



土木研究所資料第 1010 号

加勢蛇川流路工水理模型実験報告書

昭和 50 年 3 月

建設省土木研究所

目 次

は じ め に	1
1. 加勢蛇川流路工計画	2
1-1 流域の概要	2
1-2 流路工計画の概要	2
1-3 流路工計画の検討	2
2. 実 験	9
2-1 実験目的	9
2-2 模 型	9
2-3 実験方法	10
2-4 実験ケース	10
2-5 実験結果	13
3. 考 察	57
3-1 現況（水制工）	57
3-2 計画縦断勾配	57
3-3 床固工間隔	57
3-4 床固工形状	59
3-5 根固工	61
4. 結 論	62
お わ り に	63
参 考 文 献	64

はじめに

本論は、鳥取県の依頼により、建設省土木研究所においておこなった加勢蛇川流路工に対する水理模型実験について報告するものである。

現在、流路工計画は、基本的には建設省河川砂防技術基準によっている。しかし、これらは従来の砂防工事の豊富な経験を集大成したもので、その信頼度もかなり高いが、実際、計画設計していく場合、問題点が多い。そこで、本論では、次のことを検討し、より合理的な設計をめざすとともに、合せて、今後の流路工計画の一資料とするものである。

1. 全国既設流路工データより、加勢蛇川流路工計画の位置付けを明らかにする。
2. 水理模型実験により
 - 1) 加勢蛇川現況における災害形態を明らかにする。
 - 2) 流路工の諸元、特に縦断勾配、床固工間隔および床固工形状（流路幅）の検討をする。

建設省土木研究所篠崎試験所

砂防担当（研究員） 大田原 幸 亘

阿 部 宗 平

1 加勢蛇川流路工計画

1-1 流域の概要

加勢蛇川は、図-1に示すように、中国地方最高峰大山(1711m)の東斜面に源を発し、

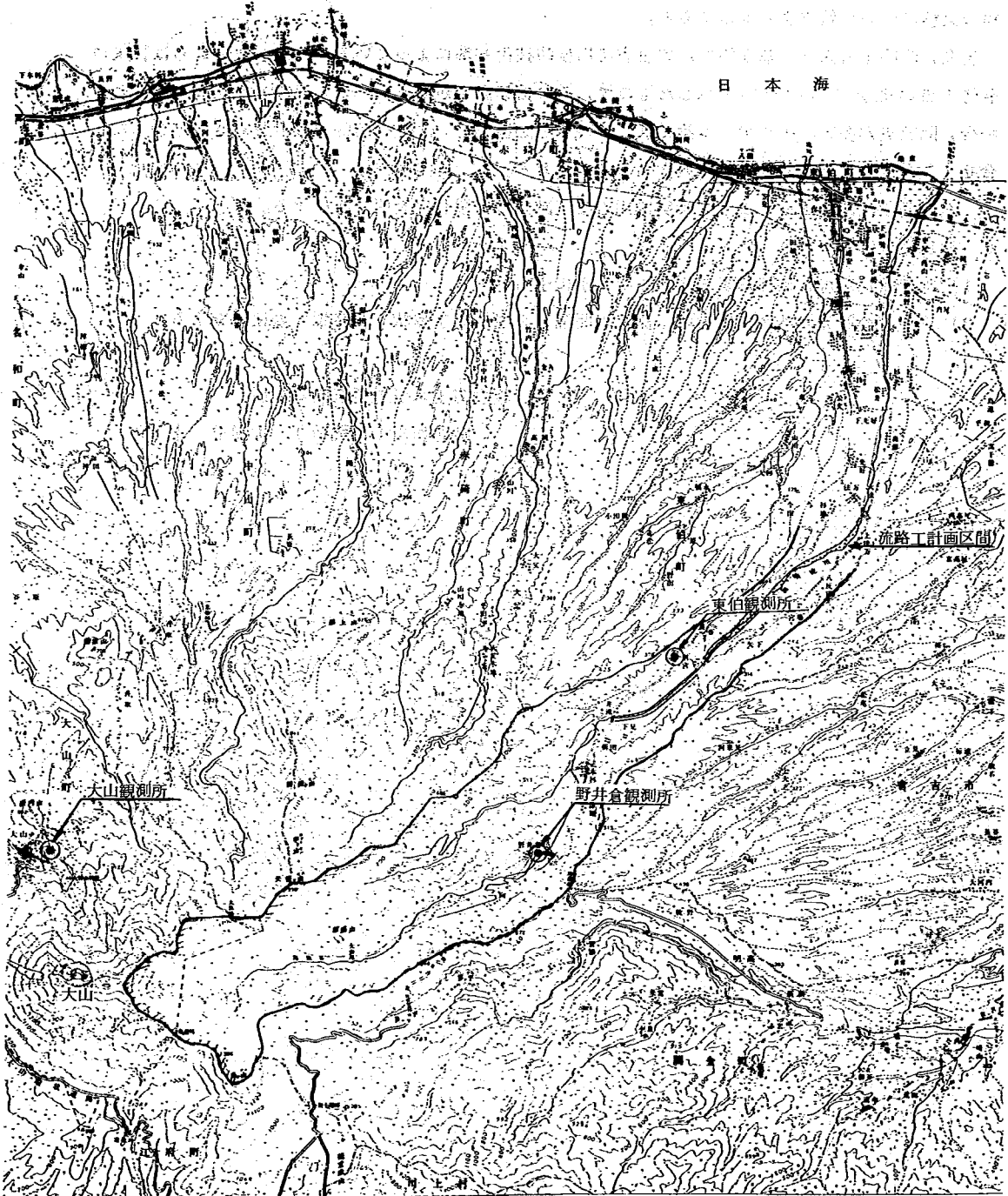


図-1 流域概要及び雨量観測所位置図

北東流して日本海に流れ込んでいる。流域面積は 38.5 km^2 ，流路延長は 24.8 km であり，流域幅は最も広い所で 6 km （平均幅 1.5 km ）にも満たない細長い流域形をしている。また，平均勾配は $1/20$ であり，下流河川部でも $1/60$ で大山の裾野を浅く切り込んで日本海に流入する急勾配河川である。

地質は集塊岩・凝灰角礫岩質岩石であり，中下流河谷部は礫がち堆積物でおおわれている。

この加勢蛇川は昭和34年（伊勢湾台風）大災害を受けたが，その後，河川災害助成工事により護岸工が施工されており，上流部でも多数の砂防ダムが配置され，流路工計画の直上流まで，床固工によって河道が固定されている。

1-2 流路工計画の概要

流路工計画区間は，既設流路工最終端（河口から 11.04 km ）を上流端とし，下流端を砂防指定区域最下流端の法万橋下流（河口から 6.98 km ）とする延長 4.06 km である。この区間は34年時の河床洗掘（宮場橋より上流部），土砂氾濫堆積区間であり，河川災害助成工事により堤防が設けられ河道が整備されている。しかし，この時の計画勾配は，部分的に $1/39.3 \sim 1/51.3$ とまちまちであり，緊急性，経済性を見地から堆積土砂の移動を極力少なく計画されたものと思われる。その後上流の砂防工が進み，有害土砂が杆止されるにいたり，河床勾配が安定勾配へと移行し，この災害助成区間で元計画河床高より 1.6 m 程度洗掘が生じてきた。そのため，この洗掘による公共土木施設災害とその背後地に想定される一般災害を未然に防止するために流路工が計画されるに至った。

流路工計画区間の河床縦断概況を示すと図-2である。計画縦断勾配は直上流流路工実績等により $1/65$ を採用している。

1-3 流路工計画の検討

(1) 計画洪水流量

計画洪水流量 (Q_p) は次式で与えられるラショナル式によつた¹⁾

$$Q_p = \frac{1}{3.6} f \cdot r \cdot A$$

ここに， A ：流域面積 (km^2)， f ：流出係数， r ：洪水到達時間内の雨量強度 (mm/hr)

A ， f は各々 30.0 km^2 ， 0.8 ²⁾ である。

r は次式によつて求めた³⁾。

$$r = \frac{34710}{T^{1.35} + 1502} \times \frac{R_{24}}{100}$$

ここに， T ：洪水到達時間 (min)， R_{24} ：日雨量 (mm)

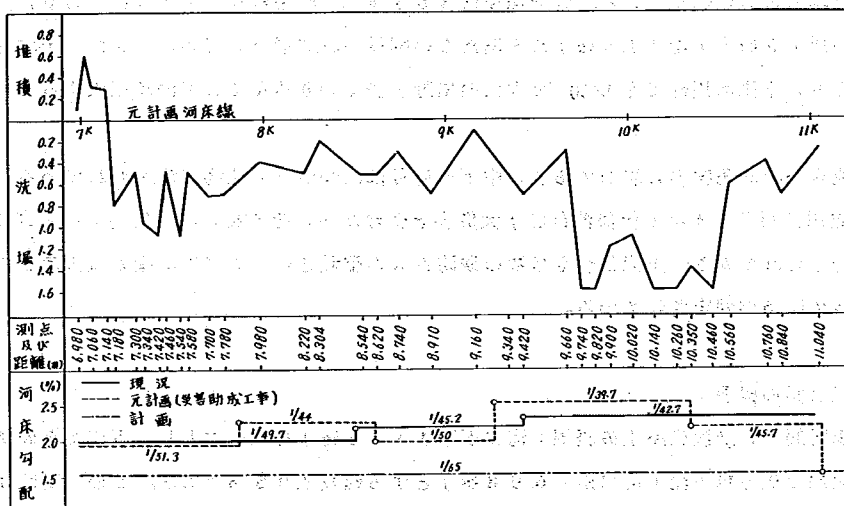


図-2 河床縦断概況

Tは次式によって求めた。⁴⁾

$$T = \frac{L}{\omega} \quad \omega = 72 \left(\frac{H}{L} \right)^{0.6}$$

ここに、L：常時河谷の形をなす最上流点より流量を推定しようとする地点までの水平距離 (km)、H：落差 (km)、 ω ：洪水の到達速度 (km/hr)

$$\omega = 72 \left(\frac{0.92}{13} \right)^{0.6} = 14.7 \text{ (km/hr)} \quad T = \frac{13.0}{14.7} = 0.88 \text{ (hr)} = 52.8 \text{ (min)}$$

$$\therefore r = \frac{34,710}{(52.8)^{1.35} + 1502} \times \frac{R_{24}}{100} = 0.2025 R_{24}$$

R_{24} は次のようにして求めた。

東伯観測所における年最大日雨量 (昭和34～47年) を用いて、岩井改良法⁵⁾により、100年および50年確率最大日雨量を求めると、各々373.335mmである (表-1)。これよりr及び、 Q_p を求めると右表のようになる。

確 率	雨量強度	流 量
1/100	75.5 mm	503 m ³ /sec
1/50	67.8 mm	452 m ³ /sec

一方、鳥取県計画では、県内の既応最大時間雨量を参考とし、計画雨量強度を60mm、計画洪水流量を400 m³/secとしている。これは上記の計算値に比べて、小さいと思われる。

図-3に示したものは、全国の既設流路工における比流量と流域面積の関係である。⁶⁾ 又、上記の計算値および県計画による計画洪水流量を同図に示している。

表-1 雨量観測記録 (東伯観測所)

順位	生 起 年	日 雨 量	(2i-1)/2N
1	昭和34年9月26日	310.0 mm	0.036
2	40 9 10	220.0	0.107
3	42 9 12	205.0	0.179
4	39 7 18	188.0	0.250
5	41 9 24	186.0	0.321
6	47 7 11	173.0	0.393
7	46 8 30	153.0	0.464
8	43 7 15	145.0	0.536
9	38 6 3	118.0	0.607
10	35 8 13	112.0	0.679
11	45 6 14	112.0	0.750
12	36 9 16	95.0	0.821
13	44 9 6	88.0	0.893
14	37 6 25	55.0	0.964

(2) 土砂濃度

流路工に流入する土砂は掃流の形態であるとし、掃流砂量公式によって試みに土砂濃度を計算してみる。掃流砂量公式に佐藤、吉川、芦田公式を用いるならば⁷⁾

$$\alpha = \frac{Q_s}{Q} = \frac{q_s}{q} = \frac{\varphi \cdot F}{(\sigma/\rho - 1) \cdot g \cdot (1 - \lambda)} \cdot U_*^3 / q$$

$$= \frac{\varphi \cdot F \cdot g^{1/2}}{q (\sigma/\rho - 1) \cdot (1 - \lambda)} \cdot \left(\frac{nq}{I^{1/2}} \right)^{3/2} \cdot I^{3/2} \cdot \left[\because q = \frac{1}{n} h^{2/3} I^{1/2} h \text{ だから } h = \left(\frac{n \cdot q}{I^{1/2}} \right)^{3/5} \right]$$

$$= \frac{\varphi \cdot F \cdot n^{3/5} \cdot I^{21/20} \cdot g^{1/2}}{(\sigma/\rho - 1) (1 - \lambda) q^{3/5}}$$

とて、 $I = 1/65$, $q = Q/B = 400/44 = 9$, $n = 0.04$, $\sigma/\rho = 2.65$, $\lambda = 0.4$,

$$\varphi = 0.623, F = 1$$

を代入すると、 $\alpha = 0.0011 (= 0.1\%)$ となる。このように計算による掃流土砂濃度は非常に小さいものである。

(3) 河床材料

加勢蛇川の河床は大きな砂礫によって構成されているので、通常の粒度試験では適確な粒度分布を示すことができない。そこで、土研方式⁸⁾で示すと図-4のようになり50%径は7cmとなる。

(4) 流路工幅

図-5は、全国既設流路工における流路工幅と流域面積との関係⁹⁾を示したものである。加勢蛇川の流路工計画区間は災害助成工事により、約9.0mの河幅で護岸工が設けてあり、数ヶ所霞堤となっている。又水制を設けて流路の固定をはかっている。この現河幅と計画低水路幅を図-5に同時に示している。これからも現河幅9.0mは広いものと思われる。

(5) 計画勾配

図-6は、全国既設流路工における元河床勾配と計画勾配との関係¹⁰⁾を示したものである。鳥取県による計画勾配は1/65であり、図からほぼ平均的な値と思われる。

(6) 床固工間隔

図-7は、全国既設流路工における床固工間隔と流路工幅との関係¹¹⁾を示したものである。鳥取県計画によると、床固工間隔は8.2.5~10.3.9m(平均9.5m)である。図-7にはこの平均床固工間隔が、現河幅9.0mと県計画低水路幅4.4mに対応する値を示している。

(7) 標準断面

図-8に鳥取県計画による標準断面形状を示した。

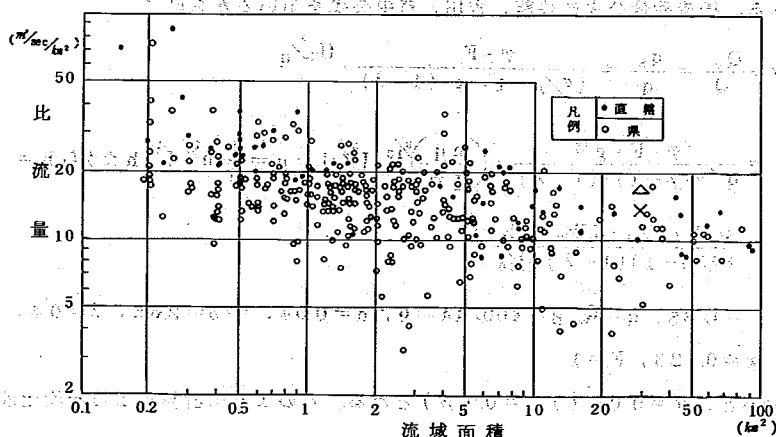


図-3 比流量と流域面積の関係

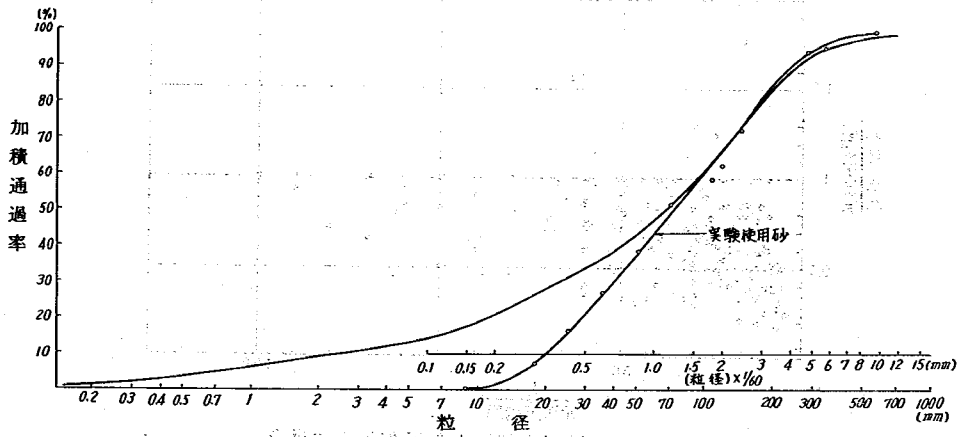


図-4 実験使用砂の粒径加積曲線

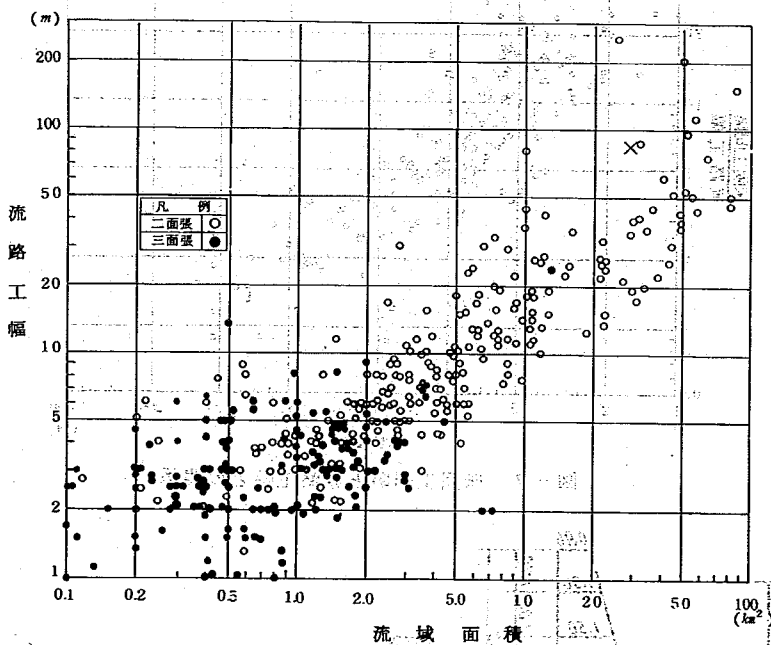


図-5 流路工幅（平均）と流域面積との関係

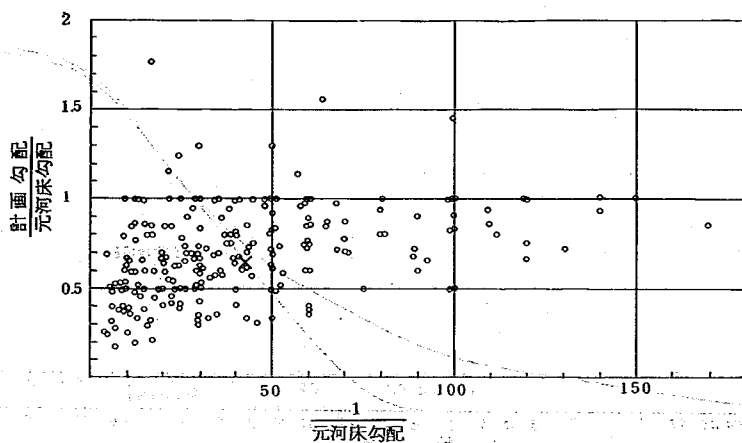


図-6 元河床勾配と計画勾配との関係

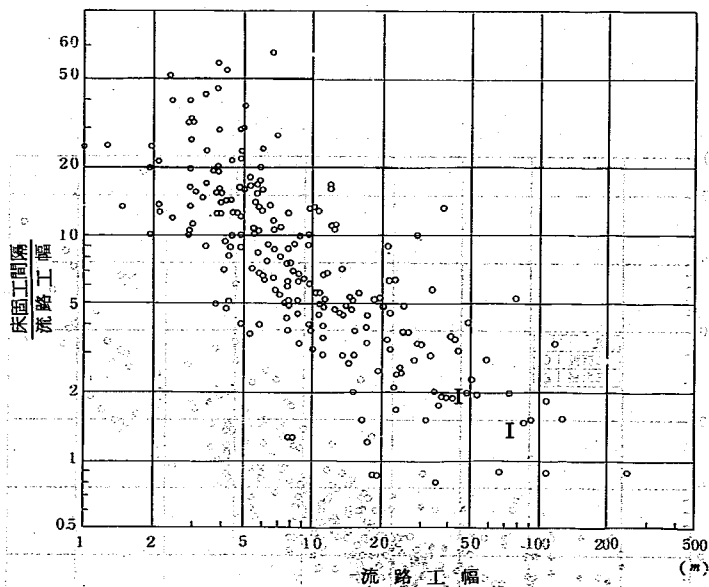


図-7 床固工間隔と流路工幅との関係

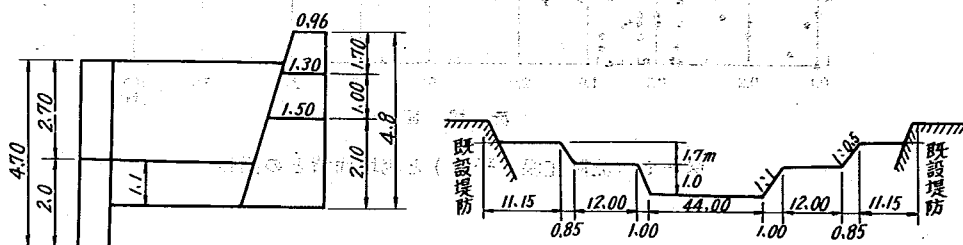


図-8 標準断面

2 実 験

2-1 実験目的

前節で述べてきたように、流路工計画区間は現河川幅が広く、上流からの流入土砂量が減少するにつれ、河床が低下し、偏流による局所洗掘により護岸等の維持が困難となり、河道を固定する目的で流路工が計画された。ではこの計画された流路工は「機能を充分に果たすであろうか」「施設の維持は容易であろうか」などの問に対し不明な点が多い。そこで

- (1) 計画縦断勾配
- (2) 床固工間隔
- (3) 床固工形状（流路幅）

の流路工諸元を水理模型実験により明らかにし、より適正かつ合理的な設計をおこなうための資料を得ることが必要である。

2-2 模 型

模型は図-9に示す巾1.5m、長さ1.6m、深さ0.4m、縦断勾配1/42の直線水路とする。

これは前記実験目的に対して、流路工計画の一部（上流部の河口から1.0:1.5～1.1:0.4km）を模型に取り入れた直線水路を用いて水理実験的に検討することにより、他の区間にも応用できるものと判断したからである。

模型縮尺は長さを1/60とした。したがって現地寸法では巾9.0m、長さ9.6:0.0mの流路となる。フルード相似則を適用するので他の諸元に対しては、表-2のとおりである。

