

南大王川流路工水理模型実験報告書
— 湾曲部の局所洗掘防止対策 —

昭和63年 2 月

建設省土木研究所
砂防部砂防研究室

Copyright © (1988) by P.W.R.I

All right reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複写は、土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。

南大王川流路工水理模型実験報告書

— 湾曲部の局所洗掘防止対策 —

砂防部 砂防研究室 室長 水山 高久
主任研究員 阿部 宗平
矢島 重美

要 旨

合流部での土砂堆積と流れの集中による水位上昇を低減させるために、南大王川流路工の湾曲部の局所洗掘防止と流れを減勢させる対策工を水理模型実験で検討し、流路工の計画案を得た。

対策工は、床固の方向と構造、水制、ベーンの組合せを検討した。

キーワード：流路工、湾曲部の局所洗掘対策工法

Hydraulic Model Test on Minamidaio River Channel Works

— Preventive Measures against Local Scouring Bended Portions —

Sabo Division, Sabo Department
Head of Division: Takahisa MIZUYAMA
Senior Researcher: Sohei ABE
Shigemi YAJIMA

Synopsis

This study aims at decreasing the rise of water level caused by the sediment deposition and flow concentration at the confluence points. The countermeasure works that prevent the local scouring and check the flow at the bended portions of the channel works of the Minamidaio River were examined by the hydraulic model tests. A proposed design of channel works was obtained. The direction and structure of ground-sills, and the combination of spur dykes and vanes have been investigated.

KEY WORDS: Channel works, preventive measures against the local scouring at the bended portions

は　じ　め　に

南小川左支南大王川は流域面積 33.3 km²、流路延長 11.4 km、計画対象流量 720 m³/sec (100 年超過確率) で南小川にほぼ直角に合流する平均河床勾配 1/13 (高低差 880m) の急勾配河川である。合流部付近に存在する家屋は、昭和 36 年の第 2 室戸台風と昭和 47 年の梅雨期の豪雨で床下浸水するなどの大きな被害を受けている。

建設省四国地方建設局吉野川砂防工事事務所は、南大王川の河道を平面的・縦断的に安定させ、合流部に流出する土砂を減少させて護岸の越水を防止するため南大王川に合流点処理を含む流路工を計画している。昭和 61 年度に (財) 砂防・地すべり技術センターはその計画 (案) を水理模型実験により検討し、修正を加えて図-1 に示す一応の結果を得ているが、床固の方向、水制の諸元と設置範囲の検討が懸案事項として残された。建設省土木研究所は上述の問題点を解決すべく吉野川砂防工事事務所の依頼を受けて水理模型実験を行い、特に湾曲部の局所洗掘を防止するために最適の床固の方向、水制の諸元 (高さ、間隔、設置範囲) と施設の効果を検討した。

昭和 63 年 2 月

砂防研究室 室長	水 山 高 久
主任研究員	阿 部 宗 平
	矢 島 重 美

目 次

はじめに

1	流路工計画と実験概要	2
1.1	流路工計画（案）	2
1.2	実験目的と実験概要	4
2	実験結果と考察	11
2.1	実験結果の要約	11
2.2	床固の方向の検討	12
2.3	床固の袖の効果の検討	16
2.4	ポスト型水制の検討	21
2.4.1	ポスト型水制に関する基礎実験	21
2.4.2	南大王川への適用	29
2.5	ベーン工の検討	34
2.6	合流部の水位と河床変動	37
ま と め		44
参考文献		45

1 流路工計画と実験概要

1.1 流路工計画 (案)¹⁾

ここでいう流路工計画 (案) とは、(財)砂防・地すべり技術センターによって設定された計画対象流量、給砂量、河床構成材料などの設計条件と、図-1に示す流路工の法線、流路工幅と縦断勾配、ポスト水制などの諸元であり、その計画案の概要は次のようである。

(1) 計画対象流量

計画対象流量ハイドログラフを図-2に示す。図-2の流量ハイドログラフは昭和47年7月4日～6日の実績流量ハイドログラフ (四国電力落合観測所における既往の最大流量で、南小川と南大王川の流域面積比で分割したもの) を計画ピーク流量の比で引き伸ばしたものである。

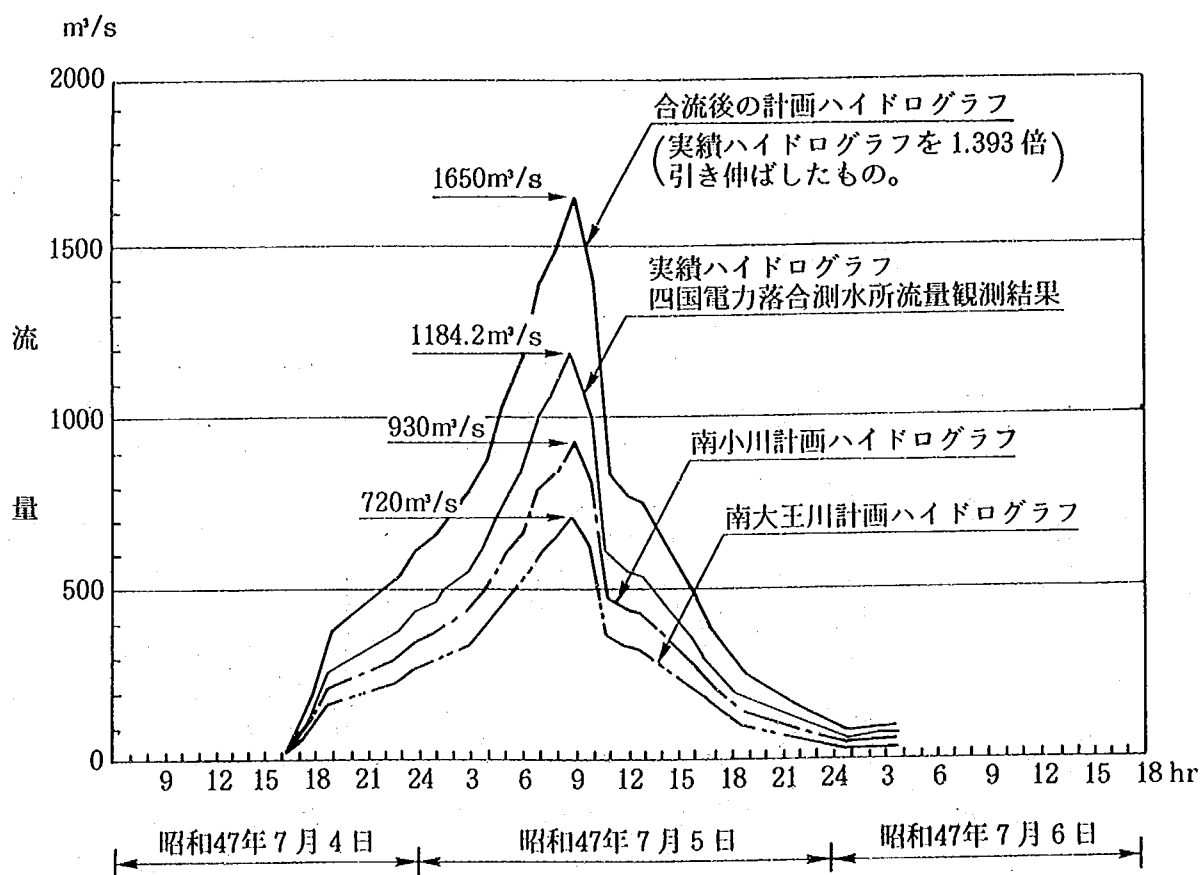


図-2 南小川及び南大王川の計画流量ハイドログラフ

(2) 河床構成材料

昭和60年9月の河床材料調査による河床材料の粒度分布を図-3に示す。平均粒径は、14.6 cm ~ 22.5 cmである。

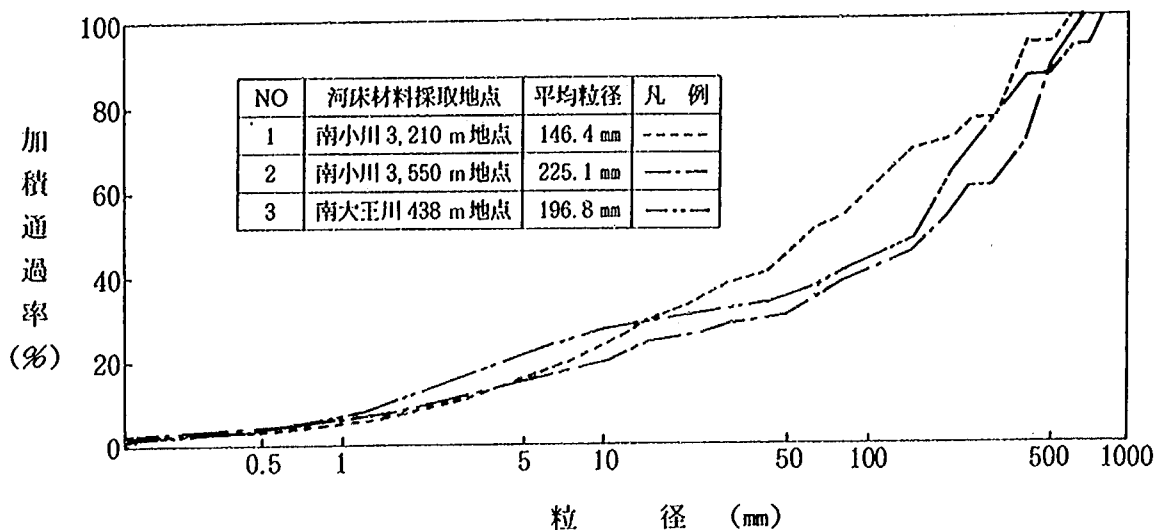


図-3 河床材料粒度分布曲線

(3) 給砂量

建設省吉野川砂防工事事務所では、合流点での許容流砂量を南小川で124,000 m^3 、南大王川で46,000 m^3 に定めている。計画(案)は許容流砂量をBrownの流砂量式を基として表-1のように流量階毎に配分している。

表-1 実験で与えた流量と土砂濃度の関係

(南小川)

Q (m^3/s)	$Q_s/Q \times 100$ (%)	T (hr)	ΣQ_s (m^3)	ΣQ_s (m^3) : $\lambda = 0.4$
310	0.14	5	7,812	13,000
460	0.18	5	14,904	24,800
750	0.22	3	17,820	29,700
930	0.25	2	16,740	27,900
460	0.16	5	13,248	22,000
310	0.11	3	4,018	6,600

許容流砂量 …… 合計 124,000 m^3

(南大王川)

Q (m^3/s)	$Q_s/Q \times 100$ (%)	T (hr)	ΣQ_s (m^3)	ΣQ_s (m^3) : $\lambda = 0.4$
240	0.06	5	2,592	4,300
360	0.09	5	5,832	9,700
580	0.11	3	6,890	11,500
720	0.12	2	6,220	10,400
360	0.09	5	5,832	9,700
240	0.01	3	259	400

許容流砂量 …… 合計 46,000 m^3

(4) 縦断勾配と流路工幅

縦断勾配と流路工幅及び主な水理条件を表-2に示す。なお、平面計画は図-1に示す。

表-2 計画河床勾配と流路工幅、主な水理量

<南大王川水理諸量>

- ・計画ピーク流量：720 m³/s
- ・粗度係数：0.045
- ・平均粒径：0.17 m

区 間	I	B	Hm	Vm	Fr	B/Hm	τ^*
1号～2号床固	1/100	40	3.62	4.77	0.80	11.0	0.129
2号～3号床固	1/100	35	4.17	4.67	0.73	8.4	0.149
3号～4号床固	1/120	30	4.61	4.85	0.72	6.5	0.137
4号～合流点固	1/120	30	4.61	4.85	0.72	6.5	0.137

(5) 水制の諸元

水制はポスト型水制で、高さと設置間隔および設置範囲を図-1に示す。

1.2 実験目的と実験概要

1) 実験によって検討すべき項目

計画(案)に対する修正(案)を図-4に示す。

(1) 床固の方向

計画(案)(図-1)で2号床固の方向は、2号床固～3号床固間の外湾の地山が岩であることから、外湾に流れが集中して河床の局所洗掘が生じて問題はないものと判断し、流心線の接線に対して直角に定めている。また、3号床固の方向は、合流部の南大王川の右岸に集中する流れを緩和することを意図として、3号床固～4号床固間の流れを左岸に向けるように定めている。しかし、2号床固～4号床固間の外湾に流れを集中させることは、合流部の南大王川の右岸に流れを集中させる結果になる。実際にこの計画(案)では、外湾にポスト型水制を設置して流れを減勢させることを図っており、床固の方向の考え方と矛盾する。そこで、2号床固の方向は、外湾への流れの集中度を緩和するために流心の接線に対して15°の角度をつける。また、3号床固の方向は、下流の流心線に直角に定めるように修正した案の妥当性を検討する。

(2) 床固の袖の設置

3号床固と4号床固の左右岸に袖を設置して、主流水を流路の中央部に導き、内湾側の砂州の発達を制御して南大王川下流(合流部付近)の右岸に集中する流れを緩和することを期待する。

横工の袖の効果と形状に関する実験的研究²⁾を参考として、直線水路で複断面的河道が形成する袖の高さと長さを湾曲部に適用する。直線水路で横工に袖を設置した場合の横工間の河床の変化は、せき上

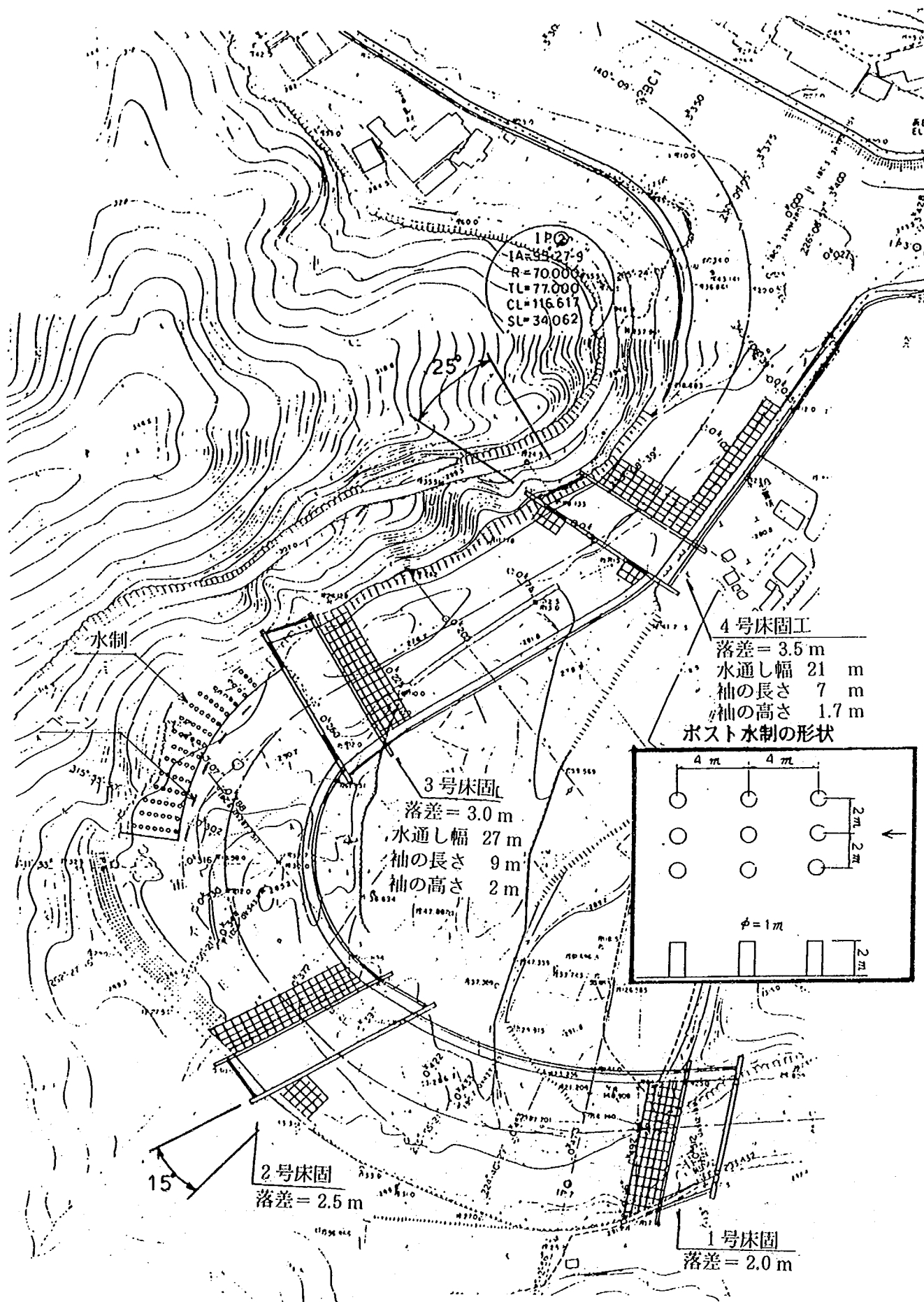


図-4 修正案の平面計画

げ水深の程度によって異なる。せき上げ水深 H_1 は袖と高さ、長さに式(1)の関係があり、複断面的な河道を形成するせき上げ水深の範囲は式(2)で示される。

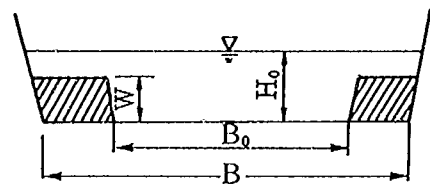
$$H_0/H_1 = e^{(-1.28W/H_0)(-1.62B_0/B)} \dots\dots\dots (1)$$

$$1.25 \leq H_1/H_0 \leq 1.5 \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 H_0 ：等流水深、 H_1 ：せき上げ水深、 W ：袖の高さ、 B ：水路幅、 B_0 ：横工の水通し幅である。袖の高さは $W/H_0 > 0.5$ にすると袖周辺部の局所洗掘が大きくなる問題があるので、南大王川では、式(1)で袖の高さは平均水深の0.5倍程度として袖の長さを設定した。計算結果を表-3に示す。

表-3 袖の形状

	B	B_0	W	H_0	H_1/H_0
3号床固	45 m	27 m	2.0 m	3.6 m	1.31
4号床固	35	21	1.7	3.1	1.30



(3) ポスト水制とベーン

ポスト水制は床固の袖だけで流れを減勢しきれない場合に設置する。水制の設置範囲は図-5に示すように2号床固～3号床固間の拡幅部で流れの集中する区間とする。設置幅は拡幅部で河道幅と水制幅の差が上下流の平均的な河道幅にほぼ等しい13 mに計画する。ポスト水制の高さは2 mで、この高さは湾曲部の平均水深の約0.5倍である。水制間隔は横方向に2 m、流れの方向に4 mの間隔とする。水制の直径は1 mに計画する。

