

複断面蛇行流れに及ぼす 堤防と低水路の蛇行度と位相差の影響

EFFECTS OF SINUOSITY AND PHASE BETWEEN LEVEE AND MAIN CHANNEL
ON THE MEANDERING COMPOUND CHANNEL FLOW

福岡捷二¹・大串弘哉²・岡部博一³
Shoji FUKUOKA, Hiroya OHGUSHI, Hirokazu OKABE

¹正会員 Ph.D. 工博 広島大学教授 工学部第4類(建設系) (〒739 東広島市鏡山1-4-1)

²正会員 工修 北海道開発局石狩川開発建設部河川計画課 (〒060 札幌市中央区北2西19)

³学生会員 広島大学大学院工学研究科環境工学専攻博士課程前期

It is difficult to estimate the effect of the phase difference between meandering levee and main channel on the flow, because plan form of rivers are irregular and complex. To investigate the effect of the phase difference on flood flow, we have conducted experiments using meandering compound channels with various phase differences and sinuosity.

In the case that the levee goes ahead of the main channel, dead water area appeared on the flood plain, consequently the main flow region become narrow, increasing the quantity of flow in the main channel. In the other hand, for the case in which the phase levee goes behind the main channel, the dead water phenomena did not appear, therefore the flow in the main channel suffered a relative decrease. Even when the phase difference of levee and main channel changed continuously along the channel, the features of flow remained the same as those cases stated earlier.

Key Words: meandering compound channel, dead water area, quantity of flow in the main channel, levee alignment, sinuosity phase difference, amplitude difference.

1.はじめに

直線的な堤防の間を低水路が蛇行する複断面蛇行水路の流れについては多くの研究がなされ、その基本的な特性が明らかにされている。¹⁾²⁾³⁾⁴⁾しかし、実在の河川では低水路と堤防がともに蛇行し、両者の間に位相差を持つことが一般的である。

著者らは実河川の洪水データを分析し、蛇行度と相対水深を用いて、複断面蛇行河川の洪水流の特性の分類を行い、この結果を河道計画に生かすことを目指し研究を進めている。⁵⁾しかし、不規則な蛇行形態をとる実河川では、洪水流特性に及ぼす堤防と低水路の蛇行度と位相差の影響を別々に高い精度で評価することは困難である。

堤防蛇行が流れに及ぼす影響については、大きな蛇行度で一定の位相差を持つ場合について、直線堤防との比較において著者ら⁶⁾が検討している。しかし検討範囲が限られているため一般的な形で両者の影響を明らかにしているわけではない。

このような背景のもとに、本研究では堤防蛇行と低水路の位相差を様々に変化させ、これらが流れの構造に与える影響を定量的に明らかにすることを目的としている。

2.実験概要

表-1 に実験水路諸元及び実験条件、図-1 に実験水路の平面図と測定区間を示す。

堤防と低水路は共に sine-curve で蛇行しており、高水

敷には人工芝で粗度付けを行っている。

はじめに、位相差の影響を明確にするため、大きな蛇行度(1.17)で一定の位相差の水路(a),(b)を用い、実験を行っている。堤防が低水路に対して1/4波長先行するケースと、これとは逆に堤防が低水路に対して1/4波長後行するケースが検討されている。

次に、低水路の蛇行度が実河川のそれにより近い蛇行度1.02で、堤防蛇行2波長の中に低水路蛇行が3波長ある水路(c)を用い検討する。この水路では堤防蛇行と低水路蛇行の間の位相差が縦断的に変化しており、堤防先行位相、堤防後行位相、同位相、逆位相等多様な位相形態がみられる。

表-1 実験水路諸元及び実験条件

		実験1	実験2	実験3
低水路	波長	4.10m	4.10m	4.10m
	蛇行度	1.17	1.02	1.02
	低水路幅	0. +50m	0.50m	0.50m
	低水路高	0.045m	0.045m	0.045m
堤防	波長	4.10m	6.15m	6.15m
	蛇行度	1.04	1.01	1.01
	堤防幅	1.70m	1.80m	1.80m
	低水路との位相差	$\pi/2$ 先行	$\pi/2$ 後行	縦断的に変化
低水路粗度		0.012		
高水数粗度		0.020		
水路勾配		1/600		
流量		23.61/s		
低水路平均水深		8.8cm	8.8cm	7.9cm
高水数平均水深		4.3cm	4.1cm	3.4cm
相対水深		0.49	0.49	0.42

