

II-47

浸食河岸による蛇行水路実験

北海道開発局 正員 鳥谷部寿人・渡邊 康玄  
 北海道大学工学部 正員 清水 康行・長谷川和義  
 学生員 大川 秀典

1. はじめに

近年、自然河岸をできる限り残した河道計画が望まれ、治水上必要最小限の護岸箇所あるいは強度を考慮した河道計画を策定することが必要となってきた。このことは、浸食に対する強度が異なる河岸を持つ河道が形成されることを意味する。このため、河道計画を策定するためには河道変化に及ぼす浸食に対する河岸の強度の異なる影響について把握する必要がある。

本研究はその第一歩として浸食性河岸水路を用いて室内実験を行い、河岸の浸食性の違いによる蛇行の発達過程に着目し、既往の固定壁実験で得られた知見と比較することによりその機構を明らかにすることを目的とする。

2. 実験の概要

本研究において、考慮した条件は、河道の形状と砂州の存在である。著者ら<sup>1)</sup>は平成6年より浸食性河岸水路実験を行っている。平成6年において実施された実験では蛇行の発達過程を明確に把握するため、あらかじめ初期水路を蛇行させておき、固定壁蛇行水路の平面形を参考にして蛇行角を限界蛇行角より大きくとることによって砂州の移動を防ぎ、河岸浸食と水路の平面形状および河床形態との関係をより明らかにしてきた。また、砂州の発生に関しては、従来の理論的研究などから河幅水深比 $\beta (= \bar{B}/\bar{D}_0, \bar{B}$ :河幅の1/2,  $\bar{D}_0$ :平均水深)が支配パラメータであると言われている。このパラメータに着目して砂州発生、非発生各条件のもとで蛇行の発達過程について調べることとし、初期条件に非砂州条件を与えたものがRUN-1、砂州発生条件を与えたものがRUN-2である。

昨年度の結果を踏まえて整理すると以下のことがわかった。

- ・河幅の変化が平面形状を表すパラメータの無次元蛇行波数 $\lambda (= 2\pi\bar{B} / \bar{L}, \bar{L}$ :河道蛇行波長)、無次元曲率 $\nu (= \bar{B} / \bar{r}_0, \bar{r}_0$ :河道曲率半径)、河道横断形状を表すパラメータの $\beta$ に及ぼす影響が大きいことが確認された。
- ・砂州波高に与える影響は交互砂州の非発生条件では河道弯曲の影響が大きく、交互砂州発生条件では交互砂州の影響が大きいといえる。

今年度は粒径の異なる河床材料を混ぜ合わせることによって実際の河川のように広い粒度分布を持たせた浸食性河岸実験RUN-3を行い、河岸の浸食並びに河床洗掘の相違について検討した。

実験は長さ25m、幅3mの可傾斜台一面に概ね17cmの厚さでの混合砂を敷き詰めた。実験に用いた砂は、3種類の珪砂を混合させたものを用いた。配合比の決め方については北海道の一級河川の河床材料調査結果<sup>2)</sup>を用いて黒木・岸<sup>3)</sup>の中規模河床形態の領域区分図を参考に単列交互砂州の発生領域に該当するものを選択した。

各河川ごとに $\bar{d}_{10}$ 、 $\bar{d}_{50}$ 、 $\bar{d}_{90}$ についてそれぞれ年最大流量時の無次元掃流力 $\tau_* (= \bar{D}_{0i}/Sd_{50}$ 、但し、 $i$ :河床勾配、 $S=1.65$ 、 $\bar{d}_{50}$ :河床材料中央粒径)を求め、これに実験条件を当てはめて実験スケールに相当する河床材料粒径を割り出すと表-1ようになる。実験に用いる砂粒子の粒径を考慮し、表-1中の◎を付した地点の平均値を基にして混合砂の配合を表-2の様に決定した。図-1に粒径加積曲線を示す。蛇行水路は固定壁実験での蛇行形状に沿って切り通水した。なお、最初の断面形状が水路の蛇行に及ぼす影響の有無が懸念されるが、広すぎて砂が移動しないような断面でない限り、最初の断面形状には関係せず初期水路の断面積によって流量の範囲を規制するのみであることが