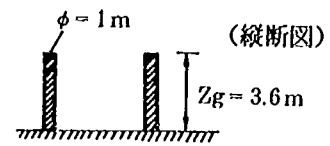
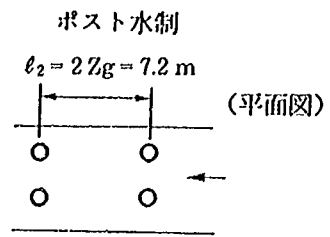
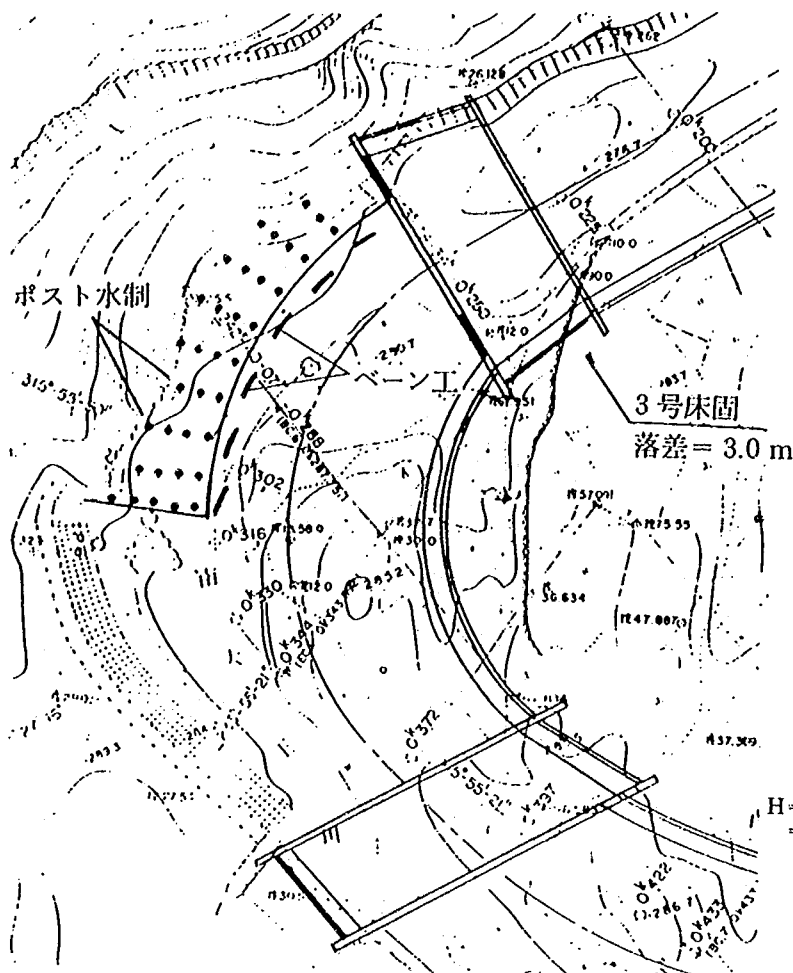
ポスト水制で流れを減勢すると水制の前面での局所洗掘が大きくなるので、水制の前面に長さ3.5 m、高さ2.2 mのベーンを7 m間隔に5基設置して局所洗掘の低減を図る計画とする。

(4) 合流部での河床変動と水位を調べて施設の効果を検討する。

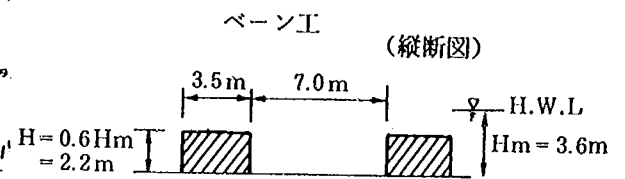
2) 実験概要

(1) 模型縮尺は1/70で、模型の取り入れ範囲は図-6に示すように南小川と南大王川の合流点より下流約500 mの位置を下流端とし、上流端は南小川が合流点より上流約400 m、南大王川が約600 mの位置とした。水量はフルード相似則に従って表-4のようになる。

(2) 流量は図-2の計画対象流量ハイドログラフに基づきフルード相似則に従って図-7に示す流量ハイドログラフを与える。図-7の流量ハイドログラフは、流量を段階的に変化させているが、実河川の計画対象流量ハイドログラフの総流量に一致させている。ただし、土砂の移動がほとんど無い70 m³/sec以下の流量は除いている。

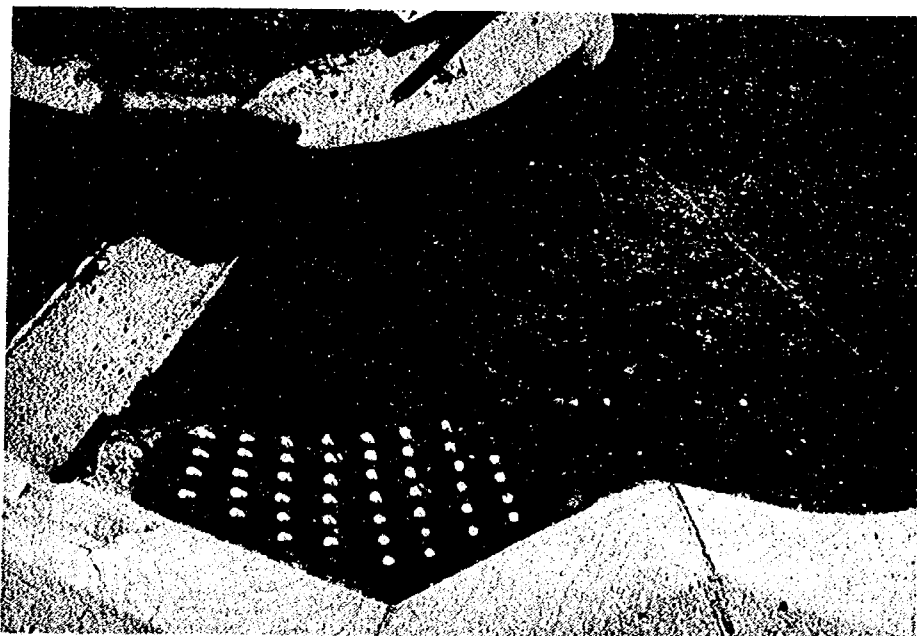


ポスト型水制の諸元



ベーンの諸元

ポスト型水制とベーンの配置



ポスト型水制とベーンの配置状況

図一五 ポスト型水制とベーンの配置

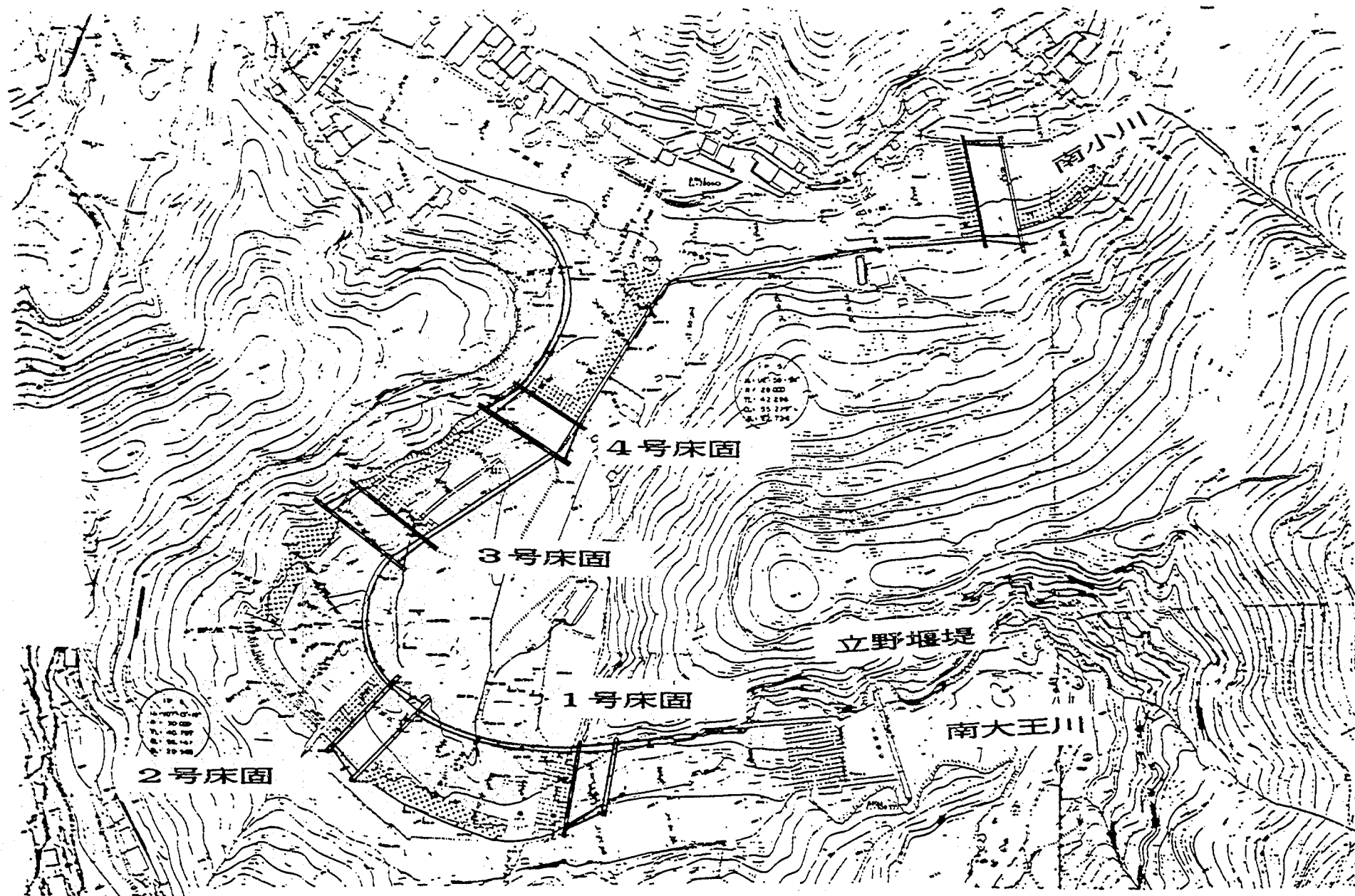


図-6 実験取り入れ範囲 (S = 1/2,500)

表-4 諸物理量縮尺比率表（フルード相似則）

諸 量		次 元 (L - F - T)	縮 率	
			比	縮 尺
幾 何 学 的 な 量	水平成分 (X)	L	Xr	1 : 70
	鉛直成分 (h)	L	Hr	1 : 70
	勾 配 (h/X)	—	Hr · Xr ⁻¹	1 : 1
	面 積 (A)	L ²	Hr · Xr	1 : 4,900
	体 積 (Vo)	L ³	Hr · Xr ²	1 : 343,000
水 理 学 的 な 諸 量	フルード数 (Fr)	—	1	1 : 1
	流 速 (V)	L · T ⁻¹	Hr ^{1/2}	1 : 8.37
	流 量 (Q)	L ³ · T ⁻¹	Xr · Hr ^{3/2}	1 : 40,996.3
	時 間 (T)	T	Xr · Hr ^{-1/2}	1 : 8.37
	圧力の強さ (P)	F · L ⁻²	Hr	1 : 70
	粗度係数 (n)	L ^{-1/3} · T	Hr ^{2/3} · Xr ^{-1/2}	1 : 2.03
	流量係数 (C)	—	1	1 : 1
	掃 流 力 (τ)	F · L ⁻²	Hr	1 : 70
	エネルギー (E)	F · L	Hr ⁴	1 : 24,010,000
	運 動 量 (m·V)	F · T	Hr ^{7/2}	1 : 2,869,740

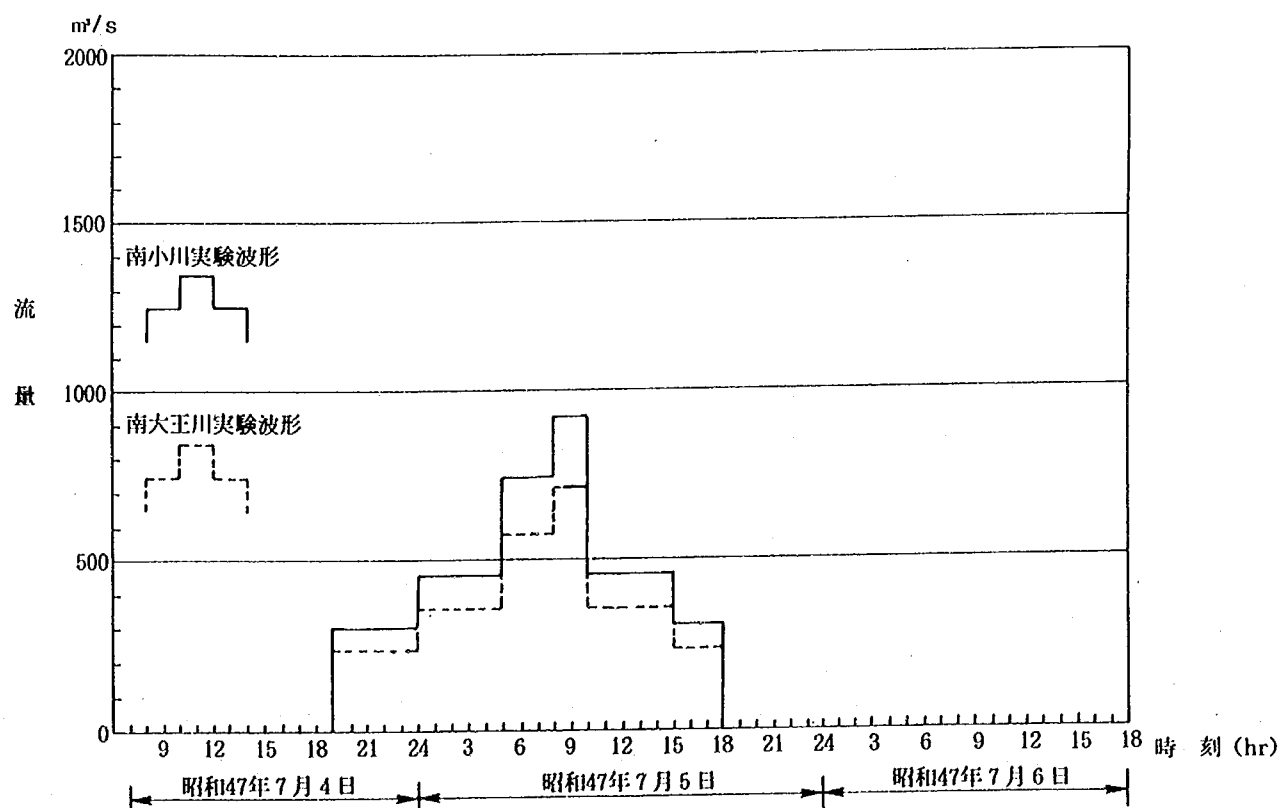


図-7 流量ハイドログラフ

(3) 実験使用砂は図-3の現地の河床材料の粒度分布で30%以上の粒度の平均的なものを縮尺1/70の大きさに幾何学的に相似させた図-8の平均粒径2.45mm, $d_{90} = 6.6\text{ mm}$ の混合粒径砂である。

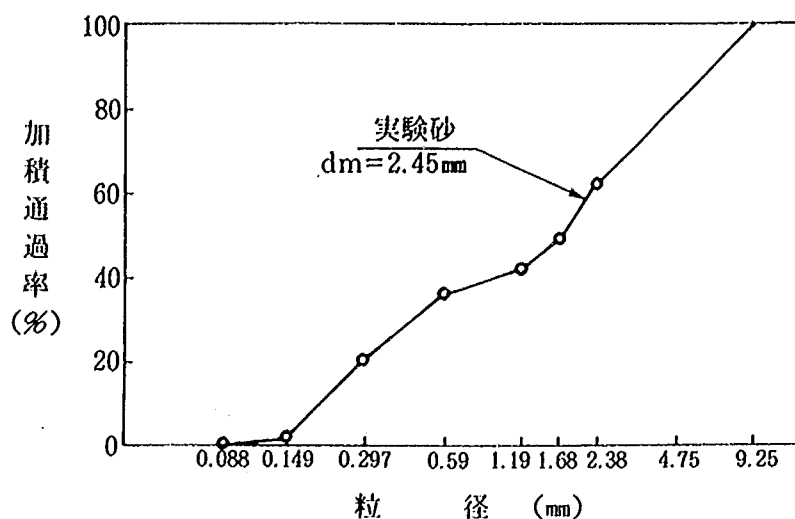


図-8 実験に使用した砂の粒度分布

(4) 給砂量は、表-1に示す給砂土砂濃度で(南大王川; 0.01%~0.12%, 南小川; 0.11%~0.25%) 模型の上流端より与えた。

(5) 実験は南大王川流路工の検討を主体に行った。南大王川流路工の効果を検討する実験以外は、南小川からは流量、給砂量を与えていない。また、床固の方向を検討する実験で給砂を行わない実験も行っているが、原則として模型上流端より給砂している。

2 実験結果と考察

2.1 実験結果の要約

合流部の南小川の右岸及び南大王川の右岸の既設護岸の越水は、流れが合流することによって掃流力が減少し土砂が堆積すること、南大王川の左岸（内湾）に砂州が発達し、右岸（外湾）に流れが集中することが主たる原因である。合流部での土砂堆積による護岸越水を防止するためには、先ず上流域の砂防工事が必要になるが、立野砂防ダムから土砂の供給が無く、流路工工事を行って床固工で河床を固定した場合においても護岸越水が生じるので、局所洗掘を防止する対策が必要である。

実験は先ず、流路工計画（案）の2号床固及び3号床固の方向を修正することによって外湾への流れの集中度を低減させることを検討した。2号床固は床固を設置する位置の水路中心線の接線に対して 15° の角度をつけ、3号床固は下流の流心線に対して直角の方向になるように計画（案）を修正した。床固の方向を修正すると外湾に沿う河床の局所洗掘は低減し、合流部の土砂堆積は少なくなって水位は低下して、立野砂防ダムから土砂の供給の無い場合に合流部付近の南大王川右岸の護岸越水は防止できた。しかし、立野砂防ダムから平衡状態の掃流砂量の0.5倍程度の土砂の供給（許容流砂量）のある場合は、土砂の供給の無い場合に比べて2号床固～4号床固間の右岸（内湾）で砂州の発達が顕著で、外湾に流れが集中し外湾の局所洗掘が大きくなって、それだけ合流部に多量の土砂が堆積して護岸を越水する。

内湾に発達する砂州を制御して外湾の流れの集中による局所洗掘を低減するために3号床固と4号床固に袖を設置して流心を流路中央に導くことを考えた。3号床固めの袖の形状（高さ、長さ）は式(1)、式(2)で決まる形状を湾曲部に適用して設定した。しかし、湾曲区間の平均水深 H_0 を条件に設定した袖の形状では、ピーク流量時の流れを十分に減勢することができないことがわかった。この原因は内湾と外湾との水位差が大きいことにあると考えられたので、外湾の袖の高さを外湾の水深を基に内湾より高くした。この場合には流れは十分に減勢できるが、袖周辺部の局所洗掘が大きいことや洪水の減水期に袖の水制的作用が強まって右岸の護岸沿いに流れが集中する問題があることから袖だけで流れを減勢し整流させることに無理があると考えた。そこで3号床固の袖は、平均水深を条件とする左右岸で同じ高さに設定し、流れの減勢を補うためにポスト型の水制を3号床固の上流に配置した。4号床固は直線区間に設置されているので、式(1)、式(2)により設定した袖の形状で特に問題はない。

ポスト型の水制は基礎実験を行ってその成果を南大王川の湾曲部に適用した。ポスト型の水制は高さを平均水深と同じにして間隔を粗にする案と水制の高さを平均水深の約60%にして水制間隔を密にする案について検討したが、流れの減勢効果はいずれの場合も同程度であった。

ポスト型の水制を設置すると水制の前面（基礎部）での局所洗掘が大きくなるので、ベーンを水制の前面に配置して局所洗掘深を許容できる深さ（2m）まで低減させた。ベーンの設置条件は、ベーン工に関する基礎実験の報告³⁾に基づいて設定した。

図-1の計画（案）に対して図-4のように床固の方向を修正し、袖とベーンを設置することで流れは整流され、合流部の土砂堆積は減少し、砂州の発達が制御できた結果、合流部の護岸越水は防止できた。以下に各々の検討項目に対する実験結果を記述する。