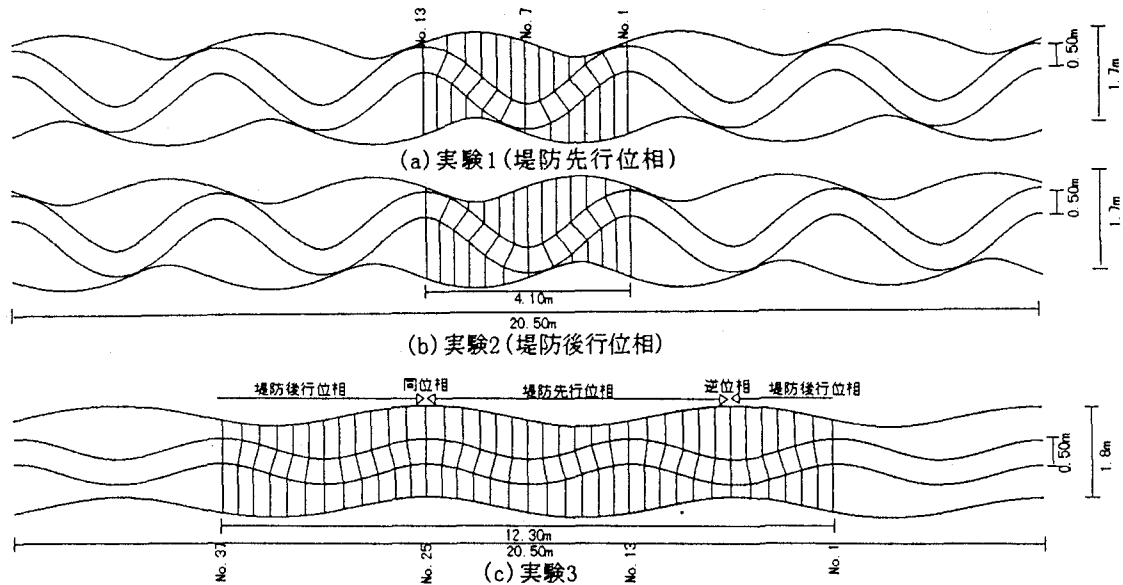


図-1 実験水路の平面図及び測定区間

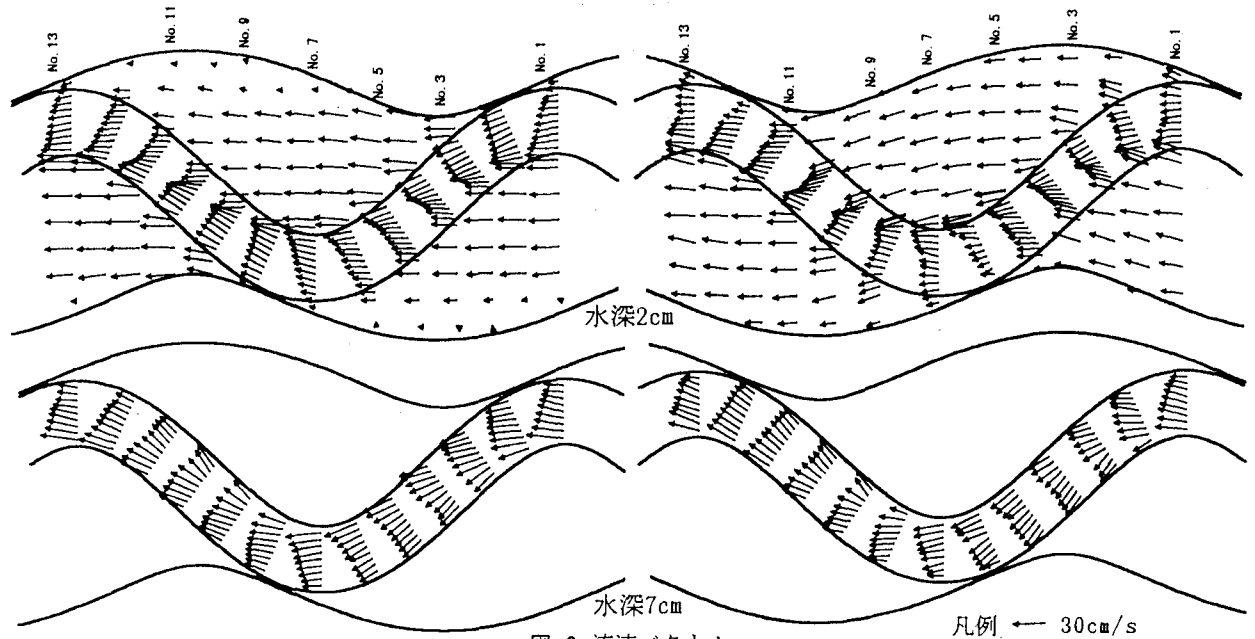
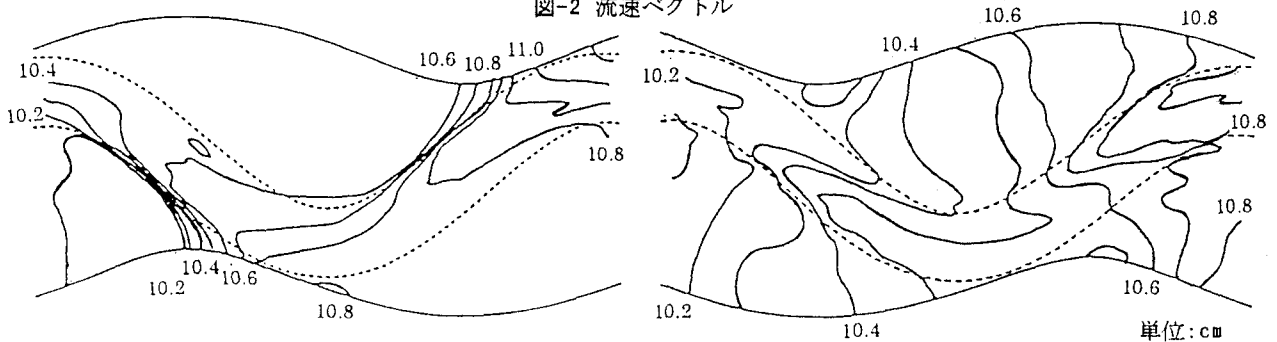


