

土研資料第1327号

土木研究所資料

信濃川小千谷地区低水路計画に関する検討（その1）

昭和53年3月

建設省土木研究所

鹿島試験所

正 誤 表

ページ	行	誤	正
まえがき	下から1行	小 川 良 一	小 川 良 市
7	図2・2・4	● 河 幅 水 深 比 河道のまがり角	● 複列砂レキ堆 H 河幅水深比 θ 河道のまがり角
8	図2・2・8	$\longleftrightarrow r$	$\longleftrightarrow L$
9	ページ	— 6 —	— 9 —
13	上から6行	の論議において	の論議において
〃	下から2行	複利砂レキ堆	複列砂レキ堆
15	図3・1・4	平均河床縦断面図	平均河床縦断変化図
29	図3・3・1		 測量時の水面以下河床
31 ～ 37	図3・3・2 ～ 図3・3・5		黒線 ～流 線 凡例 青線 ～主流部
39	上から1行	撮映した写真	撮影した写真
〃	上から2行	撮映方法	撮影方法
40	上から5行	図一3・4・2	図一3・4・3
〃	下から14行	河幅水深地	河幅水深比

信濃川小千谷地区低水路計画に関する検討（その1）

正誤表

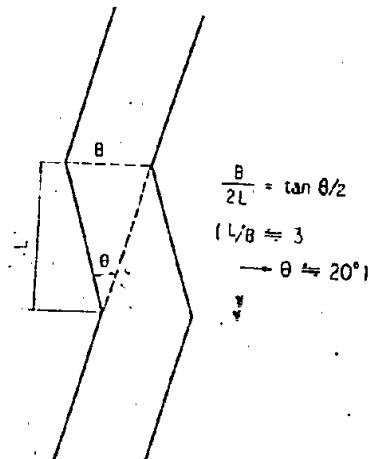
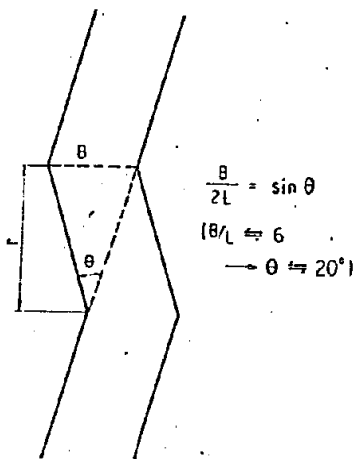
ページ

誤

正

— 8 —

行半波長がほぼ河幅の6倍程度 → 行半波長がほぼ河幅の3～5倍程度



— 40 —

その安定的な長さはおよそ5～7倍程度と考えられ、

その安定的な長さはおよそ3～5倍程度と考えられ、

の蛇行波長は3 Km～4 Kmとなる。 → の蛇行波長は2 Km～3 Kmとなる。

— 49 —

低水路内に形成される砂レキ堆長
約2 K前後
約3～4 K前後

低水路内に形成される砂レキ堆長×2
約2 K前後
約2～3 K前後



写真-1 信濃川航空写真(昭和22年撮影)