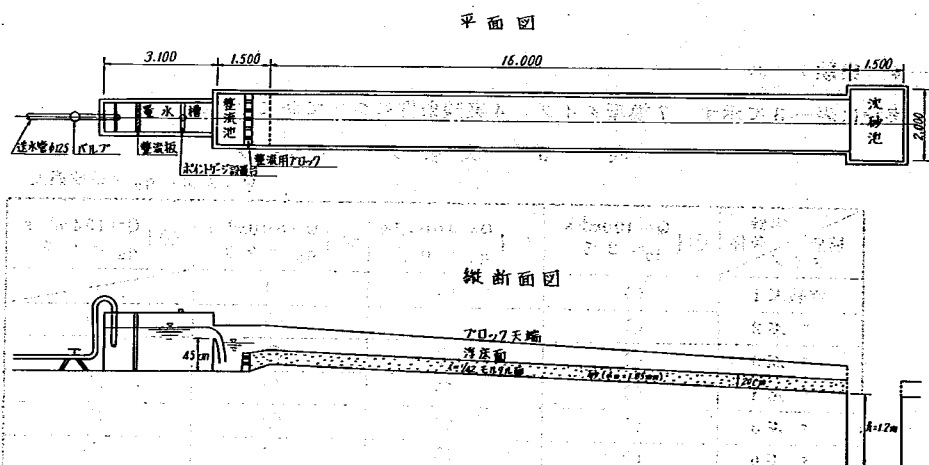


図-9 模型詳細

表-2 模型諸量の実物に対する縮率

諸 元	次 元		実物値の模型換算	模型値の実物換算
長さ, 水深	L	n	1:0.01667	1:60
勾 配	LL^{-1}	1	1:1	1:1
時 間	T	$n^{1/2}$	1:0.12910	1:7.74597
流 速	LT^{-1}	$n^{1/2}$	1:0.12910	1:7.74597
流 量	L^3T^{-1}	$n^{3/2}$	1:0.0000359	1:27886.224
粗度係数	$L^{-1/3}T$	$n^{1/6}$	1:0.50540	1:1.97860
流量係数	$L^{1/2}T$	1	1:1	1:1
圧力強度	$ML^{-1}T^2$	n	1:0.01667	1:60

2-3 実験方法

- (1) 給水: 模型上流端に設置した三角堰から, 所定量の一定流量を60分流下した。10.977 k を流下する時を実験開始時刻とした。また実験時間は60分とした。
- (2) 給砂: 11.04 k 地点から容量チェックを1分毎にしながら, 所定の土量を人為的に給砂した。給砂材料の粒度分布は, 河床材料のそれと同一であり, $d_m = 1.85 \text{ mm}$ である。(図-3)。
- (3) 流向測定: 流線の時間的变化は, 原則として5分間隔に水性ペイントを投入し, その流れの状況をスケッチするとともに, スナップ写真を合せて撮影した。
- (4) 局所洗掘状況の測定: 規模, 発生位置, 発生時刻などをしらべた。
- (5) 流出土砂量の測定: 実験終了後, 模型下流端に流出した量をバケツによつて測定した。
- (6) 堆積高の測定: 実験終了と同時に, 各床固工の直下および床固工と床固工の間断面の横断測量を, スケールを砂中にさしこみ砂厚をはかることによつておこなった。

2-4 実験ケース

実験は表-3に示す 7 模型タイプ, 4 実験条件についておこなった。

表-3 実験ケース内容

Q: 流量, q_s = 給砂濃度

実験 条件 タイプ	① $\begin{cases} Q=400 \text{ m}^3/\text{s} \\ q_s = 2\% \end{cases}$	② $\begin{cases} Q=400 \text{ m}^3/\text{s} \\ q_s = 0\% \end{cases}$	③ $\begin{cases} Q=800 \text{ m}^3/\text{s} \\ q_s = 2\% \end{cases}$	④ $\begin{cases} Q=134 \text{ m}^3/\text{s} \\ q_s = 0\% \end{cases}$
実験用 1	○	○	○	
" 用 2	○	○	○	○
" 用 3	○	○	○	○
" 用 4	○	○	○	○
" 用 5	○	○	○	○
" 用 6	○	○	○	○
" 用 7	○	○	○	

- 1) 実験条件は, 次のような考えのもとにきめた。

- (1) 流量:

- ① $400\text{ m}^3/\text{sec}$: 県計画案を計画洪水流量として取り上げ、これを主体に検討する。
- ② $800\text{ m}^3/\text{sec}$: 前記の流路工計画検討の結果、さらに異常洪水を想定する。
- ③ $134\text{ m}^3/\text{sec}$: 流路幅、床固工間隔の検討には、1~2年確率の小洪水時における砂堆の形成及びそれに伴う流向の変動が必要と思われる。

(2) 給砂量

- ① 2% : 実験1 (現況) , 計画流量 $400\text{ m}^3/\text{sec}$ において、現河床勾配を維持する (動的平衡勾配) 流砂濃度をもって、流路工計画区間に流送される最大土砂濃度とした。方法は 10.88 k 地点に水糸を張り、これを目安に動的平衡を保つ様に補給して求めた。
- ② 0% : 上流からの流送土砂が0%になることは考えられないが、上流砂防ダムなどの効果が完全に発揮された後は、流砂量も極端に小さくなることが考えられる。

2) 実験ケース毎の模型概要は次のようである。(写真-1)

(1) 実験Ⅱ1 (現況水制案)

現在の河床状況 (10.92 k 左岸, 10.84 k 右岸, 10.7639 k 両岸, 10.66 k 左岸, 10.5623 k , 10.3565 k , 10.1581 k の両岸に水制) を模型化して実験をおこなった。

(2) 実験Ⅱ2 (県計画案)

先に検討したいわは机上の流路工の計画案を模型化して実験した。床固工形状は図-8に示すとおりであり、床固工間隔は $8.25\sim10.39\text{ m}$ である。又計画縦断勾配は $1/65$ である。

(3) 実験Ⅱ3 (床固工間隔修正案)

縦断勾配、床固工形状は実験Ⅱ2と同一とし、床固工間隔を実験Ⅱ2の1.5倍、 13.5 m 、落差を 1.5 m とした。

(4) 実験Ⅱ4 (床固工間隔修正案)

縦断勾配、床固工形状は実験Ⅱ2と同一とし、床固工間隔を実験Ⅱ3の $\frac{1}{2}$ 、 6.75 m 、落差を 0.75 m とした。

(5) 実験Ⅱ5 (床固工形状修正案)

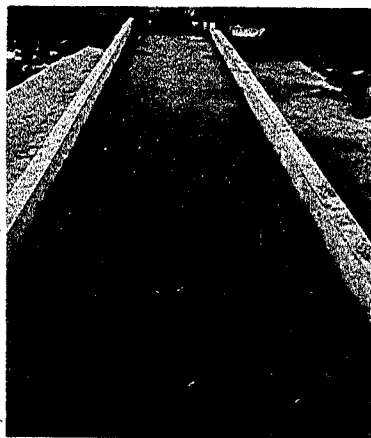
縦断勾配、床固工間隔及び設置位置は県計画案と同様とし、2号床固工落差 1.5 m を 1 m にし、上流帯工を 0.5 m 落差の床固工とすると共に床固工形状を図-10に示すとおりとした。

(6) 実験Ⅱ6 (床固工形状修正案)

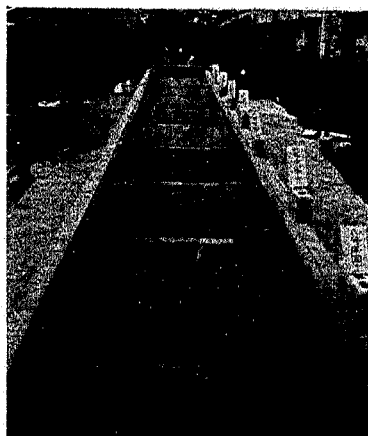
床固工を図-10に示す形状とし、他は実験Ⅱ5と同一とした。

(7) 実験Ⅱ7 (根固工案)

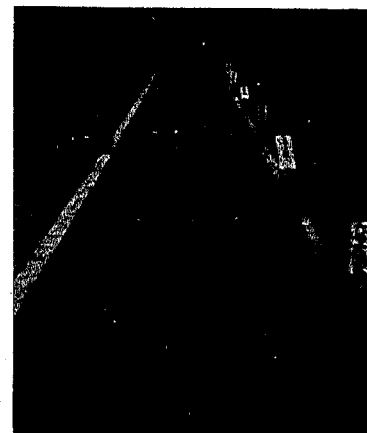
床固工下流を捨て石根固めをおこない、他は実験Ⅱ5と同一とした。



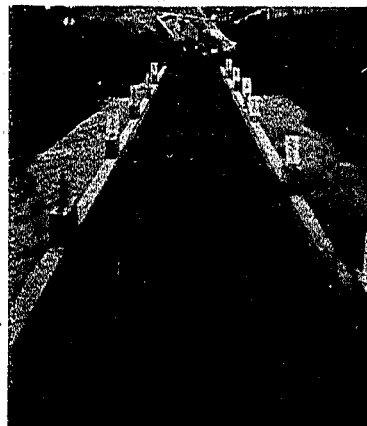
実験 № 1



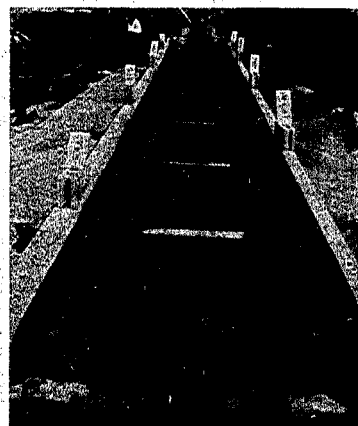
実験 № 2



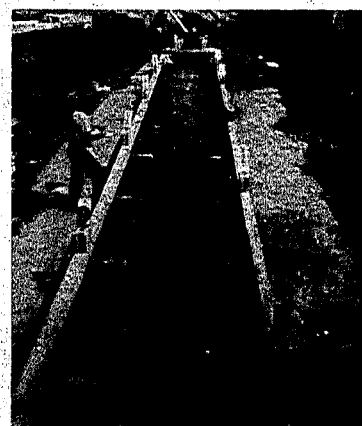
実験 № 3



実験 № 4



実験 № 5



実験 № 6



実験 № 7

写真-1 模型形状

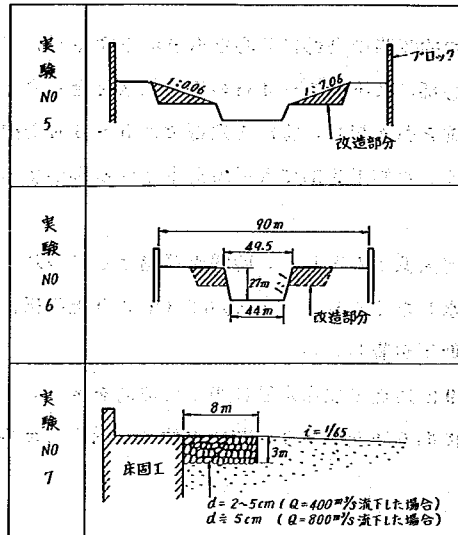


図-10 模型改造

2-5 実験結果

- (1) 構造物の配置，流路の変動，局所洗掘箇所など，主に平面的にあらわされるものを実験No.1（現況）について図-1.1に示した。
- (2) 各横断測線ごとの洗掘，堆積状況を平面的に図-1.2に示した。
- (3) 縦断的な河床変動は，実験ケース毎に平均河床，流路中心河床を別々に図-1.3，1.4に示した。
- (4) 各横断測線ごとの平均河床変動縦断図を図-1.5に示した。
- (5) 給砂量と下流端への流出土砂量およびその比率を表-4に示した。
- (6) 実験終了後の横断測量結果は，各実験ケースごとに，模型製作上の影響の少ない，模型中心付近の6測線について図-1.6に示した。実験No.2，No.5，No.6，No.7については，実験ケース毎の比較が簡単のように，各々実験条件，測線毎に同一図にまとめた。
- (7) 各実験毎の流況および河床洗掘堆積状況は，写真-2～1.5に示したとおりである。
- (8) 流向，流況の観察記録は実験ケース毎に以下に整理した。

〔流向、流況観察記録〕

実験 No 1 - ①

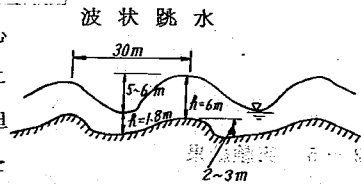
- (1) 実験開始当初は比較的流路中央部に流心を取り流下するが、河床が低下し、水制周辺が局所洗掘されるにつれ流心部には波高 3~4 m の波状跳水を発生する。
- (2) 水制周辺は局所洗掘を引き起し、特に先端部では 5~6 m 洗掘される。また、水制を越流下する流れの影響を受け、水制下流部でも局所洗掘される例が多い。

実験 No 1 - ②

- (1) 実験開始当初より河床低下が著しく、時間が経過するにつれ、流れは流路中央部に集中し、左右兩岸は流水が冠水しなくなる。(10.5623k より上流部は 5~8 m 洗掘され、水制部分よりも流心部の河床低下が著しい。)
- (2) 流れは、10.7639k 地点で左岸水制に当って流向を変へ、10.5623k 地点で右岸に集中し、その下流で左岸に向う傾向があり、河床が約 2 m 低下した時に、現況の流れと比較的似ている。

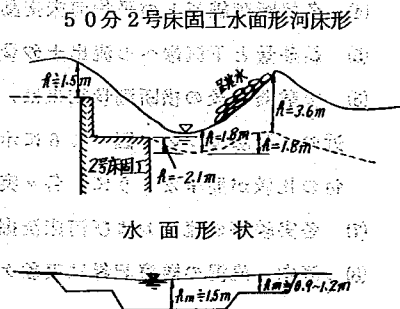
実験 No 1 - ③

- (1) 流れは 10.92k~10.7639k にかけては左岸を流心とする例が多く、ここより 10.5623k の右岸に移り、この区間での流況の乱れが大きい。矢下橋より下流は平坦河床に近い状態となり、周期的に、右図に示す波状跳水を生じたりする。(矢下橋下流では平坦河床となるのは模型下流端砂止めの影響と思われる。)
- (2) 水制周辺で局所洗掘 (5~6 m 洗掘される。特に流水の集中する 10.7639k 左岸では、一時的ではあるが、約 8 m 洗掘される。) を引き起すだけでなく、流路中央部でも全体に河床が 1~2 m 低下する。



実験 No 2 - ①

- (1) 実験開始時より、各床固工下流部では跳水を発生し、跳水から波状跳水に移行する際、段波状の流れを呈するが、これも、開始後 7~8 分後までで、以後、1号、2号床固工下流で跳水を発生する他は、波長 1.5~1.8m、波高 3~5 m の波状跳水を生じる。(2号床固工のみが落差 1.5 m、他は 1 m)



- (2) 流れは中水敷をほぼ満水状態で流れ (右図)、流速は低水路で極端に速く、流送土砂も低水路のみに集中する。
- (3) 低水路部では床固工直下でも局所洗掘は起きないが、高水敷部は流速が極端に落ちる関係で床固工下流左右岸沿いは逆流を生じ、直下流部で 2~3 m 洗掘される。

(4) 中水敷は開始4～5分で崩壊され、細砂が流送されて大きな礫のみ残る。

実験 No 2 - ②

- (1) 実験開始当初は、床固工下流部で跳水を発生したり、波状跳水（波高3～5m、波長18m）を生じたりして流れが一定しないが、時間の経過と共に床固工下流部では局所洗掘（4～5m）を引き起し、跳水現象となる。
- (2) 河床が低下するにつれ、床固工袖部（中水敷）直上流でも河床が低下（約2m）し、水制作用を生じて流水は剝離し、床固工下流左右岸沿いは逆流を生じて洗掘を引き起す。

実験 No 2 - ③

- (1) 実験開始当初より、高水敷の崩壊が著しく、10分後にはその大勢が崩壊され、崩壊されるにつれ、床固工袖部で水制作用を引き起し、床固工下流の洗掘が激しくなる。
- (2) 2号床固工下流で跳水を生じたり、波高6m位の波状を呈したりしてエネルギーが減勢され、2号～6号床固工間は全体に堆積傾向となって平坦河床となるが、6号床固工より下流部は波状跳水を生じて水面の動揺がはげしくなる。
- (3) 各床固工上下流左右岸沿いでの洗掘が著しい。（上流部3～4.2m、下流部5～6m）

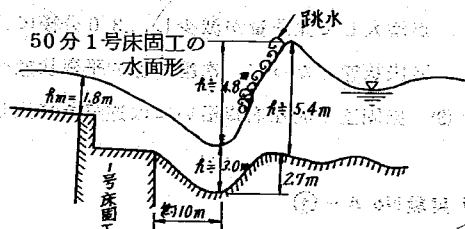
実験 No 2 - ④

- (1) 流水はほとんど低水路内のみを流下するが、時間が経過するにつれ、砂堆を形成したり、床固工下流の洗掘による流水の乱れ等も影響し、しだいに中水敷が崩壊する。
- (2) 低水路内の砂礫堆は複列砂礫堆となるが、時間が経過するにつれ、細砂が流送されて、大きな礫のみとなり、30分後には砂堆は消える。（砂堆を形成しても、砂堆高0.3m程度で偏流を生じるようなことはない。）

実験 No 3 - ①

- (1) 床固工の落差を変えたことにより水面の動揺が激化し、高水敷部分の崩壊も著しく、5分後には中水敷が低水路ほぼ同高さとなり、高水敷も崩壊され始める。

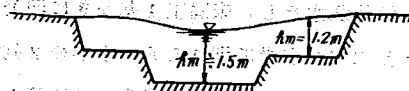
- (2) 流路内では前実験ケース同様、床固工下流部で跳水および波状跳水を周期的に繰返す。（右図）



水面形状

- (3) 流水は中水敷をほぼ満水状態で流下する。

（右図）



- (4) 床固工左右岸沿いの上下流で洗掘が著しく、

上下流とも約5m洗掘されるが、流路中央部では床固工下流部でも洗掘はほとんどみられない。

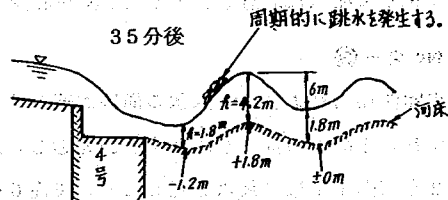
実験 No 3 - ②

- (1) 実験開始当初より横侵食が著しく、中水敷は開始数分で低水路と同高さまで洗掘される。

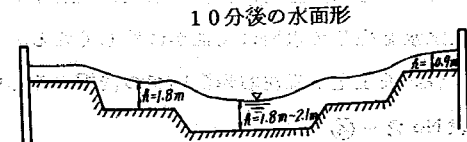
- (2) 床固工下流部では跳水および波状跳水を繰返し、流れは一定しないが、床固工下流の洗掘が増大するにつれ水面の動揺もしだいに軽減され、横侵食もしだいにとまる。(30分後)
- (3) 床固工上下流左右岸沿いでは洗掘が著しく、3.6~6.0 m洗掘される。(55分後)
- (4) 床固工下流部の洗掘は水叩き下流10 m位の所で最大洗掘深となっているが、時間の経過と共に、上流からの流砂が減少し、50分後には1号、2号床固工で3~3.6 m洗掘される。

実験 No 3 - ③

- (1) 実験開始当初より横侵食が著しく、開始7分後には高水敷が総て崩壊され、床固工下流左右岸沿いは、逆流の影響を受け局所洗掘を引き起す。(35分後の床固工上下流左右岸沿いの局所洗掘は4.2~6.0 m)



- (2) 流れの大勢は低水路に集中し、流送土砂も低水路のみを流送されるため、低水路内は床固工下流でも局所洗掘を引き起すことはないが、河床の変動に応じて水面が動揺し、河床は、flat bed, antidunes, chutes and pools を周期的に繰返す。



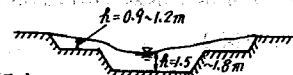
- (3) 1号、2号床固工付近の流れは次第に左岸に寄る傾向を見せ、右岸の高水敷部には土砂が堆積し、流水はほとんど冠水しなくなる。

実験 No 3 - ④

- (1) 流水は低水路のみ流下するが、しだいに砂堆 ($h=0.3\sim0.5\text{ m}$) を形成して水位を上昇させ、中水敷に冠水するようになり ($h=0.3\text{ m}$) 横侵食を受けるようになる。
- (2) 各床固工下流では跳水および波状跳水を発生するが、時間の経過と共に床固工下流部の洗掘が増大して流砂量が減少し、30分後には砂堆も消え、流路内には大きな礫のみが残り、平坦河床状態となって、次第に静的平衡状態へと進む。
- (3) 床固工下流左右岸沿いには逆流を発生し、床固工直下で約2.5 m洗掘される。(40分後)

実験 No 4 - ①

- (1) 流水は中水敷をほぼ満水状態となって流下する。
- (2) 流路中央部は全体に0.3~0.6 m堆積傾向となり、周期的に波状跳水をし、床固工1基おきに顕著ではないが砂堆を形成し、流水が左右岸に別れる8の字形の2列蛇行を生じる。
- (3) 床固工下流部の左右岸沿いには逆流を発生し、局所洗掘を引き起す。



実験 No 4 - ②

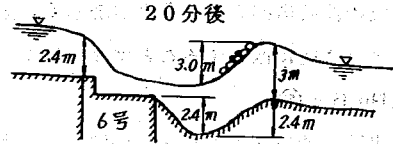
- (1) 中水敷は実験開始時より崩壊が著しく、3分後にはそのほとんどが崩壊され、20分後には床固工直上中水敷部分で約3 m洗掘される。又、床固工下流左右岸沿いで逆流を生じて洗掘が

著しいが、高水敷部はほとんど崩壊されない。

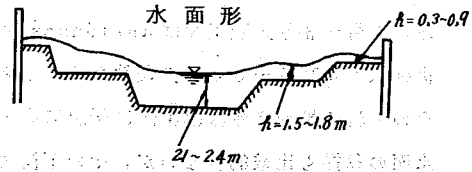
- (2) 流れの状況を見ると、床固工1基おきに跳水および波状跳水（波高2～3m、波長15～18m）を繰返し、床固工下流部が洗掘されるにつれ、各床固工とも跳水現象に変わり、流れは比較的一定した状態となる。（10分後）

実験No 4-③

- (1) 10分後には高水敷部はほとんど崩壊され、床固工上下流左右岸沿いでの洗掘が著しく、3～5m洗掘される。



- (2) 流路内の河床状況をみると antidunes となったり chutes and pools となったりし、水面は波状跳水を生じ、時には跳水を発生したりする。



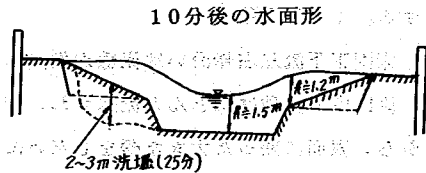
- (3) 帯工より下流の4号床固工間は流水が左岸に片寄り、右岸には土砂が堆積し、流水はほとんど冠水しなくなる。（11.4k～10.977k）右岸の水制作用の要素が強い。

実験No 4-④

- (1) 流水は低水路をほぼ満水状態で流下（水深1～1.2m）し、流路内に複列砂礫堆（ $h \approx 0.3m$ ）を形成するが、流況を大きく変えるようなことはない。
- (2) 流水は床固工下流部で剝離し、剝離点では約1.2m洗掘され、各床固工下流で跳水を発生し水叩き下流9m付近で約3m洗掘を受けるが、床固工直下での洗掘はみられない。
- (3) 床固工下流の洗掘状況を見ると、床固工1基おきに洗掘量が大きくなったり、小さくなったりする。

実験No 5-①

- (1) 流れは流路中央部に集中し、床固工水通し部で越流深1.5m、床固工と床固工の中間流路中央水深は1.8～2.1mとなる。



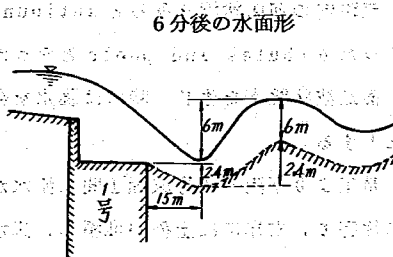
- (2) 実験開始当初は床固工下流部で跳水を生じたり、波状となったりして、段波状の流れを呈するが、これも数分間で補給砂が下流に達し、流砂がバランスすると、流路内はしだいに平坦となり、周期的に antidunes および波状跳水（波長15m、波高2～3m）を発生する場合もあるが、流況は大きく乱れることもない。
- (3) 床固工下流左右岸沿いでは流線が剝離して逆流を生じ、床固工直下の洗掘を激化させる。
- (4) 中水敷部分がしだいに崩壊されるにつれ、床固工直上流で局所洗掘を引き起し、約2～3m洗掘されるが、水通部より低下はしない。

実験 No 5-②

- (1) 流れは低水路に集中し、実験開始当初は床固工下流で跳水および波状跳水を発生して水面は動揺するが、床固工下流部が洗掘されるにつれ、エネルギーが減勢され、横侵食も軽減される。
- (2) 床固工下流左右岸沿いは逆流を呈して洗掘を増大させ 6~7 m 洗掘され、流路中央の水叩き下流 10 m 地点で 5~6 m 洗掘される。
- (3) 実験開始当初より横侵食が著しく、床固工直上流で 2~3 m 洗掘されるが、床固工水通し天端より極度に低下することはない。(一部で 1~2 m 低下する場所もある。)