2.2 床固の方向の検討

湾曲部における横工の方向に関する研究⁴⁾によると床固を設置する位置の水路中心線に対して流れの方向に $\alpha=10^\circ\sim 15^\circ$ の角度をつけると図-9のように湾曲部の最大洗掘深は小さくなることが報告されている。図-9に2号床固の設置角度 $\alpha=0^\circ$ と $\alpha=15^\circ$ の場合の実験結果を示しているが、やはり $\alpha=15^\circ$ の場合の方が洗掘深は小さい。図-10は計画(案)と修正案の検討実験での初期河床高に対する止水直後の河床の変化を示す。床固の方向を修正することによって外湾の局所洗掘深は小さくなるが、写真-2と写真-3に示すように内湾に砂州が形成して、流れが外湾に集中するために外湾の局所洗掘深が図-11のようにまだ大きい。合流部の土砂堆積を低減させるためには内湾に発達する砂州を制御する対策が必要になる。

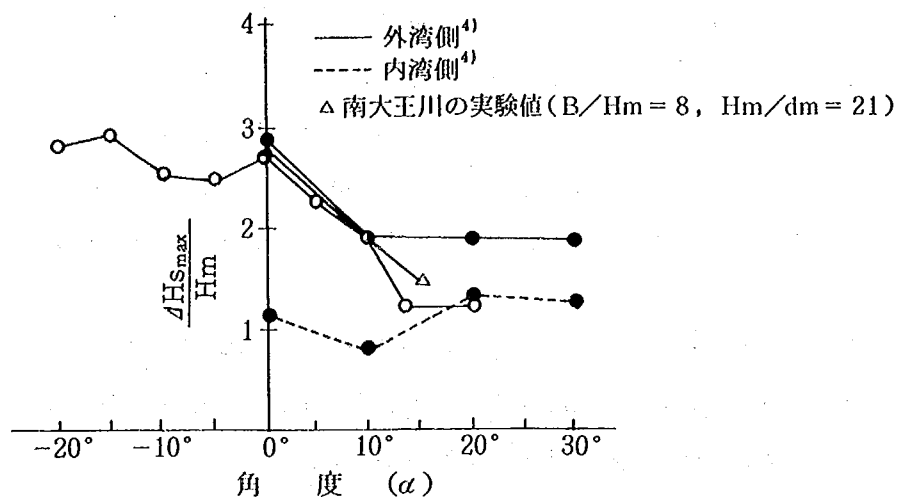
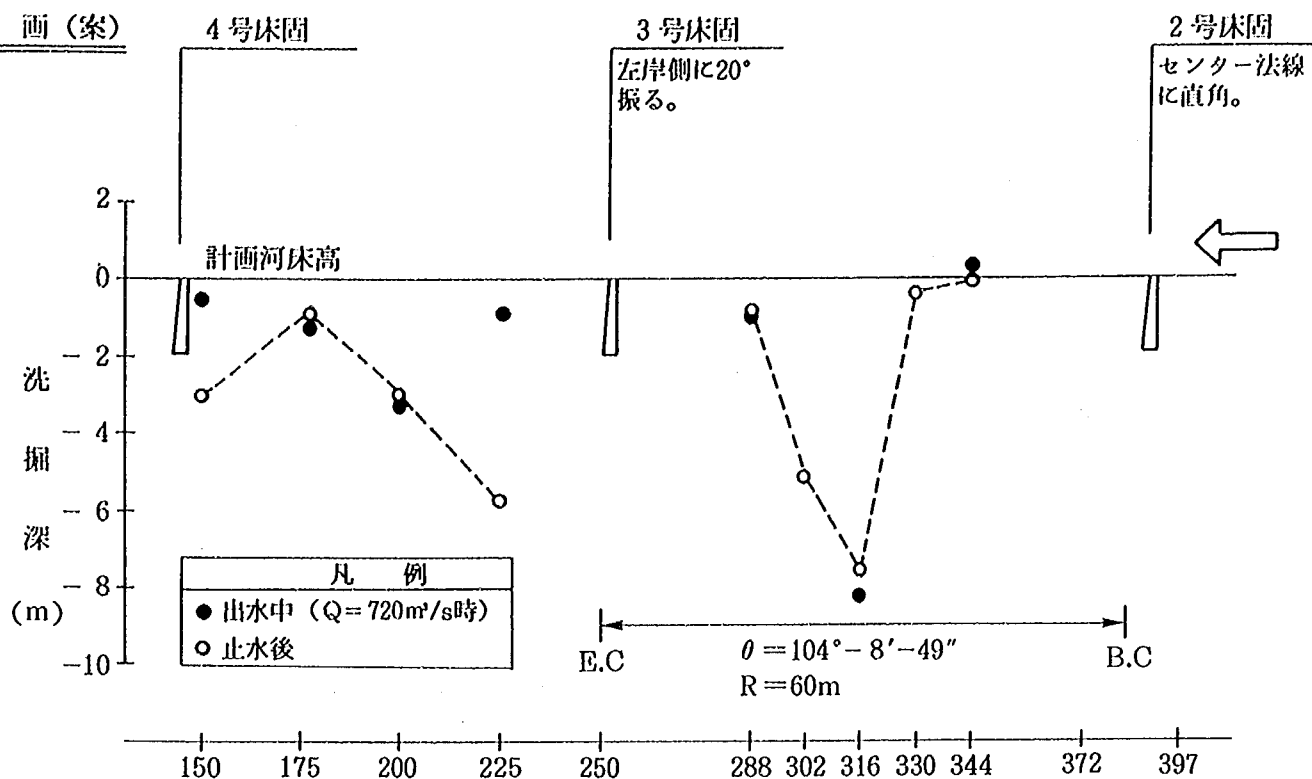


図-9 横工の設置角度と最大洗掘深の関係

計 画 (案)



床固の方向
の修正案

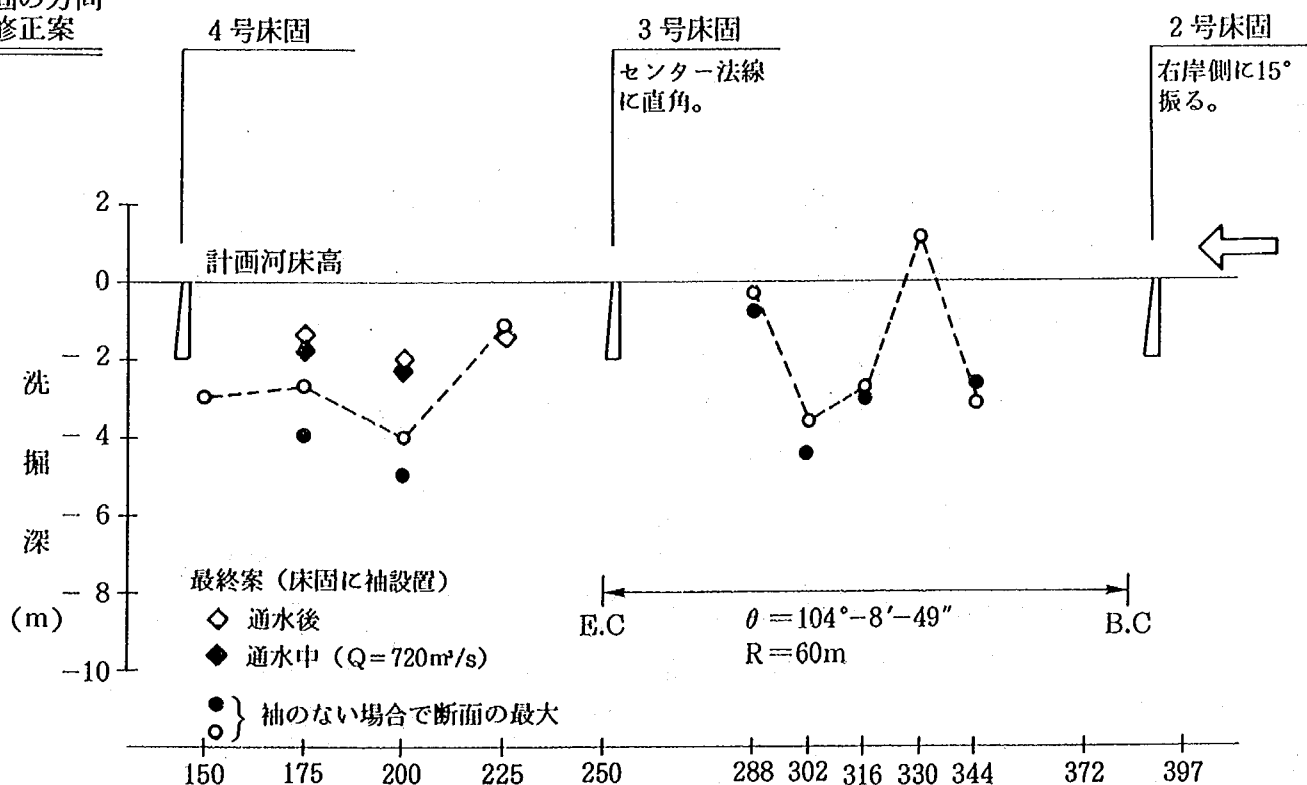


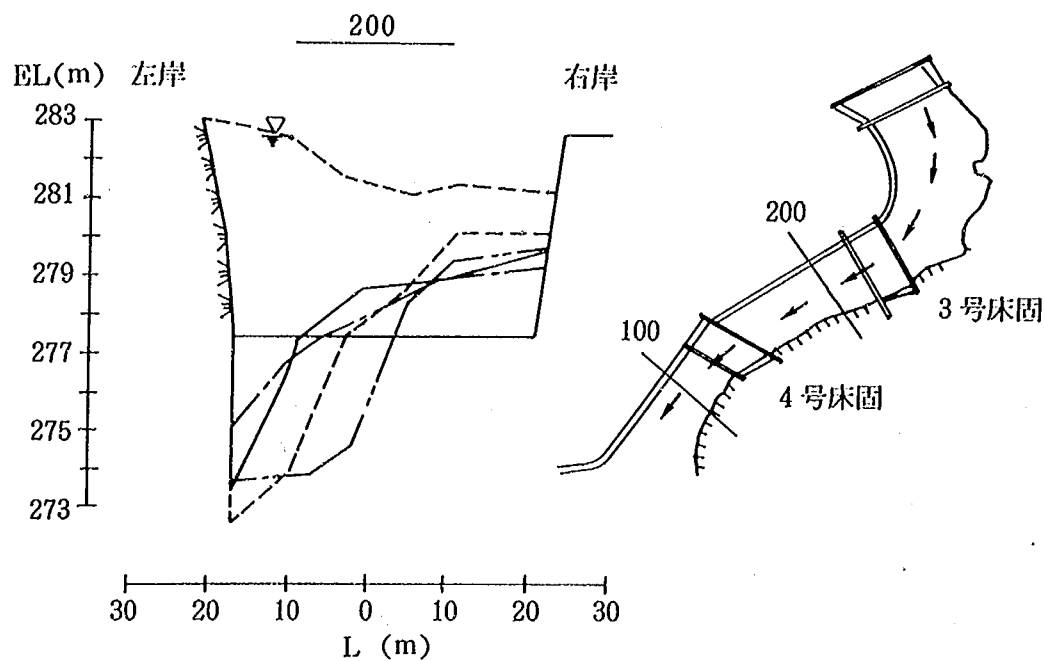
図-10 床固の方向と左岸沿いの河床の変化高



写真-2 湾曲部の内湾に砂州を形成し，流れは外湾に集中する
(流量 720 m³/sec)



写真-3 合流部付近の南大王川右岸に集中する流れ
(左岸には砂州が形成する)



凡 例		
流 量	河床高	水 位
$Q=360 \text{ m}^3/\text{s}$	----	
$Q=580 \text{ m}^3/\text{s}$	----	
$Q=720 \text{ m}^3/\text{s}$	----	
止 水 後	——	

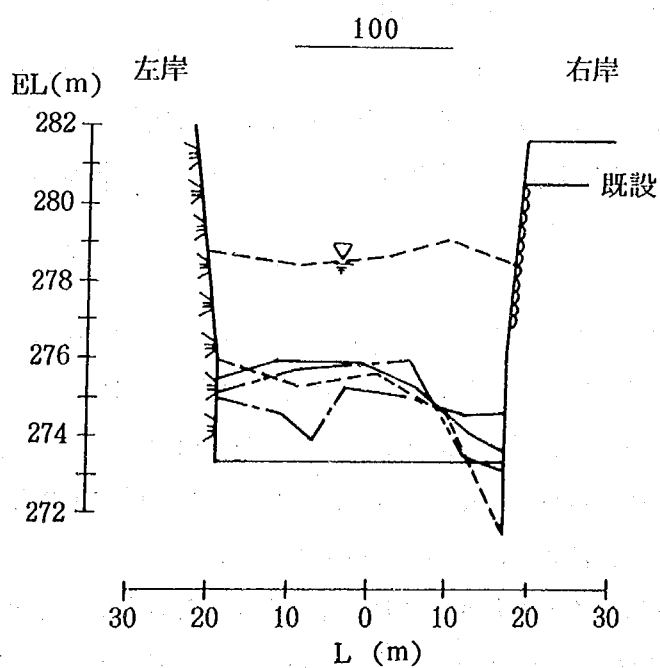


図-11 河床高の時間的变化

2.3 床固の袖の効果の検討

2号床固～4号床固間で主流水を流路中央部に導流して内湾（右岸）の砂州の発達を制御する目的で、3号床固と4号床固の左右岸に袖を設置し、その効果の程度と袖の形状を検討した。袖による流れの整流の程度はせき上げ水深 H_1 によって異なり $1.2 < H_1/H_0 < 1.5$ の領域で $Fr < 1.2$ であれば複断面的な河道を形成させることができる。

(1) 3号床固の袖

3号床固の袖の形状は、式(1)で計算されるせき上げ水深 H_1 が $1.2 < H_1/H_0 < 1.5$ の範囲にあるように袖の長さを9mにして、高さを1.5m, 2.0m, 2.5m, 3.0mに変化させた。 $H_1/H_0 \approx 1.2$ (W : 袖の高さ1.5m, 長さ9.0m)の場合は、写真-4のように砂州が形成されて、流れの集中がみられる。3号床固を設置する位置における内湾と外湾の水位差が大きいために、湾曲区間の平均水深 H_0 を用いた袖の形状に問題があると考えた。そこで、内湾の袖の高さは湾曲区間の平均水深 H_0 を基に2mとし、外湾の袖の高さは床固を設置する位置の外湾の水深を基に3mとして、左右岸で袖の高さを変えて実験を行った。右岸の袖によるせき上げ水深は $H_1 = 1.3 H_0$ で、左岸は $H_1 = 1.4 H_0$ になる。

写真-5(1)にみるように、ピーク流量での3号床固～4号床固の流れは整流できた。しかし、写真-5(2)のように減水期に3号床固の左岸の袖の水制作用により3号床固～4号床固の右岸に流れが集中する問題が生じた。また、床固の直上流での局所洗掘は、袖が高い程大きくなる（図-12）ので、袖の高さが高ければよいということではない。

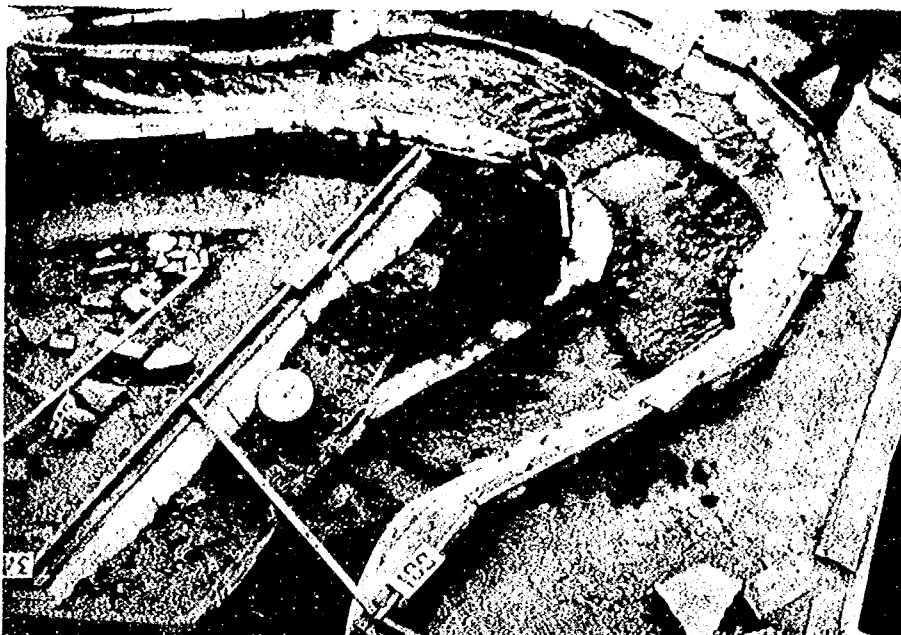
$H_1/H_0 = 1.3$ を得るように $B_0/B = 0.6$ で $W/H_0 = 0.6$ (W = 袖の高さ; 2m)の左右岸ともに同じ形状の袖を設置した場合は、写真-6(1)に示すようにピーク流量 (720 m³/sec) では外湾側の流れの減勢は不十分であるが、 $H_1/H_0 = 1.2$ の袖の形状の場合（写真-4）に比べると左岸への流れの集中は低減する。また、減水期においても $H_1/H_0 = 1.4$ の袖の形状のように袖の水制的作用による強制的な流れはなくなる（写真-6(2)）。

(2) 4号床固の袖

$H_1/H_0 = 1.3$ ($B_0/B = 0.6$, $W/H_0 = 0.5$, $W = 1.7$ m) と、 $H_1/H_0 = 1.2$ ($B_0/B = 0.6$, $W/H_0 = 0.4$, $W = 1.2$ m) を得るような2種類の袖の形状を検討した。 $H_1/H_0 = 1.3$ と $H_1/H_0 = 1.2$ の湾曲部より下流の流況を写真-6と写真-4で比較すると $H_1/H_0 = 1.2$ とする袖の形状の方が3号床固～4号床固間の右岸と4号床固～合流点間の左岸への流れの集中度が高い。ただし、 $H_1/H_0 = 1.3$ とする袖の形状で、ピーク流量の時に3号床固～4号床固間の左岸での減勢は不十分である。

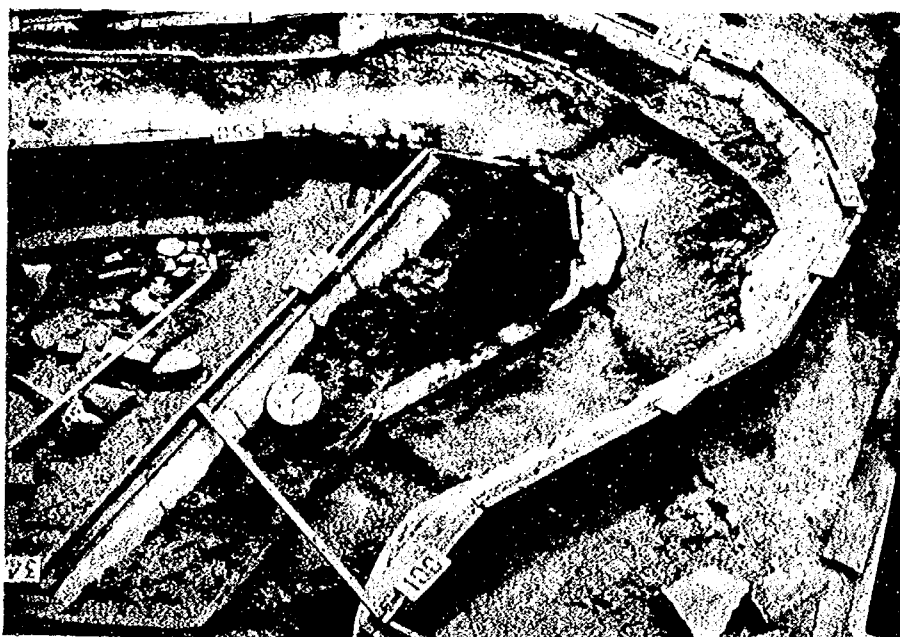
(3) 床固の方向だけを修正した場合と床固の方向を修正して $H_1/H_0 = 1.3$ を得る袖を3号床固と4号床固に設置した場合の計画河床高に対する河床の時間的な変化を図-13に比較して示す。図-13より床固に袖を設置すると3号床固より下流での局所洗掘は低減することがわかる。