図-2 流速ベクトル



堤防先行位相

図-3 水位コンター

堤防後行位相

蛇行度が大きく位相差が一定の場合の流速ベクトル，及び水位コンター

3. 蛇行度が大きく，堤防と低水路蛇行が一定の位相差を持つ流路の流れ

(1) 位相差の違いが高水敷流れに与える影響

図-2 に堤防先行位相(実験 1)，堤防後行位相(実験 2)

の場合の各流速ベクトル(水深 2cm, 7cm)，図-3 に水位コンターを示す。著者ら⁶⁾は既に位相差の違いが高水敷流れの構造を変化させることを指摘している。本文では流速ベクトルと水位分布の両面から位相差と流れの構造の関係を検討する。

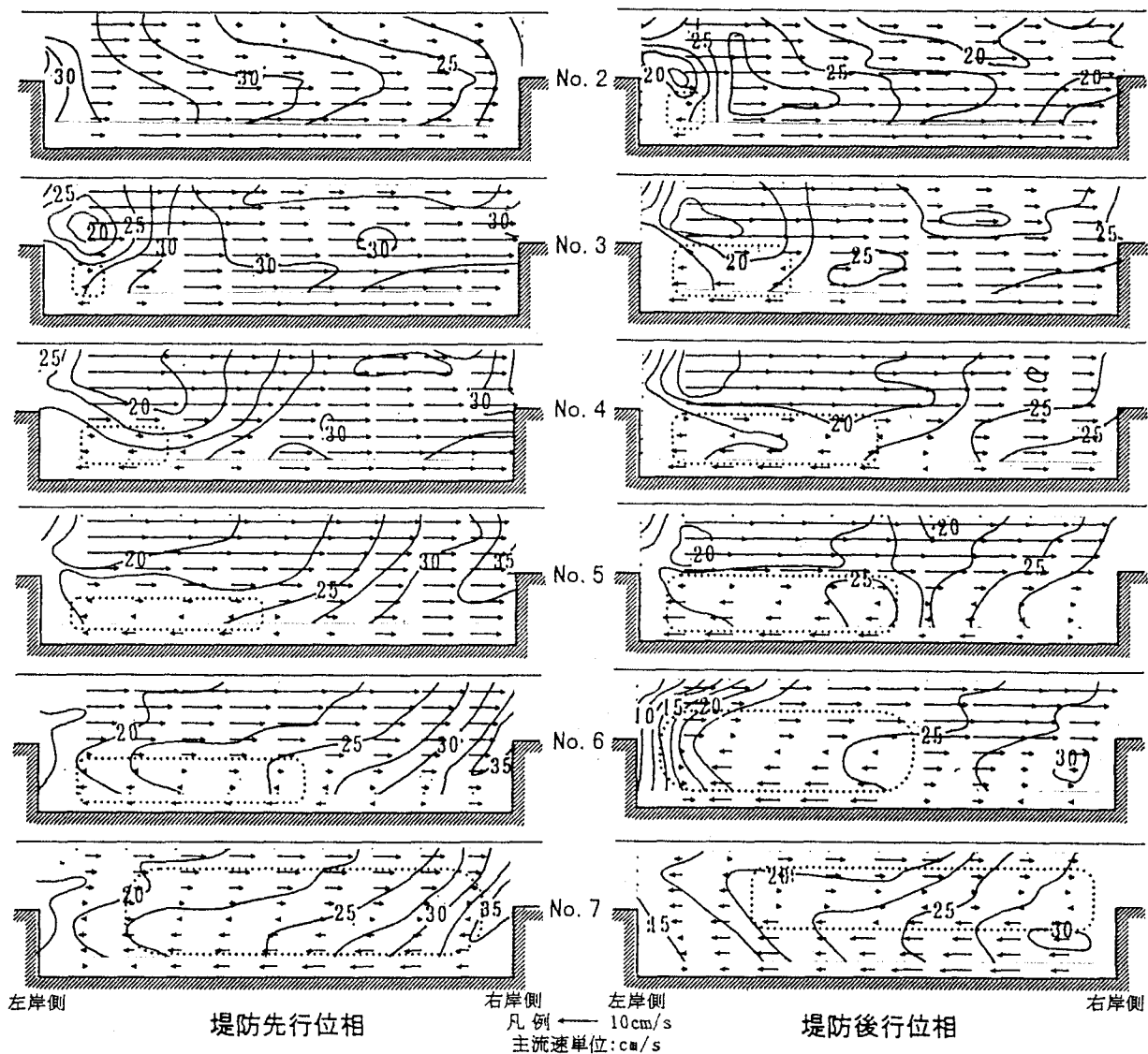


図-4 蛇行度が大きく位相差が一定の場合の横断面内流況

堤防先行位相では、堤防の最大曲率の内岸側で、高水敷流れが低水路向きの堤防法線の影響を受け、死水域に近い流況を呈している。これによって高水敷上に流速のほとんどない領域(No. 7~12右岸側高水敷)が形成され、全体として流れは低水路蛇行振幅内に集中、直進している。

また、水位コンターにはこの流況が明確に現れている。この領域では、高水敷上には水位差が無くなり、水深が流下方向に増加している。このため、この区間では高水敷流れは緩やかな逆圧力勾配となり、遅い流速の領域で剝離に近い死水域の形成をもたらしている。

堤防後行位相では、高水敷上に死水域は発生していない。低水路の速い流れが高水敷に流出することで、高水敷流れに運動量を付加し、圧力勾配も順勾配であることにより、高水敷全体が滑らかな流れとなっている。このことは水位コンターにも明確に現れている。高水敷全体にはほぼ様な水位差を生じており、高水敷全体に流れが生じていることを示している。

表-1に示すように、平均水深を比較すると両者の間にほとんど差は見られない。*改修の進んだ河川においては堤防先行位相が多く見られ、このような河川の死水域に近い流速の遅いゾーンには、樹木が繁茂していることが多い。

(2)位相差の違いが高水敷流れと低水路流れの混合に与える影響

複断面蛇行水路では高水敷流れが低水路に流入する。このため、流入の影響を受けにくい低水路下層の流れは低水路に沿う流れとなるが、上層の流れは低水路を横切る様な流れとなる。高水敷流れの流入角度が大きい程、この低水路上層を横切る流れは大きくなる。

高水敷流れの低水路への流入角度は堤防法線に依存しており、堤防先行位相では高水敷流れはほぼ直進し、低水路に対して比較的小さい角度で流入している。このため、低水路を横切る流れは小さい。