実験 No 5-③

- (1) 実験開始当初より横侵食が激しく、5 分後には高水敷の大半が崩壊される。又流れの状況を見ると、1 号~3 号床固工間は antedunes および波状跳水 (波高 5~6 m、波長約 2.5 m) を生じ、その下流 4 号~7 号床固工間は平坦河床となり、水面の動揺も比較的少ないが、その下流では再び波状跳水を生じて流況を乱す。



- (2) 床固工上下流左右岸沿いで局所洗掘を引き起し、上流で 3.5~4.5 m、下流で 3.5~5.0 m 洗掘される。(特に 1 号、2 号床固工左岸下流部では 6.0 m 洗掘される。)
- (3) 低水路内の水深は 1.8~3.0 m となっているが、高水敷上では 1 号~4 号床固工で 0.6 m 4 号床固工より下流では 0.6~0.9 m と多少増大する傾向がある。

実験 No 5-④

- (1) 流水はほぼ低水路を満水状態 (水深 1~1.2 m) となって下流し、横侵食はほとんど起らない。
- (2) 実験開始当初よりしだいに砂堆を形成し、2 号~5 号床固工間は複列、その下流は単列となるが、砂堆高は比較的 low (0.2~0.3 m)、床固工下流が洗掘されるにつれ、しだいに消滅する。(12 分後)
- (3) 床固工下流左右岸沿いは流線が剥離し、剥離点付近の床固工直下で 2~3 m 洗掘される。
- (4) 流路内の細砂はほとんど流送され、床固工下流で跳水を生じてエネルギーが減勢されることから、表面に残った大きな礫をしだいに流送することができなくなる。(静的平衡状態)

実験 No 6-①

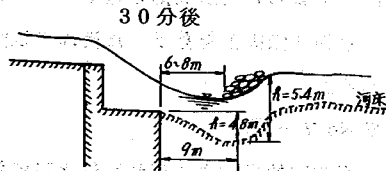
- (1) 実験開始当初より横侵食が著しく、1.5 分後には約 1.0 m 高水敷が崩壊され、流路中央では波状跳水が周期的に発生する。(特に 2 号~4 号と 6 号~9 号床固工間の波状が大きく、波高

が3~5mに達する場合もある。)

- (2) 水深は流路中央部で1.5~1.8mとなっているが、左右両岸が侵食され、床固工袖部への流水の当りが強まり、床固工直上流で洗掘を引き起こすばかりでなく、水制作用を起して水位を上昇させ、ほとんど低水路が満水状態となる。(10分後)
- (3) 床固工上下流左右岸沿いでは洗掘が著しく、20分後には3.6~5.4m洗掘されるが、30分後には左右岸沿いの横侵食も止まり、流れは安定し、床固工下流左右岸沿いは細砂が巻き込まれ、むしろ堆積するようになる。(一度洗掘された所が埋めもどされる。)

実験No 6-②

- (1) 実験開始当初は床固工下流で跳水および波状跳水を繰り返し発生し、周期的に段波状の流れを呈する場合もある。



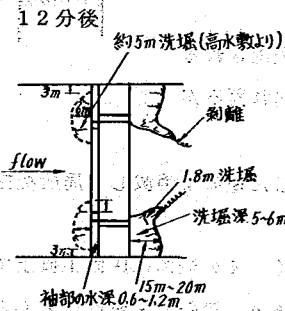
- (2) 流れはほぼ低水路を満水状態となって流下し、流路中央部で1.5~1.8m、左右岸沿いで2.5~3.0mの水深となっている。
- (3) 床固工上下流左右岸沿いの洗掘が著しく、約4~4.8m洗掘される。(15分後)
- (4) 上流から補給砂がない関係で、床固工下流での洗掘が著しく、30分後には水叩き下流9m地点で約4.8m洗掘されるが、時間が経過するにつれ床固工直下でも洗掘されるようになる。(42分後、1~3号床固工直下で4.2m低下)

実験No 6-③

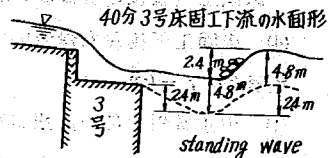
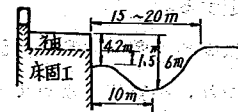
- (1) 水深は流路中央部で2.4~3.4m、床固工袖部(高水敷)で0.6~1.2mとなっている。

- (2) 流路内は周期的に波状跳水(波高3~6m、波長約25m)を発生する。

- (3) 床固工上下流左右岸沿いは局所洗掘を引き起す。(上流で5m、下流で5~6m)



20分左右岸沿いの洗掘形状



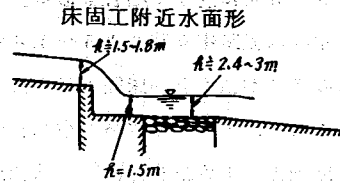
- (4) 床固工左右岸沿いに発生する逆流は床固工袖部からの落水の影響を受け、全体に軽減される。(下流洗掘は逆流によるものよりも、むしろ落水による洗掘が大きい。)

実験No 6-④

- (1) 実験開始当初より流路内には砂堆を形成するが横侵食はほとんど見られない。
- (2) 時間が経過するにつれ、右岸沿いには高さ0.6~0.9mの砂堆を形成し(20分後)、6号床固工より下流砂堆上にはほとんど冠水しなくなり、流れは左岸に集中するようになる。
- (3) 各床固工下流での洗掘が著しく、40分後には水叩き下流5m地点で約3m洗掘されて跳水を発生し、細砂はほとんど流出し、表面には大きな礫のみが表われて流砂量は減少する。

実験 No 7 - ①

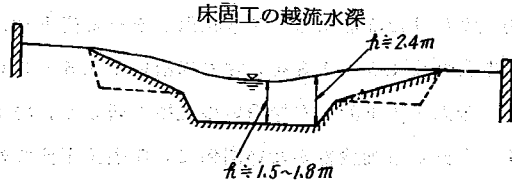
- (1) 実験開始当初より主流線は終始流路中央部に取り、流線はほとんど変化しないが、時間が経過するにつれ、中水敷斜面が崩壊される。(この崩壊も実験開始30分まででは安定する。)



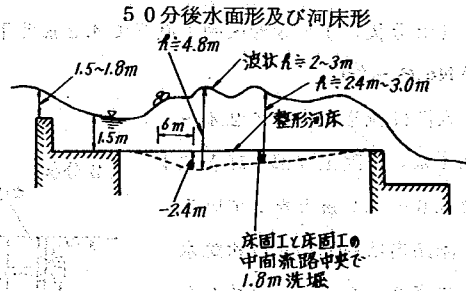
- (2) 流路内は中水敷の一部が崩壊される程度で、ほぼ整形河床面を維持し、むしろ堆積傾向となる個所もある。従って床固工下流部での洗掘も見られず、床固工下流左右岸沿いに発生した逆流も消滅し、局所洗掘を起すようなこともない。
- (3) 水面は床固工を落下した流れが根固め用砂利によって流速を急減させる関係で複雑な波を生じる。

実験 No 7 - ②

- (1) 実験開始当初より流れは低水路に集中し、根固め用敷き砂利の下流6m付近で洗掘を受け、その下流では波状を呈する。



- (2) 中水敷斜面部の侵食は実験開始当初ほど著しく、30分後にはほぼ安定し、床固工直上流では中水敷面がほとんど崩壊され、局所洗掘を引き起すが、この洗掘も開始15分後には(洗掘深3m)ほぼ安定する。

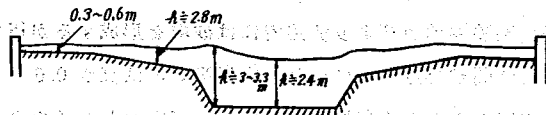


- (3) 根固め用敷き砂利は下流が洗掘されるにつれ、不安定となって一部崩れ落るが、床固工へ直接影響はない。
- (4) 床固工下流左右岸沿いに生じた逆流も消滅し、局所洗掘を受けるようなことはない。

実験 No 7 - ③

- (1) 中水敷斜面部の崩壊が著しく、4分後には床固工直上で3~3.6m洗掘される。
- (2) 主流線は常に流路中央部にあり、流線の変動はほとんど見られない。
- (3) 2号~4号床固工間で波状跳水を発生し、その下流は周期的に波状を呈する場合もあるが、水面は比較的静かで、流水はほぼ中水敷を満水状態となって流下するが、時間が経過するにつれ、中水敷および高水敷の一部が崩壊され、床固工付近では高水敷上に0.3~0.6m冠水するようになる。

30分後の床固工附近の水面形



- (4) 床固工下流は局所洗掘を引き起したり、左右岸沿いで逆流を生じたりするようにはなくなり、流路内は比較的平坦な河床状況となっているが、床固工直下流左右岸沿いで剝離を生じ、剝離点では2~3m洗掘される。

表-4 給砂量及び流出土砂量関係表

実験No	実験条件	給砂量(A)	流出土砂量(B)	B/A	給砂量	流出土砂量	流出土砂濃度
1	① $Q=400\text{ml/s}$ $q_s=1.99\%$ $T=60\text{min}$	2869.42 $\text{ml}/60\text{min}$	27913.4 $\text{ml}/60\text{min}$	0.972	7.97 ml/s	7.75 ml/s	1.94 %
	② $Q=400$ " $q_s=0$ " $T=60$ "	0	2420.46 "	—	0	6.72 "	1.68 "
	③ $Q=800$ " $q_s=2$ " $T=60$ "	5738.84 "	6324.43 "	1.102	16.00 "	17.57 "	2.20 "
2	① $Q=400$ " $q_s=2$ " $T=60$ "	2869.42 "	2537.58 "	0.884	8.00 "	7.05 "	1.76 "
	② $Q=400$ " $q_s=0$ " $T=60$ "	0	917.43 "	—	0	2.55 "	0.64 "
	③ $Q=800$ " $q_s=2$ " $T=60$ "	5738.84 "	5515.20 "	0.961	16.00 "	15.32 "	1.92 "
	④ $Q=134$ " $q_s=0$ " $T=60$ "	0	351.36 "	—	0	0.98 "	0.73 "
3	① $Q=400$ " $q_s=2$ " $T=60$ "	2869.42 "	2713.25 "	0.946	8.00 "	7.54 "	1.88 "
	② $Q=400$ " $q_s=0$ " $T=60$ "	0	1561.59 "	—	0	4.34 "	1.08 "
	③ $Q=800$ " $q_s=2$ " $T=60$ "	5738.84 "	6090.19 "	1.061	16.00 "	16.92 "	2.11 "
	④ $Q=134$ " $q_s=0$ " $T=60$ "	0	488.00 "	—	0	1.36 "	1.01 "
4	① $Q=400$ " $q_s=2$ " $T=60$ "	2869.42 "	3103.65 "	1.078	8.00 "	8.62 "	2.15 "
	② $Q=400$ " $q_s=0$ " $T=60$ "	0	1093.11 "	—	0	3.04 "	0.76 "
	③ $Q=800$ " $q_s=2$ " $T=60$ "	5738.84 "	5738.83 "	0.996	16.00 "	15.94 "	1.99 "
	④ $Q=134$ " $q_s=0$ " $T=60$ "	0	448.96 "	—	0	1.25 "	0.93 "
5	① $Q=400$ " $q_s=2$ " $T=60$ "	2859.42 "	3152.06 "	1.099	8.00 "	8.79 "	2.20 "
	② $Q=400$ " $q_s=0$ " $T=60$ "	0	858.87 "	—	0	2.39 "	0.60 "
	③ $Q=800$ " $q_s=2$ " $T=60$ "	5738.84 "	6516.45 "	1.135	16.00 "	18.10 "	2.27 "
	④ $Q=134$ " $q_s=0$ " $T=60$ "	0	390.39 "	—	0	1.08 "	0.31 "
6	① $Q=400$ " $q_s=2$ " $T=60$ "	2869.42 "	3025.57 "	1.051	8.00 "	8.40 "	2.10 "
	② $Q=400$ " $q_s=0$ " $T=60$ "	0	1112.63 "	—	0	3.09 "	0.77 "
	③ $Q=800$ " $q_s=2$ " $T=60$ "	5738.84 "	6363.47 "	1.109	16.00 "	17.68 "	2.21 "
	④ $Q=134$ " $q_s=0$ " $T=60$ "	0	448.95 "	—	0	1.25 "	0.93 "
7	① $Q=400$ " $q_s=2$ " $T=60$ "	2869.42 "	2899.55 "	1.011	8.00 "	8.08 "	2.02 "
	② $Q=400$ " $q_s=0$ " $T=60$ "	0	663.67 "	—	0	1.84 "	0.46 "
	③ $Q=800$ " $q_s=2$ " $T=60$ "	5738.84 "	5914.51 "	1.031	16.00 "	16.43 "	2.05 "

図-11 流況の時間的变化図(実験No.1)

$$\textcircled{2} \begin{cases} Q = 400 \text{ cm}^3/\text{s} \\ \eta_s = 0 \% \end{cases}$$

測定時間	凡 例
5分	——→
10分	——→
15分	——→
25分	——→
35分	——→
40分	——○——
45分	——○——
55分	——○——

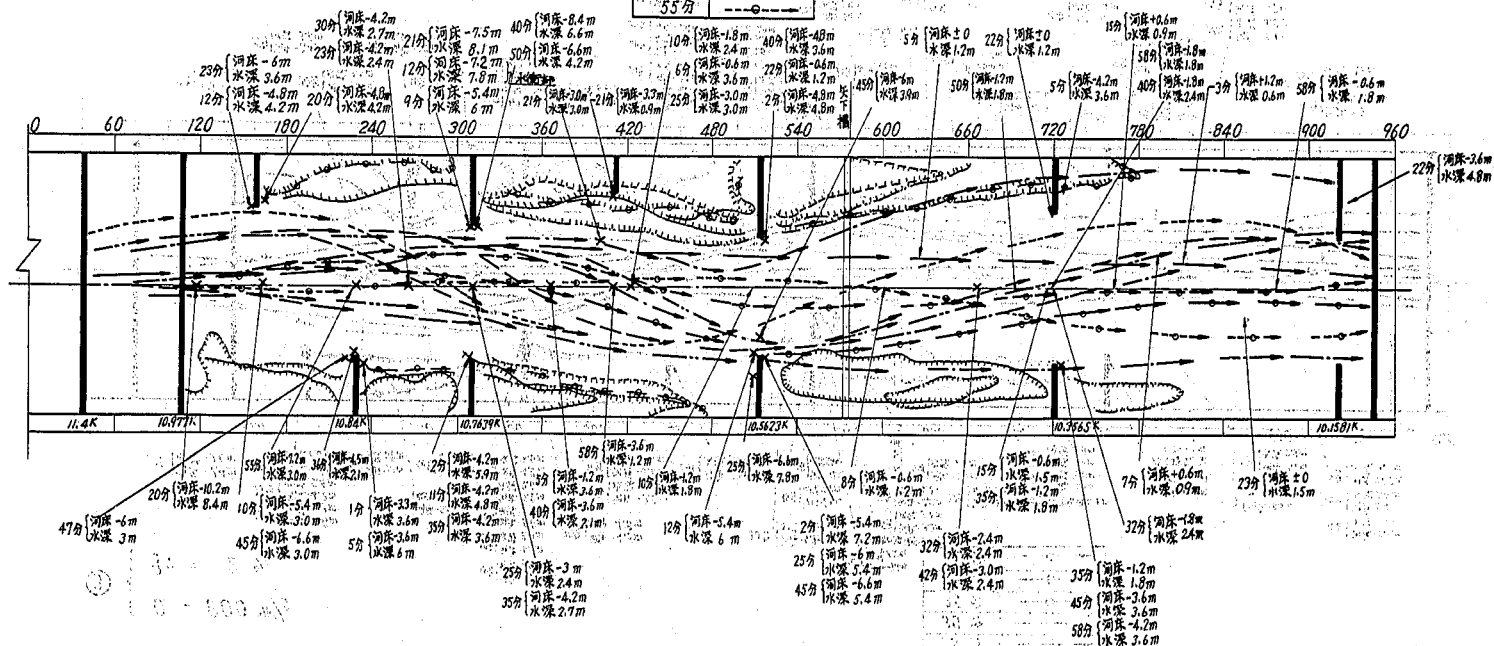


図-1.1 流況の時間的変化図 (実験 No. 1)

③ $\begin{cases} Q = 800 \text{ m}^3/\text{s} \\ g_s = 2\% \end{cases}$

測定時間	凡例
5分	——→
10分	-----→
15分	-----→
25分	-----→
30分	-----→
35分	-----○-----
45分	-----○-----
45分	-----○-----

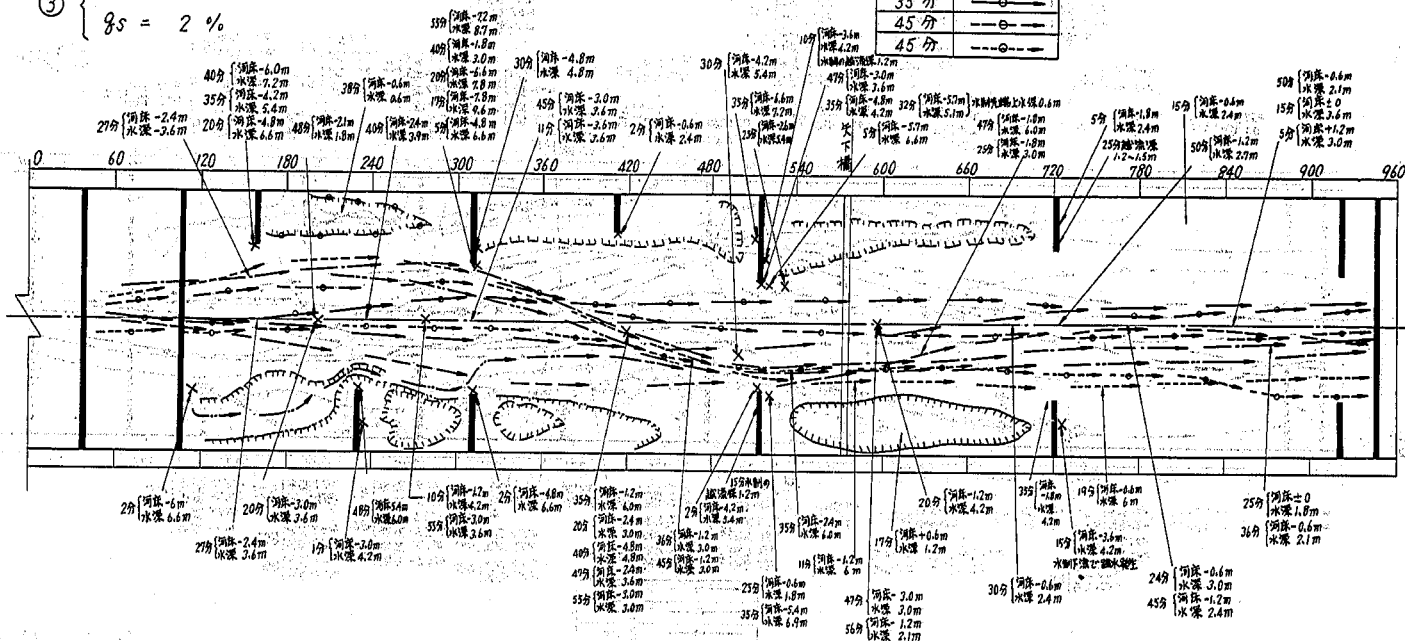


図-11 流況の時間的变化図 (実験No.1)

实验 NO.1

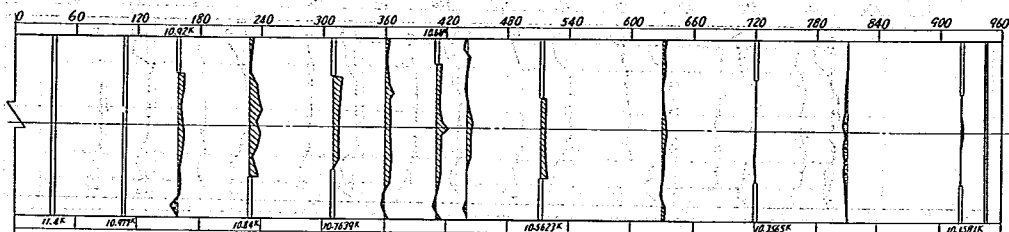


Q : 流量

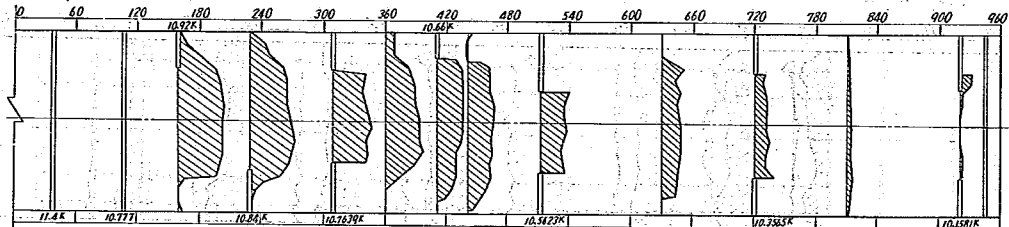
g_s : 输砂浓度

0 2 4 6 m

① $\begin{cases} Q = 400 \text{ m}^3/\text{s} \\ g_s = 2\% \end{cases}$



② $\begin{cases} Q = 400 \text{ m}^3/\text{s} \\ g_s = 0\% \end{cases}$



③ $\begin{cases} Q = 800 \text{ m}^3/\text{s} \\ g_s = 2\% \end{cases}$

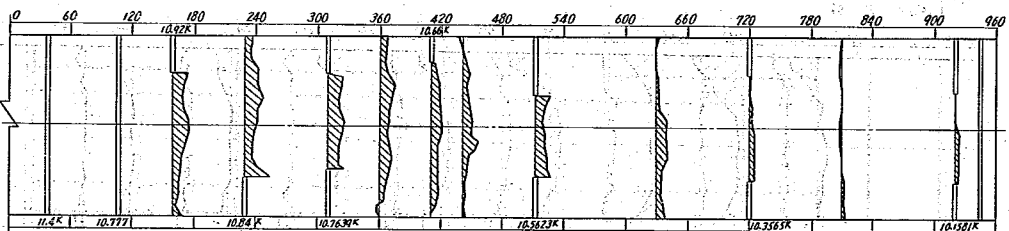


图-1 2.1 洗掘堆積平面图

实验 N0.2

凡例

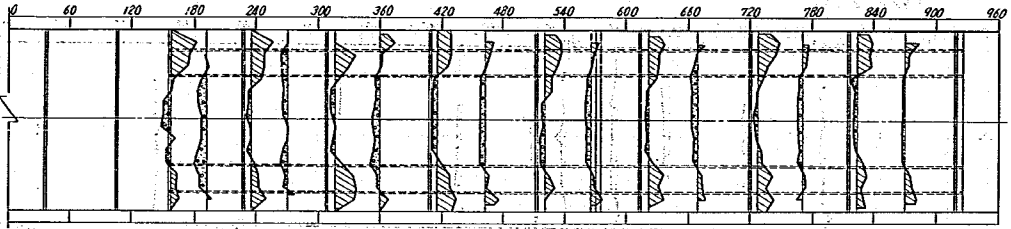


Q : 流量

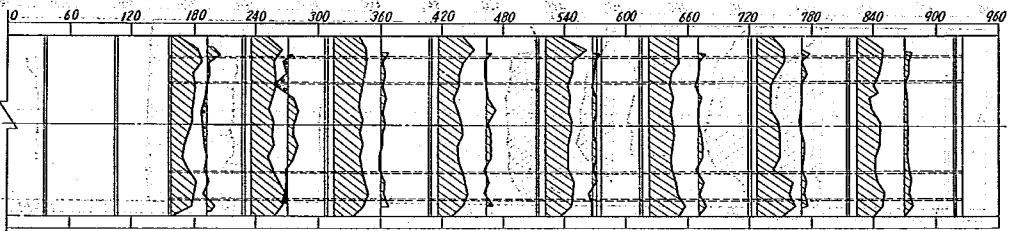
g_s : 输砂率度

0.246m

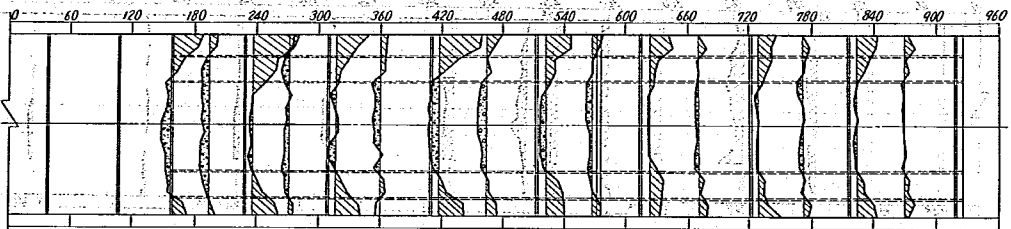
① $\begin{cases} Q = 400 \text{ m}^3/\text{s} \\ g_s = 2 \% \end{cases}$