表-1 河川データ

地点名	河床材料粒径(mm)		
	$d_{10}$	$d_{50}$	$d_{90}$
尻別川 kp 19	0.01	0.41	1.31 ◎
〃 kp 20	0.01	0.64	1.76
鶴川 kp 15	0.02	0.14	1.38
天塩川 kp100	0.05	0.46	0.99
〃上流 kp115	0.03	0.64	1.25 ◎
〃 kp120	0.01	0.83	1.45 ◎
〃 kp155	0.01	0.22	1.23
〃 kp180	0.01	0.21	1.13

Meandering water channel experiments by the erosion bank of a river by Toshihito TOYABE, Yasuharu WATANABE, Yasuyuki SHIMIZU, Kazuyoshi HASEGAWA and Hidenori OHKAWA

表-2 実験材料

河床材料	中央粒径 (mm)	均等係数	水中比重	混合比率 (%)
珪砂3号	1.35	1.5	1.65	57
珪砂5号	0.54	1.5	1.65	27
珪砂特8号	0.05	2.2	1.64	16

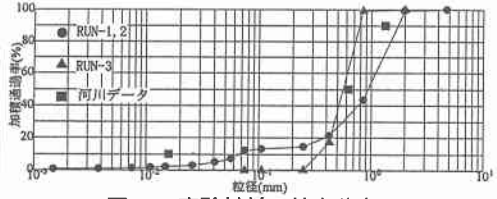
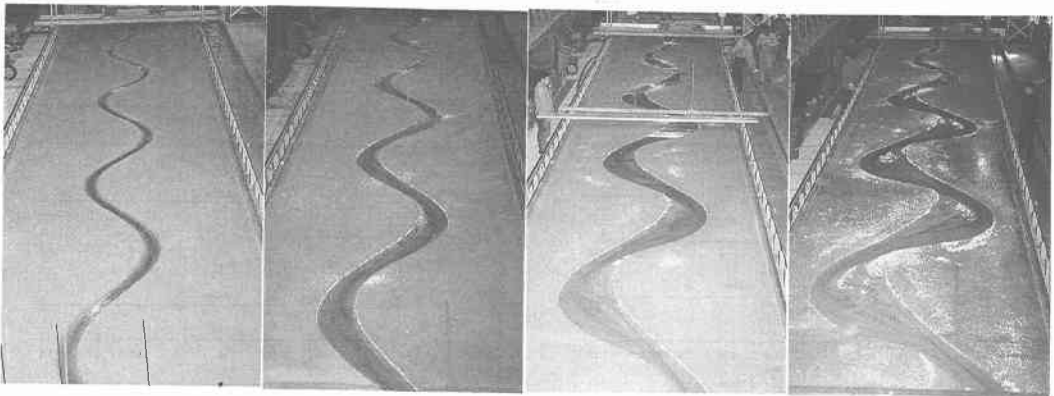


図-1 実験材料の粒度分布

予備実験の結果明らかとなっている。河道平面形状は一定時間ごとに写真撮影し、水位は一定時間ごとにポイントゲージを使用して測定した。時間とともに蛇行振幅の拡大が生じたが、ある時間に達すると凹岸水衝部で氾濫が起り側岸を乗り越えて流れてしまうので、この状態に達した時点で実験を終了した。予備実験で通水時間を決定し、本実験ではこれを5分割し、河床が変化しないようにその都度通水を中断した。河床高は通水停止ごとに河床が変化しないように排水し、ポイントゲージを使用して測定を行った。表-3に昨年の実験 (RUN-1、RUN-2) と今回の実験 (RUN-3) について時間ごとの測定結果を示す。

表-3 実験の諸元

	流量 $\bar{Q}(\ell/s)$	通水時間 $min$	河床勾配 $I$	蛇行波長 $\bar{L}(cm)$	平均水深 $\bar{D}_0(cm)$	河床材料粒径 $\bar{d}_s(cm)$	最小曲率半径 $\bar{r}_0(cm)$	平均河幅 $2\bar{B}(cm)$
RUN-1	4.00	0	1/243	472.84	-	0.0547	150.66	28.3
	4.00	24	1/246	482.18	2.76	0.0547	132.72	42.2
	4.00	48	1/240	487.10	2.68	0.0547	133.11	50.4
	4.00	72	1/275	491.51	2.69	0.0547	127.01	55.9
	4.00	96	1/240	494.43	2.53	0.0547	119.60	59.3
	4.00	144	1/246	503.34	2.49	0.0547	105.05	65.8
RUN-2	1.50	0	1/161	473.84	-	0.0547	139.19	20.2
	1.50	34	1/158	482.78	1.65	0.0547	132.72	31.6
	1.50	72	1/168	493.21	1.28	0.0547	113.33	39.0
	1.50	120	1/176	499.82	1.30	0.0547	102.15	45.7
	1.50	180	1/169	507.34	1.18	0.0547	88.29	52.7
	1.50	270	1/166	516.97	1.22	0.0547	91.82	59.8
RUN-3	1.50	0	1/161	472.01	-	0.0952	135.11	20.5
	1.50	30	1/164	482.25	1.30	0.0952	128.83	32.9
	1.50	60	1/168	492.56	1.11	0.0952	100.55	38.8
	1.50	120	1/171	501.72	1.27	0.0952	97.30	50.2
	1.50	240	1/178	522.37	1.14	0.0952	87.10	63.5
	1.50	366	1/181	531.30	1.18	0.0952	83.33	71.0