(4) 床固の袖は内湾に形成する砂州を制御して流れの集中によって生じる局所洗掘を低減するので有効である。しかし湾曲部に位置する3号床固の袖は直線部の袖の考え方を適用して決めるとピーク流量の流れの減勢が不十分であり、外湾の水深を用いて袖の高さを決めると流れを減勢できるが、袖周辺部の局所洗掘が大きくなる等の問題がある。流れの集中する3号床固の位置における外湾でのフルード数



(1) 流量 $360 \text{ m}^3/\text{sec}$ の流れ

3号床固を流水は減勢されない状態で流下し、3号～4号床固の左岸に集中する。

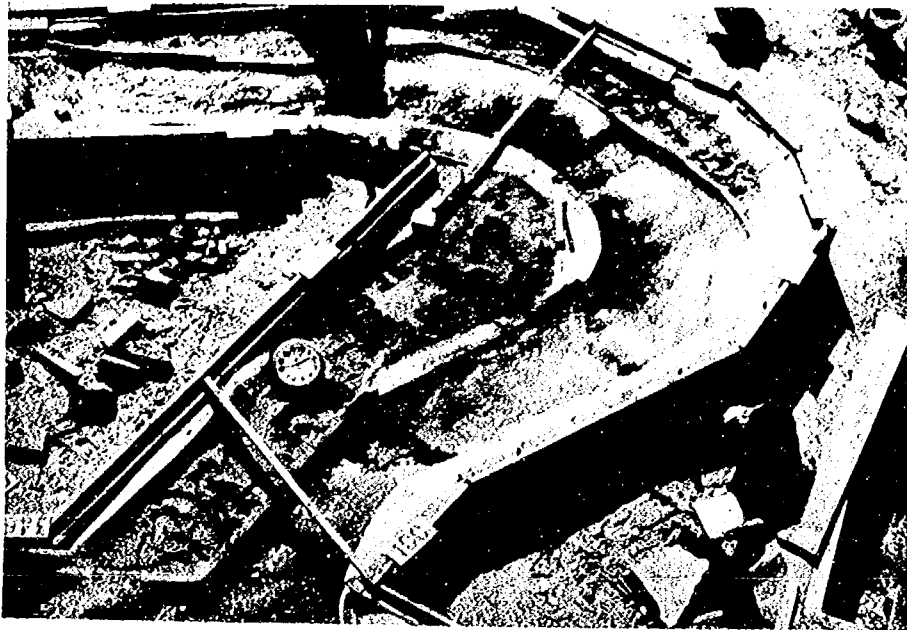


(2) 流量 $720 \text{ m}^3/\text{sec}$ の流れ

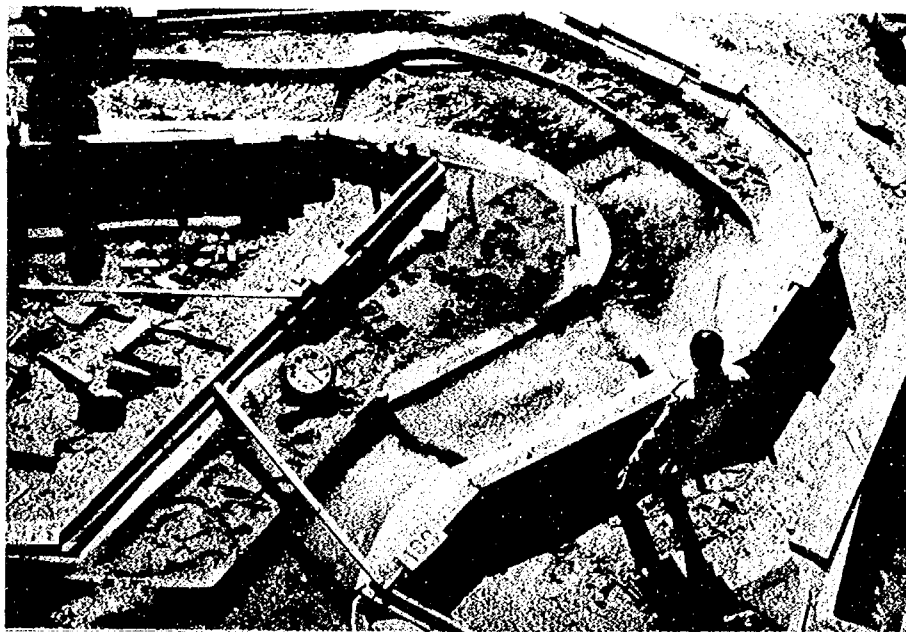
写真-4 床固に袖を設置した場合の湾曲部の流れ

(3号床固；高さ 1.5 m ，長さ 9.0 m ，

4号床固；高さ 1.2 m ，長さ 7.0 m)

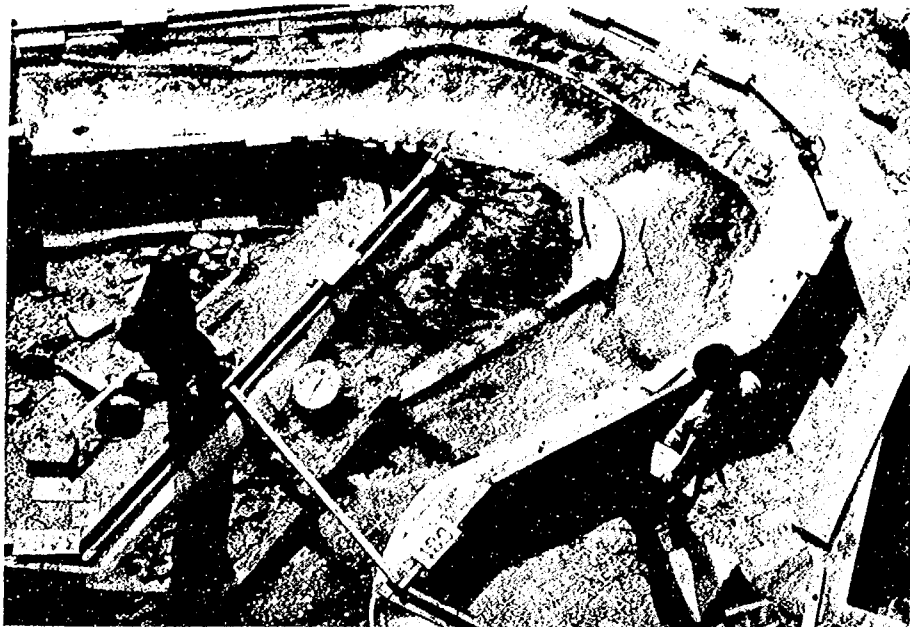


- (1) 3号床固～4号床固間での流れは床固に袖を設置することによって
整流できる。(流量 $720 \text{ m}^3/\text{sec}$, 3号床固; 袖の高さ, 右岸が 3 m ,
左岸が 2 m)

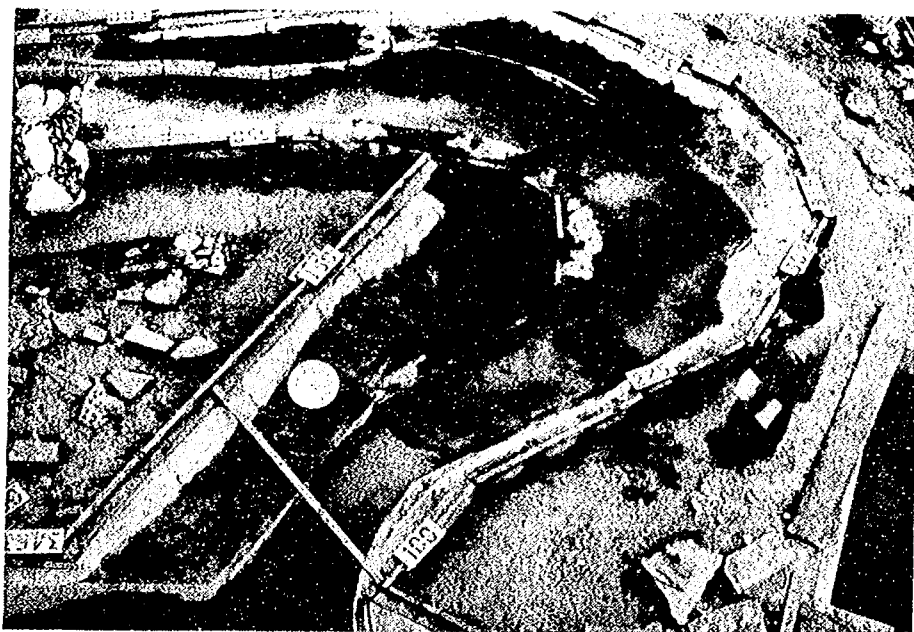


- (2) 減水期に, 3号床固の左岸の袖による水制的作用により, 流れは,
3号床固～4号床固の右岸に集中する。
(流量 $360 \text{ m}^3/\text{sec}$ の流れ)

写真-5 床固に袖を設置した場合の湾曲部の流れ



(1) 流量 $720 \text{ m}^3/\text{sec}$ の流れ



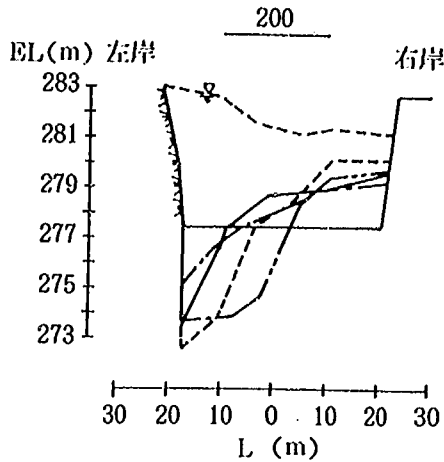
(2) 流量 $360 \text{ m}^3/\text{sec}$ の流れ

写真-6 床固に袖を設置した場合の湾曲部の流れ

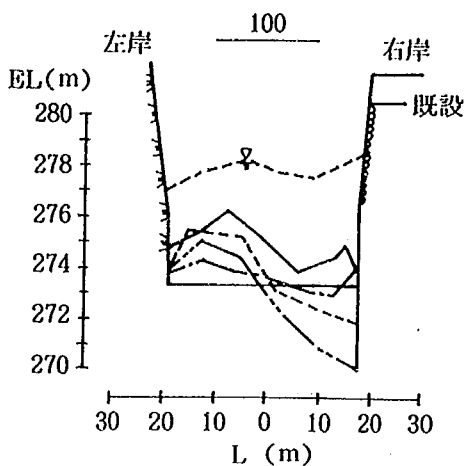
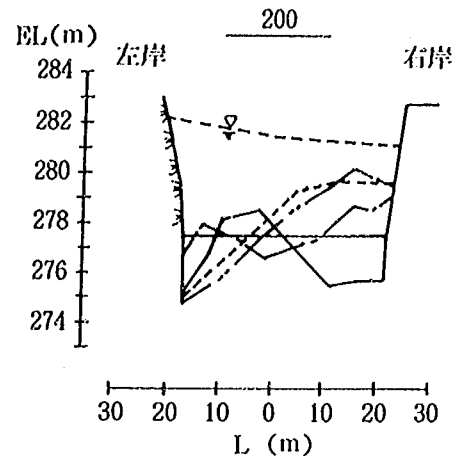
3号床固 (袖の高さ 2 m ; 長さ 9 m),

4号床固 (袖の高さ 1.7 m ; 長さ 7 m)

床固の方向を修正した場合



床固の方向を修正し袖($H_1/H_0=1.3$)を設置した場合



凡 例		
流 量	河床高	水 位
$Q=360 \text{ m}^3/\text{s}$	---	×
$Q=580 \text{ m}^3/\text{s}$	---	×
$Q=720 \text{ m}^3/\text{s}$	---	▽
止 水 後	---	×

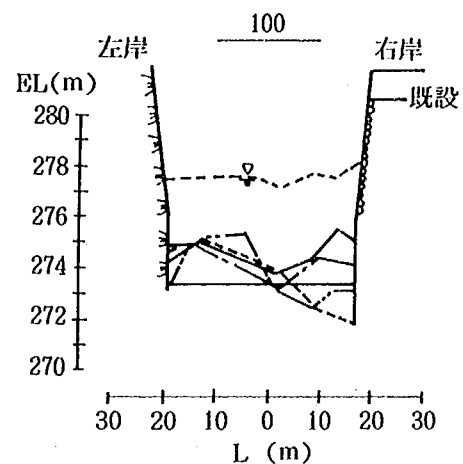


図-13 袖の有無による河床変化の比較

2.4 ポスト型水制の検討

2.4.1 ポスト型水制に関する基礎実験

1) 実験の概要

水制は機能面から流れを減速する目的と水はねを目的とするものとに大別される。南大王川では前述の理由から流れを減速する目的でポスト型の透過水制を湾曲部に設置する計画(案)がたてられた。実際にポスト型水制を計画する場合に問題となる水制の高さ及び間隔を決める設計基準がないので、南大王川に最適な水制の諸元を得るための基礎実験を行った。

実験に用いた水路は幅 0.3 m、深さ 0.4 m の長方形断面水路であって、上流側直線部 3 m、下流側 2 m の間に交角 $\theta = 90^\circ$ 、水路中心の曲率半径 $R = 0.9 \text{ m}$ の湾曲部が挿入されている。実験は先ず水路床勾配 1/150 の固定床の水路で、フルード数 $Fr = 1.3$ 、 $B/H_m = 8.6$ の条件で、水制の高さ Z_g 及び水制間隔 ℓ_1 と ℓ_2 を検討した。ここで、 H_m ；直線区間の平均水深、 ℓ_1 ；横方向の間隔、 ℓ_2 ；流れの方向の間隔である。水制の概念図を図-14に示す。水制幅 B_0 は、 $B_0/B = 0.25$ と 0.33 で、水制の高さ Z_g は $Z_g = (0.34 \sim 1.14)H_m$ で、水制間隔 ℓ_1 は、 Z_g に対して $\ell_1 = (1 \sim 3.3)Z_g$ 、 $\ell_2 = (1 \sim 4)Z_g$ の範囲で実験を行っ

た。次に水路床は移動床で、水路床勾配を1/150とし、給砂は上流直線水路の初期河床高を維持するような給砂を行い $Fr=0.85$, $B/Hm=6.5$ の条件で、 $B_0/B=0.25$, $Z_g/Hm=1.0$, $\ell_1/Z_g=1.0$ で、 ℓ_2 を(1~3) Z_g の間で変化させた実験を行った。実験砂は図-15に示す粒度分布の平均粒径 $dm=3.6\text{mm}$ のものを使用した。

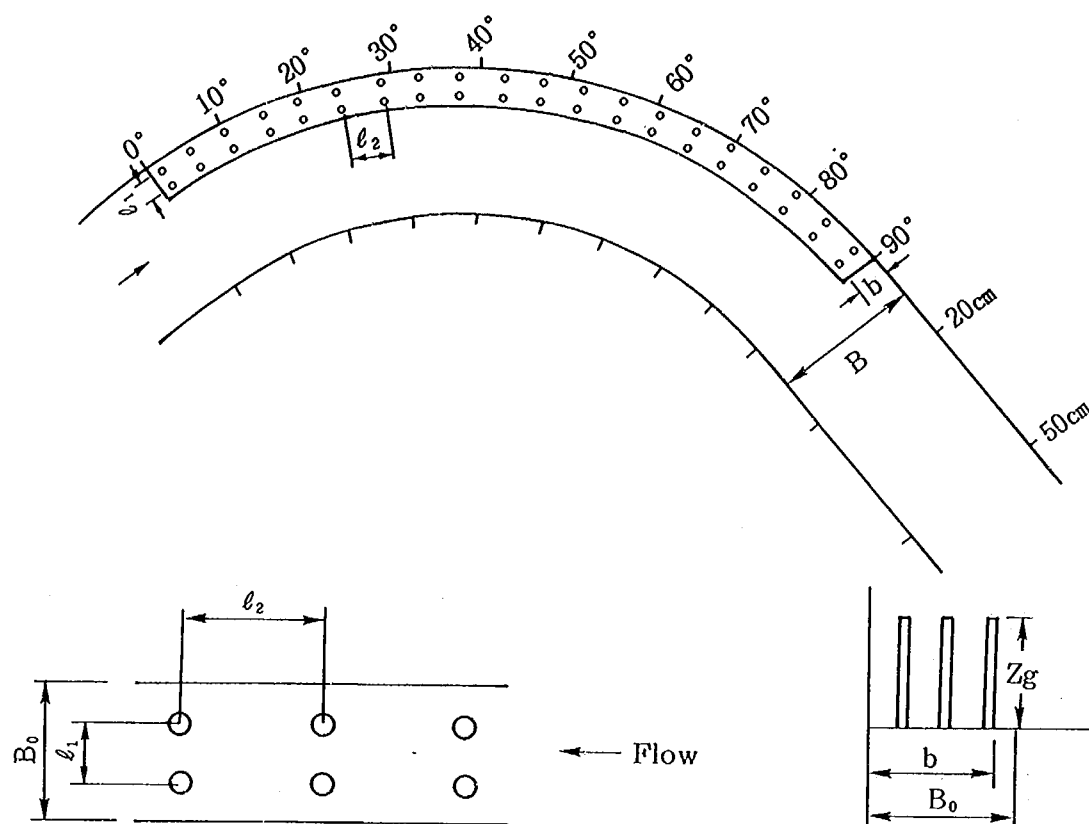


図-14 ポスト型水制の概念図

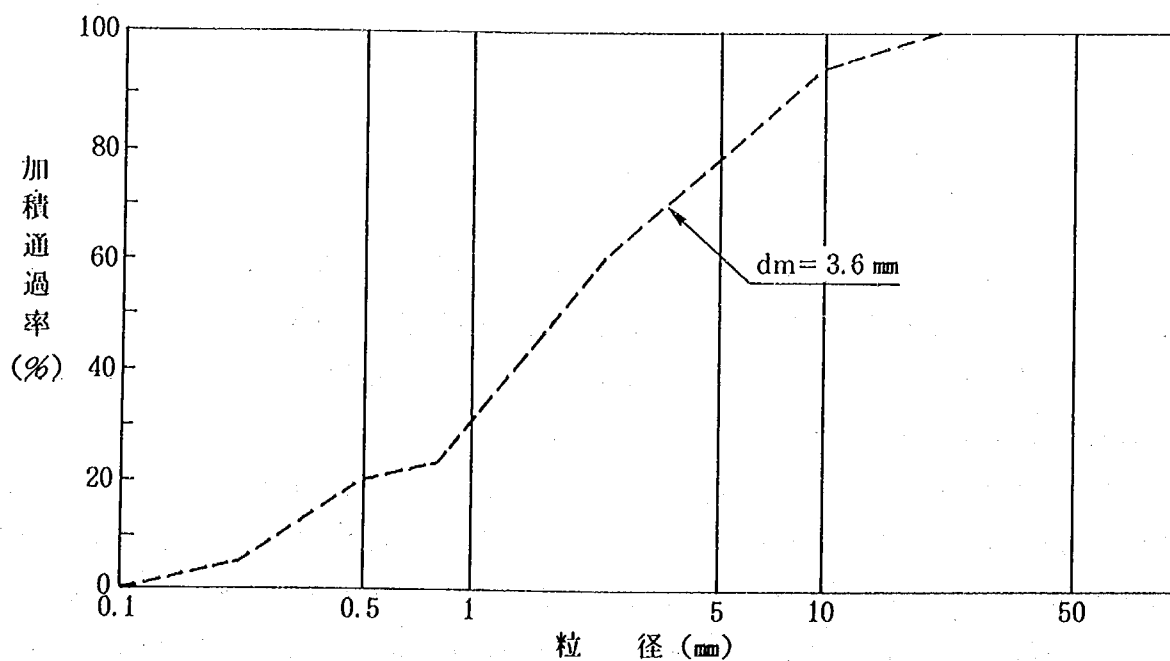


図-15 実験に用いた砂の粒度分布曲線

2) 実験結果と考察

(1) 水制の高さと水制間隔 (ℓ_1) の検討

水制の高さと流速の変化の関係を図-16に示す。図-16で V_1 は外湾の水深方向の平均流速で、 V_2 は内湾の水深方向の平均流速である。図-16より水制の高さは平均水深に近い程減勢効果は大きくなることがわかる。