② $\begin{cases} Q = 400 \text{ m}^3/\text{s} \\ g_s = 0 \% \end{cases}$



③ $\begin{cases} Q = 800 \text{ m}^3/\text{s} \\ g_s = 2 \% \end{cases}$



④ $\begin{cases} Q = 134 \text{ m}^3/\text{s} \\ g_s = 0 \% \end{cases}$

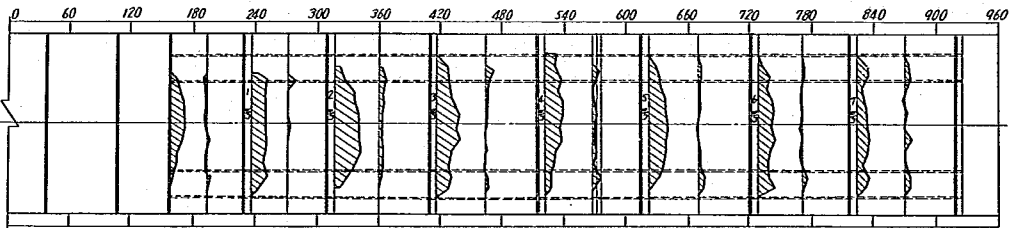


图-1 2.2 洗掘堆积平面图

实验 NO.3

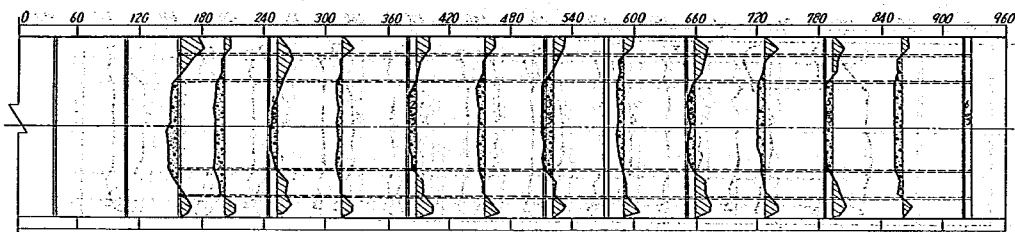


Q : 流量

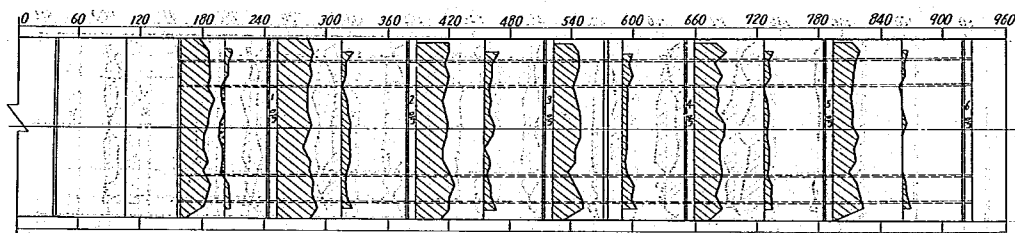
q_s : 输砂量

0.246m

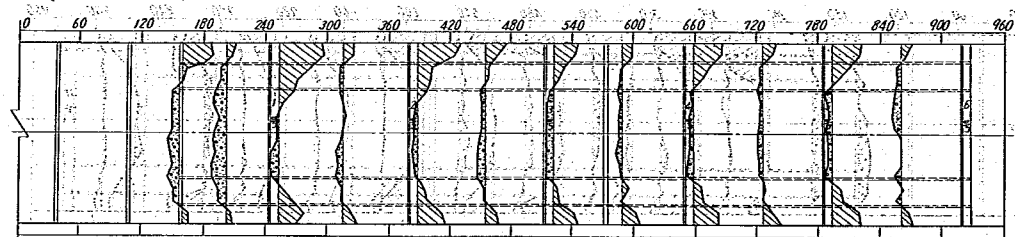
① $\begin{cases} Q = 400 \text{ m}^3/\text{s} \\ q_s = 2\% \end{cases}$



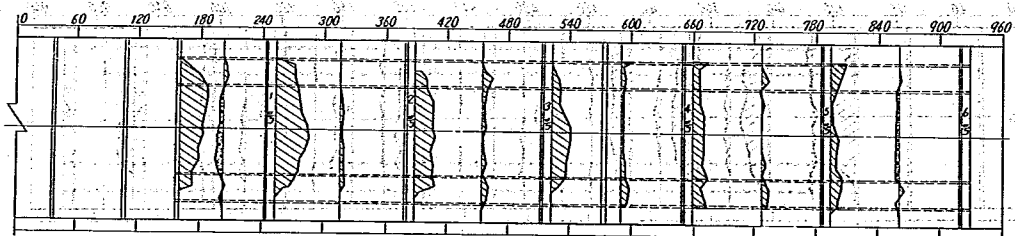
② $\begin{cases} Q = 400 \text{ m}^3/\text{s} \\ q_s = 0\% \end{cases}$



③ $\begin{cases} Q = 800 \text{ m}^3/\text{s} \\ q_s = 2\% \end{cases}$



④ $\begin{cases} Q = 134 \text{ m}^3/\text{s} \\ q_s = 0\% \end{cases}$



图一 1 2.3 洗掘堆积平面图

凡例

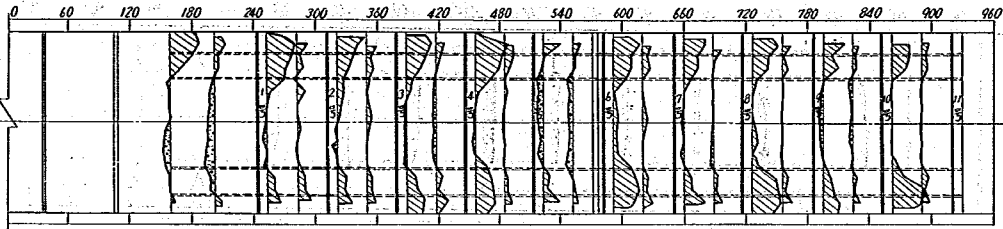


Q: 流量

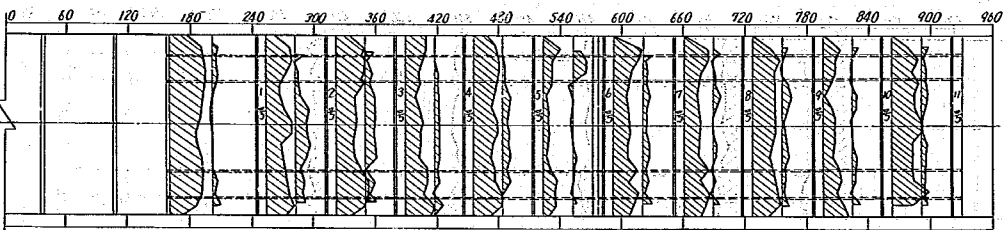
qs: 输砂浓度 0.246 m

实验NO.4

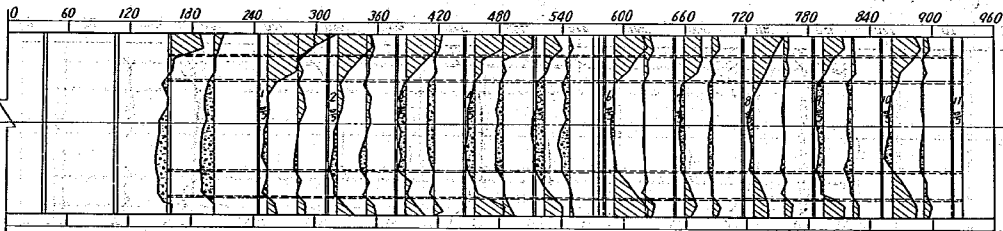
$$\textcircled{1} \begin{cases} Q = 400 \text{ m}^3/\text{s} \\ q_s = 2\% \end{cases}$$



$$\textcircled{2} \begin{cases} Q = 400 \text{ m}^3/\text{s} \\ q_s = 0\% \end{cases}$$



$$\textcircled{3} \begin{cases} Q = 800 \text{ m}^3/\text{s} \\ q_s = 2\% \end{cases}$$



$$\textcircled{4} \begin{cases} Q = 134 \text{ m}^3/\text{s} \\ q_s = 0\% \end{cases}$$

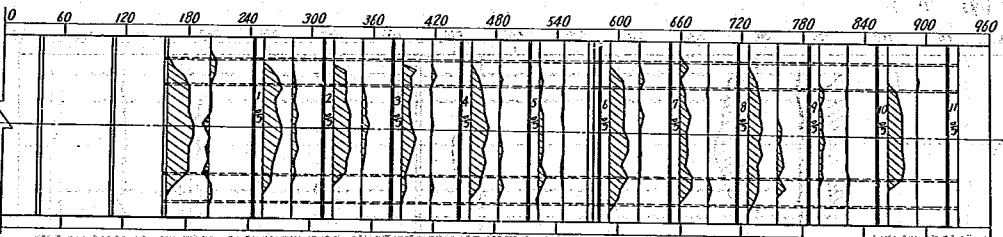


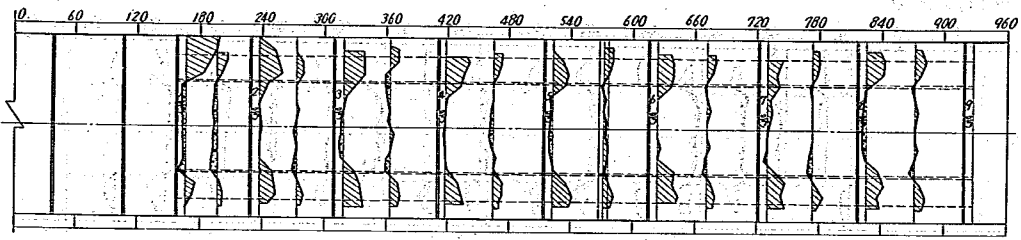
图-1.2.4. 洗掘堆积平面图

实验 NO.5

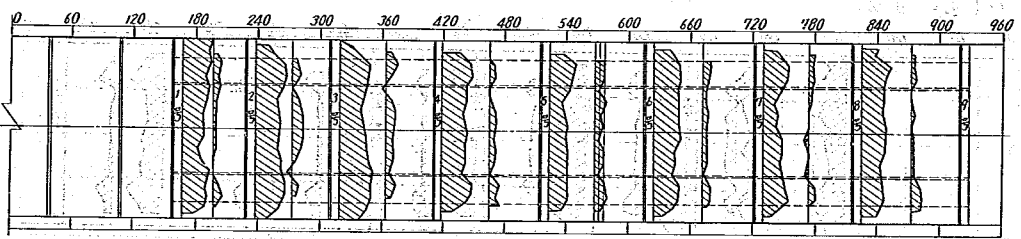


Q: 流量
gs: 淤砂浓度

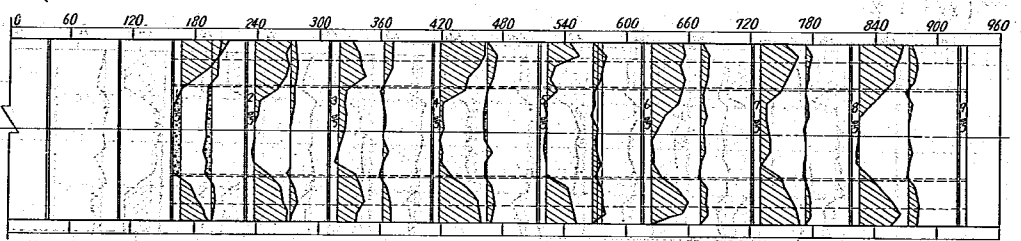
① $\begin{cases} Q = 400 \text{ m}^3/\text{s} \\ gs = 2\% \end{cases}$



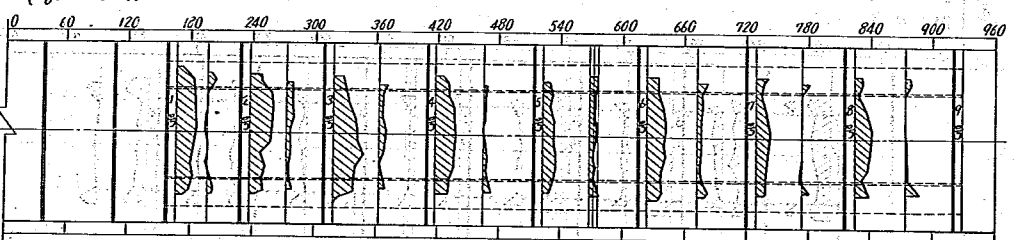
② $\begin{cases} Q = 400 \text{ m}^3/\text{s} \\ gs = 0\% \end{cases}$



③ $\begin{cases} Q = 800 \text{ m}^3/\text{s} \\ gs = 2\% \end{cases}$



④ $\begin{cases} Q = 134 \text{ m}^3/\text{s} \\ gs = 0\% \end{cases}$



图一 1.2.5 洗掘堆积平面图

凡例

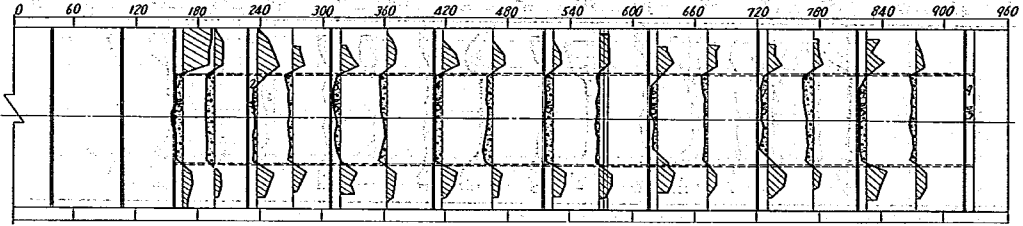


Q : 流量

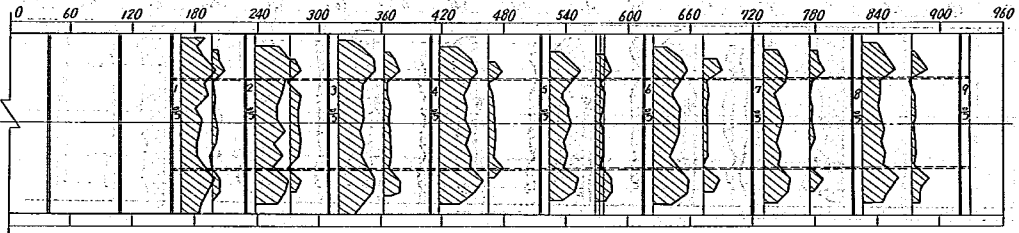
g_s : 含砂浓度 0.246%

实验 NO.6

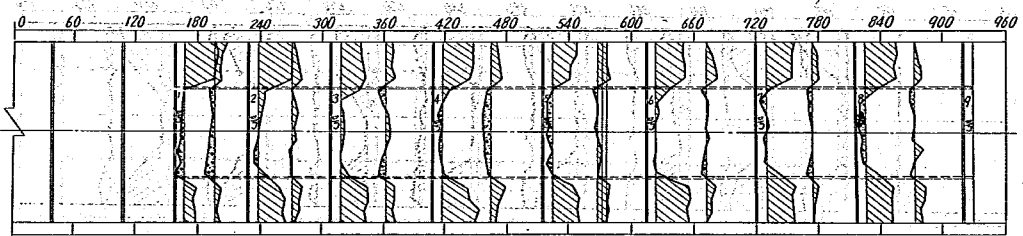
① $\begin{cases} Q = 400 \text{ m}^3/\text{s} \\ g_s = 2\% \end{cases}$