これに対して堤防後行位相では高水敷流れは堤防に沿っており、大きな角度で低水路に流入している。この場合、低水路を横切る流れは堤防先行位相の場合より大きくなる。

(3)位相差の違いが二次流セルの発達過程に与える影響

図-4は横断流速ベクトルと主流速コンターを示している。二次流セルは横断流速が上、下層で相反する方向を持ち、大きさがほぼ等しい領域として、点線で描かれている。

複断面蛇行水路の特性として二次流セルは高水敷流れの流入による低水路を横切る流れによって発生し、単断面蛇行の場合と同転方向が逆である。¹²⁾³⁴⁾本実験におい

*著者らの論文、水工学論文集第41巻、pp1139に平均水深は異なっていると記述しているが、この記述は誤りである。

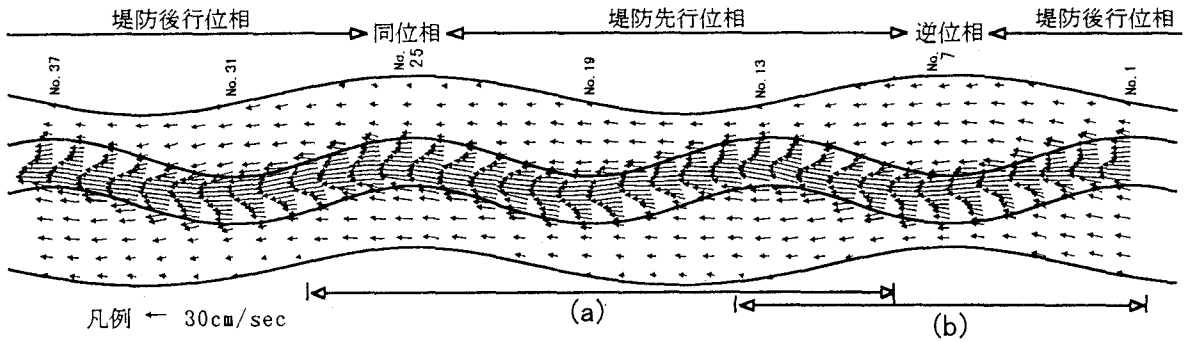


図-5 流速ベクトル

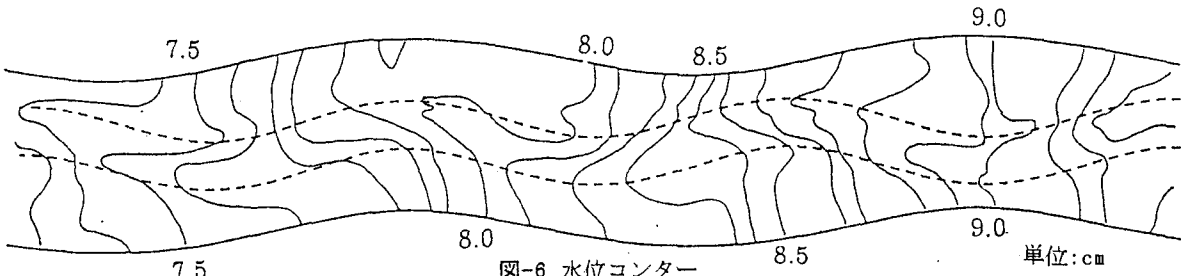
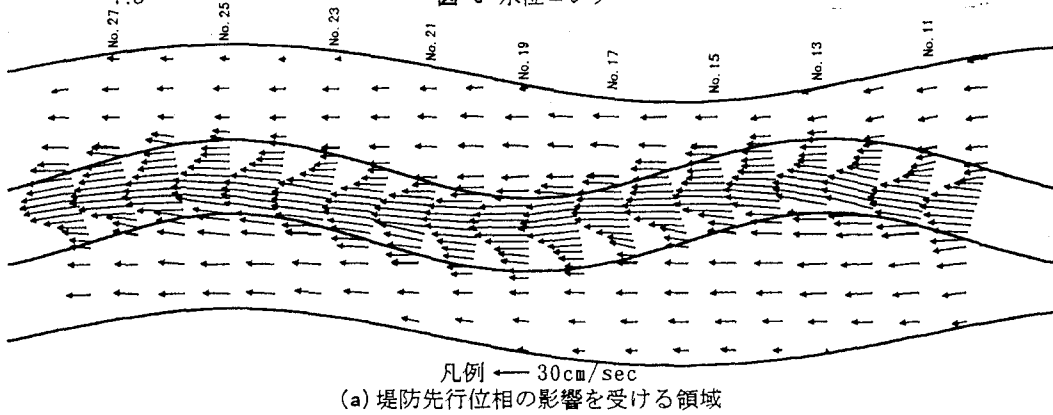
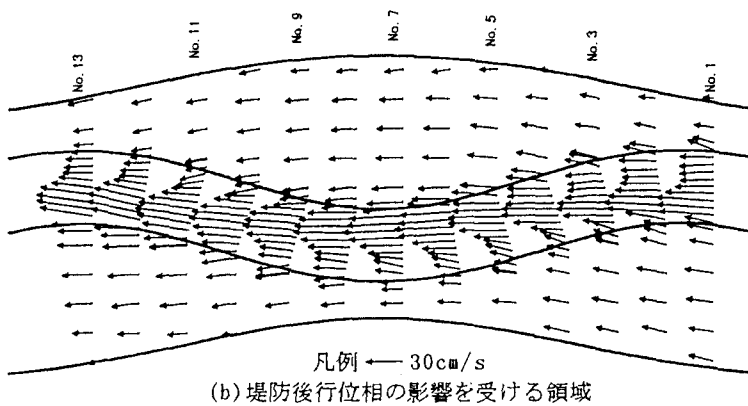