水制の高さ Z_g と水制の本数の積を ΣZ_g とし、側壁と N 本目の水制間の距離を b とし、 $\Sigma Z_g/b$ (設置密度) と V_1/V_2 (流速の変化率) の関係を示したのが図-17である。図-17より $Z_g = (0.34 \sim 1.14) H_m$, $\ell_1 = \ell_2 = (1.3 \sim 3.3) Z_g$ の条件では、 $\Sigma Z_g/b = 1$ 近傍で外湾と内湾の流速がほぼ等しくなり、 $\Sigma Z_g/b$ をそれ以上に大きくしても V_1/V_2 の値の変化は小さいことがわかる。

(2) 流れの方向の水制間隔 (ℓ_2) の検討

水制間隔 ℓ_2 を変化させて V_1/V_2 (平均流速の変化率) の縦断的变化を図-18と図-19に示す。図-18は固定床で、図-19は移動床の場合である。図-18より水制を設置しない場合に比べて水制を設置すると V_1/V_2 の値は小さくなって水制の減速効果の大きいことがわかる。水制を設置した場合、水衡部 ($\theta^* = 60^\circ$ 付近) で減速効果の程度の差が最も顕著に生じ $\ell_2 = Z_g$ の場合にその効果が大きい。また、 $\ell_2 = Z_g$ の場合は縦断方向に対する V_1/V_2 の変化も小さい。

図-19の移動床の実験においても図-18と同様なことがいえる。ただし、図-20に示すように移動床の場合は、内湾に砂州が形成されて外湾への流れの集中度が大きくなるために固定床の場合に比べて流れの減勢効果は小さい。また、図-20で、 $\ell_2 = 3Z_g$ の場合の V_1/V_2 は、水制を設置しない場合に比べて大きい。これは、外湾の局所洗掘が大きく、局所洗掘の大きい区間で水深が大きくなって流れが急激に減勢されるからである。

初期河床高に対する止水直後の河床の変化を図-21に、水制間隔と測定断面毎における最大洗掘深の関係を図-22に、水制間隔と湾曲区間で生ずる最大洗掘深の関係を図-23に示す。図-21より水制を設置すると水制の無い場合に比べて内湾の砂州の高さと堆積幅が狭くなり、 $\ell_2 = Z_g$ と $\ell_2 = 2Z_g$ の河床の変化に比べて $\ell_2 = 3Z_g$ の場合に内湾の土砂堆積が顕著で水制の前面の局所洗掘は小さい様子がわかる。最大洗掘深は図-22、図-23より $\ell_2 = 2Z_g$ の方が $\ell_2 = Z_g$ の場合より小さく、 $\ell_2 = Z_g$ と $\ell_2 = 3Z_g$ ではほとんど差のないことがわかる。

外湾の流れを減勢することによって、内湾の流速が大きくなって内湾の砂州の規模は小さくすることができるが、流れを減勢しすぎると、水制と河床の境界面付近の流速が大きくなって、水制前面での局所洗掘が大きくなる問題があるので、水制による流れの減勢にも限度があり、流速の変化と局所洗掘面から考察すると、 $\ell_2 = 2Z_g$ の間隔がよいことになる。

凡 例			
水制間隔 3 cm	$B/B_0 = 1/3$	○	4 本
	$B/B_0 = 1/4$	▽	3 本
水制間隔 4 cm	$B/B_0 = 1/3$	●	3 本
	$B/B_0 = 1/4$	▼	2 本

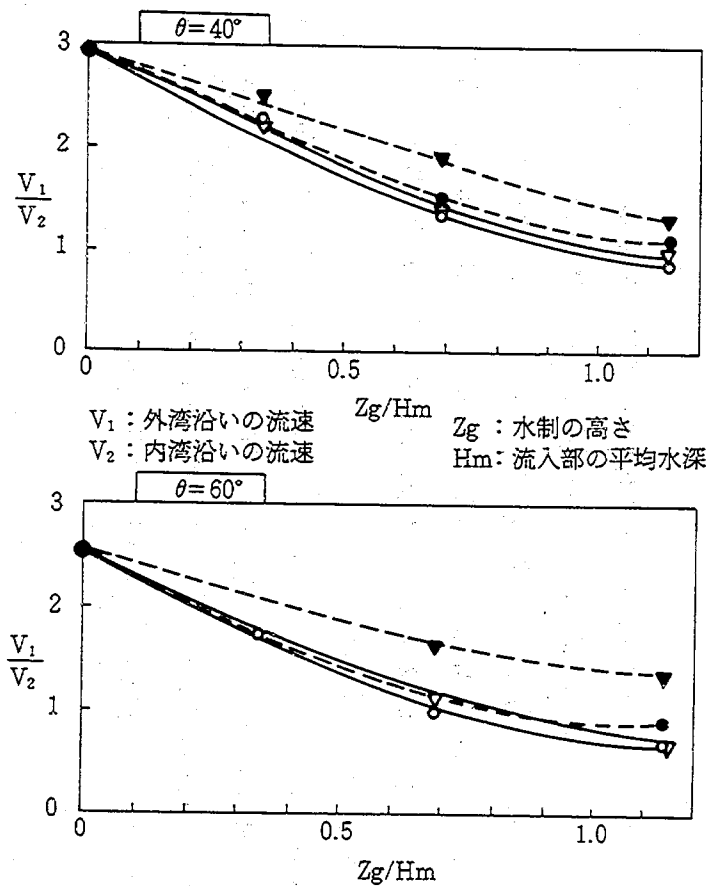


図-16 水制の高さと流速の変化

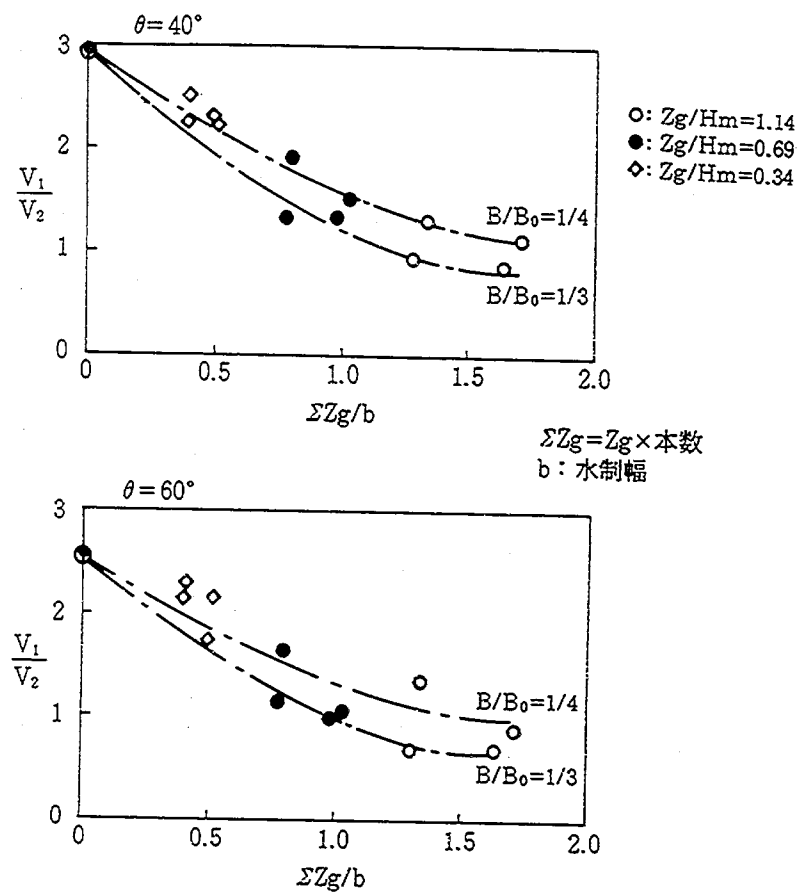
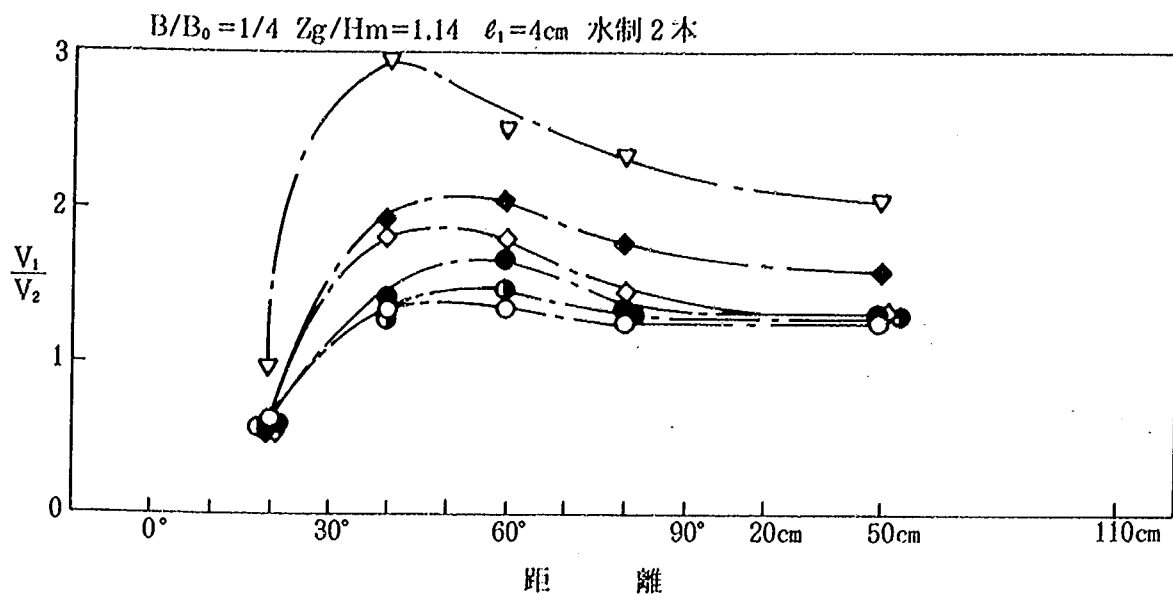


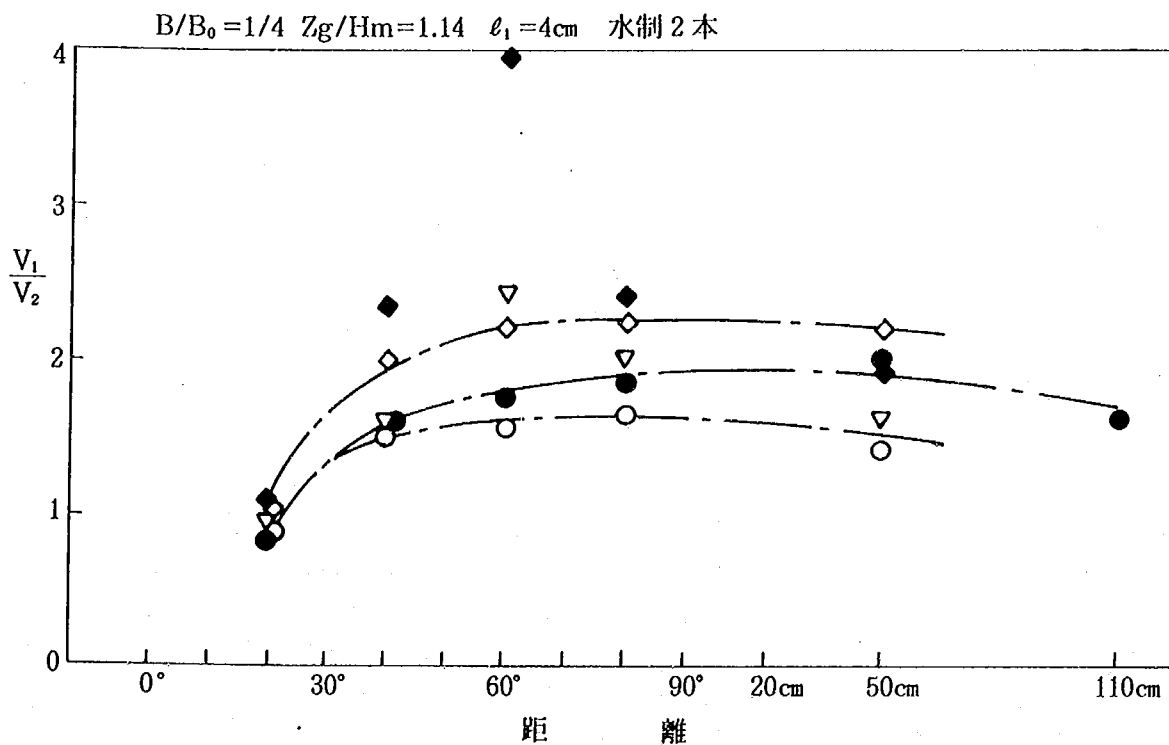
図-17 水制の密度と流速の変化



ℓ_2 : 縦断方向の水制間隔

- ▽ : 無 施 設
- ◆ : $\ell_2 = 4 Z_g = 16\text{cm}$
- ◇ : $\ell_2 = 3 Z_g = 12\text{cm}$
- : $\ell_2 = 2 Z_g = 8\text{cm}$
- : $\ell_2 = 4\text{cm}$ ($0^\circ \sim 40^\circ$)
- : $\ell_2 = 8\text{cm}$ ($40^\circ \sim 90^\circ$)
- : $\ell_2 = Z_g = 4\text{cm}$

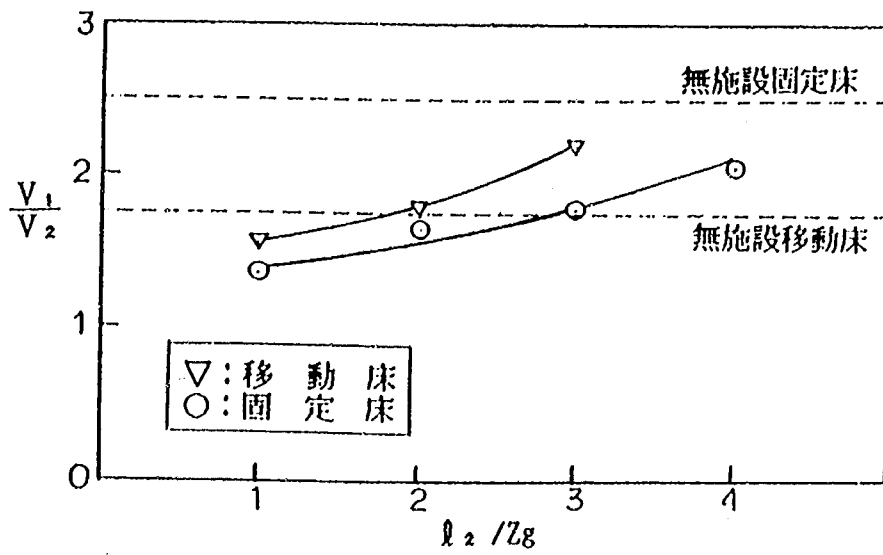
図-18 ℓ_2 と V_1/V_2 の関係 (固定床)



ℓ_2 : 縦断方向の水制間隔

- ▽ : 無 施 設
- ◆ : 根 固 工
- ◇ : $\ell_2 = 3 Z_g$
- : $\ell_2 = 2 Z_g$
- : $\ell_2 = Z_g$

図-19 ℓ_2 と V_1/V_2 の関係 (移動床)



$\theta = 60^\circ$ $B/Bo=1/4, Zg/lm=1.14, l_1 = Zg=4\text{cm}$ 、水制 2本

図-20 V_1 / V_2 と l_2 / Zg の関係 (移動床と固定床の比較)

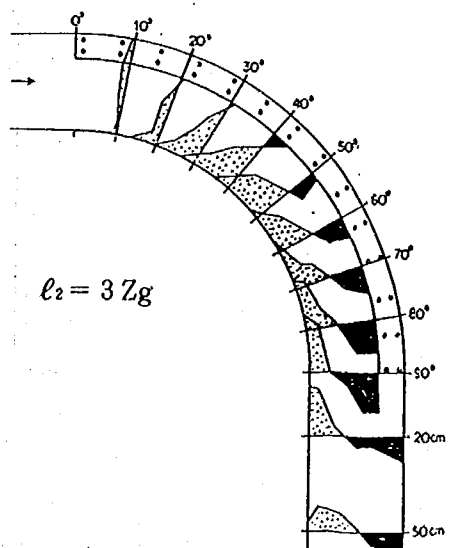
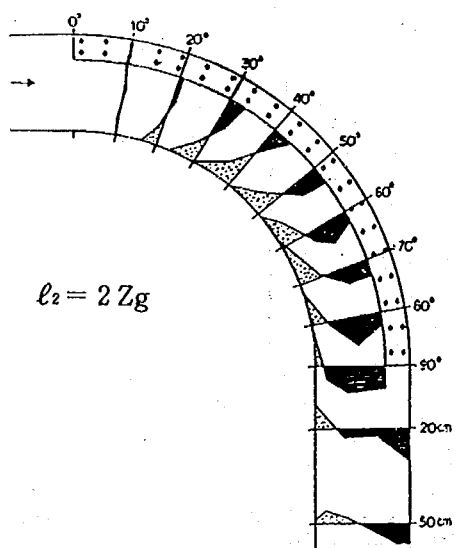
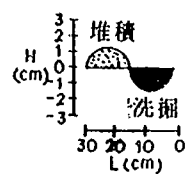
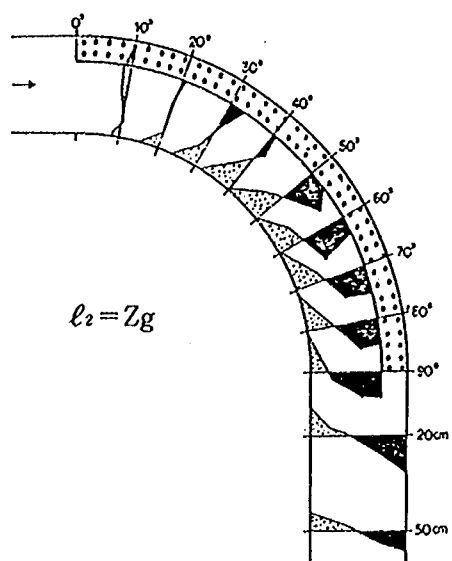
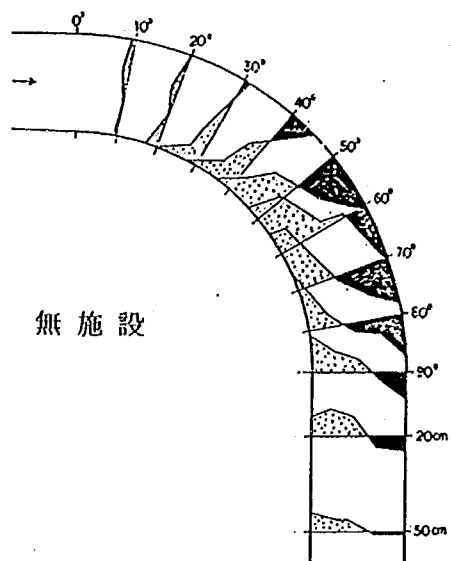