② $\begin{cases} Q = 400 \text{ m}^3/\text{s} \\ g_s = 0\% \end{cases}$



③ $\begin{cases} Q = 800 \text{ m}^3/\text{s} \\ g_s = 2\% \end{cases}$



④ $\begin{cases} Q = 134 \text{ m}^3/\text{s} \\ g_s = 0\% \end{cases}$

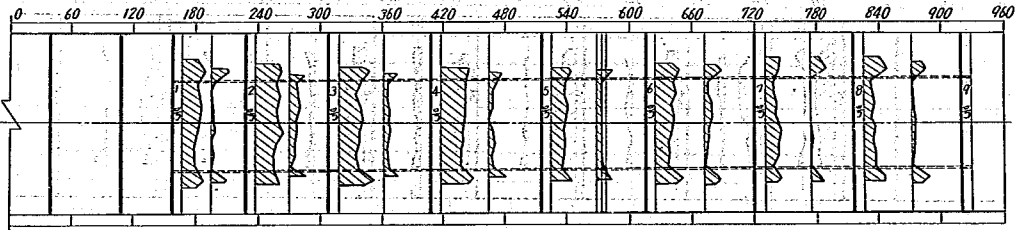


图-1 2.6 洗掘堆积平面图

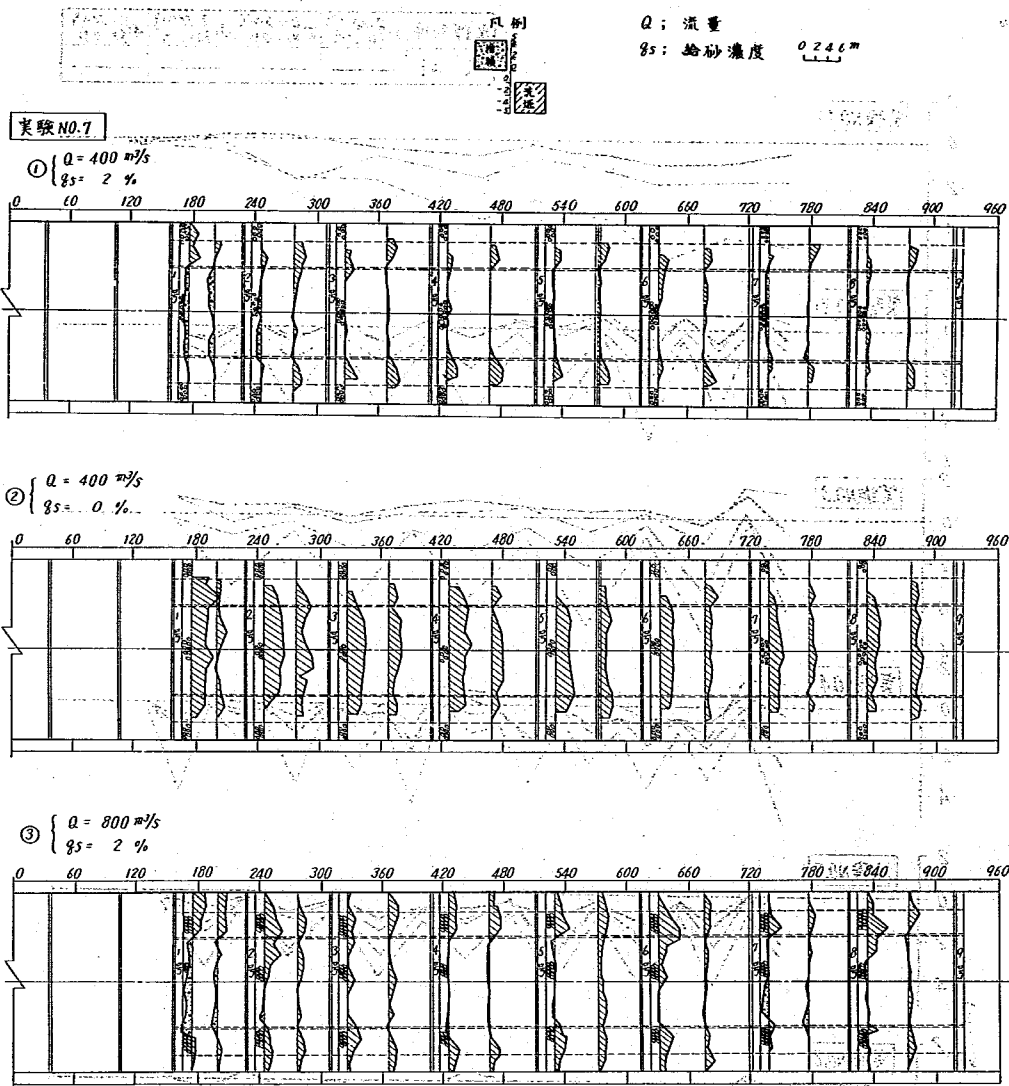


图-1 2.7 洗掘堆积平面图

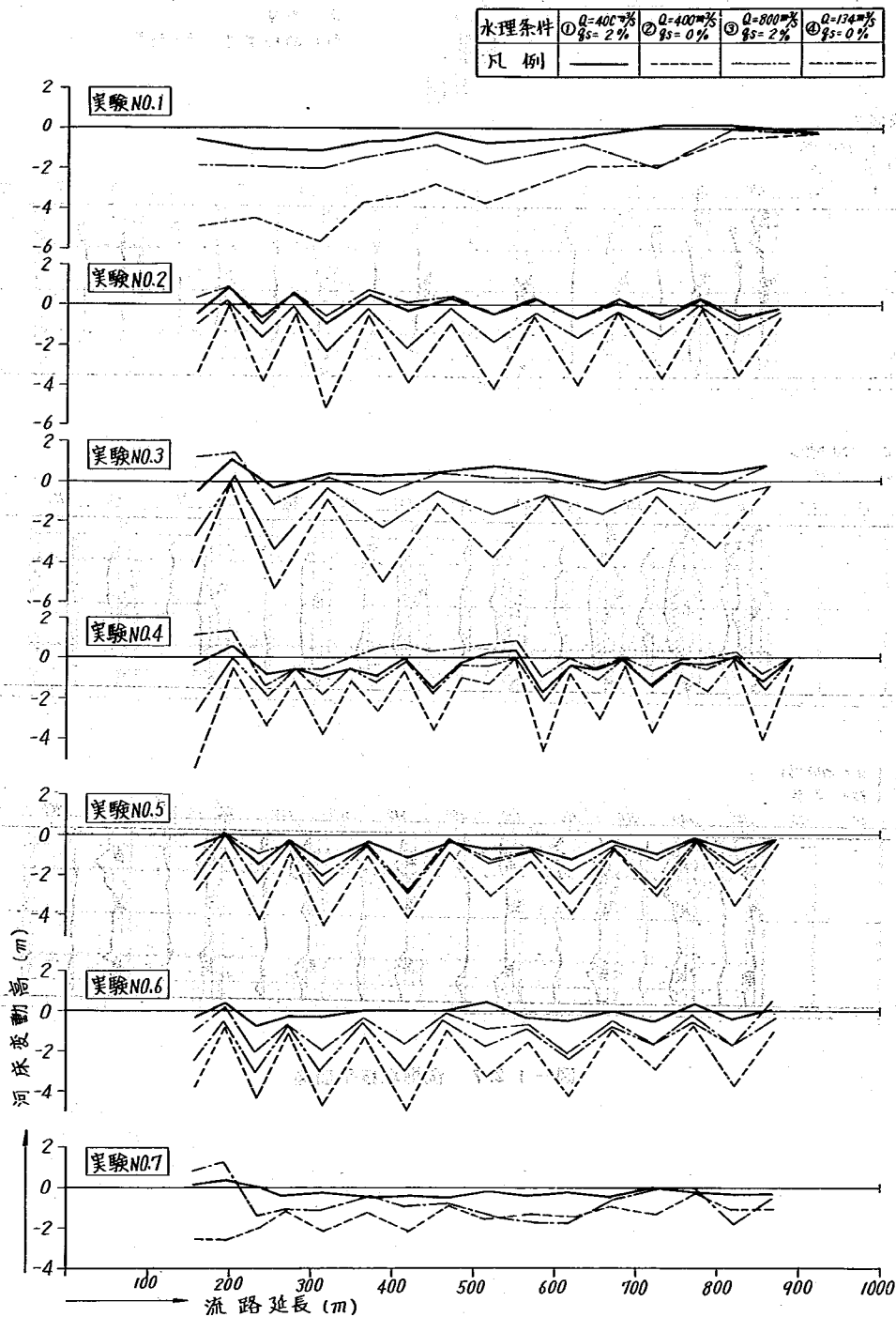
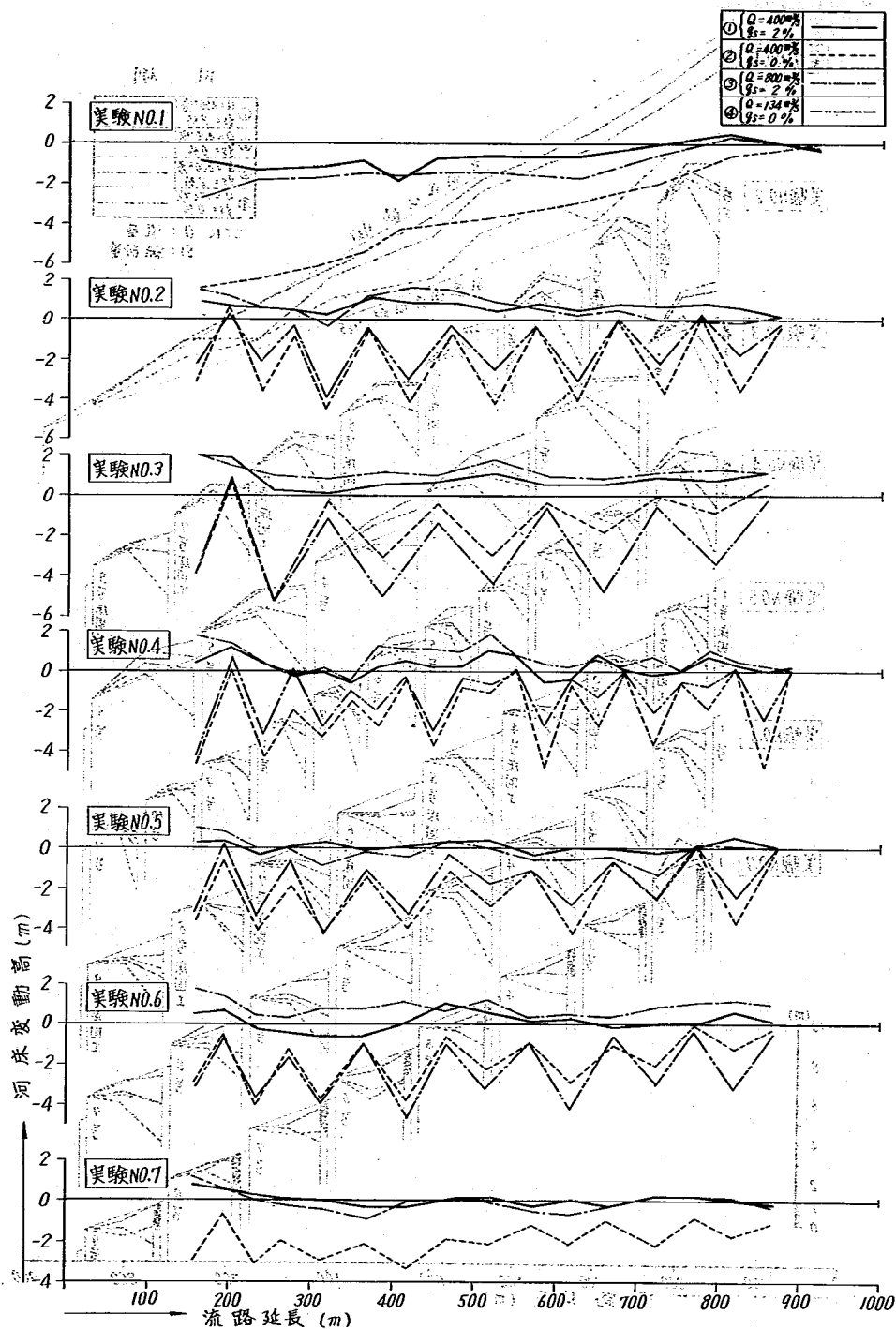


图-13 平均河床变动图



圖一 1 4 流路中央河床變動圖

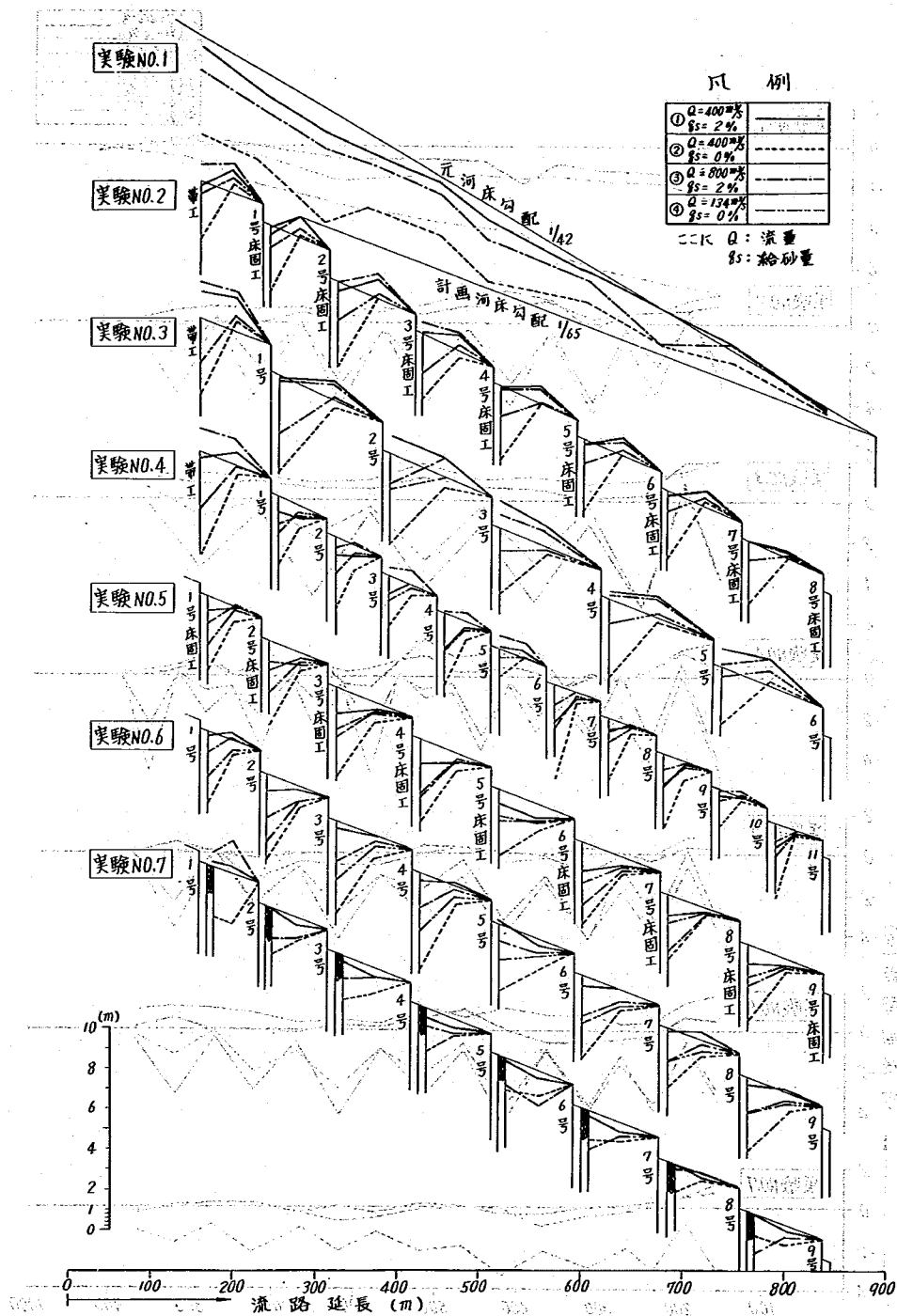


図-15 平均河床縦断面図

実験NO.1

実験前	——
$Q = 400 \text{ m}^3/\text{s}$ $qs = 2 \%$	----
$Q = 400 \text{ m}^3/\text{s}$ $qs = 0.5 \%$	-----
$Q = 800 \text{ m}^3/\text{s}$ $qs = 2 \%$	-----

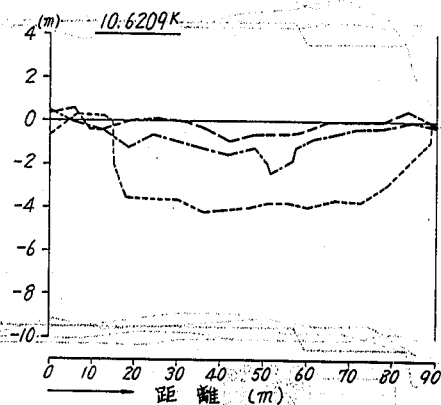
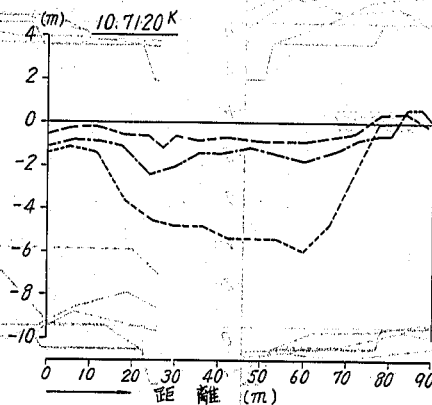
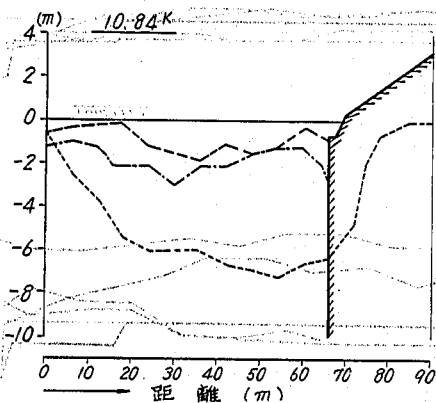
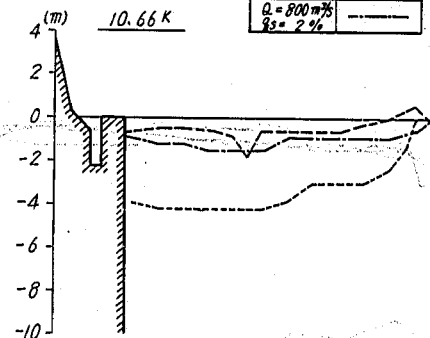
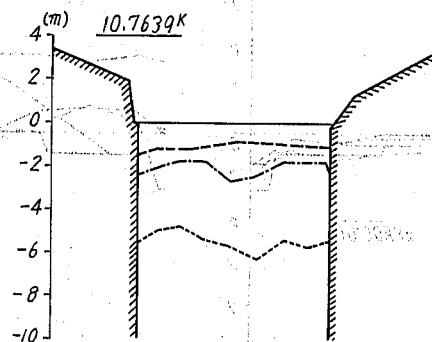
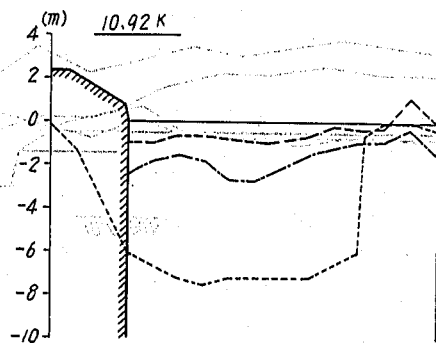


図-16 各断面の堆積高(1)

実験 NO. 2

図-15 堤防の断面図

実験前	——
① $Q=400\text{m}^3/\text{s}$ $qs=2\%$	----
② $Q=400\text{m}^3/\text{s}$ $qs=0\%$	----
③ $Q=800\text{m}^3/\text{s}$ $qs=2\%$	----
④ $Q=134\text{m}^3/\text{s}$ $qs=0\%$	----

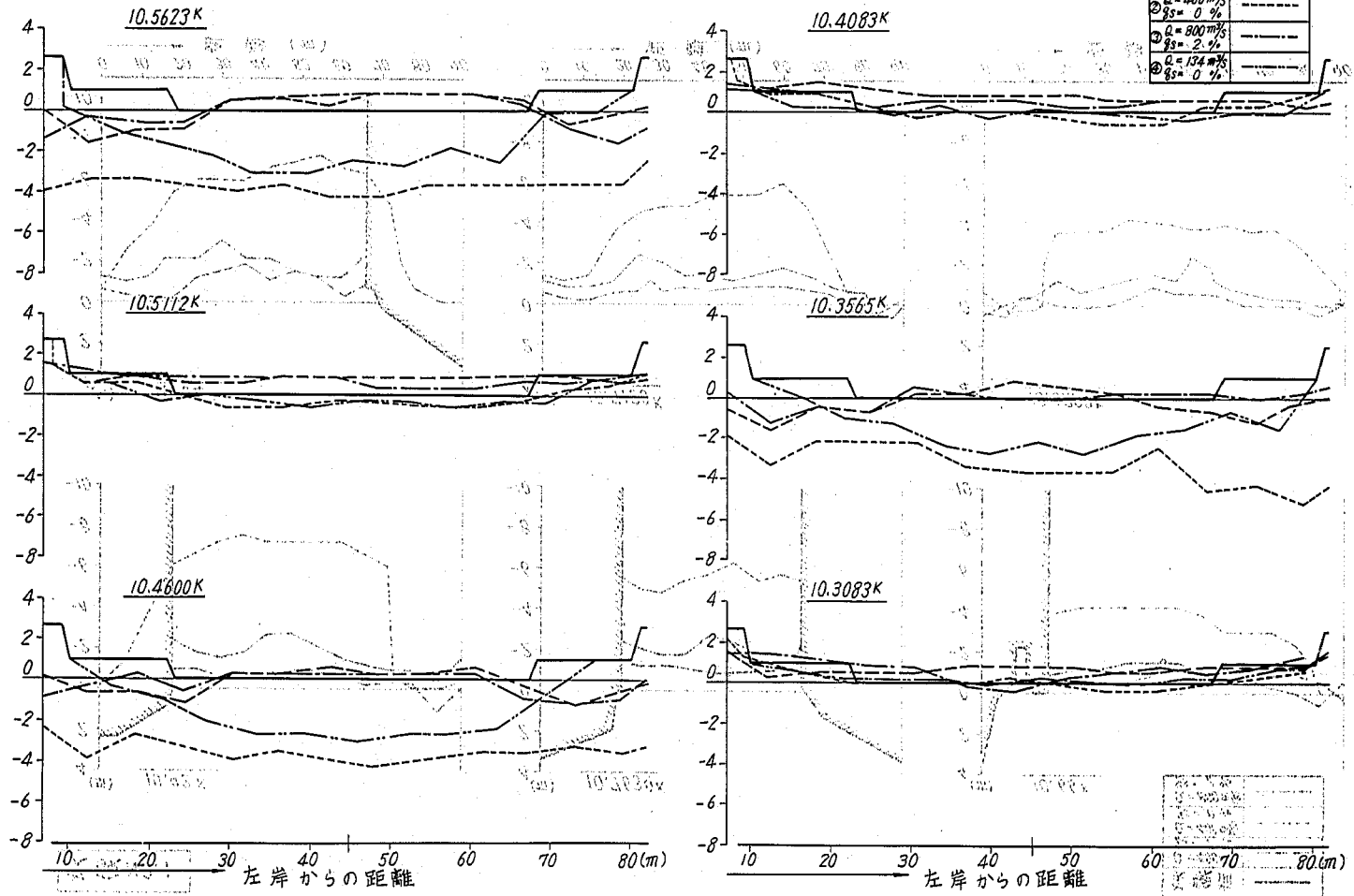
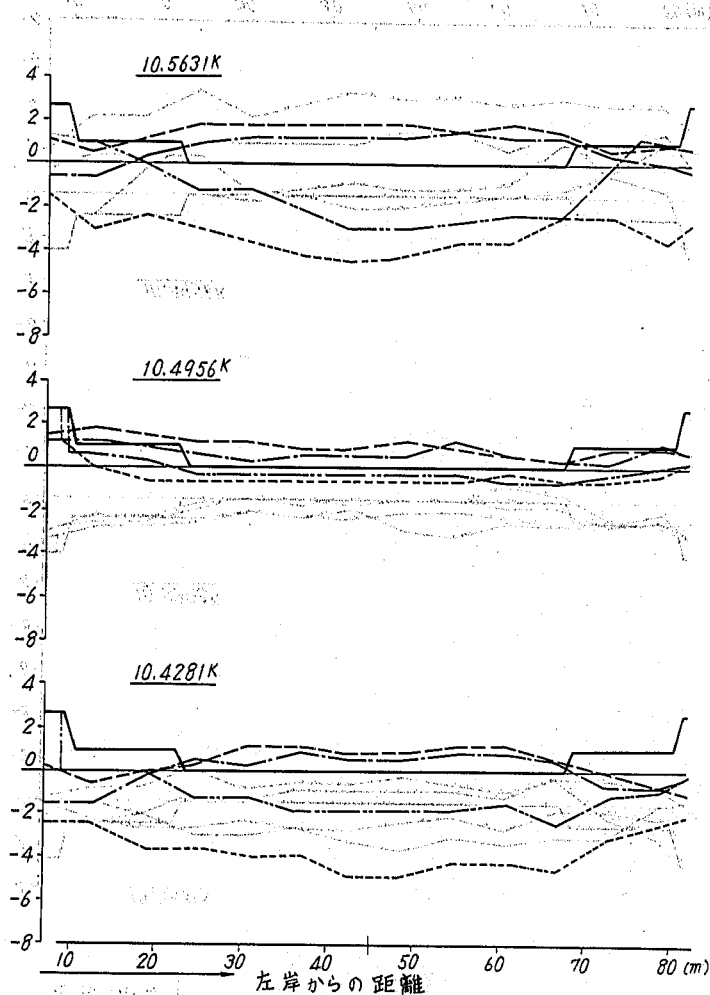


図-16 各断面の堆積高(2)

実験N0.3



実験前	
① $Q=400m^3/s$ $q_s=2\%$	——
② $Q=400m^3/s$ $q_s=0\%$	----
③ $Q=800m^3/s$ $q_s=2\%$	----
④ $Q=134m^3/s$ $q_s=0\%$	----

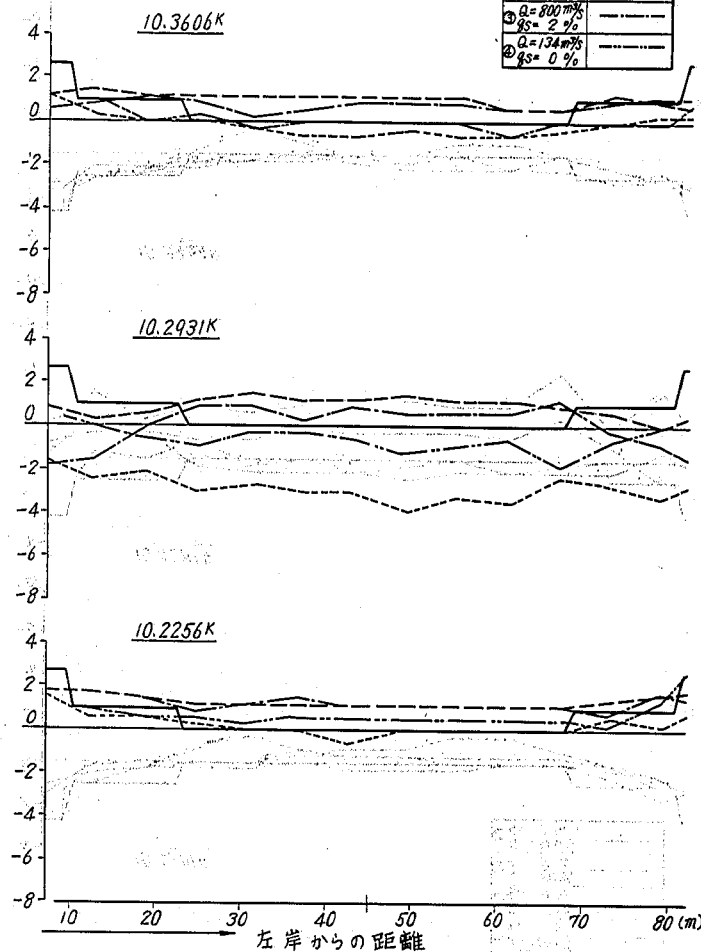


図-16 各断面の堆積高(3)

実験 NO. 4

実験前	
① $Q = 400 \text{ m}^3/\text{s}$	——
② $Q = 200 \text{ m}^3/\text{s}$	- - - -
③ $Q = 400 \text{ m}^3/\text{s}$	
④ $Q = 0 \text{ m}^3/\text{s}$	
⑤ $Q = 800 \text{ m}^3/\text{s}$	
⑥ $Q = 200 \text{ m}^3/\text{s}$	
⑦ $Q = 134 \text{ m}^3/\text{s}$	
⑧ $Q = 0 \text{ m}^3/\text{s}$	

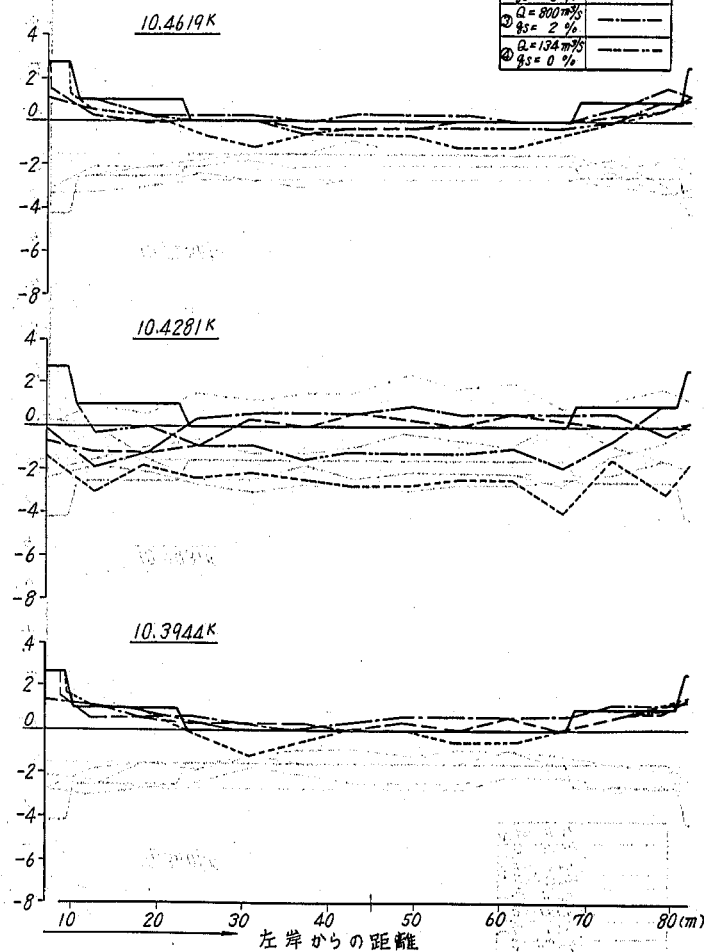
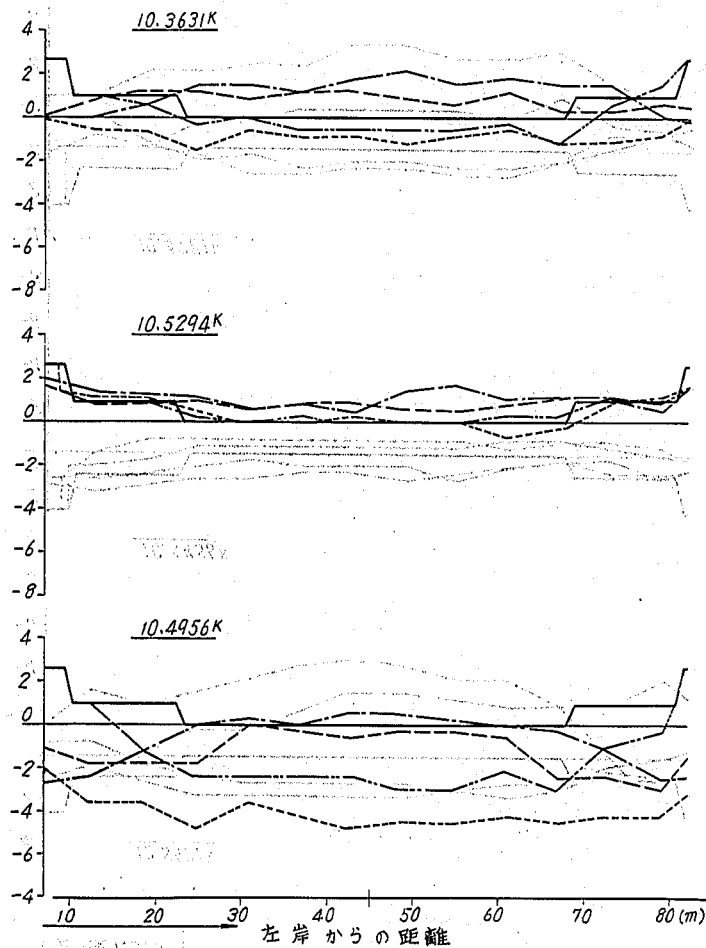


