|\tilde{v}|$

ここに U : 時間平均主流速 (cm/s), V : 時間平均横断流速 (cm/s), n : 計測点数となる。値が小さいほど静穏域が広いことを示す。図 - 8 に全ケースの質量交換率, 図 - 9 に平均合成流速を示す。この2つを比較すると質量交換率では case5, 平均合成流速では case2 が良い結果となり, どちらが最も適しているかを判断できない。さらに, 全ケースを表 - 2 に示すように「遮蔽物高さの違い」「遮蔽物長さの違い」「遮蔽物形状の違い」「遮蔽物の配置の違い」の4つに分類し比較した。ここに h : 水深 (cm), L : 開口部の幅 (cm), a : 遮蔽物の面積 (cm²), A : 開口部の面積 (cm²) を示す。図 - 10 は境界部面での \overline{v} を示す。

(1) 遮蔽物高さの違い 図 - 11 に x 軸を d/h (遮蔽物高さ / 水深) とした平均堆積質量, 質量交換率, 平均合成流速の値を示す。平均堆積質量では, 遮蔽物が高くなるにつれて値が小さくなる。また case2, 3 では 6 号砂の堆積がほとんどみられない。質量交換率では, case1 は $z = 1.5\text{cm}$ が $z = 4.5\text{cm}$ の値より大きい。これは図 - 10 で示すように $z = 1.5\text{cm}$ の方が下流からの入り込みが強く, 値が大きく出ているためである。 $z = 4.5\text{cm}$ では遮蔽物が高くなるにつれて値も大きくなる。平均合成流速では, 遮蔽物が高くなるにつれて値が小さくなっている。これは遮蔽物が高くなるにつれてわんど内に入り込む本川の流れを遮蔽物が抑制するためである。また, 全面遮蔽のため遮蔽物が高くなるにつれて底面付近のわんど内の流れはなくなり淀んだようになる。以上のことから, 遮蔽物が高くなるほど水面付近の水交換は活発となり, 静穏域は広がる。また, わんど内への砂の堆積を抑制することができる。しかし遮蔽物が高いと遮蔽物がある高さまで水交換が行われなく, わんど内へ堆積する砂は粒径の細かい砂が支配的となる。

(2) 遮蔽物長さの違い 図 - 12 に x 軸を l/L (遮蔽物の長さ / 開口部長さ) とした平均堆積質量, 質量交換率, 平均合成流速の値を示す。平均堆積質量では, 遮蔽物が長くなるにつれて値は小さくなる。また, case2, 3 と同様に case5 もわんど内に 6 号砂の堆積がほとんどみられない。質量交換率では, $z = 1.5\text{cm}$ では遮蔽物が長くなるにつれて値が大きくなる。 $z = 4.5\text{cm}$ では case5, 4, 3, 1 の順で値が小さくなる。これは図 - 10 が示すように case4, 5 では開口部が下流にあるため, 本川からの強い入り込みを妨げることなくわんど内へ流れを導けたのに対し, 全面に遮蔽物を置いた case3 では下流からの入り込む流れを妨げたためである。平均合成流速では, $z = 4.5\text{cm}$ では一部に開口部がある場合は遮蔽物が無い場合より値が大きくなる。これは, 一部に開口部があると質量交換率と同様に, 開口部から本川の強い入り込みがあるためである。以上のことから, 遮蔽物が長くなるほど水交換は活発となり, 底面付近では静穏域が広がる。また, わんど内への堆積も抑制される。しかし, 水面付近では遮蔽