図-21 計画河床高に対する河床の変化

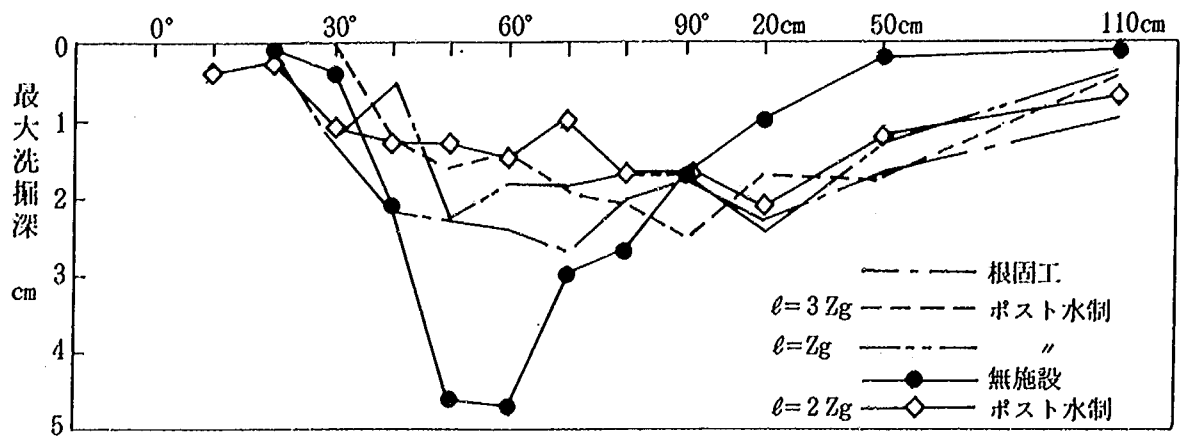


図-22 各測定断面における最大洗掘深の縦断変化

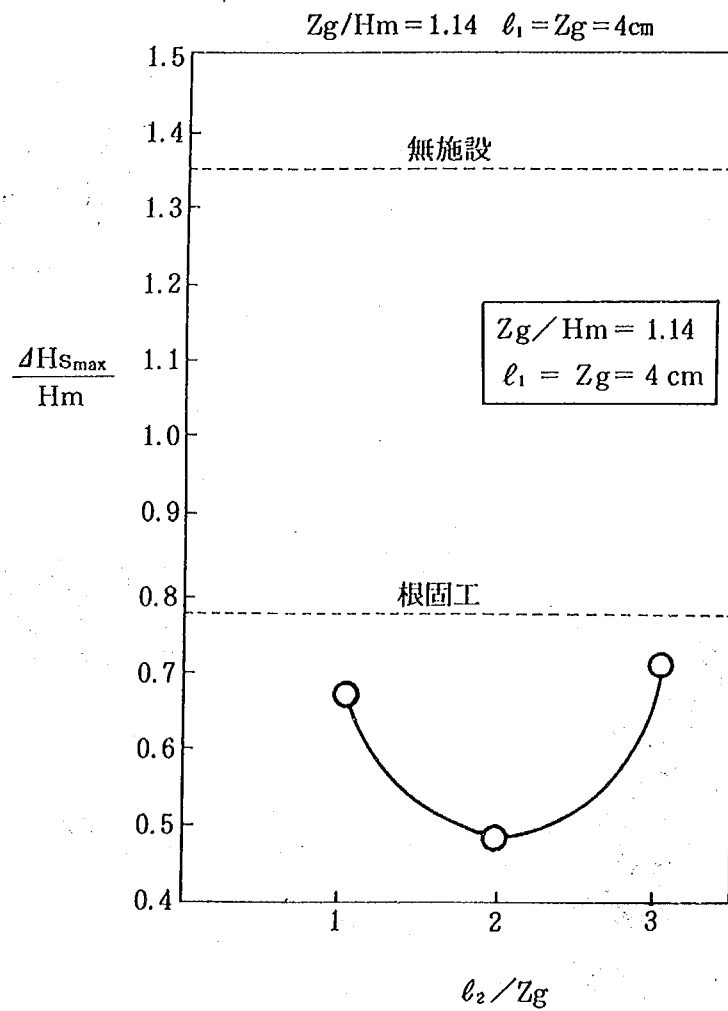


図-23 湾曲区間の最大洗掘深 ($\Delta H_{s_{\max}}$) と水制間隔の関係

2.4.2 南大王川への適用

基礎実験の結果より水制の密度 $\Delta Zg/b=1$ とする水制の高さ Zg と横方向の間隔 ℓ_1 を与えることにする。 Zg は $Zg=Hm$ の場合と $Zg=0.6Hm$ の2種類について検討するものとする、水制の設置条件は図-24のようになる。水制の設置幅 B_0 は10mに設定したので、横方向の水制の本数は $Zg=3.6m$ の場合に3本で ℓ_1 は3.6m、 $Zg=2m$ の場合に5本で ℓ_1 は2mになる。また、縦方向の水制間隔 ℓ_2 は水制の高さの2倍にすると、 $\ell_2=7.2m$ と $\ell_2=4m$ になる。

3号床固～4号床固間の水面より1mの位置で測定した流速を図-25と図-26に示す。図-25と図-26の流速を比較することによりタイプ1とタイプ2では流速にほとんど差のないことがわかる。

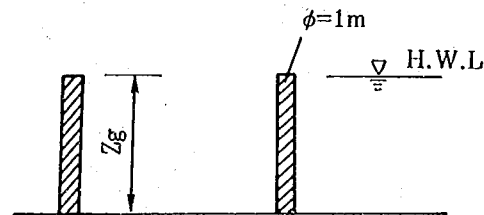
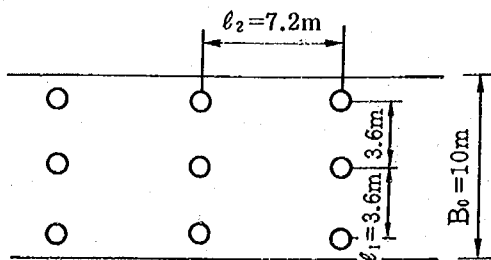
3号床固より下流の測定断面における水位及び河床高の時間的变化を図-27に示す。図-27よりタイプ1とタイプ2では河床の変化の様子にほとんど差がなく、タイプ1とタイプ2では外湾の流れの減速の効果は同程度であるとみなすことができる。

水制の前面での局所洗掘深は図-28に示すように水制を設置しない場合よりも大きくなる断面もあり、基礎の根入れを3m程度におさえるためには局所洗掘を低減させるか、根固工で基礎部を保護する対策が必要である。

ベーンは局所洗掘を低減することができ、ベーンの基礎は根固工としての役割も有することから、本実験ではベーンの効果を検討することにする。

タイプ1

Zg	ℓ_1	ℓ_2
3.6 m	3.6 m	7.2 m



タイプ2

Zg	ℓ_1	ℓ_2
2.0 m	2.0 m	4.0 m

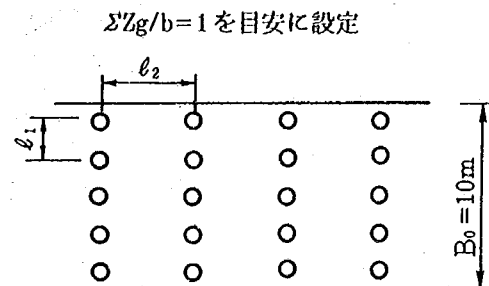
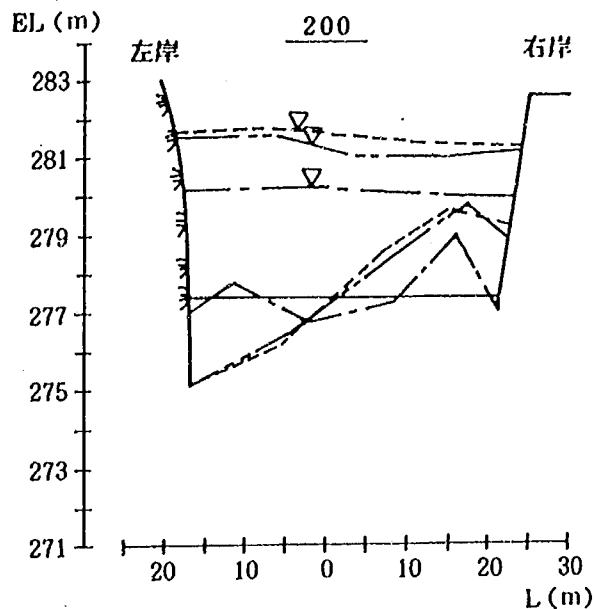
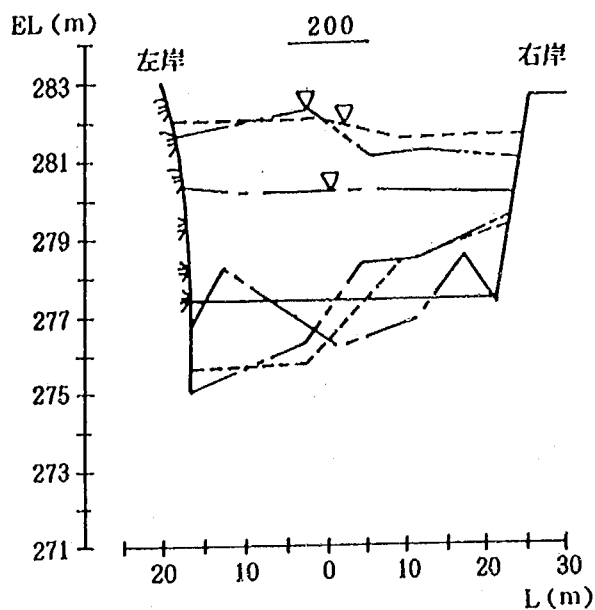
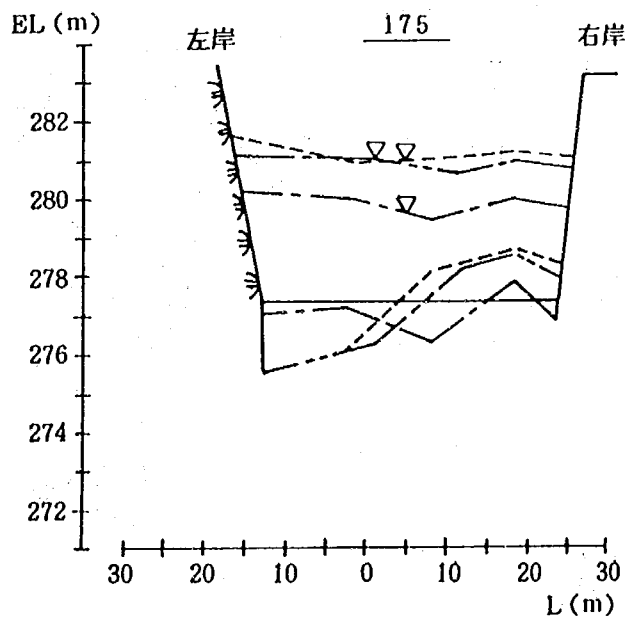
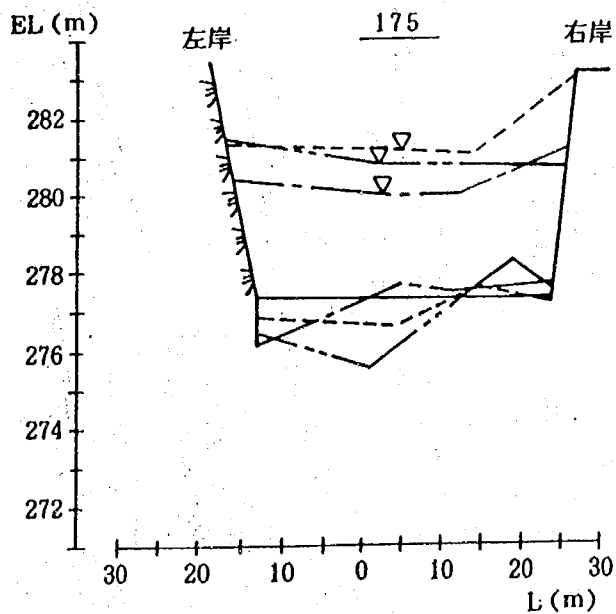


図-24 水制の設置条件



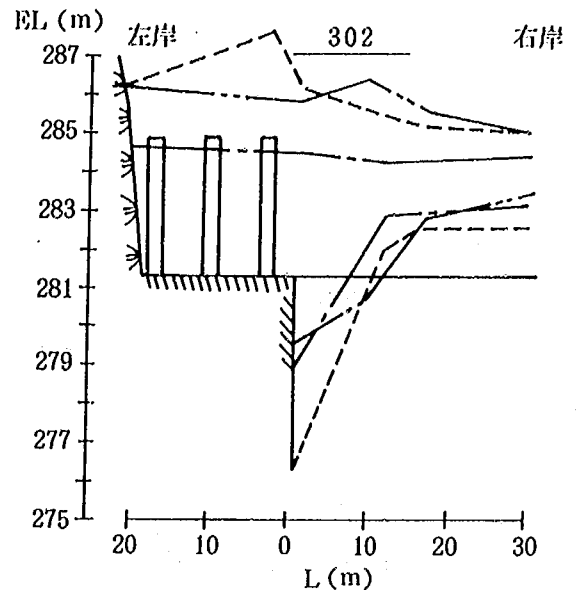
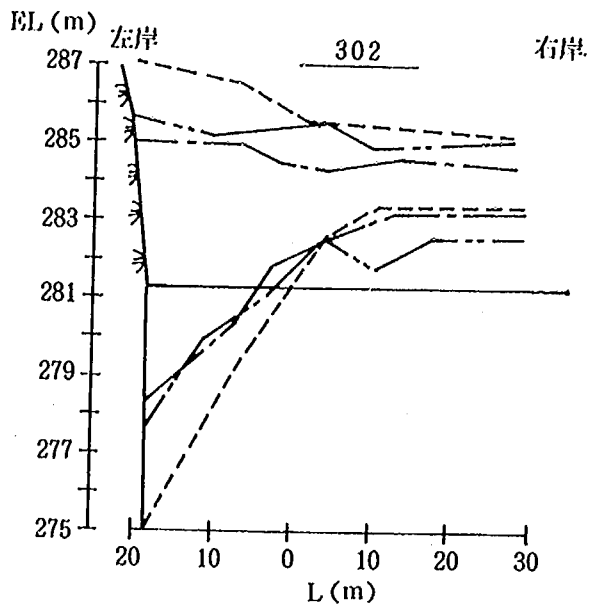
凡	例	
流 量	河床高	水 位
$Q = 360 \text{ m}^3/\text{s}$	----	---▽---
$Q = 580 \text{ m}^3/\text{s}$	----	---▽---
$Q = 720 \text{ m}^3/\text{s}$	----	---▽---



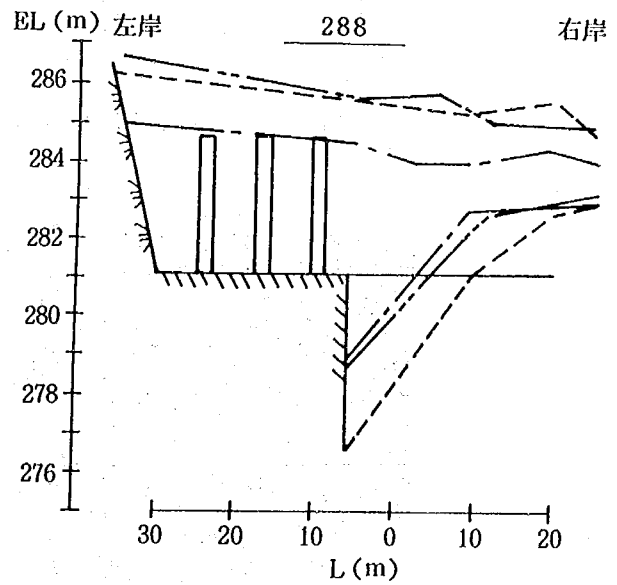
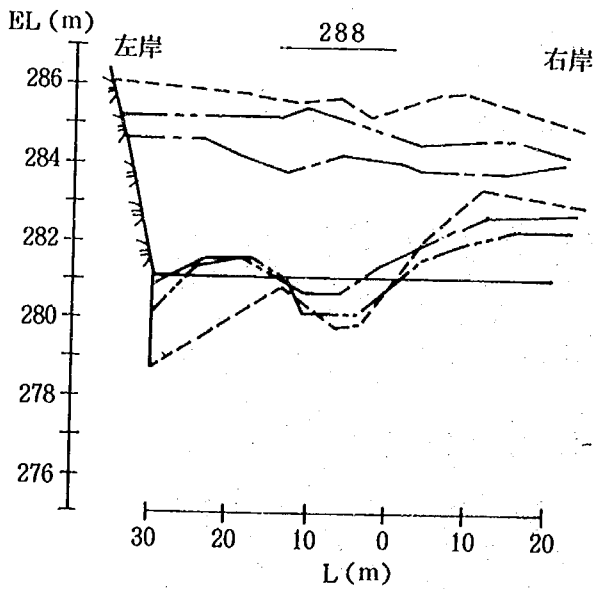
(1) タイプ1の場合

(2) タイプ2の場合

図-27 水位・河床高の変化



凡 例		
流 量	河床高	水 位
$Q = 360 \text{ m}^3/\text{s}$	----	---▽---
$Q = 580 \text{ m}^3/\text{s}$	----	---▽---
$Q = 720 \text{ m}^3/\text{s}$	----	---▽---



(1) 水制を設置しない場合

(2) 水制を設置した場合

図-28 水制の有無による河床変化の比較

2.5 ベーン工の検討

ベーンの高さ、長さはベーン工に関する先の報告を基にして次のように設定した。

ベーンの高さは等流水深の 60 % の 2.2 m とした。ベーンの長さの総和 (Σl_0) は曲線長の 33 % で、1 個のベーンの長さを 3.5 m、ベーンの設置間隔は 7.0 m にした。ベーンの設置角度は洗掘深を小さくするのに効果的な角度、すなわち水路の接線方向に対して下向きに 10° の角度をつけた。ベーンの設置状況を図-5 に、洪水時のベーン周辺の状況を写真-7 に、止水後の状況を写真-8 に示す。図-29 は計画河床高に対するベーンの有無による河床の変化を比較して示している。図-29 よりベーンを設置す