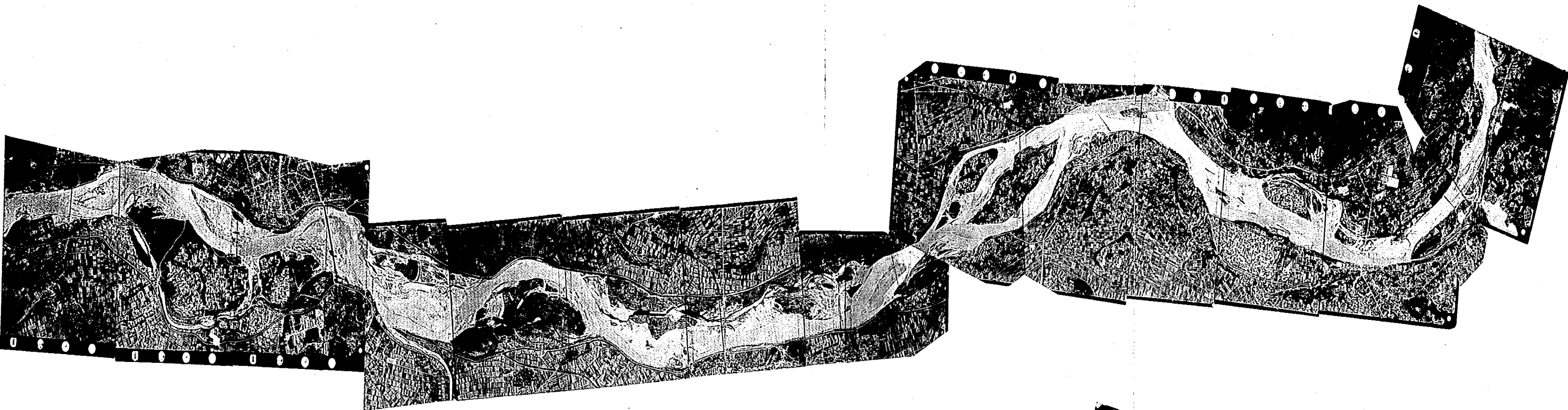


写真-2 信濃川航空写真(昭和37年撮影)

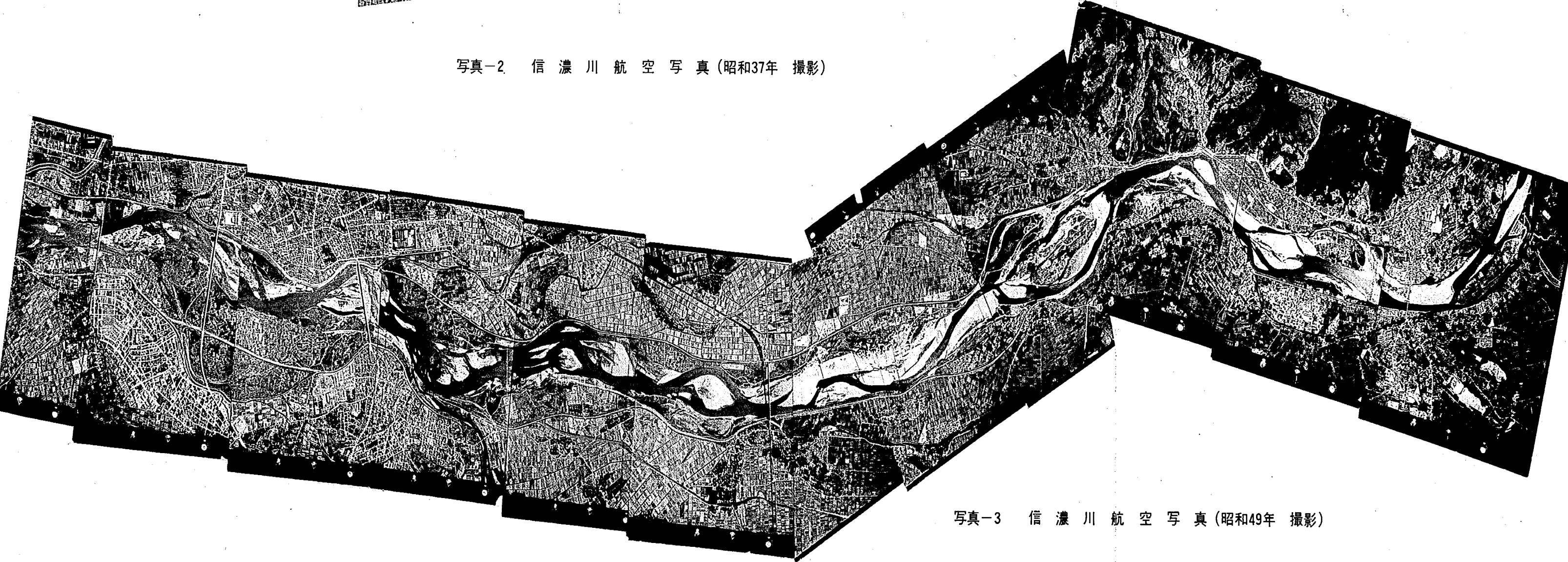


写真-3 信濃川航空写真(昭和49年撮影)