図-6 水位コンター



(a) 堤防先行位相の影響を受ける領域



(b) 堤防後行位相の影響を受ける領域

図-7 位相差の影響が特徴的な領域の流速ベクトル

蛇行度が小さく位相差が縦断的に変化する場合の流速ベクトル, 水位コンター

でも、複断面蛇行水路特有の二次流が発生している。上層と下層の横断方向の流速の違いは高水数の遅い流れの流入のためである。堤防後行位相の方が高水数流れの流れ込みは大きな角度で生じているため、同じ断面で比較すると上層と下層で横断方向の大きな流速差を持つ領域が広がっている。これに伴って二次流セルの発達も堤防先行位相に比べ早い。また、主流コンターに注目す

ると、主流速が急に変化している領域が、上下層で横断流速の差が大きい領域とほぼ一致している。これは、高水数流れが低水路に流入することによって上層に主流速の小さい領域が生じていることを示している。

4. 蛇行度が小さく、位相差が漸断的に連続して変化する流路の流れ

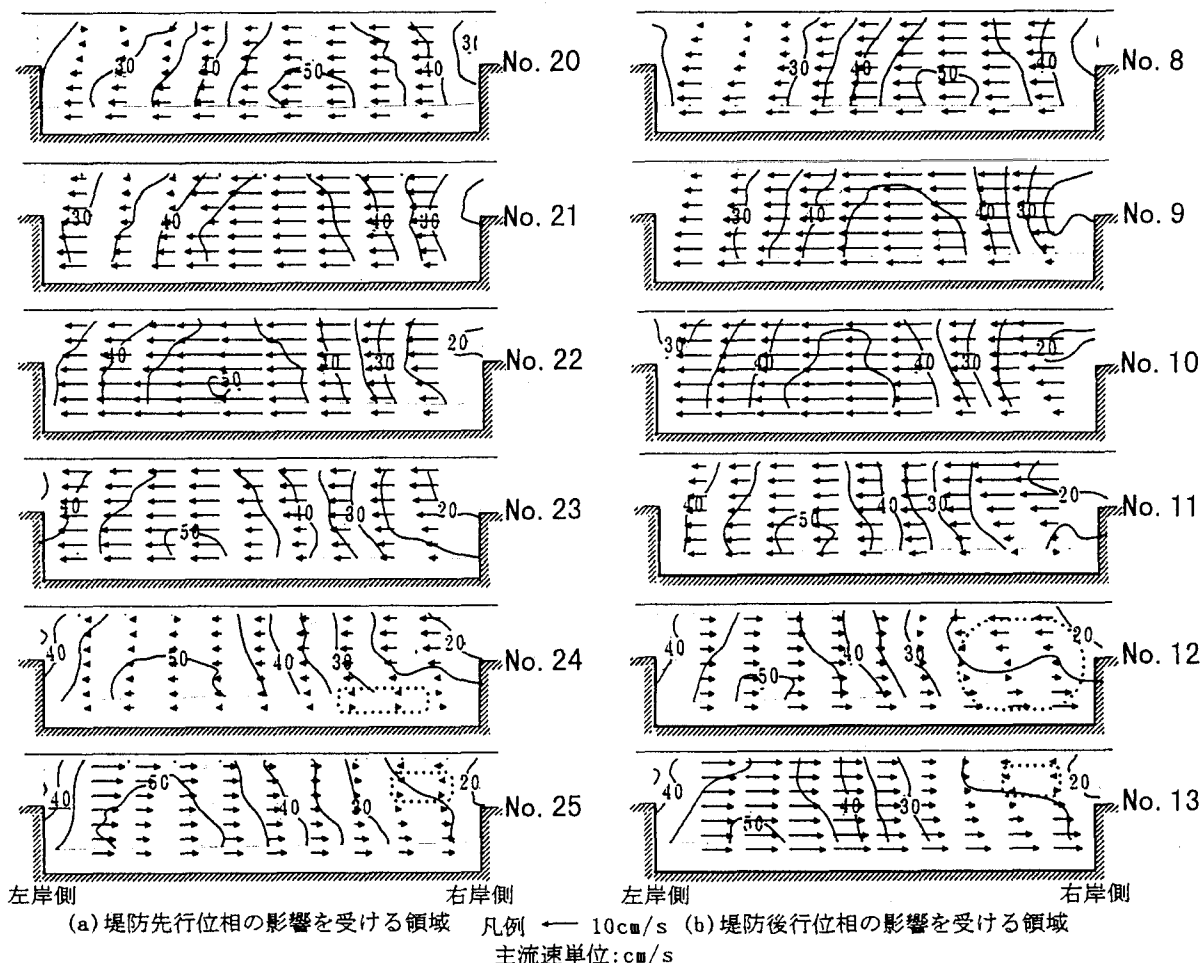


図-8 蛇行度が小さく位相差が縦断的に変化する場合の横断面内流況

図-5に流速ベクトル、図-6に水位コンターを示す。蛇行度の大きな先の2ケースに比べ、蛇行度が小さいために、全体的に最大流速線は低水路中央寄りとなり、かなり直線的な流れとなっている。この流れは図-5に示すように種々の位相からなり、この位相の変化を反映した流れになっていると考えられる。そこで、位相差の影響が特徴的な領域に注目し検討する。

図-7(a)は堤防先行位相の影響を受ける領域を示す。高水敷流れは堤防に沿うことなく直進し、流速のほとんどない領域を伴い、流れは低水路蛇行振幅内に集中している。また、水位コンターも堤防が広がっていく領域で水位差の無い領域を形成している。