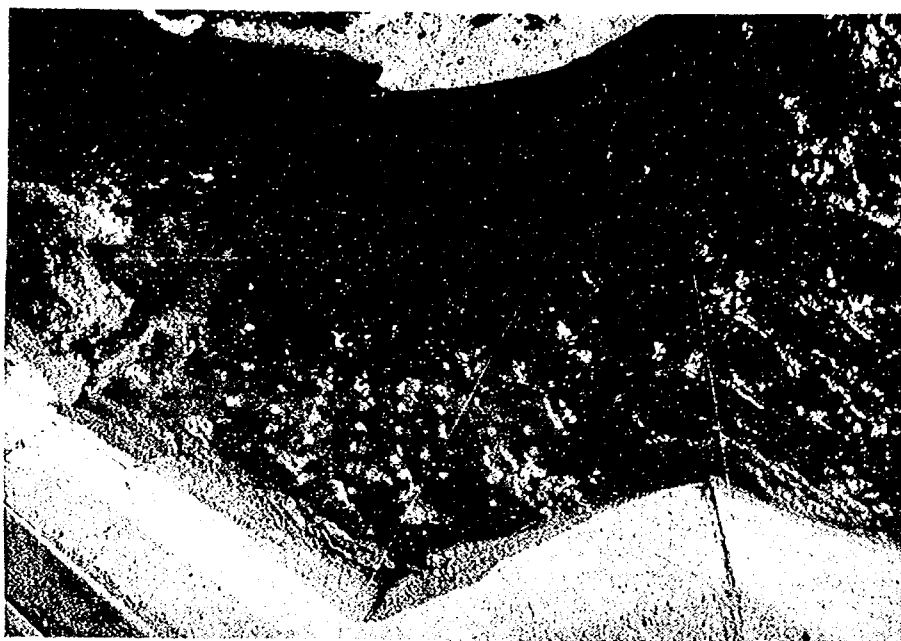


写真-7 流量 $720 \text{ m}^3/\text{sec}$ における水制及びベーン周辺の流れ

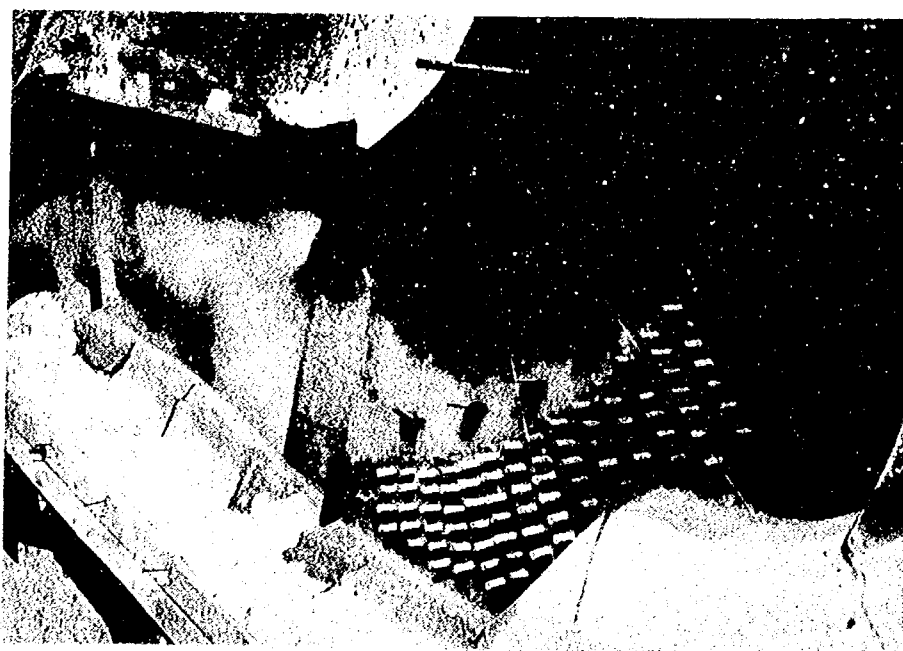
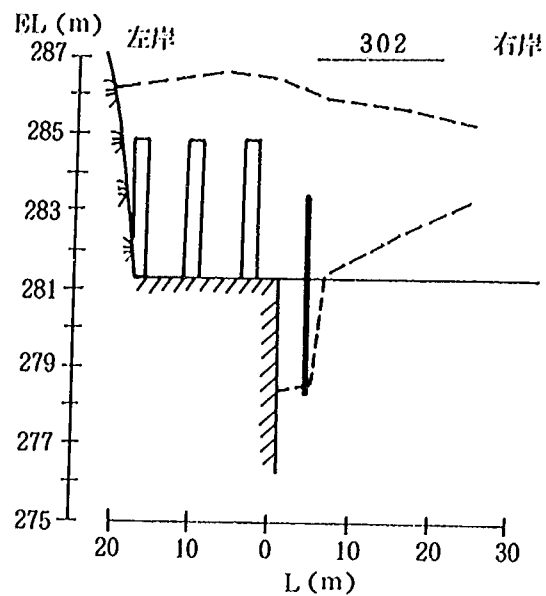
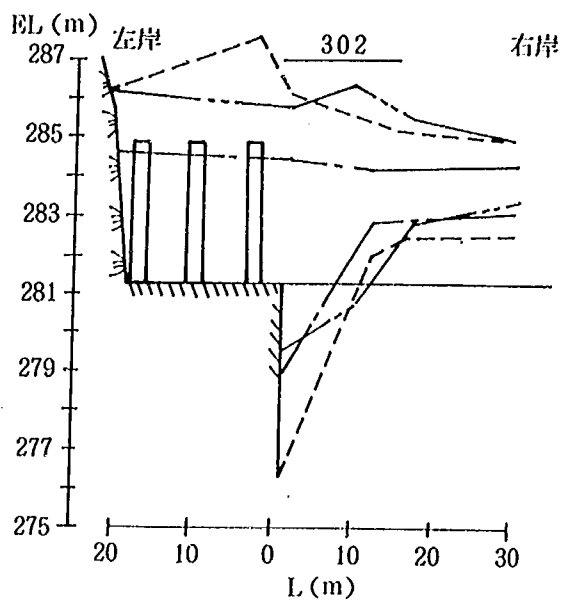
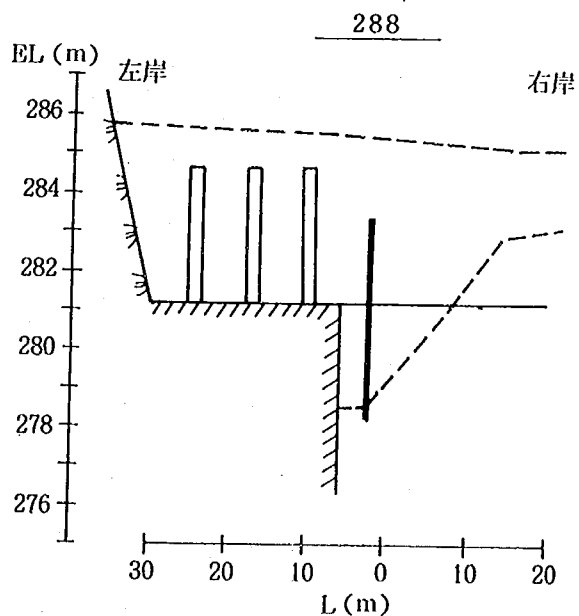
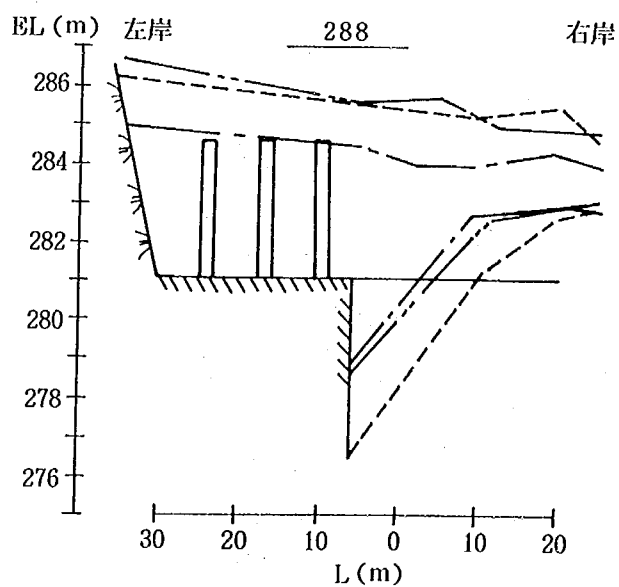


写真-8 止水後の河床の変化の様子



凡		例
流	量	河床高 水位
Q = 360 m ³ /s	---	---▽---
Q = 580 m ³ /s	---	---▽---
Q = 720 m ³ /s	---	---▽---

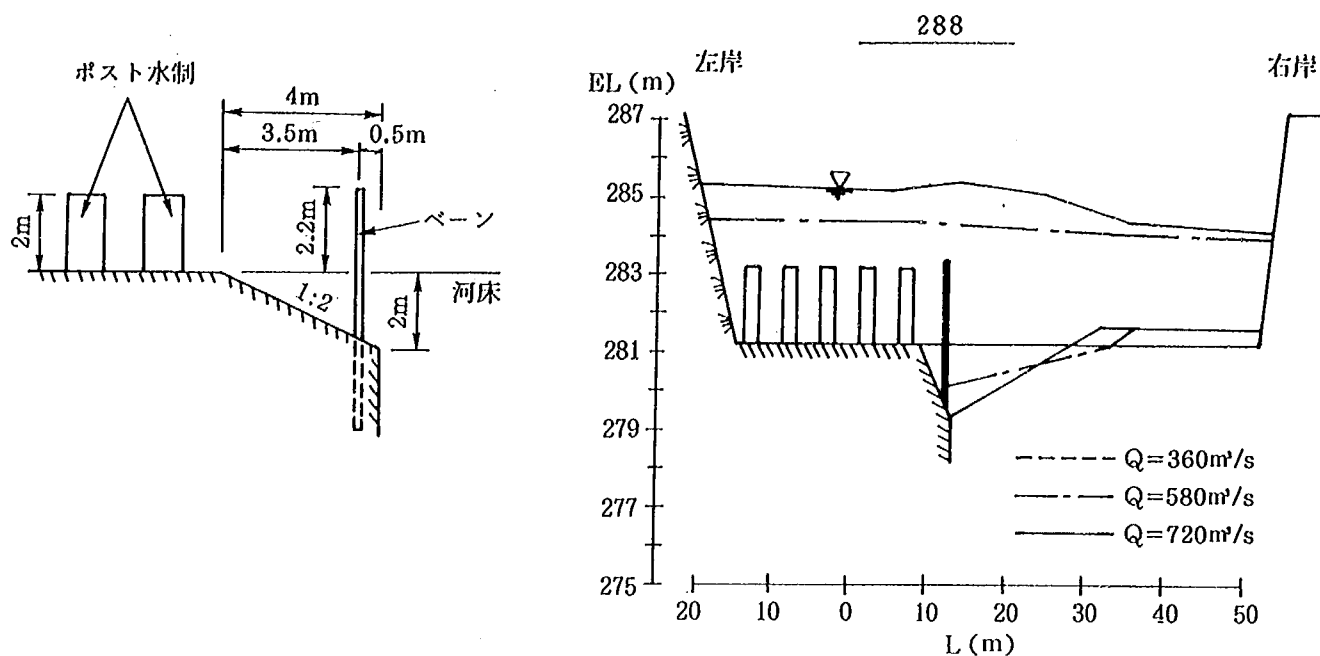


(1) ベーンの無い場合

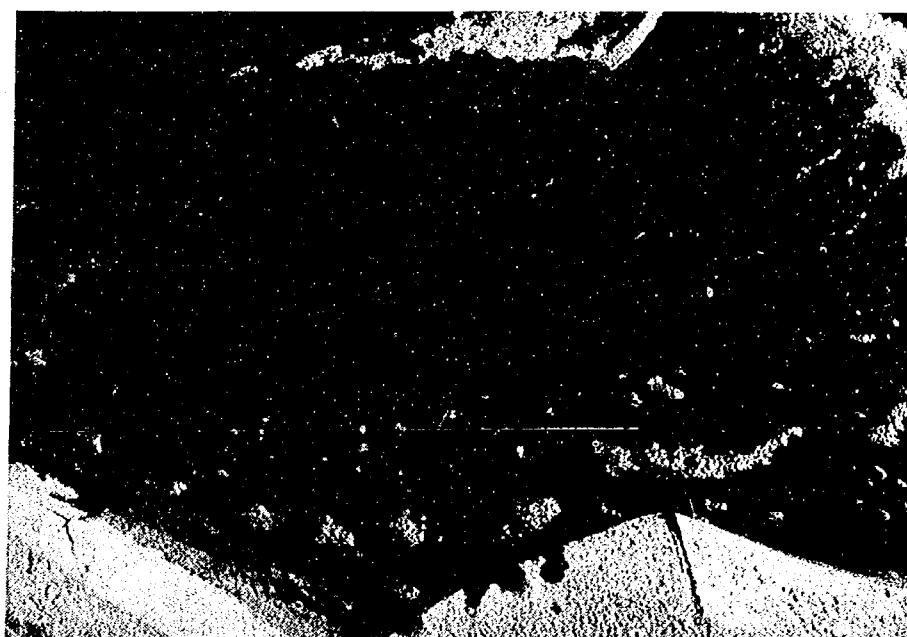
(2) ベーンを設置した場合

図-29 ベーンの有無による河床変化の比較

ると局所洗掘深は低減できることがわかる。写真－7でみるような水制とベーンの間で流れの集中を緩和できれば、局所洗掘はさらに低減できるものと考え、水制とベーンの基礎の構造を図－30のように修正した結果、写真－9のように流れの集中は緩和され、図－30に示すように局所洗掘深を2 m程度まで低減することができた。



図－30 ベーンの基礎の構造と局所洗掘



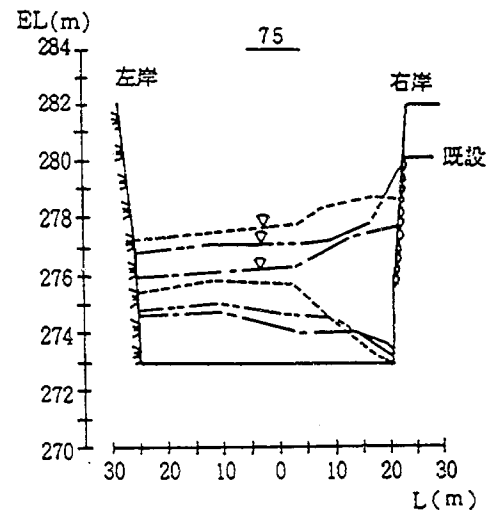
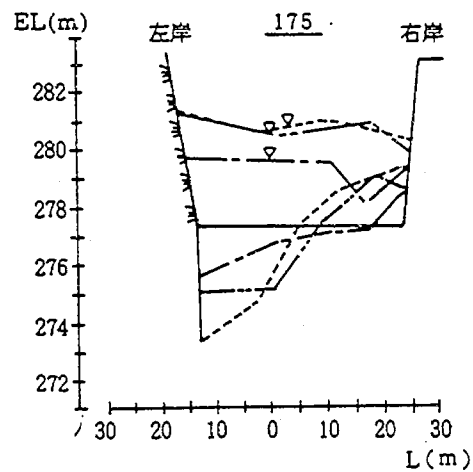
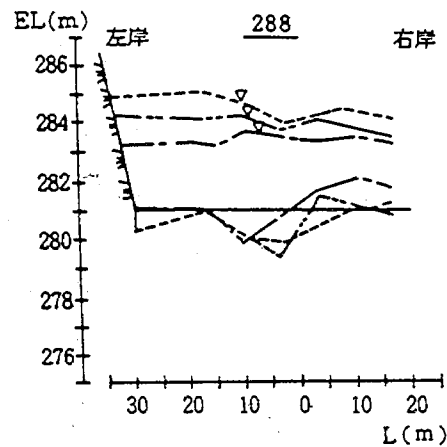
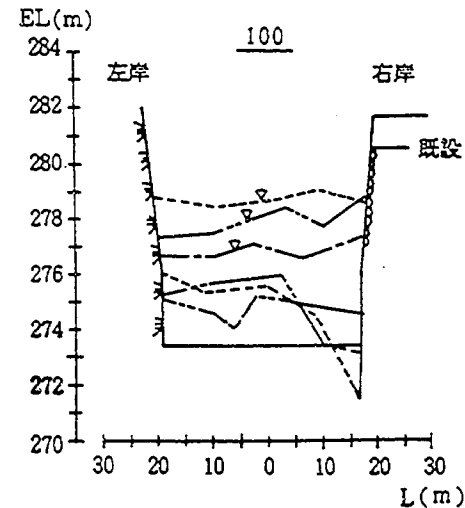
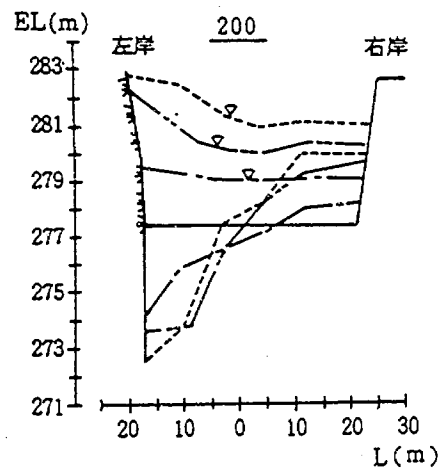
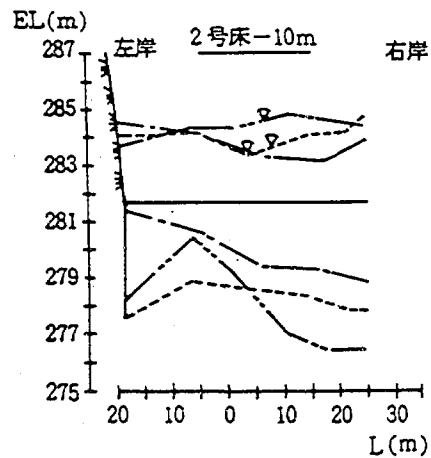
写真－9 流量 720 m³/secにおけるベーン周辺の流れ

2.6 合流部の水位と河床変動

床固工の方向だけを修正した案と実験で最終的に得た修正案（図－4）での水位と河床の変化を図－31に比較して示す。図－31より修正（案）では護岸沿いでの局所洗掘は低減されて合流部に流出する土砂は減少していることがわかる。

図－4の修正（案）で南小川の計画対象流量を合流させた実験の水位及び河床高の変化を図－32に示す。図－31(2)の南大王川からだけ計画対象流量を与えた場合に比べて河床高と水位は上昇するが、図－33に示す計画案のように南大王川の既設護岸を越水することはない。図－34は計画（案）と修正（案）の合流部下流の本川（南小川）の水位を比較して示しているが、修正（案）は本川の水位を低下させることができ、計画（案）のように水位が既設護岸の天端高を越えることはない。