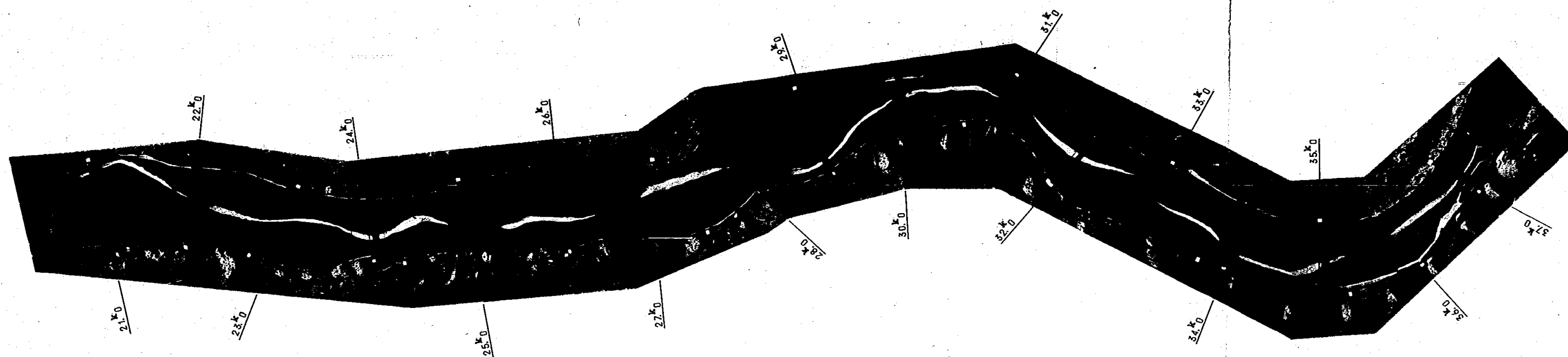


写真-4 流量 $2,550\text{m}^3/\text{s}$ 下流水位 22.45^{m}

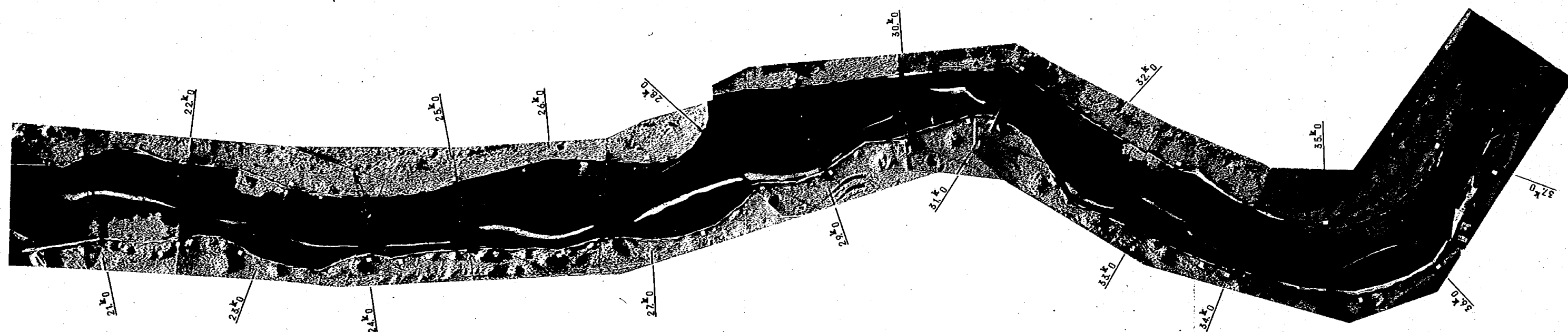


写真-5 流量 $4,000\text{m}^3/\text{s}$ (25時間目) 下流水位 23.22^{m}

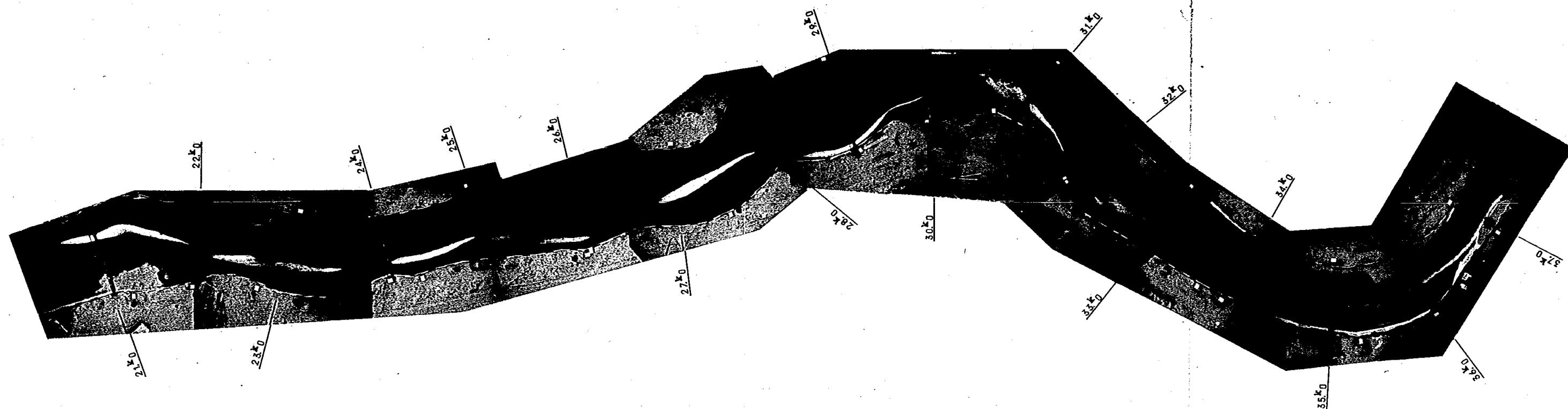


写真-6 流量 $6,000\text{m}^3/\text{s}$ (5時間目) 下流水位 24.10^{m}