(b)は堤防後行位相の影響を受ける領域で、高水敷流れは堤防に沿って発達しており、高水敷全体に流れが生じている。水位コンターも高水敷全体にほぼ様な水位差を生じている。

この結果を3(1)と比較すると、蛇行度が小さく位相差が縦断的に変化する場合でも、蛇行度が大きく位相差が一定の場合と流れ場の平均的な構造は同様であることを示している。

図-8に堤防先行位相と後行位相の影響を受けた横断流速と主流コンターを示す。

低水路の蛇行度が小さいため、高水敷流れの低水路への流入角度は全体的に小さい。このため、蛇行度の大き

な先の2ケースと比較して高水敷流れの流入による影響は小さく、二次流セルは最大曲率断面にごく小さいセルを形成するのみである。

堤防先行位相の影響によって高水敷流れが直進し、高水敷流れが比較的小さい角度で流入する(a)よりも、堤防後行位相の影響を受けて高水敷流れが相対的に大きな角度で低水路へ流入する(b)の方が上、下層の横断方向の流速差が大きい。

5. 位相差及び蛇行度の違いが低水路内の流量に与える影響

図-9.10は流速分布を積分して求めた各実験ケースの低水路内流量の縦断変化を示している。

蛇行度の大きい実験1,2は実験3に比べ低水路内を流れる流量は小さいことがわかる。この理由は実験1,2は実験3に比べ、高水敷流れの流入角度が大きくなり低水路流れの減速が顕著であることに起因する。蛇行度が大きく位相差が一定の実験1と2を比較すると、低水路蛇行振幅内を集中して流れる堤防先行位相の方が水路全体に流れが広がる堤防後行位相に比べ、低水路内流量は大きい。