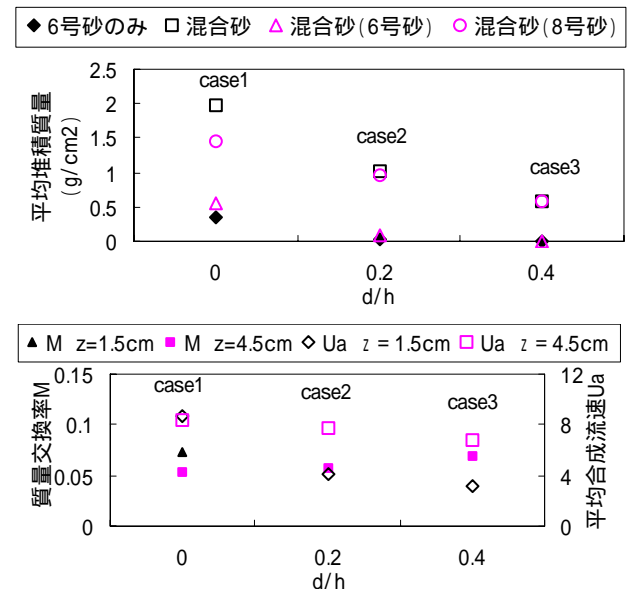


図 - 11 遮蔽物高さの違いによる比較

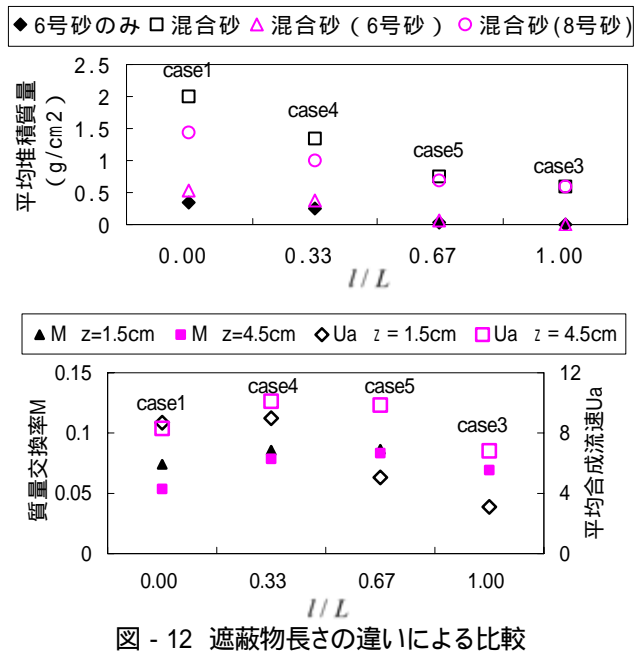


図 - 12 遮蔽物長さの違いによる比較

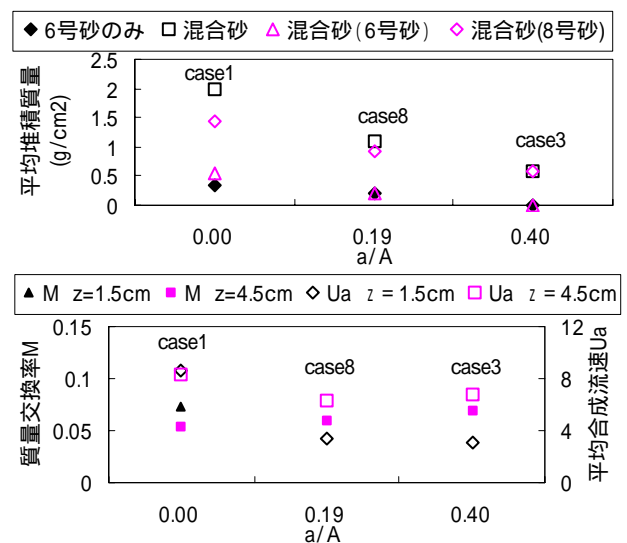


図 - 13 遮蔽物形状の違いによる比較

し物がない場合より静隠域は狭くなる．また，遮蔽物がしすぎるとわんどに堆積する砂は粒径の細かい砂が支配的となる．さらに本川への堆積を助長する恐れがある．

(3) 遮蔽物形状の違い 図-13にx軸を a/A (遮蔽物面積 / 開口部面積) とした平均堆積質量，質量交換率，平均合成流速の値を示す．平均堆積質量では，遮蔽物の面積が広くなるにつれて値が小さくなる．質量交換率では， $z = 4.5\text{cm}$ では遮蔽物の面積が広くなるにつれて値が大きくなる．平均合成流速では， $z = 1.5\text{cm}$ では遮蔽物の面積が広くなるにつれて値が小さくなる． $z = 4.5\text{cm}$ では case8 の値が最も小さくなり，全8ケースの中で最も小さい値となる．これは，case8 が遮蔽物を置くことによってわんど内の流れを弱めることができたためである．以上のことから，水交換，静隠域の広さ，堆積の抑制の全ての面において全面遮蔽が最も適しているが，case8 のように間隔をあけて全面に遮蔽物を置いても遮蔽物が無い場合より静隠域の広さ，堆積の抑制の面では効果が見られる．しかし，水面付近の水交換では遮蔽物が無い場合との違いはあまり見られない．