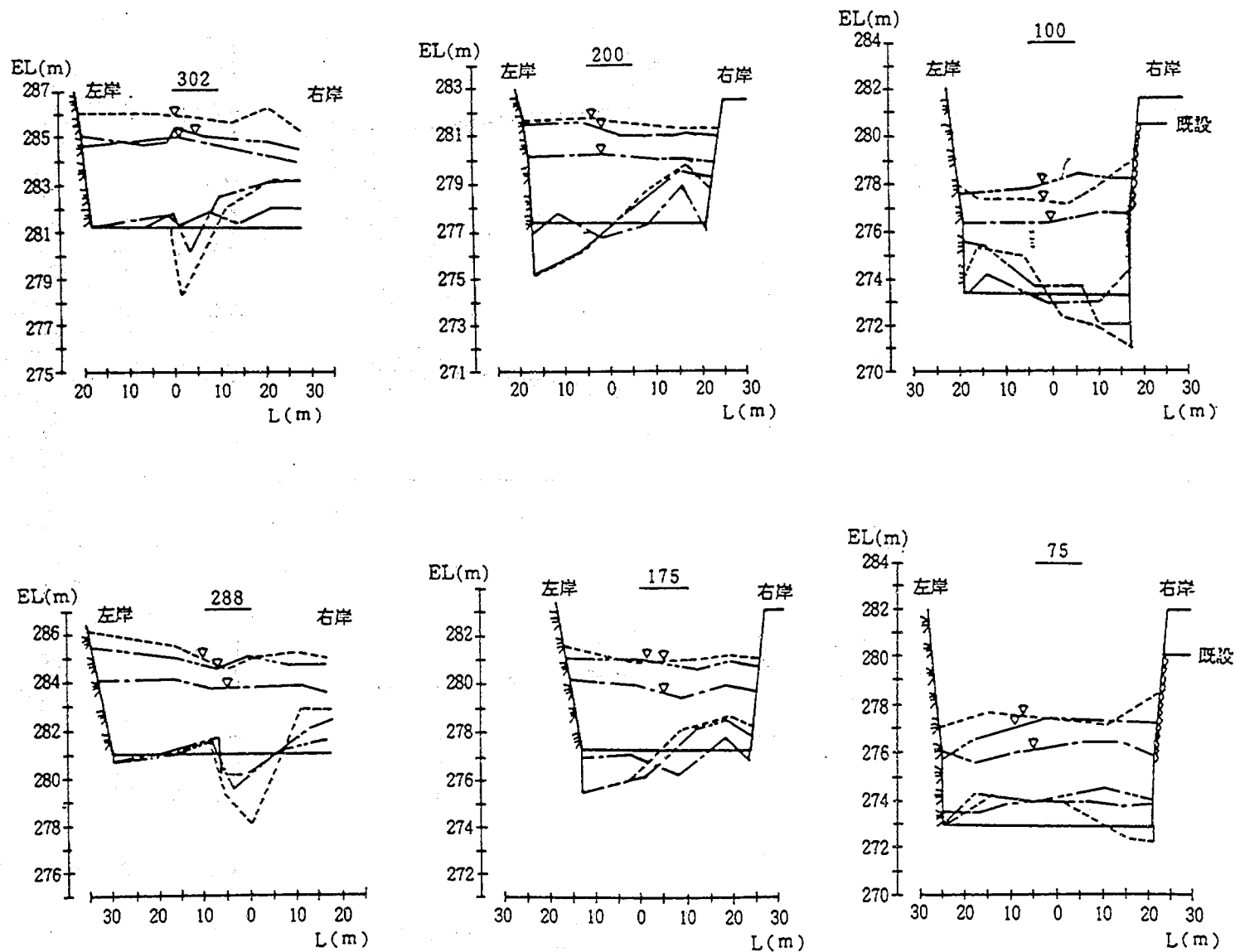
計画（案）と修正（案）の合流部における流況を写真－10と写真－11で比較して示すように修正（案）では南大王川右岸の護岸越水は防止されている。また、写真－12と写真－13を比較すると、修正（案）では計画（案）のように南大王川の流れが、南小川の右岸に集中する流れは緩和されていることがわかる。



凡 例	
流 量	河床高 水 位
$Q = 360 \text{ m}^3/\text{s}$	——— ▽ ———
$Q = 580 \text{ m}^3/\text{s}$	——— ▽ ———
$Q = 720 \text{ m}^3/\text{s}$	——— ▽ ———

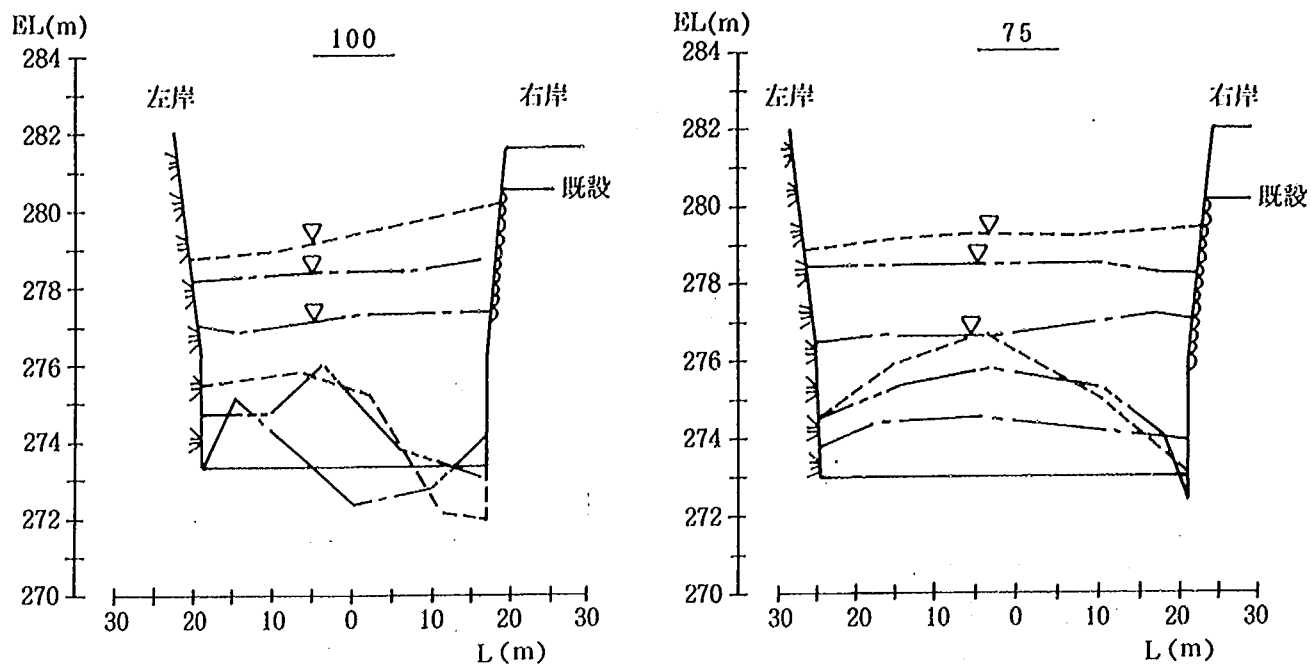
(1) 床固工の方向だけを修正

図-31 水位・河床高の断面毎の比較



(2) 修 正 案

図-31 水位・河床高の断面毎の比較



凡 例		
流 量	河床高	水 位
$Q = 360 \text{ m}^3/\text{s}$	----	---▽---
$Q = 580 \text{ m}^3/\text{s}$	----	---▽---
$Q = 720 \text{ m}^3/\text{s}$	----	---▽---

図-32 本川からの流量が合流する場合の水位・河床高の変化

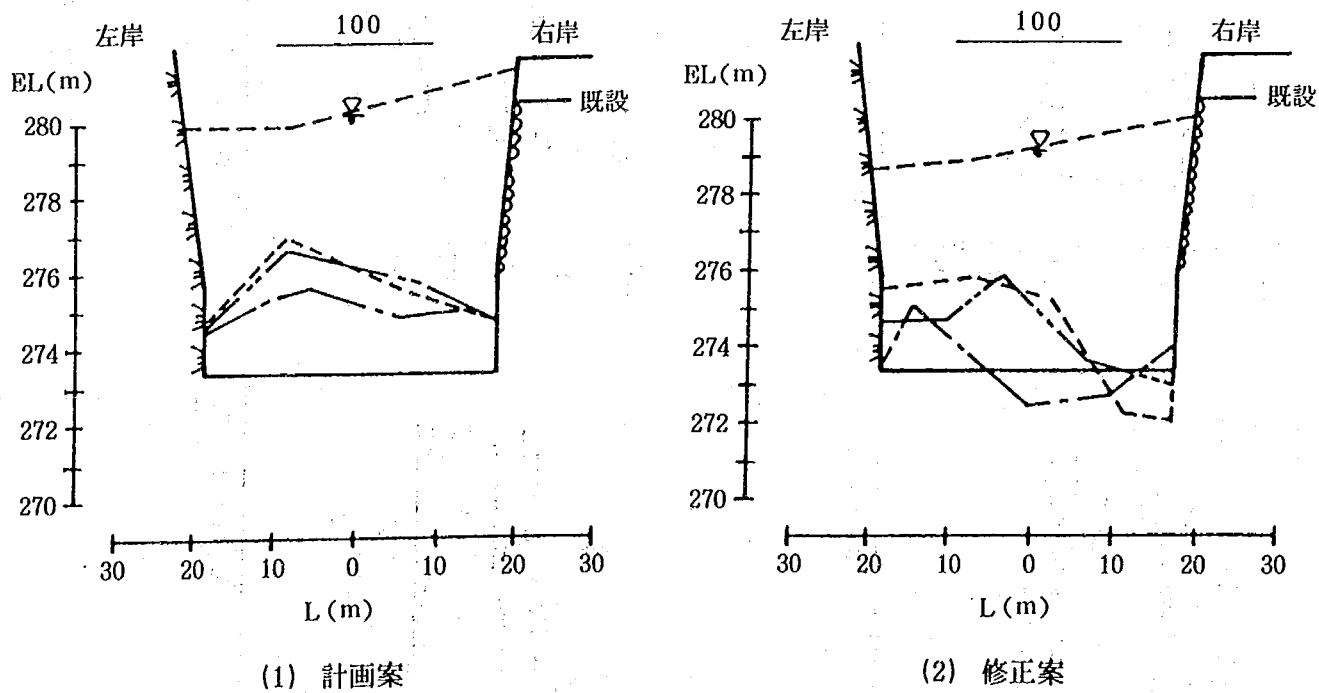


図-33 本川からの流量が合流する場合の合流部付近の水位・河床高の比較

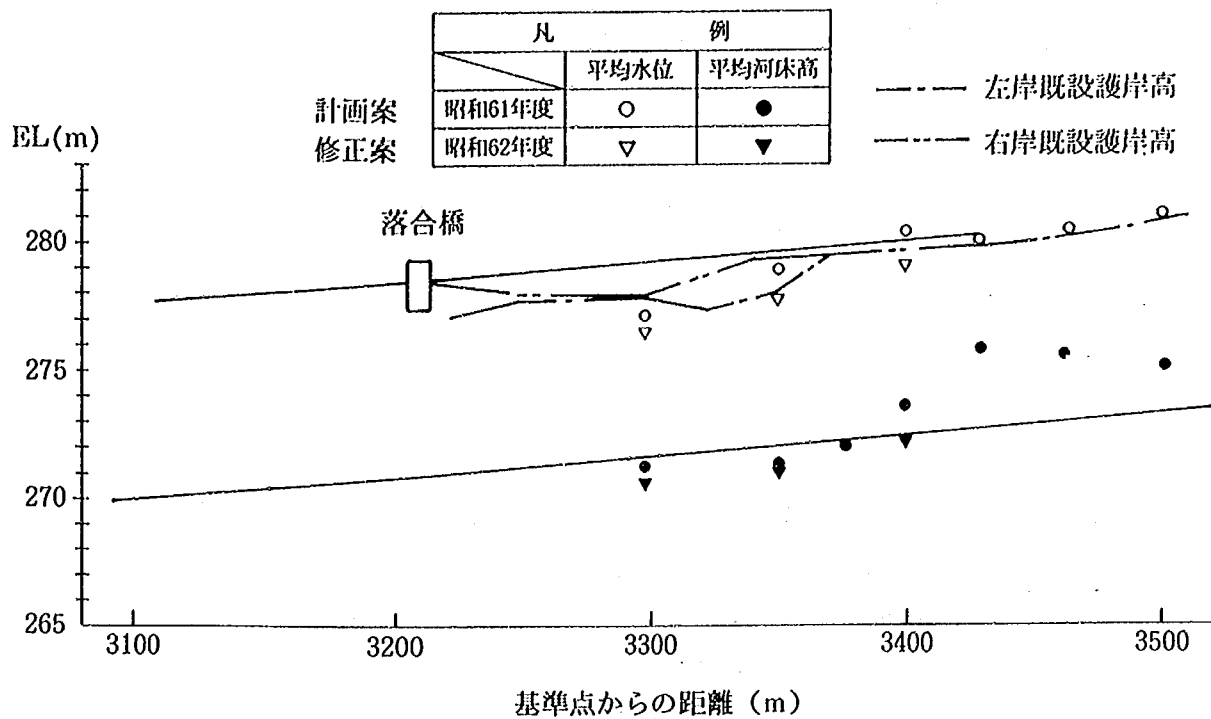


図-34 合流点下流の本川の水位・河床高縦断図



写真-10 計画（案）

合流部の右岸で護岸越水している状況

（流量；南大王川 $720 \text{ m}^3/\text{s}$, 南小川 $930 \text{ m}^3/\text{s}$ ）



写真-11 修正（案）の合流部の流れ

（流量；南大王川 $720 \text{ m}^3/\text{s}$, 南小川 $930 \text{ m}^3/\text{s}$ ）

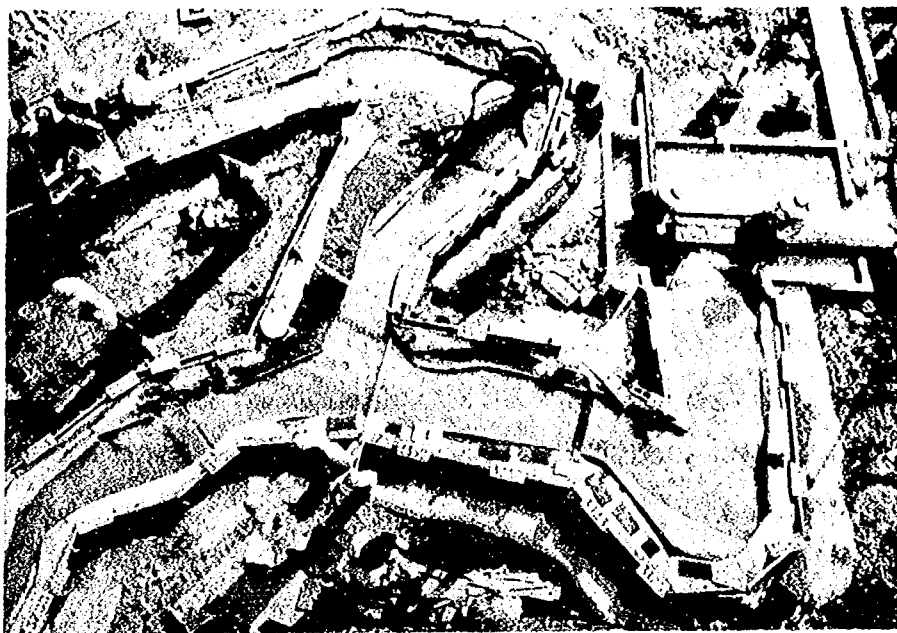


写真-12 計画（案）；南小川の右岸に集中する流れ

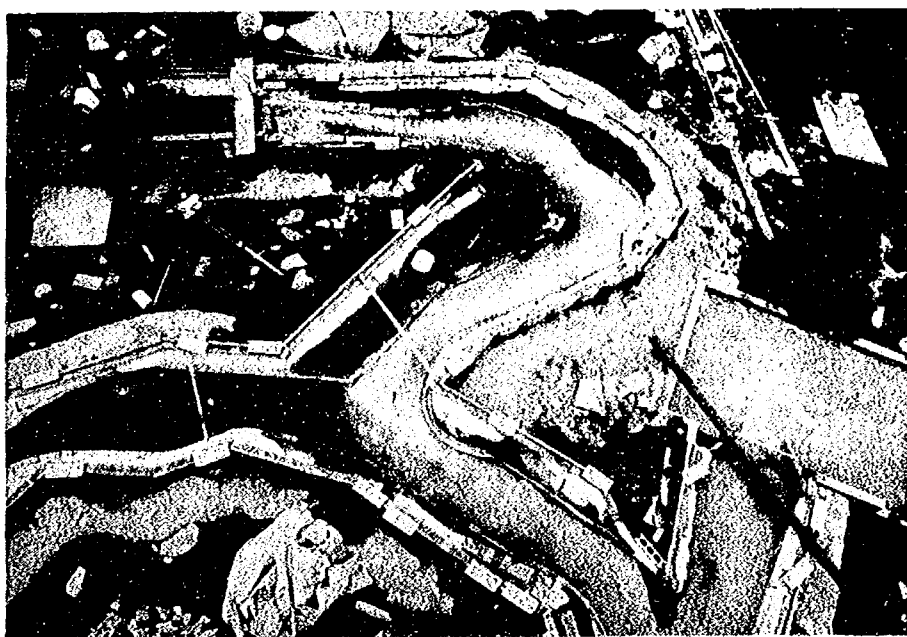


写真-13 修正（案）；南小川の右岸への集中は緩和される

ま と め

南小川と南大王川の合流部付近での護岸越水を防止するためには、上流域の砂防工事によって土砂の流出を減ずることが先ず必要になるが、計画（案）では南大王川の上流端に位置する立野砂防ダムから土砂の流出が無い状態においても護岸越水が生じている。

南大王川流路工計画（案）の検討実験では、合流部付近の護岸越水の原因が流れの集中と局洗掘によって生産された土砂が合流部に堆積するためだと考えて図-1のように床固間にポスト型水制を配置した。本実験では、計画（案）の湾曲部に位置する床固の方向を修正し、床固に袖を設置することで流れの集中度を緩和し、ポスト型水制の設置区間を最小限に留め、合流部での水位上昇を低減する図-4のような修正（案）を得た。

水制及びベーンの材料と構造について別途検討する必要があるが、その際、参考になる水理的な現象を以下に記述する。水制間の流速は3.5 m/sec程度で、水制間での土砂の移動はほとんど無い。ベーン周辺では5 m/sec程度の流速があり、ベーン周辺が局所洗掘される過程においてベーンに流砂が衝突することがある。しかし、ベーン周辺の局所洗掘深が2 m程度になって、安定した後は、ベーン周辺での土砂の移動はほとんど無い。ベーンは厚みの薄い鋼板を念頭においているが、実際の施工に際しては耐腐食性を考慮し、また構造は流速5 m/sec程度のものに耐える必要がある。局所洗掘の面から基礎の根入れを浅くするために、水制及びベーンの基礎は図-30のような案が考えられる。

参 考 文 献

- 1) 建設省四国地方建設局吉野川砂防工事事務所・(財)砂防・地すべり技術センター；南小川水理模型実験概要書：昭和62年3月
- 2) 矢澤，阿部，福本；流路工における横工の袖の効果と形状に関する実験的考察：土木技術資料 Vol 28 - 1, 1986年
- 3) 阿部宗平，鈴木浩之；流路工湾曲部におけるベーンの配置と形状に関する実験的考察：土木技術資料 Vol 27 - 2, 1985年
- 4) 阿部，福本，中村；湾曲部における局所洗掘防止対策工に関する実験的考察：昭和60年度砂防学会研究発表会概要集，pp 170 ~ 173, 昭和60年5月

南大王川流路工水理模型実験報告書

一 湾曲部の局所洗掘防止対策一

ISSN 0386 - 5878

土木研究所資料第2579号

昭和63年2月(1988)

水山高久

阿部宗平

矢島重美

要 旨

合流部での土砂堆積と流れの集中による水位上昇を低減させるために、南大王川流路工の湾曲部の局所洗掘防止と流れを減勢させる対策工を水理模型実験で検討し、流路工の計画案を得た。

対策工は、床固の方向と構造、水制、ベーンの組合せを検討した。

キーワード：流路工、湾曲部の局所洗掘対策工法

郵便はがき

四十円切手
をはって
下さい。

305-□□

建設省土木研究所

砂防研究室
行

茨城県つくば市大字旭一番地

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第2579号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名

印