低水路流量は断面毎に変化している。これは、低水路蛇行と堤防蛇行との偏角の差と関係付けられる。図-11

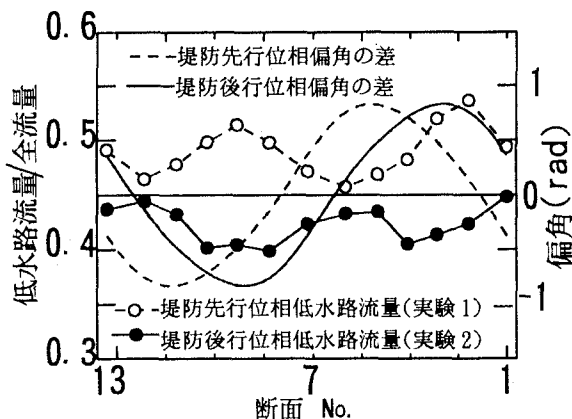


図-9 蛇行度が大きく位相差が一定の場合の低水路流量

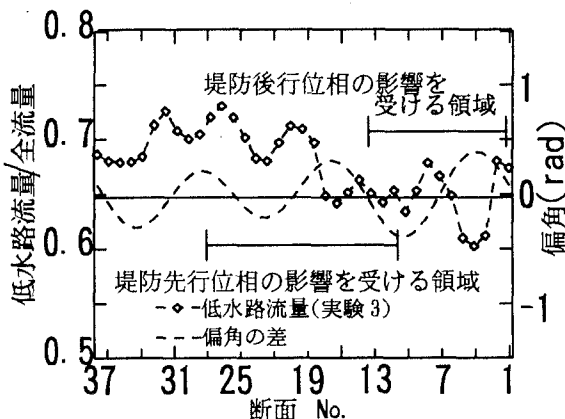
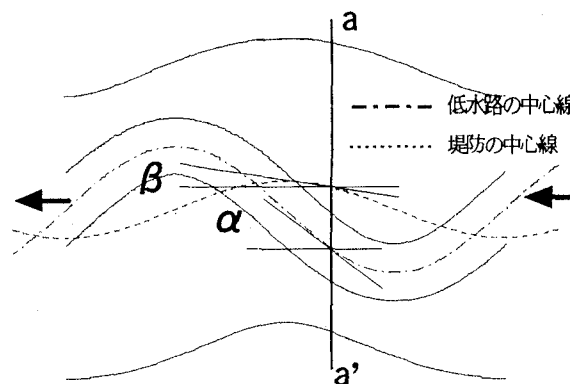


図-10 蛇行度が小さく位相差が縦断的に変化する場合の低水路流量

に示すように、低水路法線の中心線の接線が流下方向にして持つ偏角(α)と堤防法線の中心線の接線が流下方向に対して持つ偏角(β)の差($\alpha - \beta$)を複断面蛇行流れの偏角の差と定義する。

実験 1, 2 の両ケースにおいて偏角の差が 0 となる断面付近 (堤防の法線と低水路の法線の方向が一致する領域) で低水路流量は極大値を示す。これとは逆に、偏角の差が極値を示す断面付近 (堤防法線と低水路法線の交差角が最も大きくなる領域) で低水路流量は極小値を示している。

蛇行度が小さく位相差が縦断的に変化する実験 3 においても同様な説明が可能である。すなわち、堤防先行位相の影響を受ける領域では、堤防後行位相の影響を受ける領域よりも低水路流量は大きくなっている。



α : 低水路中心線の偏角
 β : 堤防中心線の偏角

a-a' 複断面蛇行流れの偏角の差 = $\alpha - \beta$ (rad)

図-11 複断面蛇行流れの偏角の差

6. まとめと結論

(1) まとめ

以上の考察から、蛇行度と位相差は共に複断面蛇行流れの構造を規定する指標になることが確認された。これら 2 つに加え相対水深、高水敷幅と粗度という 4 要素³⁾が複断面蛇行流れを支配する重要な要素であることが明らかとなった。

(2) 結論

本論文の主要な結論は以下の通りである

- 1) 堤防が低水路に対して先行する位相では、堤防に沿う高水敷流れは死水域を伴い、流れは低水路蛇行振幅内に集中する。一方、堤防が低水路に対して後行する位相では、高水敷流れは高水敷全体に拡がって流れる。
- 2) 低水路流量は、堤防先行位相の方が堤防後行位相に比べて大きい。
- 3) 低水路流量は蛇行度が大きい方が小さい場合に比べて低い。
- 4) 堤防法線と低水路法線の偏角の差が大きくなると、低水路流量は減少する。
- 5) 位相差が複断面蛇行流れに与える影響は、蛇行度の大小に関わらず同様である。

参考文献

- 1) 福岡捷二, 宮崎節夫, 大串弘哉, 加村大輔: 堤防と低水路の法線間に位相差が存在する複断面蛇行流路の流れと河床変動, 水工学論文集, 第 40 巻, pp941-946, 1996.
- 2) 武藤裕則, 塩野耕二, 今本博健, 石垣泰輔: 複断面開水路流れの三次元構造について, 水工学論文集第 40 巻, pp711-716, 1996.
- 3) 福岡捷二, 大串弘哉, 加村大輔, 平生昭二: 複断面蛇行流路における洪水流の水利, 土木学会論文集, 第 41 巻, pp. 83-92, 1997.
- 4) Willetts, B. B. and Hardwick, R. I.: Stage dependency for overbank flow in meandering channel, Int. Conference on River Flood Hydraulics, pp. 45-54, 1993
- 5) 福岡捷二, 高橋宏尚, 加村大輔: 複断面蛇行河道の洪水流に現れる複断面的蛇行流れと単断面的蛇行流れ—洪水流航空写真を用いた分布—, 水工学論文集, 第 41 巻, pp971-976, 1997.
- 6) 福岡捷二, 大串弘哉: 堤防の蛇行が複断面蛇行流路の流れに及ぼす影響, 水工学論文集第 41 巻, pp1137-1140, 1997.

(1997.9.30 受付)