(4) 遮蔽物の配置の違い 配置の違いは流れ構造に大きな影響を与えるため，図-14~16に case6, 7, 4 の流速ベクトルを示す．また図-17には case4 の境界部 ($y = 15\text{cm}$) の横断流速分布を示す．平均堆積質量では，case4 と case7 では大きな違いが見られなかった．また case6 のように中央に開口部を設けると値が大きくなる．case6 で値が大きくなったのは図-14で示すように，中央に開口部を設けるとわんど内に強い循環流が発生するためと考えられる．質量交換率では，case7 は他のケースと違い $z = 1.5\text{cm}$ が $z = 4.5\text{cm}$ より小さく，case1 の $z = 1.5\text{cm}$ より小さい．これは図-15で示すように $z = 1.5\text{cm}$ では下流からの入り込みが弱いためである．平均合成流速は， $z = 4.5\text{cm}$ では底面でわんど内の循環流が顕著にみられる case4, 7 の値が大きくなる．これは水面の流れが底面の流れの影響を強く受けているためである．特に case4 は $z = 1.5\text{cm}$ 4.5cm とともに case1 より値が大きくなった．これは図-16~17で示す case4 の流速ベクトルと横断流速から分かるように， $z = 4.5\text{cm}$ ではわんど内へ入り込む流れが case1 より強いためである．以上のことから，中央に遮蔽物を置くと水面付近の水交換は活発となり，静隠域が広がる．また，わんど内への砂の堆積も抑制することができる．しかし，中央に遮蔽物を置くと底面付近の水交換は悪くなる．また，下流側に遮蔽物を置くと水交換は悪くなり，中央のみ開口部を設けると静隠域は狭くなる．また，上流側へ遮蔽物を置くと砂の堆積を抑制することができる．

3. おわりに 本研究で開口部に設置する遮蔽物の高さ，長さ，形状などがわんど内におよぼす影響には規則性が見られたが，最も適していると言えるケースを見つけることは出来なかった．しかし，case2 のように開口部全面

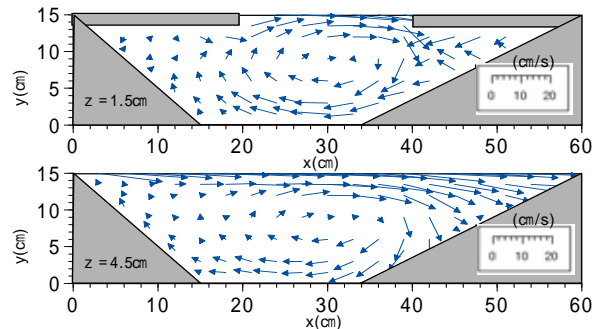


図-14 流速ベクトル (case6)

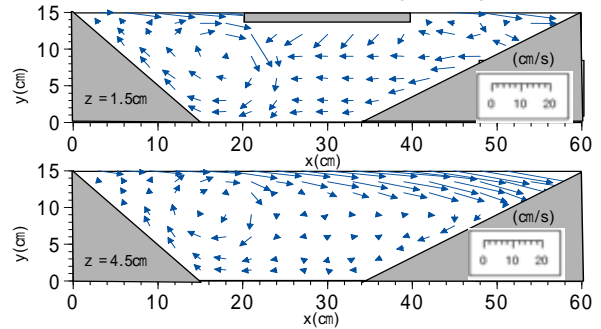


図-15 流速ベクトル (case7)

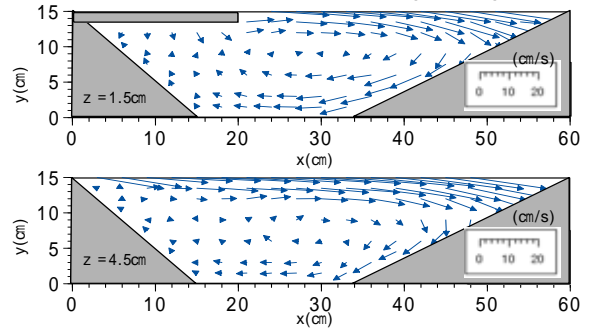


図-16 流速ベクトル (case4)

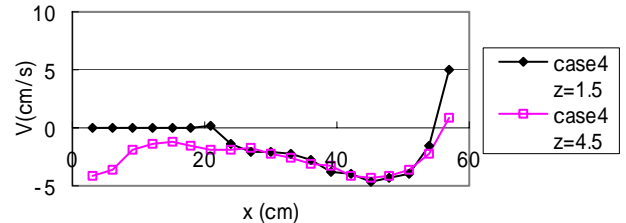


図-17 横断流速縦断方向分布 ($y = 15\text{cm}$)

に遮蔽物を置くことは湧水などで川の水位が下がった時にわんどとしての機能が満足されないと考えられる．したがって，case5 の方が対策として適していると言えるのではないだろうか．また，case5 のように下流に開口部を設けたケースでは，本川からの強い入り込みにより下流壁面付近に洗掘域がみられた．そのため下流側の壁面の強化が必要とされる．今後は，わんど内への土砂の堆積量などの維持管理の観点からだけでなく，生物の多様な生息・生育環境を確保するわんど内の環境の多様性を評価することも必要である．

参考文献

- 1) 瀬津家久・鬼束幸樹・池谷和哉・高橋俊介：わんど形状が河川に及ぼす影響に関する水理学的研究，応用力学論文集，vol.3，2000