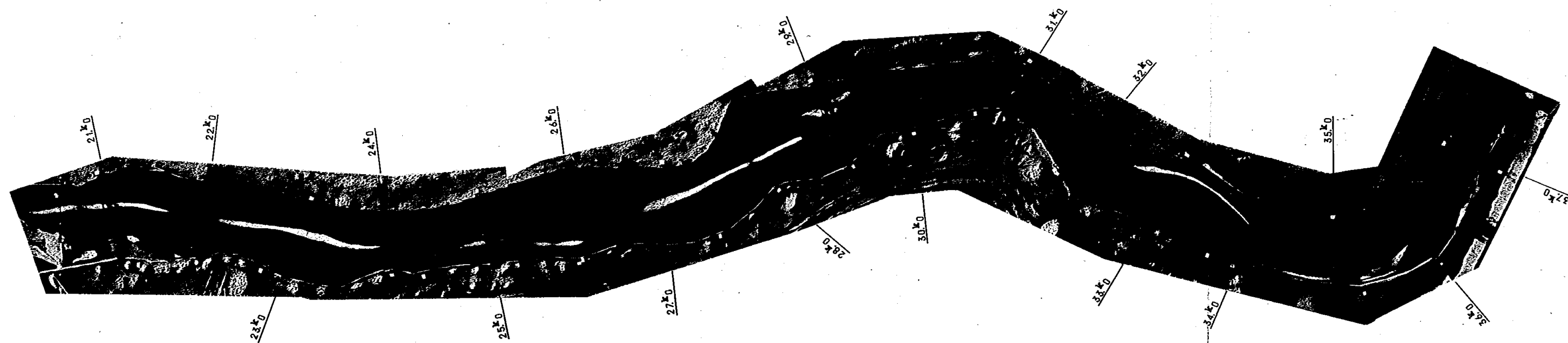
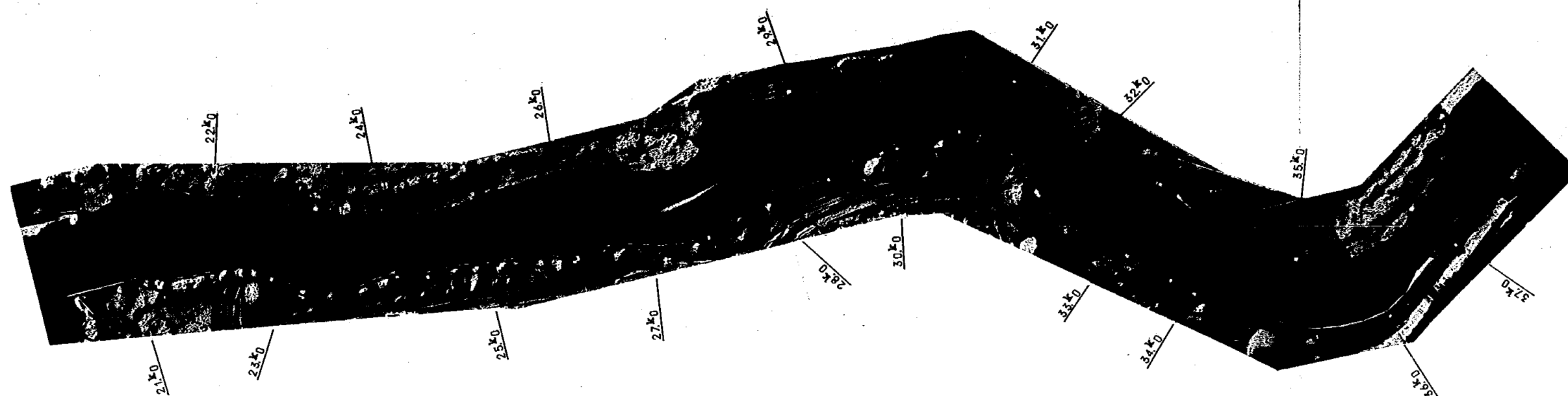
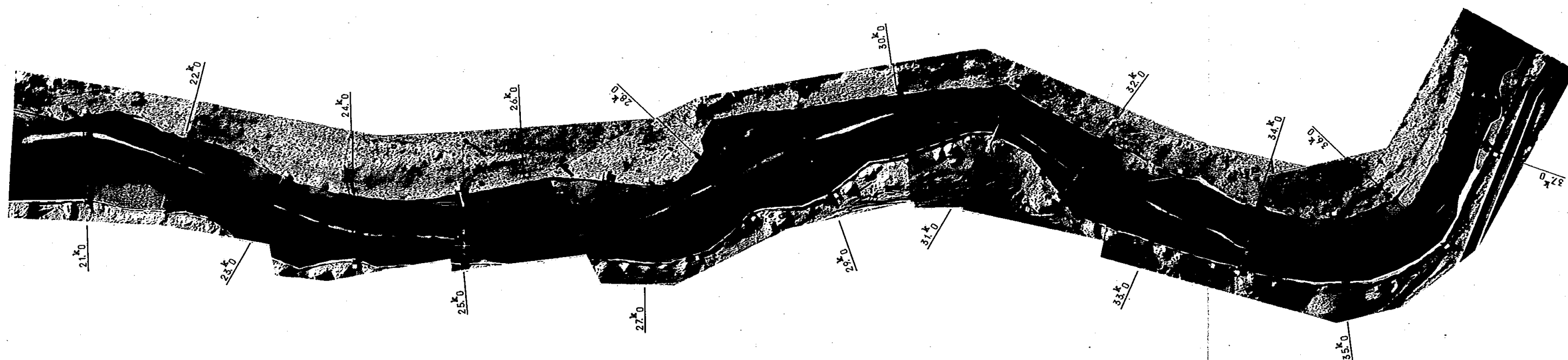


写真-7 流量 $8,000\text{m}^3/\text{s}$ (2時間目) 下流水位 24.84^{m}



写真—8 流量 $11,000\text{m}^3/\text{s}$ (2時間目) 下流水位 25.75^{m}



写真—9 流量 $8,000\text{m}^3/\text{s}$ (5時間目) 下流水位 24.17^{m} (事務所案法線形)

ま え が き

本報告書は建設省土木研究所鹿島試験所にて、昭和50年度より実験検討を行っている、信濃川小千谷地区水理模型実験に関するものである。ここでは報告書(その1)として、この水理模型実験に関する基本的な考え方を述べるにとどめ、全体の実験結果についての詳細な検討は報告書(その2)として行う予定である。

信濃川小千谷地区水理模型実験の目的は、信濃川の21Kから37Kに至る河道に低水路を設定するための、低水路法線形状の検討およびそれに付随する問題点の検討を行うことにある。したがって、報告書(その1)では主に実験の主目的である低水路法線設定について述べることにする。