図-16 各断面の堆積高(4)

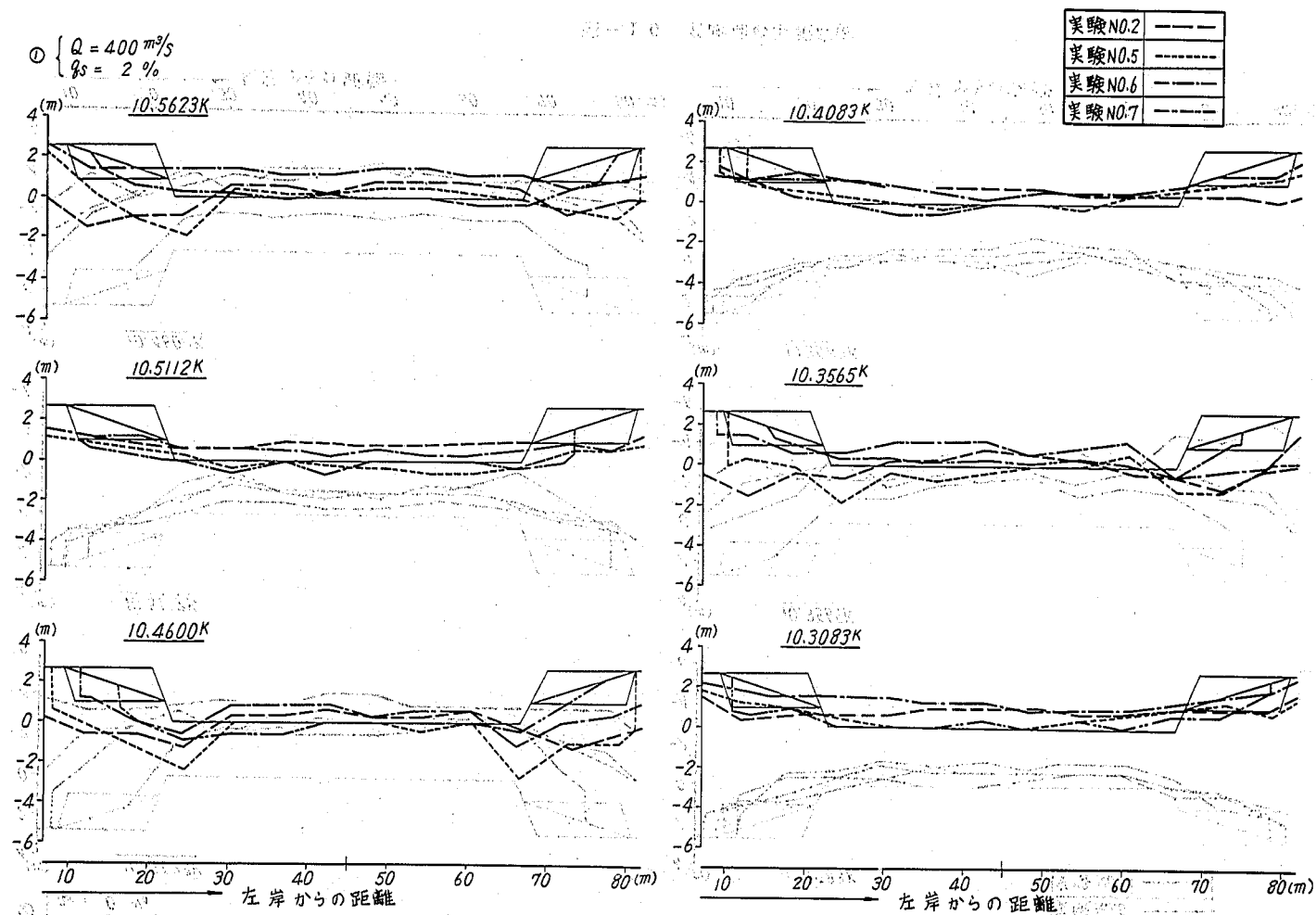


図-16 各断面の堆積高(5)

② $\begin{cases} Q = 400 \text{ m}^3/\text{s} \\ q_s = 0 \% \end{cases}$

実験N0.2	——
実験N0.5	----
実験N0.6	——
実験N0.7	----

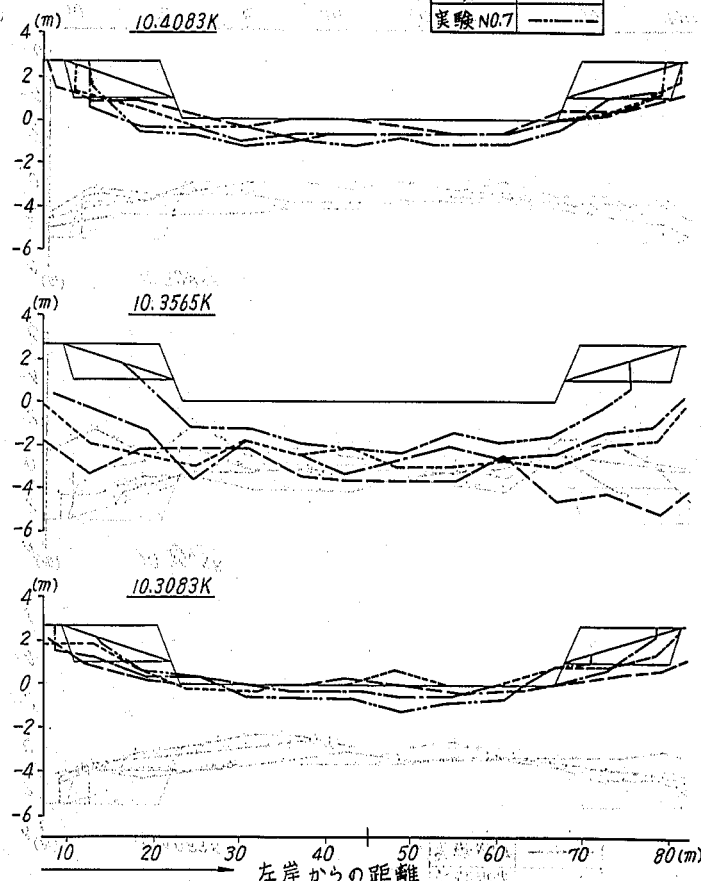
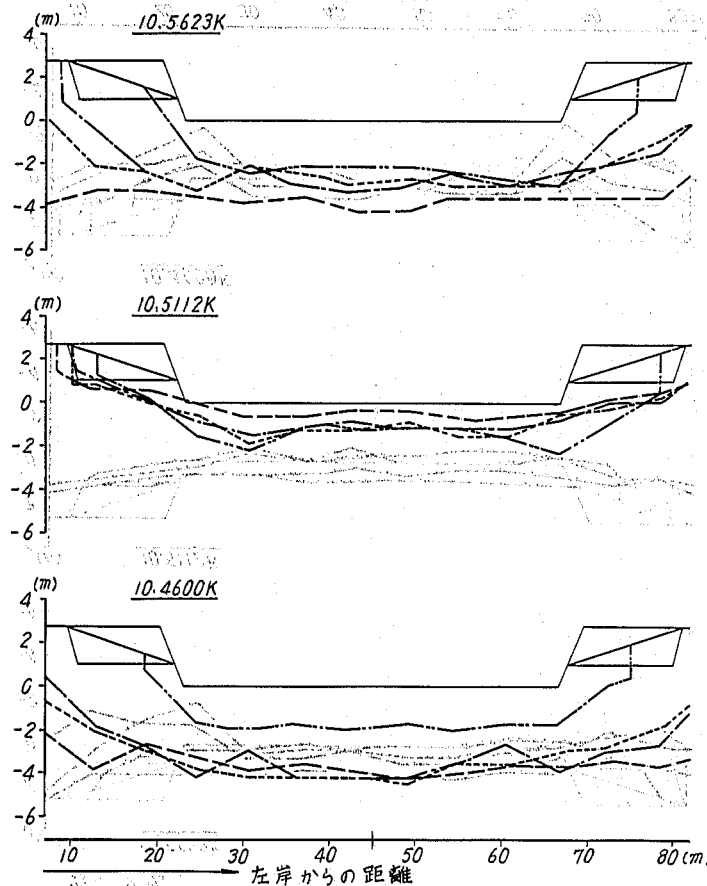


図-16 各断面の堆積高(6)

② $\begin{cases} Q = 800 \text{ m}^3/\text{s} \\ \beta s = 2\% \end{cases}$

実験NO.2	——
実験NO.5	----
実験NO.6	----
実験NO.7	----

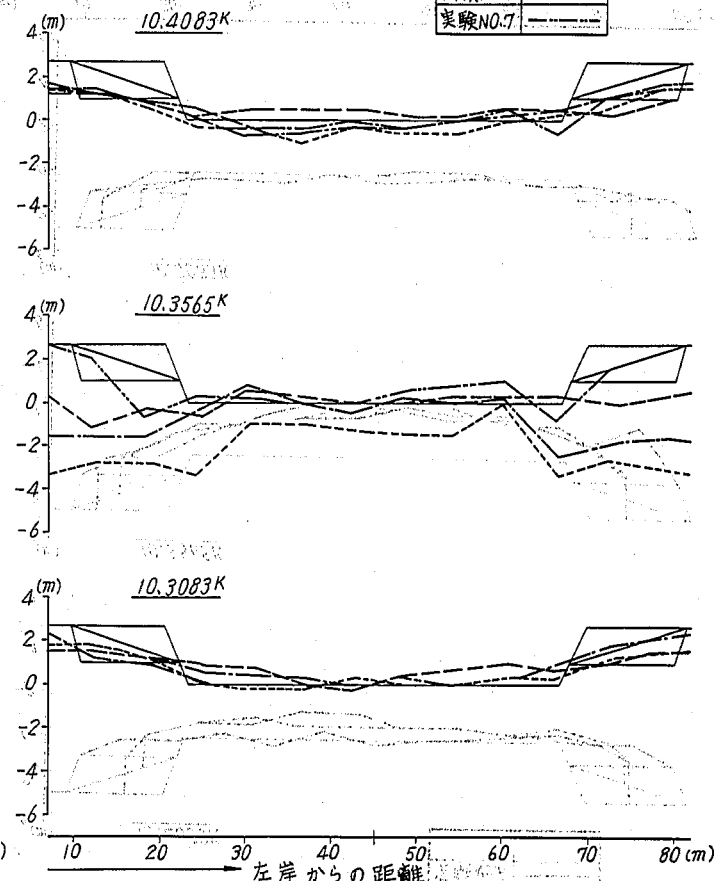
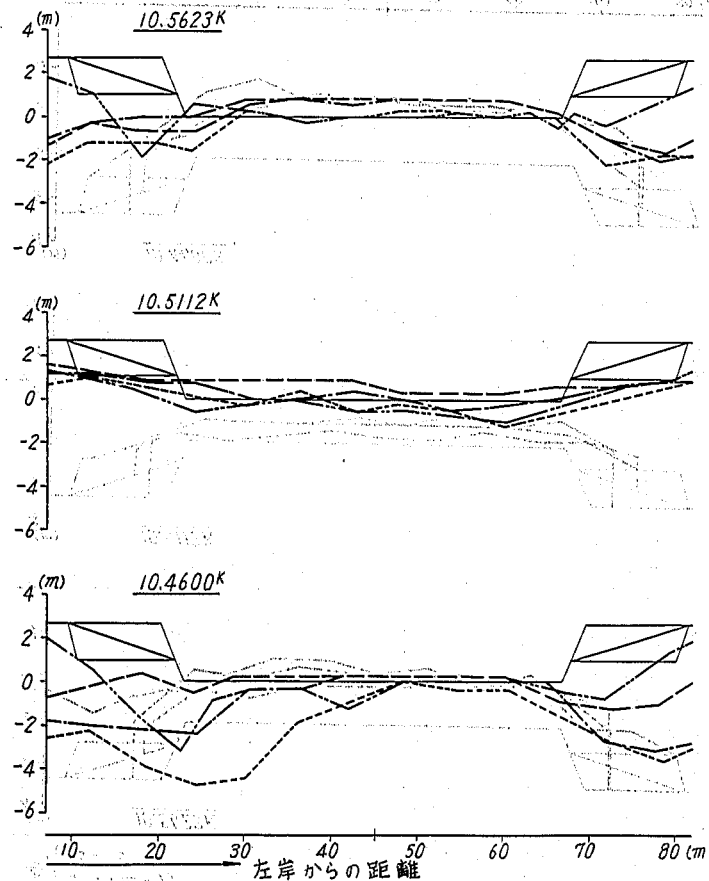


図-16 各断面の堆積高(7)

④ $\begin{cases} Q = 134 \text{ m}^3/\text{s} \\ \beta S = 0\% \end{cases}$

実験NO.2	——
実験NO.5	----
実験NO.6	----

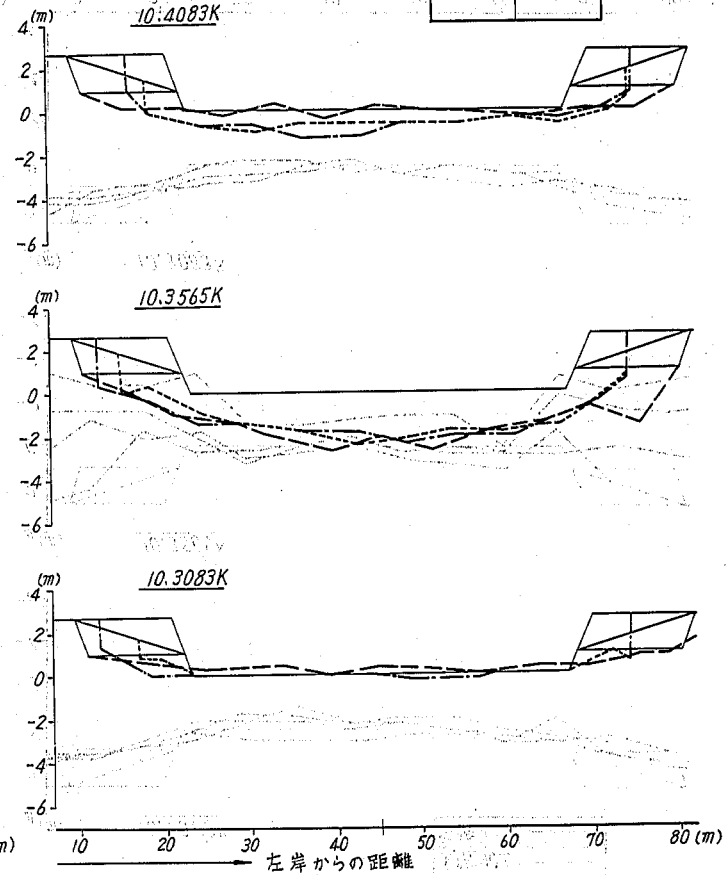
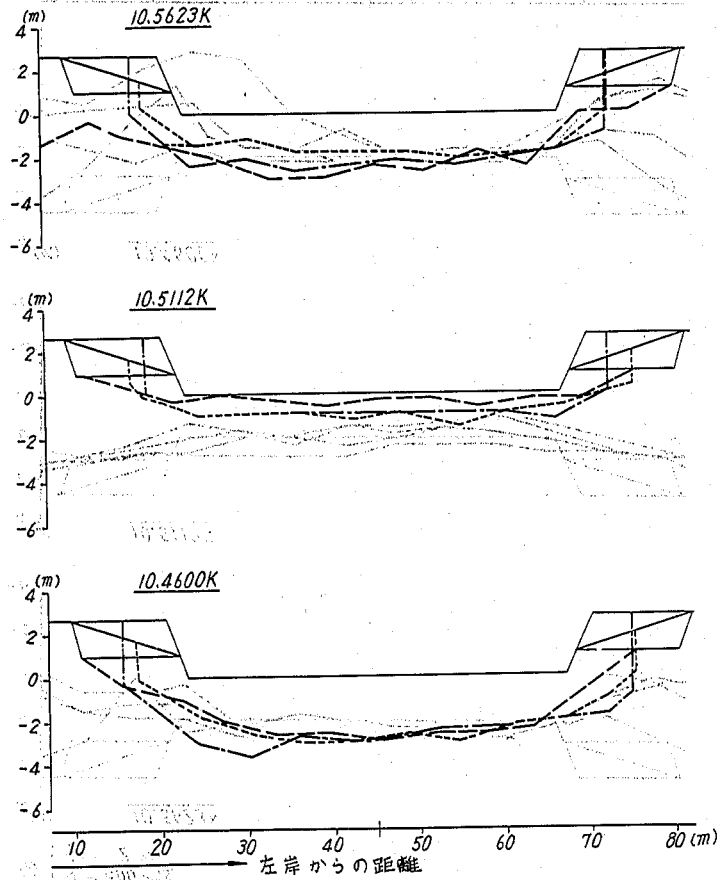
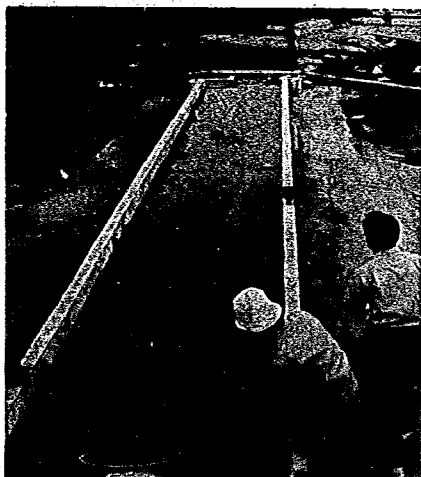


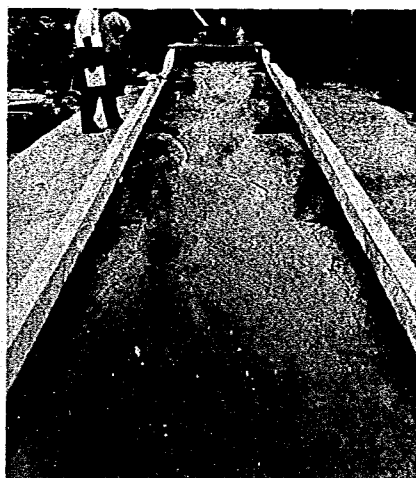
図-16 各断面の堆積高(8)

実験 No. 1

① $\begin{cases} Q = 400 \text{ m}^3/\text{sec} \\ q_s = 2 \text{ \%} \end{cases}$

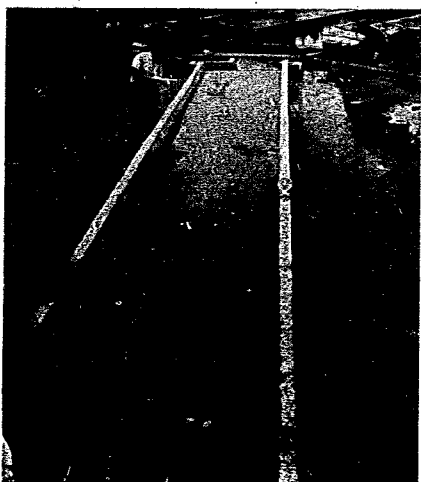


15分後



実験終了後

② $\begin{cases} Q = 400 \text{ m}^3/\text{sec} \\ q_s = 0 \text{ \%} \end{cases}$



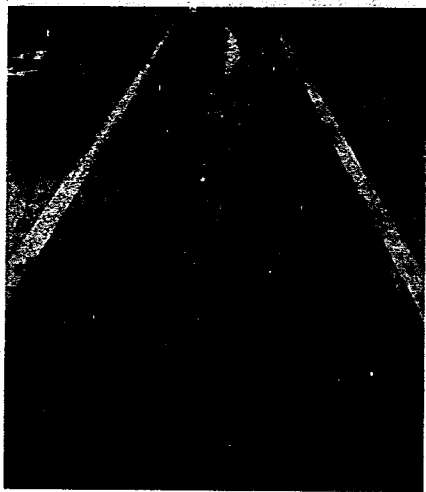
15分後



実験終了後

写真-2 流況

③ $\left\{ \begin{array}{l} Q = 800 \text{ m}^3/\text{sec} \\ q_s = 2 \% \end{array} \right.$

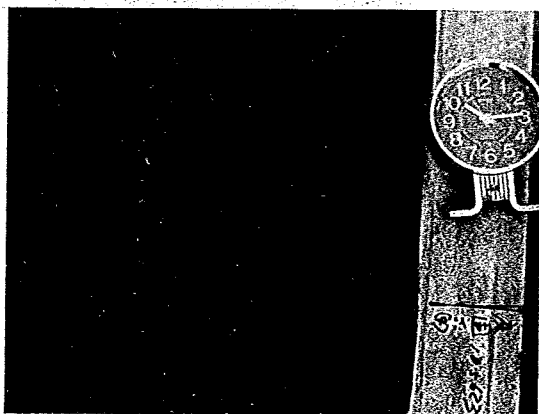


30分後

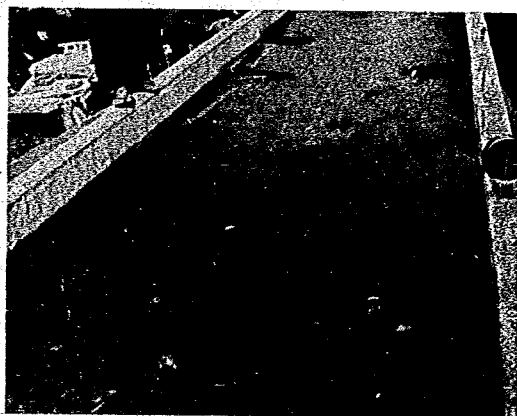


減水時

[局部流況]



水制付近の流況

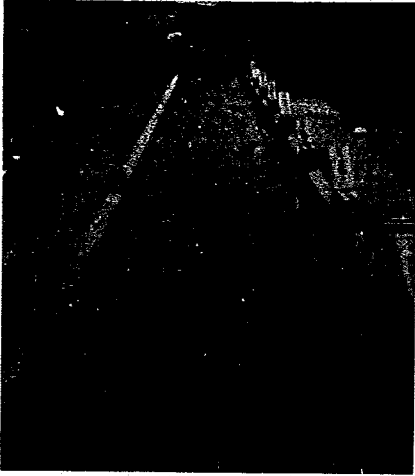


波状跳水

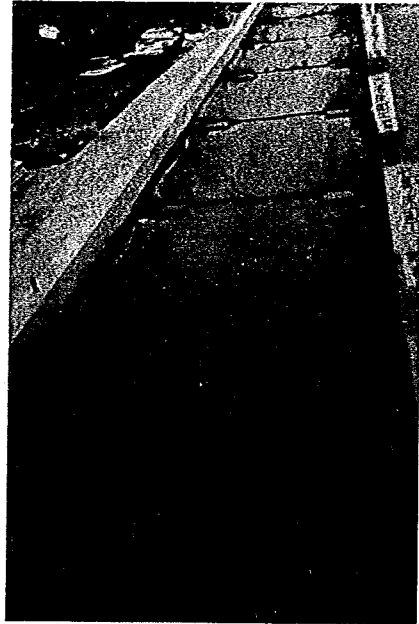
写真-3 流況

実験 Ⅱ 2

① $\left\{ \begin{array}{l} Q = 400 \text{ m}^3/\text{sec} \\ q_s = 2\% \end{array} \right.$