通水前

30分後

120分後

366分後

写真-1 各時間ごとの河道 (RUN-3)

### 3. 実験結果

写真-1はRUN-3について可傾斜台下流から撮影したものである。通水初期は浮遊砂が発生したものの30分もするとほとんど確認できなくなった。また30分後の写真を見ると内岸にはすでに小さな砂州が形成されており、120分後にはしっかりした砂州が形成され、蛇行の発達に伴って砂州の成長する様子がわかる。また、図-2は上流から16m下流地点から1蛇行波長の河岸の変化を時間ごとの河床測定結果より図化したものである。RUN-2、3ともに曲頂下流外岸部で最も浸食が進んでおり、曲頂内岸部はほとんど変化しなかったことがわかる。しかし、蛇行の発達について比較するとRUN-2と比べRUN-3のほうが大きくなっている。図-3はRUN-3について交互砂州が十分に発達した120分後の河床についてスケッチしたものである。粒径の細かい珪砂特8号は蛇行の狭窄部から下流に向かって図中の斜線で示したように砂州の前縁を覆うような形で堆積していた。一方、白ヌキの区間では外岸から浸食によって土砂が河道内に供給されており、下流に向かって運ばれていく様子が観察された。また、曲頂部における河床横断形状の時間変化を図-4に示す。ここで、縦軸は河床高を表し、横軸は可傾斜台左岸側壁からの距離で表している。両方とも内岸の河岸位置はほとんど変わっていないのに対し、外岸側は浸食され時間とともに河幅が増大している。河床高に着目するとRUN-2の河床は外岸の堆積が進む一方で内岸の堆積が進まず河床横断形状は不明瞭である。一方、RUN-3の河床は内岸において水面下ではあるが外岸の浸食が進む一方で内岸で堆積し、砂州の形状が明確に表れた。つぎに平面形状の時間変化を無次元パラメータを用いて表したものが図-5,6である。図-5は横軸に経過時間(分)、縦軸に無次元蛇行波数を取り、無次元蛇行波数の時間

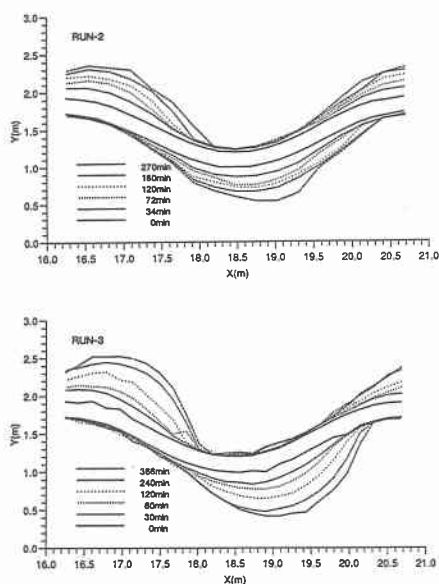


図-2 河岸の時間変化

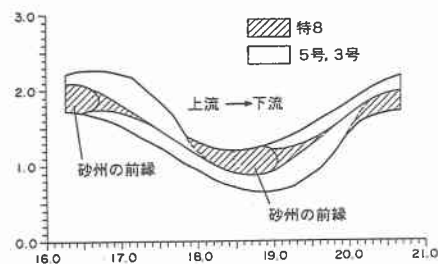


図-3 120分後の河床のスケッチ (RUN-3)