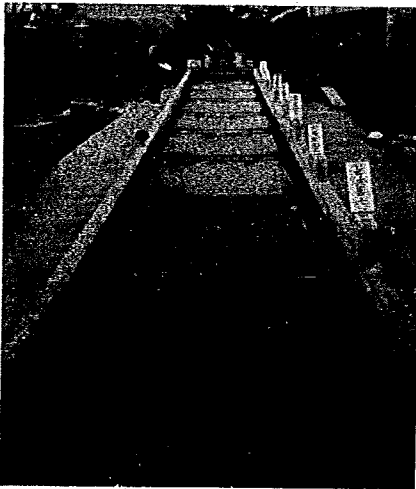


50分後

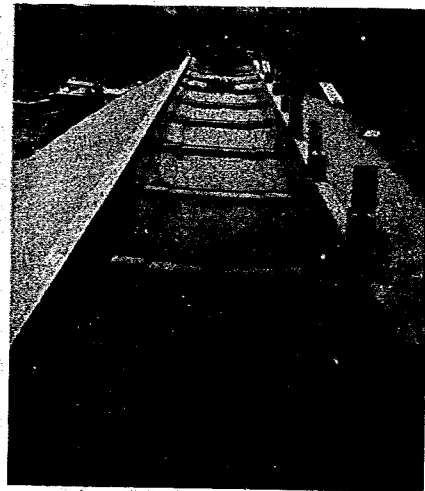


実験終了後

② $\left\{ \begin{array}{l} Q = 400 \text{ m}^3/\text{sec} \\ q_s = 0\% \end{array} \right.$



55分後



実験終了後

写真-4 流況

③ $\begin{cases} Q = 800 \text{ m}^3/\text{sec} \\ q_s = 2 \text{ ‰} \end{cases}$

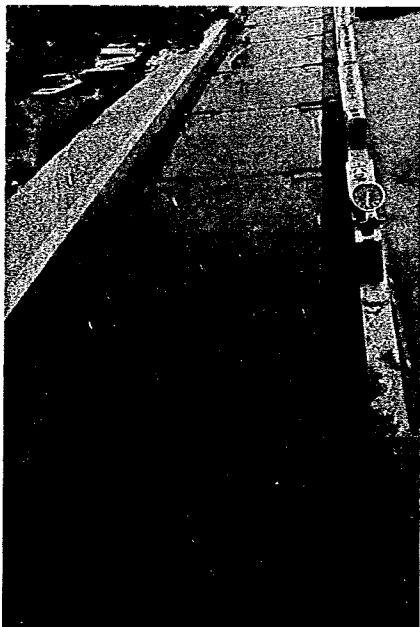


15 分 後



実験終了後

④ $\begin{cases} Q = 134 \text{ m}^3/\text{sec} \\ q_s = 0 \text{ ‰} \end{cases}$



30 分 後

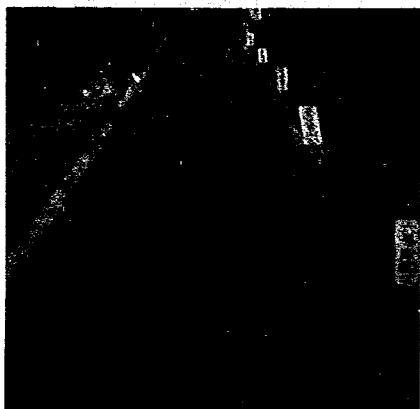


実験終了後

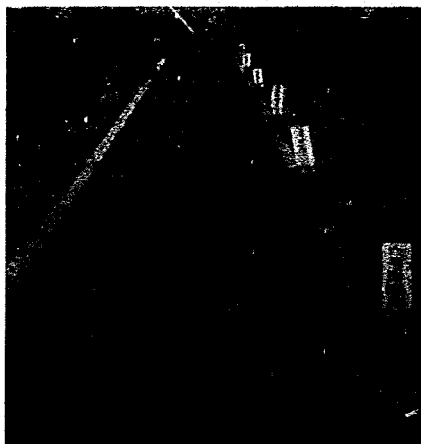
写真-5 流 況

実験 № 3

① $\begin{cases} Q = 400 \text{ m}^3/\text{sec} \\ q_s = 2 \% \end{cases}$

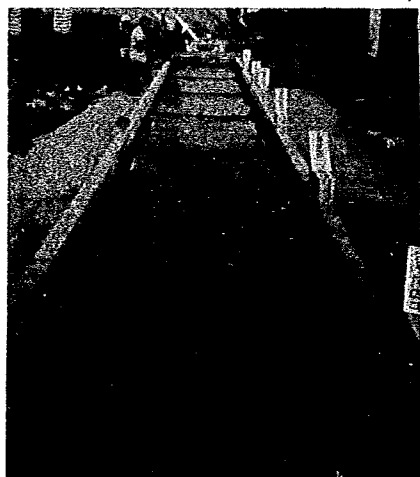


45分後

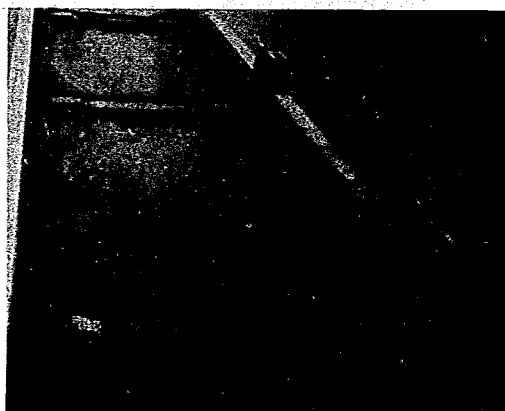


実験終了後

② $\begin{cases} Q = 400 \text{ m}^3/\text{sec} \\ q_s = 0 \% \end{cases}$



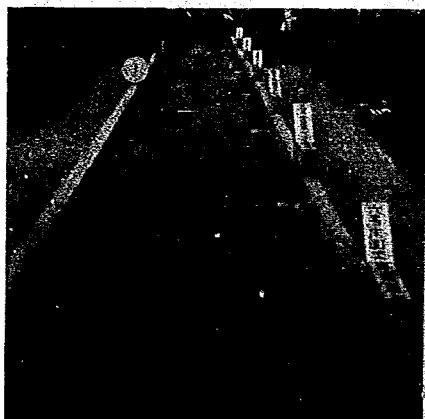
30分後



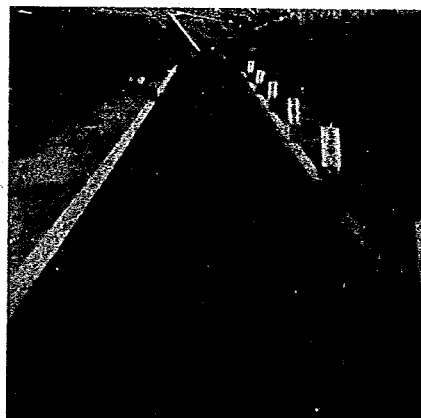
実験終了後

写真-6 流況

$$\textcircled{3} \begin{cases} Q = 800 \text{ m}^3/\text{sec} \\ q_s = 2 \text{ \%} \end{cases}$$

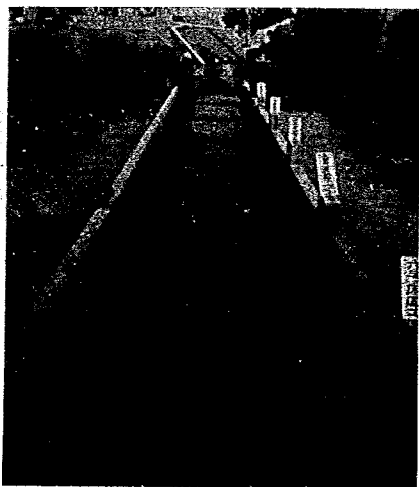


2 0 分 後

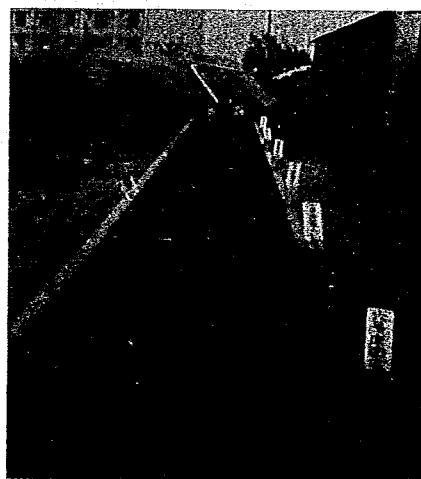


実験終了後

$$\textcircled{4} \begin{cases} Q = 134 \text{ m}^3/\text{sec} \\ q_s = 0 \text{ \%} \end{cases}$$



2 5 分 後

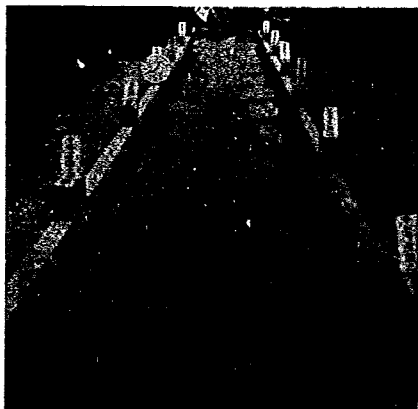


実験終了後

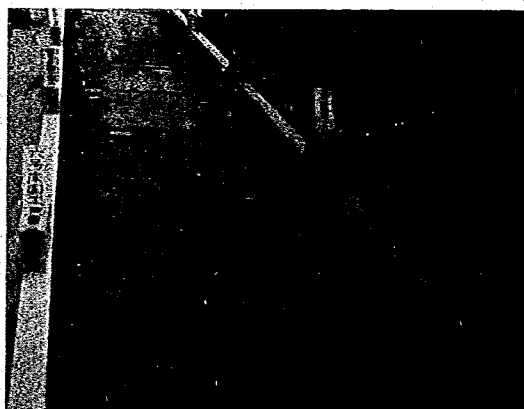
写真-7 流 況

実験 No. 4

① $\begin{cases} Q = 400 \text{ m}^3/\text{sec} \\ q_s = 2 \% \end{cases}$

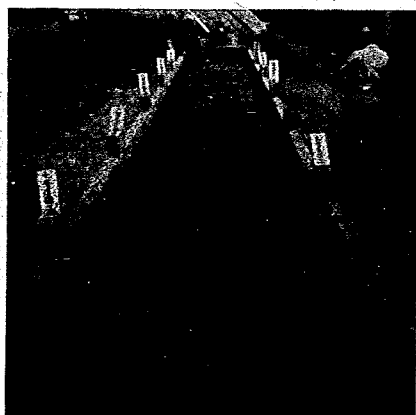


40分後

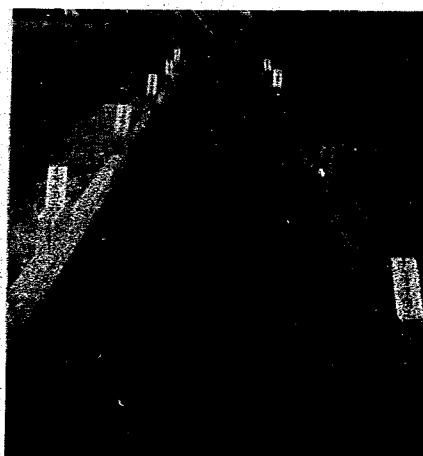


実験終了後

② $\begin{cases} Q = 400 \text{ m}^3/\text{sec} \\ q_s = 0 \% \end{cases}$



15分後



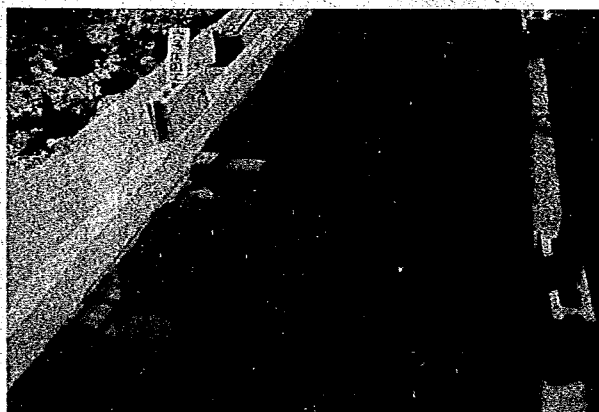
実験終了後

写真-8 流況

③ $\left\{ \begin{array}{l} Q = 800 \text{ m}^3/\text{sec} \\ q_s = 2 \text{ } \phi \end{array} \right.$

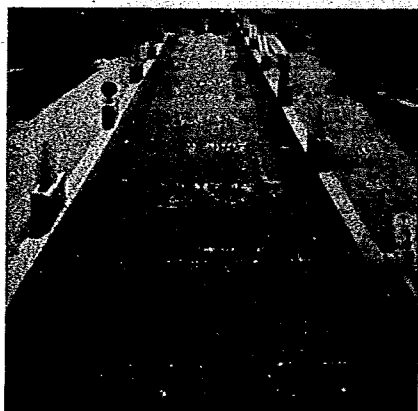


1 5 分 後

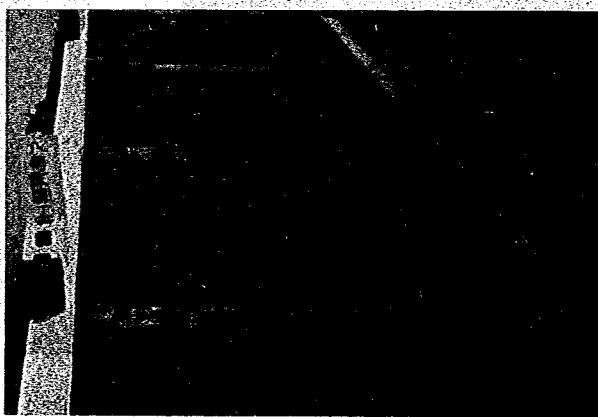


実験終了後

④ $\left\{ \begin{array}{l} Q = 134 \text{ m}^3/\text{sec} \\ q_s = 0 \text{ } \phi \end{array} \right.$



2 0 分 後



実験終了後

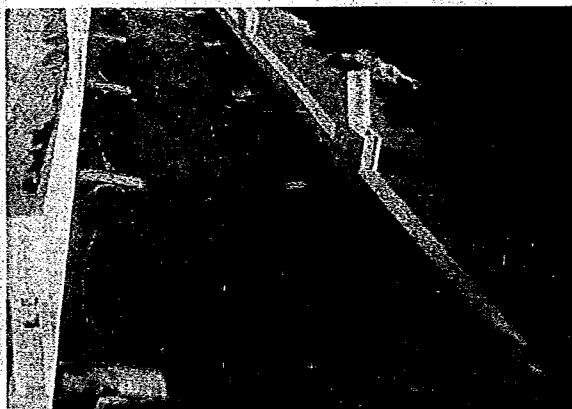
写真-9 流 況

実験 No. 5

① $\begin{cases} Q = 400 \text{ m}^3/\text{sec} \\ q_s = 2 \% \end{cases}$

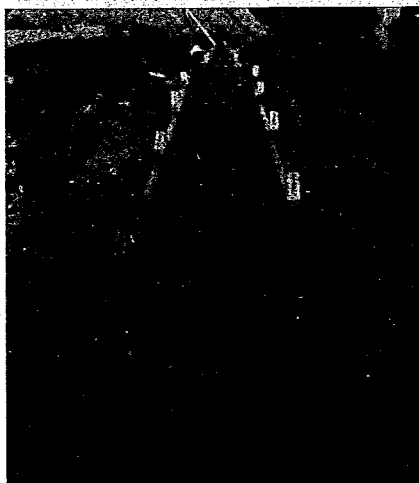


30分後



実験終了後

② $\begin{cases} Q = 400 \text{ m}^3/\text{sec} \\ q_s = 0 \% \end{cases}$



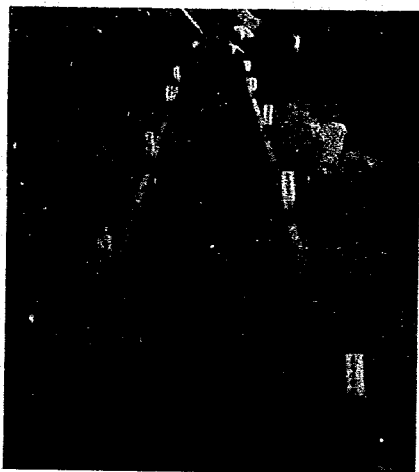
30分後



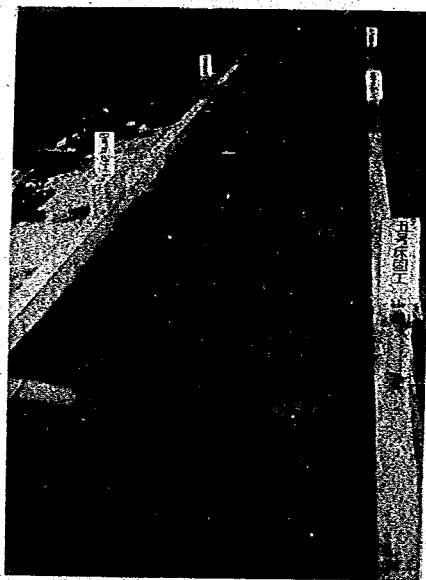
実験終了後

写真-10 流況

③ { $Q = 800 \text{ m}^3/\text{sec}$
 $q_s = 2 \%$

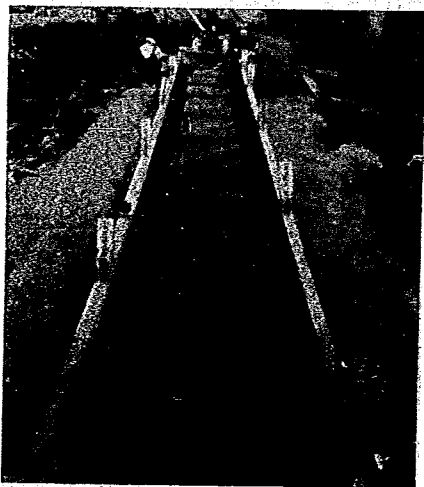


30分後

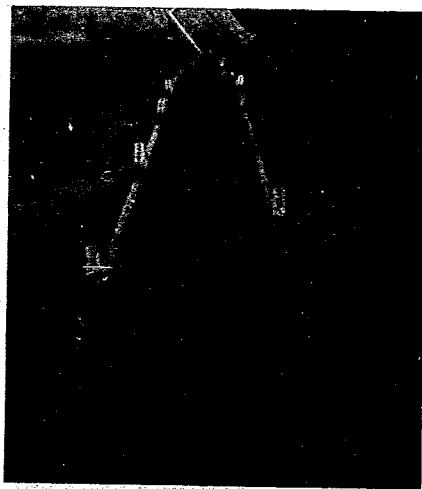


実験終了後

④ { $Q = 134 \text{ m}^3/\text{sec}$
 $q_s = 0 \%$



30分後

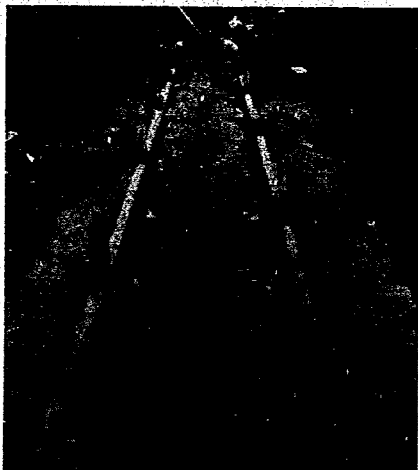


実験終了後

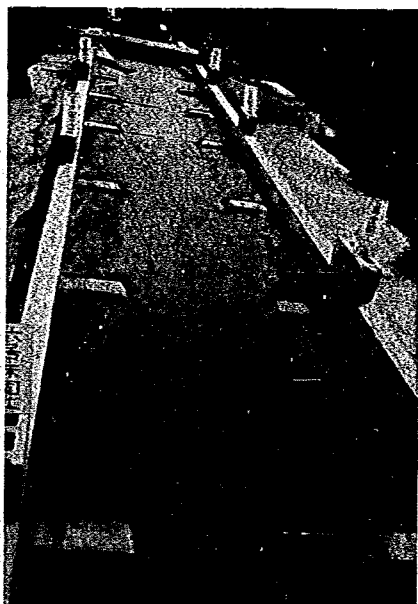
写真-11 流況

実験 № 6

① $\begin{cases} Q = 400 \text{ m}^3/\text{sec} \\ q_s = 2\% \end{cases}$

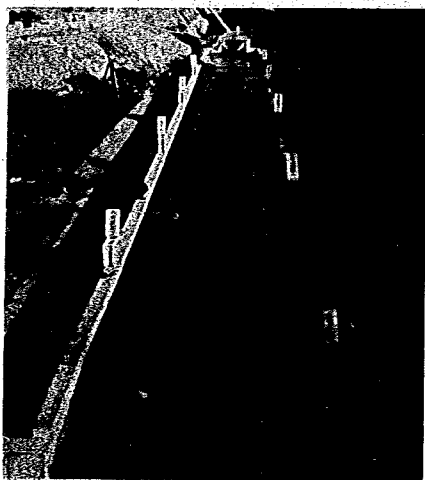


30分後

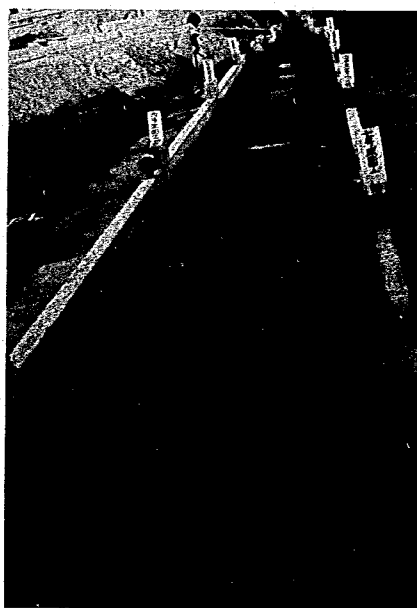


実験終了後

② $\begin{cases} Q = 400 \text{ m}^3/\text{sec} \\ q_s = 0\% \end{cases}$

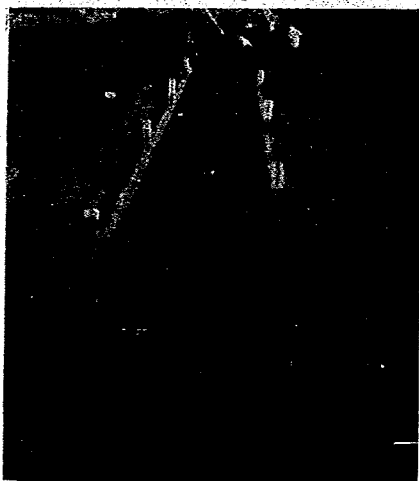


30分後

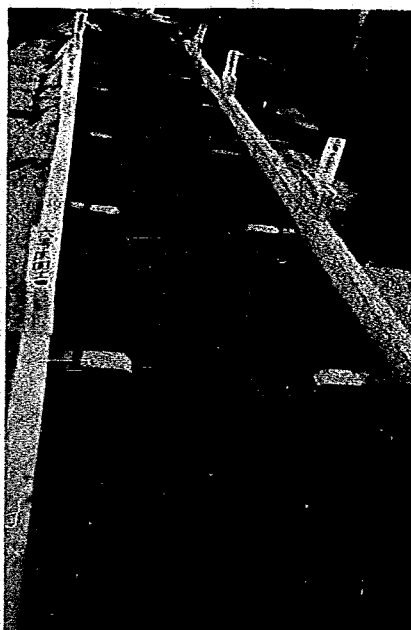


実験終了後

③ $\left\{ \begin{array}{l} Q = 800 \text{ m/sec} \\ q_s = 2 \% \end{array} \right.$