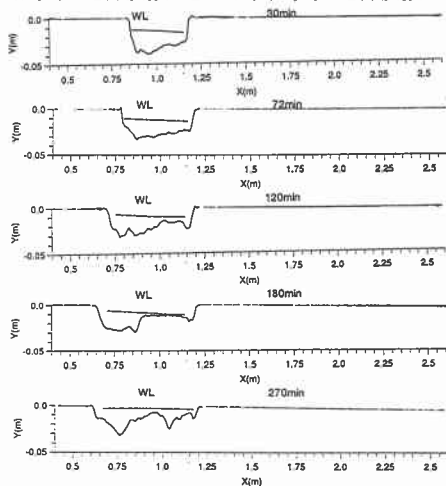


図-4(1) 河床横断形状の時間変化 (RUN-2)

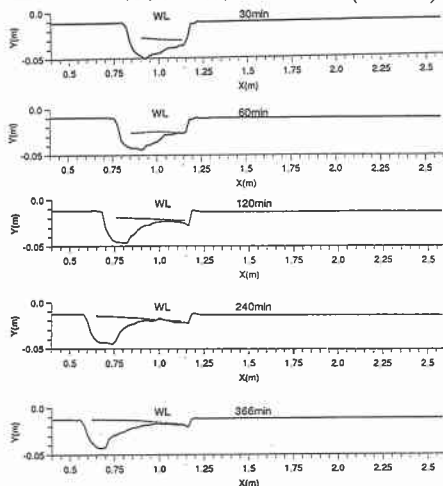


図-4(2) 河床横断形状の時間変化 (RUN-3)

変化をみたものである。また、図-6は縦軸に無次元曲率 $\nu$ をとったものである。RUN-3は同じ水理条件のRUN-2と同じ傾向にあることがわかる。一方、河道横断形状を無次元パラメータで表したものが図-7である。図-7は横軸に経過時間(分)をとり、縦軸に河幅水深比 $\beta$ をとったものである。時間経過に伴って $\beta$ の値がそれぞれ増加しており、RUN-2と同様の傾向を示しているが、RUN-3の方がRUN-2に比較して若干 $\beta$ の値が大きくなっている。さらに、河道形状を決定する各パラメータが変化する上でどの諸量が河道変化に最も強い影響を与えているかということに着目し、それぞれの河道の諸量が無次元量の変化に及ぼす影響について調べてみた。図-8は蛇行波長の逆数 $1/\bar{L}$ 、最大の曲率 $1/\bar{r}_0$ 、河道幅 $2\bar{B}$ 並びに水深の逆数 $1/\bar{D}_0$ についてそれぞれ初期値に対する変化量を比で表したものである。横軸に経過時間(分)をとり、縦軸にそれぞれの相対比をとって比較している。図-8から河幅の変化率が他の諸量に対して大きいことが顕著に読み取れる。すなわち、今回の浸食性河岸実験においては河幅の変化が河道形状を表す各パラメータの変化に与える影響が大きかったことがうかがえる。一方、各諸量の変化率についてRUN-2とRUN-3を比較すると水深の変化率が大きく異なる。RUN-2では河床面にリップルが発生したのに対し、RUN-3では小規模河床形態は発生していなかった。このためRUN-2の水深は変化率が大きい。

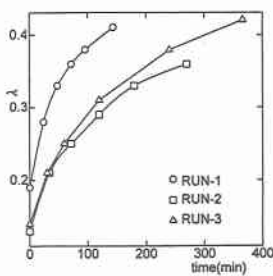


図-5 無次元蛇行波長 $\lambda$ の時間変化

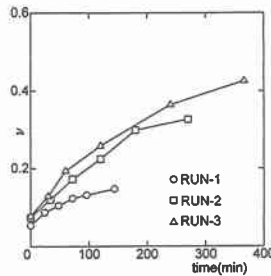


図-6 無次元曲率 $\nu$ の時間変化

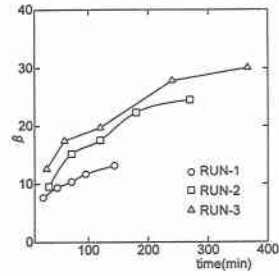


図-7 河幅水深比 $\beta$ の時間変化

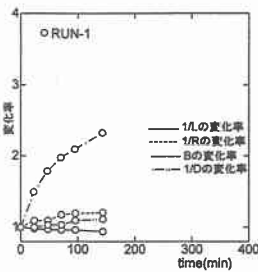


図-8-1 水理諸量の時間変化 (RUN-1)

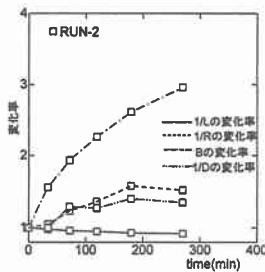


図-8-2 水理諸量の時間変化 (RUN-2)

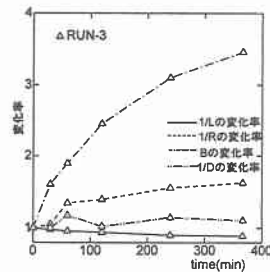


図-8-3 水理諸量の時間変化 (RUN-3)

#### 4. 河道弯曲と交互砂州の砂州波高に与える影響

河道変化の抑制策を考える場合に河道弯曲と交互砂州の発達の2つの要因の影響力の度合いによって対策の方法が異なってくる。今回3つの実験河道が発達の過程で初期条件の違いによってそれぞれ河道弯曲の影響、あるいは交互砂州の影響がどのように関与するかということに着目し検討した。図-9は横軸に入、縦軸に無次元砂州波高 $H_b (= \bar{H}_b / \bar{D}_0)$ をとり、RUN-1, RUN-2並びにRUN-3の $H_b$ をプロットした。また固定壁蛇行実験における交互砂州非発生実験 ( $\beta=5, \nu=0.10$ ) の $H_b$ を実線で表し、交互砂州発生実験 ( $\beta=10, 15, \nu=0.10$ ) の $H_b$ を破線で表記した。表-4に浸食性河岸実験の凡例ならびにパラメータを表した。図-9から交互砂州非発生の初期条件でスタートしたRUN-1の $H_b$ は交互砂州非発生領域の固定壁蛇行実験の $H_b$ にほぼ一致していることがわかる。また、RUN-2についても同様にプロットしてみた。図-9からRUN-2の初期条

表-4 浸食性河岸実験の凡例ならびに水理パラメータ

○RUN-1	$\lambda$	$\beta$	□RUN-2	$\lambda$	$\beta$	△RUN-3	$\lambda$	$\beta$
1 (24min)	0.28	7.65	1 (34min)	0.21	9.58	1 (30min)	0.21	12.65
2 (48min)	0.33	9.40	2 (72min)	0.25	15.23	2 (60min)	0.25	17.48
3 (72min)	0.36	10.39	3 (120min)	0.29	17.58	3 (120min)	0.31	19.74
4 (96min)	0.38	11.72	4 (180min)	0.33	22.33	4 (240min)	0.38	27.83
5 (144min)	0.41	13.21	5 (270min)	0.36	24.51	5 (366min)	0.42	30.07

表-5 固定壁蛇行実験の凡例ならびに水理パラメータ

	$\lambda$	$\beta$		$\lambda$	$\beta$		$\lambda$	$\beta$
● case07-1	0.20	4.5	▼ case09-1	0.30	4.6	■ case23-1	0.25	4.3
◎ case07-2	0.20	10.9	▲ case09-2	0.30	10.7	◆ case23-2	0.25	9.7
□ case07-3	0.20	17.7	◇ case09-3	0.30	17.5	△ case23-3	0.25	14.0
★ case11-1	0.50	5.1	◇ case09-4	0.30	22.9	▽ case23-4	0.25	17.6