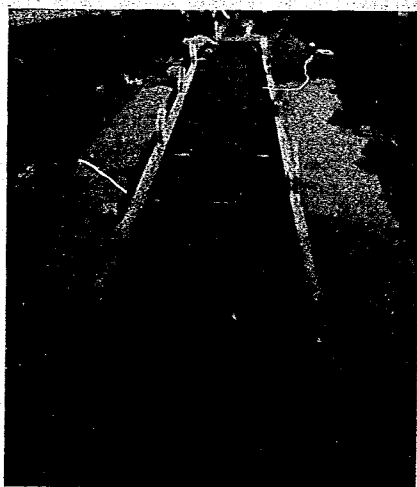
3 0 分 後



実験終了後

○

④ $\left\{ \begin{array}{l} Q = 134 \text{ m/sec} \\ q_s = 0 \% \end{array} \right.$



3 0 分 後



実験終了後

○

写真-13 流 況

実験 No. 7

① $\begin{cases} Q = 400 \text{ m}^3/\text{sec} \\ q'_s = 2 \% \end{cases}$

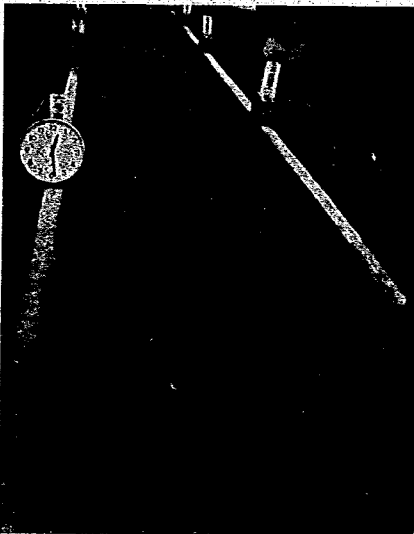


30分後

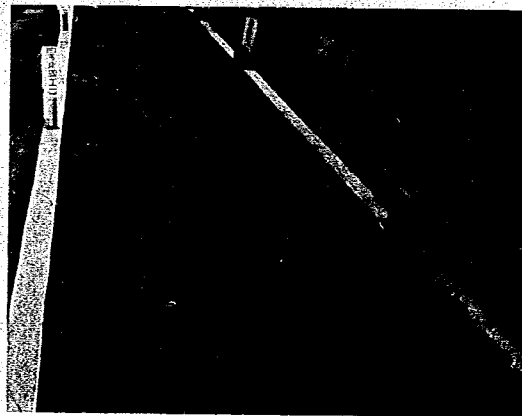


実験終了後

② $\begin{cases} Q = 400 \text{ m}^3/\text{sec} \\ q_s = 0 \% \end{cases}$



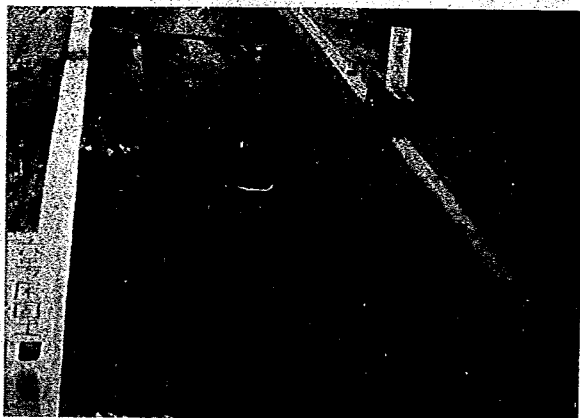
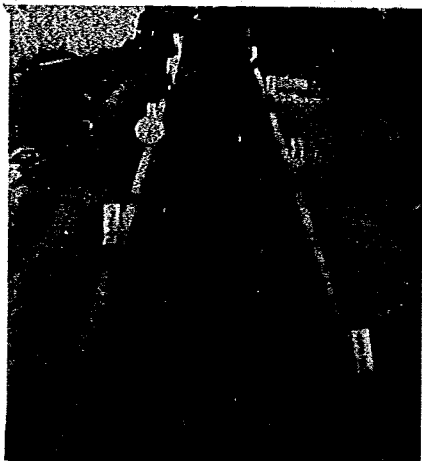
30分後



実験終了後

写真-14 流況(その13)

③ $\begin{cases} Q = 800 \text{ m}^3/\text{sec} \\ q_s = 2 \% \end{cases}$

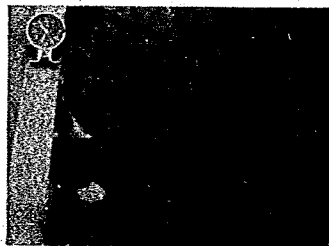


30分後

実験終了後

床固工左右岸

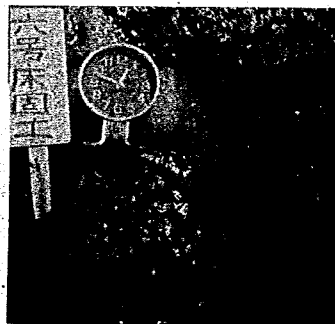
① $[Q = 400 \text{ m}^3/\text{sec}, q_s = 2 \%]$



実験 № 2



実験 № 5



実験 № 6

② $[Q = 400 \text{ m}^3/\text{sec}, q_s = 0 \%]$



実験 № 2



実験 № 5



実験 № 6

写真-15 流 況

3 考 察

3-1 現況（水制工）

- 1) 水制は流路を固定する上ではすぐれているが、乱流、偏流を引き起す例が多く、上流からの補給土砂量と流出土砂量がバランスした状態においても、水制周辺では局所流により局所洗掘を引き越し、維持が困難と思われる。
- 2) 上流からの流送土砂が0%となることは考えられないが、上流からの補給土砂量が急減し、計画洪水に近い流量が出た場合、河床低下が著しく、構造物の維持が困難になるものと思われる。
- 3) 流況の変動状況を見ると、河床が約2m低下した際に比較的現況と一致する。

3-2 計画縦断勾配

平均河床縦断図（図-15）実験版1において実験①は、計画流量（ $400\text{ m}^3/\text{sec}$ ）の時、元河床勾配（ $1/42$ ）を維持するように上流から補給した場合であり、この時の動的平衡勾配である。（給砂濃度はほぼ2%となった。）

また、最も変動の大きな点線は、計画流量に対して補給砂濃度0%の場合であり、ほぼ勾配 $1/65$ の静的平衡勾配を示してゐる。

このことから、計画流量に対して2~0%の流入土砂量があると、河床は勾配 $1/42 \sim 1/65$ の間で変動するものと思われる。又、現況の河床低下の問題を考え、計画縦断勾配を累計案の $1/65$ と決定し、流砂量の変動が大きくても、河床変動をできるだけ小さくとどめるような流路工計画を以下に検討する。

3-3 床固工間隔（実験版2、版3、版4）

1) 流出土砂量（表-4）

流路工計画としては、流入土砂が多い時は流出土砂が多く（河床に堆積させない）、流入土砂が少ない時は流出土砂が少ない（河床を洗掘させない）ものが良いと思われる。

(1) 実験版2（累計案）

2%給砂した場合、流量 $Q=400, 800\text{ m}^3/\text{sec}$ いずれも給砂量に比較して流出土砂量が少なく、床固工下流部での洗掘もなく（低水路内）、それだけ流路内に堆積することを示す。

無給砂の場合は、 $Q=400, 134\text{ m}^3/\text{sec}$ に対して流出土砂濃度0.64, 0.73%と後者が多くなっている。これは床固工を設置したことにより、流出土砂量は実験版1（現況）に比較して半減し、床固工の効果を発揮するが、流出土砂量の大半が中水敷の崩壊、床固工直下の局所洗掘（3~5m洗掘）によるものであることを意味する。

(2) 実験版3（床固工間隔：累計案の1.5倍）

いずれの実験条件においても、実験版2に比較して流出土砂量が多くなっている。これは、床固工直下での洗掘はそれほど大きな変化はしないが、床固工間隔が増大したことによる床固工と床固工間の河床低下が流出土砂量を増大させたと思われる。

(3) 実験Ⅲ4 (床固工間隔：県計画案の0.75倍)

この場合も全実験条件において実験Ⅲ2に比較して流出土砂量が多くなっている。これは床固工間隔が実験Ⅲ2の0.75倍と小さいことなどから、表面流向にはそれほど影響しないが、床固工1基おきに砂堆を形成し、8の字型の蛇行を生じて床固工下流の洗掘を増大させるためではないかと思われる。

2) 河床変動 (図-12, 13, 14, 15)

(1) 各実験ケース毎の河床変動傾向は、表-5の一覧表に示す。

(2) 実験Ⅲ4は、河床に床固工1基おきに8の字型の砂堆を形成し、この影響を受け床固工1基おきに洗掘量が大きくなる傾向がある。この平均河床変動状況(変動高)を示すと表-6となる。

3) 流況

実験結果の項で先に述べた事であるが、要約すると

(1) 実験Ⅲ2

① 計画流量($400\text{ m}^3/\text{sec}$)を流下した場合、ほぼ中水敷を満水状態となって流下する。

② 2号床固工は落差 1.5 m となっており、他の 1 m に比べ 0.5 m 高くなっているため、この地点より乱流を引き起す例が多く、できるだけ統一した高さにする必要がある。

③ 各床固工下流の左右岸沿いに逆流を発生して土砂をまき上げ、局所洗掘を引き起すため、この部分の洗掘防止対策を必要とする。

(2) 実験Ⅲ3

① 実験Ⅲ2に比較して流況の乱れが大きく、中水敷および高水敷の洗掘崩壊が増大するばかりでなく、床固工上流袖部においても約 5 m 洗掘され(水通し部より 2.3 m 低下する)、流出土砂量も増大する。

(3) 実験Ⅲ4

① 流況は時間的に大きな変動はないが、河床状況を見ると低水路内に、ほぼ床固工1基おきに土砂の堆積量が多くなり、8の字型の2列蛇行を生じて洗掘力を増大させ、床固工間隔をせばめても土砂調節効果はなく、実験Ⅲ2に比べ流出土砂量はむしろ多くなる。

4) 総合検討

より妥当な床固工間隔を決定するために、以上測定項目毎に検討してきたが、それを一覧表にまとめると表-7となる。

表-7から床固工間隔は、実験Ⅲ2(平均 9.5 m)が最も良いと思われる。よって床固工間隔は県計画案のままとし、2号床固工落差 1.5 m を他の 1 m に統一することにして、より妥当な流路工計画とするため、次に床固工形状の検討をおこなう。

3-4 床固工形状 (実験Ⅱ2, Ⅱ5, Ⅱ7)

1) 流出土砂量 (表-4)

(1) 実験Ⅱ5

給砂量2%の場合、 $Q=400,800\text{ m}^3/\text{sec}$ がおのおのが実験Ⅱ2に比較して0.3~0.4%多くなっている。これは、中水敷に勾配を付け、流水を低水路内におさめる形となって、低水路内の掃流力が増大したものである。

又、無給砂の場合は、実験Ⅱ2とほぼ等しい流出土砂濃度となっている。これは床固工直下で局所洗掘(3~4m)を引き起し、エネルギーが減勢されたものである。

(2) 実験Ⅱ6

給砂量2%の場合、 $Q=400,800\text{ m}^3/\text{sec}$ がおのおのの流出土砂濃度2.1, 2.2%と多くなっている。これは、床固工直下左右岸沿いの逆流による局所洗掘が著しいためで、低水路内はむしろ堆積傾向である。

又、無給砂の場合は流出土砂量0.8%と比較的高い値となる。

2) 河床変動 (図-12, 13, 14, 15)

(1) 各実験ケースにおける河床変動傾向は表-5に示す。

3) 流況

(1) 実験Ⅱ5

① 中水敷に勾配をつけ、流水をできるだけ低水路におさめる形にした結果、低水路内の掃流力が増大し、実験Ⅱ2に比較して、2%補給した場合、低水路内への堆積が全体に減少し、床固工上流部の洗掘も全体に軽減される傾向にある。

② 2%補給した場合、流出土砂量は増大するが、上流からの補給のない場合、床固工下流の流れは、表面流速が増大する割合には床固工下流に突っ込んだ流速は増大せず、流出土砂量は実験Ⅱ2に比較してむしろ小さくなる傾向にある。

(2) 実験Ⅱ6

① 計画流量はほぼ低水路のみで流下されるが、時間が経過するにつれ、高水敷部が横侵食を受け、床固工袖部(高水敷部)はしだいに水制作用を生じて床固工下流部の流況を乱すばかりでなく、床固工袖部への流心の当りが増大して、袖部直上流で局所洗掘を起す。

4) 総合検討

以上の測定項目毎の検討をまとめて一覧表にすると表-7となる。これによると、実験Ⅱ5が最も良いと思われる。しかし、床固工直下の洗掘が問題となるので、次に根固工の検討をおこなう。

表-5 河床變動傾向一覽表

実験条件	実験 ケース	床 固 工 直 下			床固工と床固工の間		全 体
		中 水 敷 部	低 水 路 部	断 面 平 均	低 水 路 部	断 面 平 均	
$Q=400m^3/s$ $q_s=2\%$	No. 2	-1.9~-2.5 (-2.2)	0.2 ~ 0.8 (0.4)	-0.3 ~ -0.8 (-0.7)	0.3 ~ 0.8 (0.7)	0.3 ~ 0.6 (0.4)	堆 積 傾 向
	No. 3	-0.4~-2.5 (-1.3)	0.8 ~ 1.7 (1.2)	0.3 ~ 0.9 (0.5)	0.8 ~ 1.2 (1.0)	0.4 ~ 0.9 (0.6)	" "
	No. 4	-2.2~-4.9 (-3.5)	-0.6 ~ 1.0 (0.1)	-0.3 ~ -1.8 (-1.1)	0.06~ 0.8 (3.3)	-0.02~-0.6 (-0.3)	洗 掘 "
	No. 5	-2.5~-3.8 (-3.1)	-0.1 ~ -0.4 (-0.2)	-0.8 ~ -1.5 (-1.2)	0.02~ 0.2 (0.1)	-0.2 ~ -0.4 (-0.3)	" "
	No. 6	-2.0~-3.0 (-2.6)	0.5 ~ 1.4 (0.9)	-0.05~-0.7 (-0.4)	0.5 ~ 1.1 (0.8)	-0.4 ~ -0.4 (-0.1)	" "
$Q=400m^3/s$ $q_s=0\%$	No. 2	-4.3~-6.1 (-5.1)	-3.0 ~ -3.8 (-3.4)	-3.5 ~ -4.2 (-3.9)	-0.04~-0.9 (-0.4)	-0.2 ~ -0.9 (-0.5)	洗 掘 傾 向
	No. 3	-3.8~-6.2 (-4.8)	-3.2 ~ -4.9 (-4.2)	-3.4 ~ -5.3 (-4.4)	-0.06~-0.9 (-0.6)	-0.3 ~ -1.0 (-0.8)	" "
	No. 4	-2.2~-5.8 (-4.2)	-0.9 ~ -4.4 (-2.8)	-1.3 ~ -4.8 (-3.2)	-0.02~-1.7 (-0.9)	-0.05~-1.1 (-0.6)	" "
	No. 5	-4.0~-5.6 (-4.7)	-2.6 ~ -4.3 (-3.6)	-3.1 ~ -4.6 (-3.9)	-0.5 ~ -1.2 (-0.7)	-0.3 ~ -1.1 (-0.8)	" "
	No. 6	-4.2~-7.0 (-5.6)	-2.6 ~ -4.6 (-3.5)	-2.9 ~ -5.0 (-4.0)	-0.2 ~ -1.4 (-0.8)	-0.8 ~ -1.5 (-1.1)	" "
$Q=800m^3/s$ $q_s=2\%$	No. 2	-1.6~-4.0 (-2.7)	0.2 ~ 1.5 (0.5)	-0.5 ~ -1.1 (-0.6)	0.1 ~ 1.1 (0.6)	0.1 ~ 0.7 (0.4)	堆 積 傾 向
	No. 3	-1.6~-3.2 (-2.4)	0.4 ~ 1.3 (0.7)	-0.3 ~ -1.1 (-0.6)	0.4 ~ 1.2 (0.7)	0.2 ~ 0.8 (0.4)	洗 掘 "
	No. 4	-1.0~-3.4 (-2.5)	0.2 ~ 1.6 (0.7)	-1.1 ~ 0.7 (-0.3)	0.2 ~ 1.1 (0.6)	-0.6 ~ 0.8 (0.1)	堆 積 "
	No. 5	-4.3~-6.0 (-5.4)	-0.2 ~ -1.6 (-0.8)	-1.5 ~ -3.0 (-2.4)	-0.02~-0.4 (-0.2)	-0.3 ~ -0.7 (-0.4)	洗 掘 "
	No. 6	-4.2~-5.7 (-4.8)	-0.02~-0.8 (-0.3)	-0.9 ~ -2.1 (-1.7)	0 ~ 0.9 (0.3)	-0.2 ~ -0.7 (-0.4)	" "
$Q=134m^3/s$ $q_s=0\%$	No. 2	-2.0~-2.5 (-2.4)	-1.4 ~ -2.7 (-2.1)	-1.4 ~ -2.3 (-1.8)	-0.03~-0.3 (-0.2)	-0.04~-0.4 (-0.2)	洗 掘 傾 向
	No. 3	-2.2~-3.4 (-2.6)	-0.8 ~ -4.4 (-2.4)	-1.2 ~ -3.3 (-2.3)	-0.1 ~ -0.4 (-0.3)	-0.3 ~ -0.6 (-0.5)	" "
	No. 4	-1.2~-3.0 (-2.0)	-0.5 ~ -2.6 (-1.8)	-0.4 ~ -2.1 (-1.4)	0 ~ -0.6 (-0.4)	-0.07~-0.6 (-0.3)	" "
	No. 5	-2.0~-2.7 (-2.2)	-1.8 ~ -3.7 (-2.6)	-1.1 ~ -2.9 (-1.8)	-0.3 ~ -1.0 (-0.7)	-0.2 ~ -0.6 (-0.5)	" "
	No. 6	-2.7~-5.6 (-4.4)	-1.5 ~ -3.7 (-2.7)	-1.7 ~ -3.1 (-2.4)	-0.2 ~ -1.2 (-0.7)	-0.5 ~ -0.9 (-0.7)	" "

- : 洗掘傾向, 無印: 堆積傾向, (): 平均値, 単位: m

表-6 平均河床変動計算値(実験Ⅵ4)

断面	①	②	③	④	備考
1092	-0.351	-5.222	1.125	-2.755	
108766	0.602	-0.465	1.282	-0.019	
1号床固工 108331	-0.845	-3.413	-1.410	-1.894	洗掘小
107994	-0.581	-1.109	-0.651	-0.564	
2号床固工 107656	-0.956	-3.870	-0.606	-1.921	洗掘大
107319	-0.557	-1.116	0.016	-0.488	
3号床固工 106981	-0.893	-2.662	0.383	-1.180	洗掘小
106644	-0.022	-0.505	0.660	-0.165	
4号床固工 106306	-1.558	-3.586	0.253	-1.762	洗掘大
105969	-0.258	-0.845	0.509	-0.363	
5号床固工 105631	0.264	-1.345	0.658	-0.423	洗掘小
105294	0.447	-0.054	0.795	0.054	
6号床固工 104956	-1.771	-4.752	-1.092	-2.113	洗掘大
104619	-0.343	-0.662	-0.087	-0.271	
7号床固工 104281	-0.502	-3.011	-0.557	-1.112	洗掘小
103944	-0.065	-0.375	0.033	-0.070	
8号床固工 103606	-1.456	-3.730	-0.701	-1.414	洗掘大
103269	-0.216	-0.839	-0.149	-0.336	
9号床固工 102931	-0.330	-1.761	0.074	-0.541	洗掘小
102594	0.028	-0.155	0.376	0.092	
10号床固工 102256	-1.135	-4.066	-0.866	-1.604	洗掘大
101919	-0.157	-0.343	-0.066	0.006	

表-7 総合判定表

検討内容	項目 実験 ケース	流出土砂量	河床変動	流況	総合判定
床固工間隔	実験Ⅵ2	△	△	△	1
	Ⅵ3	×	×	×	3
	Ⅵ4	△	×	×	2
床固工形状	Ⅵ2	△	△	△	2
	Ⅵ5	○	○	△	1
	Ⅵ6	△	×	×	3

i) 流出土砂量

○: 無給砂時の流出土砂量(①)が少く、給砂量の変動による流出土砂量の変動(②)が多い。
△: ①、②のどちらかがすぐれている。
×: ①、②のどちらもだめ。

ii) 河床変動

○: 河床変動深(①)が小さく、給砂量の差による河床変動(②)が少ない。
△: ①、②のどちらかがすぐれている。
×: ①、②のどちらもだめ。

iii) 流況

○: 床固工直下の洗掘をおこさず、流況の乱れも顕著でない。
△: 床固工直下の洗掘をおこすが、流況の乱れは顕著でない。
×: 床固工直下の洗掘をおこし、流況の乱れもおこす。

3-5 根固工(実験Ⅵ7)

- 1) 床固工下流部に根固め用の捨て石を施したことにより、床固工下流左右岸沿いに発生した逆流も消え、流路内の流れは平均化され(水位、流速共)、計画流量時には中水敷のみが崩壊され、高水敷にはほとんど影響はない。
- 2) 河床の変動中も全体に少なくなるばかりでなく、上流からの流送土砂の少ない場合を見ても根固工下流で約3mほど洗掘する。(この洗掘深は根固工のない場合に比較して半減する。)
- 3) 無給砂の場合は根固め用捨て石が下流洗掘されて一部崩れ落ちるが、構造物への影響はない。

本実験は流路工計画最上流部の床固工設置区間を代表に取り上げ、流路工諸元の水理実験的検討をおこなったものであり、下流区域および帯工設置方法については、本実験結果からの推測の域を出ないが、明らかになったことを上げると次のとおりである。

1. 計画縦断の勾配は鳥取県計画案 (1/65) のとおりでよい。
2. 床固工間隔は鳥取県計画案 (82.5~103.9m) のとおりでよい。すなわち、河幅の約1倍、低水路幅の約2.4倍であるが、流水断面幅 (約68m) から計算すると約1.3倍となる。
3. 床固工高は統一することが望ましい。
4. 床固工形状としては、実験Ⅲ5の形状が比較的良好い。
5. 床固工下流部は局所洗掘を引き起すため、ブロック等による根固を必要とする。
6. 床固工を流下する流れは、中水敷斜面より落下した流れと、低水路部より流下した流れとが床固工直下でぶつかり合つて流線の剝離を顕著にする傾向があるため、できれば袖部からの落水を減勢できるようクッションを取り付けた方が有効と思われる。

共 9 件 合 計 1 - 2

[illegible][illegible][illegible]

458953-19870201-0

[illegible][illegible]

お わ り に

謝 辞

流路工計画に際しては、その河川の持つ特性を充分把握した上で計画しなければならない。特に加勢蛇川のように年々河床が低下しつつある河川では、ことに計画縦断勾配、流路幅および床固工間隔の決定が重要な要素となる。本実験ではこれらの点に重点をおき検討したものである。

本実験をおこなうに当っては、鳥取県砂防課、倉吉土木出張所の関係諸氏および前土木研究所篠崎試験所長、松山宣信氏には大変お世話になった。

又、実験にたずさわって下さった建設技術研究所の諸氏、ことに阿部彦七氏には多大の御労苦をかけた。

上の方々に深く感謝いたし、厚くお礼申し上げる。

参 考 文 献

- 1.) 土木学会：水理公式集 P121 (1971)
- 2.) 前出 1)
- 3.) 遠藤隆一：砂防工学，共立出版，P112 (1958)
- 4.) 前出 1)
- 5.) 前出 1) P145
- 6.) 建設省土木研究所：流路工に関する研究(Ⅱ) (1974)
- 7.) 前出 1) P204
- 8.) 建設省土木研究所：土石流に関する研究 (1971)
- 9.) 前出 5)
- 10.) 前出 5)
- 11.) 前出 5)