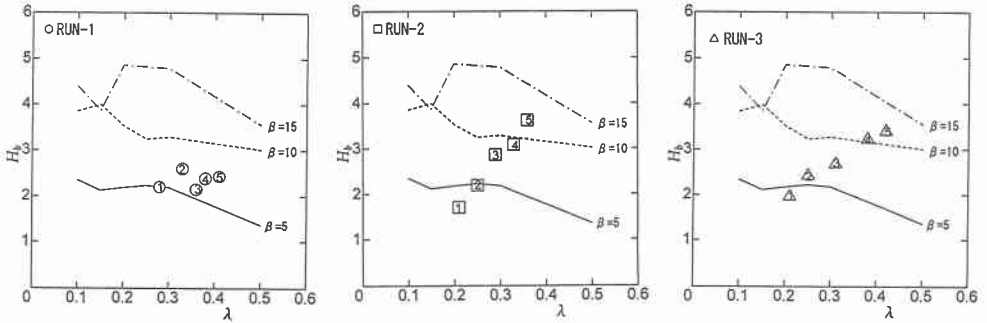


図-9 無次元砂州波高  $H_b$  と  $\lambda$  の比較

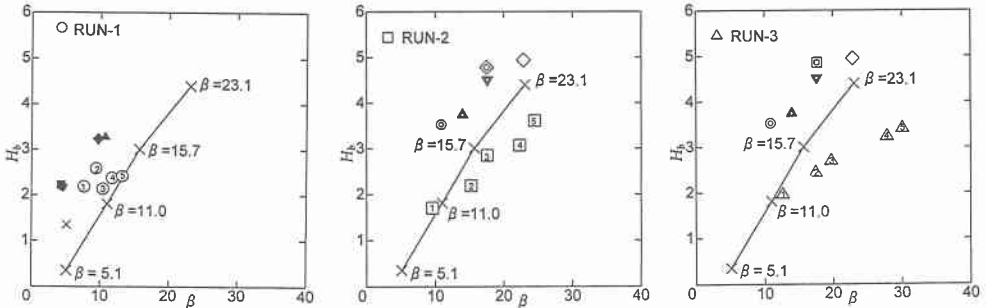


図-10 無次元砂州波高  $H_b$  と  $\beta$  の比較

件と同じ水理条件の固定壁蛇行実験 ( $\beta = 10$ ) の  $H_b$  や弯曲の影響のみ ( $\beta = 5$ ) の  $H_b$  と関係していないことがわかる。RUN-3は交互砂州発生条件で行われたRUN-2と同様な傾向を示しており、同じ水理条件の固定壁蛇行実験 ( $\beta = 10, 15$ ) や砂州の非発生条件、すなわち弯曲の効果が卓越した固定壁蛇行実験 ( $\beta = 5$ ) の  $H_b$  と関係していないことがわかる。一方、図-10は横軸に $\beta$ をとり、縦軸に $H_b$ をとったものである。まず、固定壁蛇行水路実験における砂州波高との比較を考え、それぞれの浸食性河岸実験の各時間の $\lambda$ および $\beta$ の値に近い条件の固定壁蛇行実験の $H_b$ を記号で併記した。また、浸食性河岸実験と交互砂州のみの影響をみるために固定壁直線水路実験の砂州波高との関係について比較を行った。図中に直線水路実験の $\beta = 5.0, 10.0, 15.0, 20.0$ のときの $H_b$ の値を直線で示した。表-5に固定壁蛇行実験の凡例ならびにパラメータを示した。図-10からRUN-1の $H_b$ は直線水路実験とは無関係であることが解る。このことから、交互砂州非発生の初期条件でス

スタートした浸食性河岸の実験では砂州波高に与える影響は交互砂州の影響に比べ、弯曲の影響が強いと考えられる。また、RUN-2は固定壁蛇行実験の $H_b$ と比べて明らかに大きな値を示している。一方で図-10からRUN-2の $H_b$ は直線水路実験の $H_b$ にほぼ一致していることがわかる。混合砂を用いたRUN-3の $H_b$ もRUN-2と同様の傾向を示している。このことから、交互砂州領域の初期条件でスタートした浸食性河岸の実験では砂州波高に与える影響は弯曲の影響に比べ、交互砂州の影響が強いと考えられる。

## 5. おわりに

単列交互砂州の発達に着目し、混合砂による浸食性河岸実験を行った結果、以下の事項が明らかとなった。

- 1) 河道平面形状を表すパラメータ $\lambda, \mu$ に及ぼす影響は河床材料の粒度分布に影響されない。
- 2) 河床材料に混合砂を用いることで小規模河床形態の発達が抑制され、明確な単列交互砂州が形成された。
- 3) 混合砂を用いることで水面下ではあるが内岸において土砂の堆積が確認された。
- 4) 砂州波高に与える影響は河床材料の分布形に影響されない。

今後の課題として、浸食性河岸水路に護岸を配置することによってもたらされる河床洗掘と土砂堆積の関係について検討していきたい。

## 《参考文献》

- 1) 鳥谷部寿人, 渡辺康玄, 清水康行, 長谷川和義; 河岸の浸食性の違いによる蛇行の発達に関する研究, 土木学会第50回年次学術講演会, 1995.
- 2) 北海道開発局; 河相と河道構造計画に関する研究(第2報), 第27回北海道開発局技術研究発表会指定課題・河川部門, 1984.
- 3) 黒木幹男, 岸力; 中規模河床形態の領域区分に関する理論的研究, 土木学会論文集, 第342号, 1984.