以下には、まず信濃川小千谷地区の概要を述べ、一般的な低水路法線計画の考え方にふれ、最後にそれを信濃川小千地区に適用する場合について検討する。

建設省土木研究所鹿島試験所

所 長 馬 場 洋 二

研究員 深 見 親 雄

小 川 良 一

目 次

まえがき

1. 信濃川小千谷地区概要	1
1-1 信濃川の河川地形	1
1-2 信濃川の改修工事と計画諸元	3
2. 低水路法線の設定法	4
2-1 河道の縦断形状と平面形状	4
2-2 砂レキ堆と河道蛇行	5
2-3 地域別に見た蛇行の特性	9
2-4 低水路法線計画	9
3. 信濃川小千地区における低水路計画	13
3-1 砂レキ堆の状況	13
3-2 護岸・水制工事箇所と蛇行	24
3-3 洪水流の蛇行	24
3-4 低水路法線の選定	39
ま と め	50

1. 信濃川小千谷地区概要

1-1 信濃川の川河地形

信濃川はその源を甲武信岳に発し、長野県では千曲川と呼ばれる。長野市で犀川を合し、長野盆地を流下し、立ヶ花で第三紀層地すべり地帯に流入後、溪谷となって飯山市蓮で谷平野に出る。飯山盆地を出ると再び溪谷を流れ、新潟県に入って信濃川となる。さらに十日町を過ぎ、川口町で魚野川を合流して小千谷において越後平野に出る。

信濃川の小千谷市から長岡市付近までが扇状地河川で、長岡市付近から大河津を経て燕市代官島付近までが移化帯河川の特徴を有し、代官島以下が三角州河川となっている。信濃川小千谷地区は信濃川が南北性半開きの不完全な扇状地を形成するところであって、河道の様相は明らかに扇状地性となっている。しかし、扇状地河道とは言っても河床の礫は人頭大から拳大で比較的小さく、扇面の勾配も小さい。扇状地性河道は扇面を乱流するのが特徴であり、この付近の河道も現河道を狭んで約4kmの幅におよぶかつての乱流地帯が発達している。扇頂にあたる妙見の右岸から取水した福島江も、もとは信濃川に分派川であったと言われる。

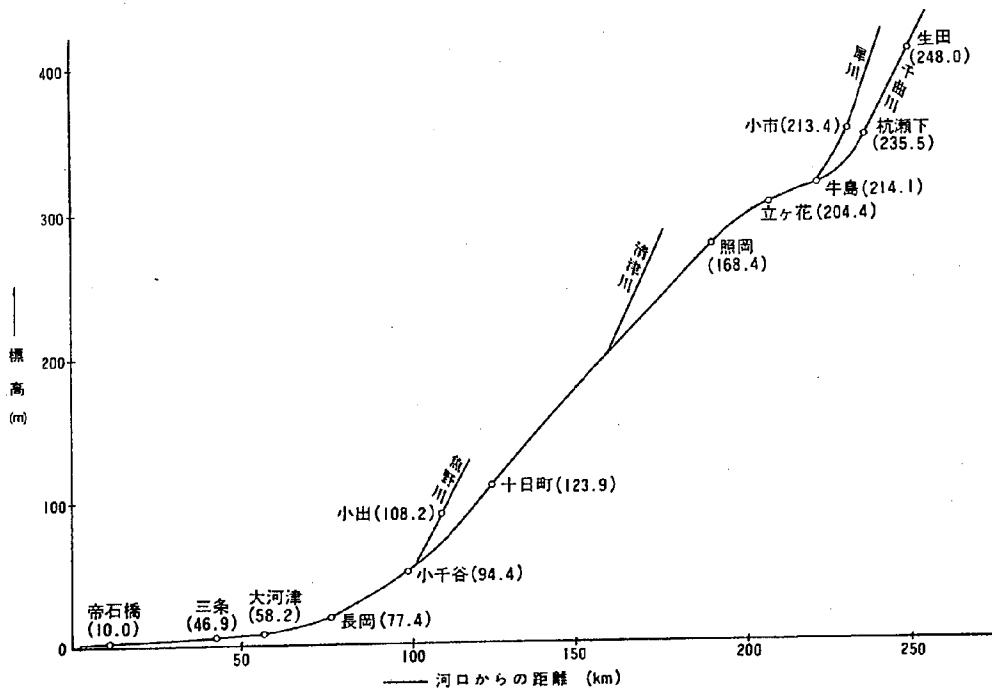


図- 1. 1. 2 河川延長と勾配

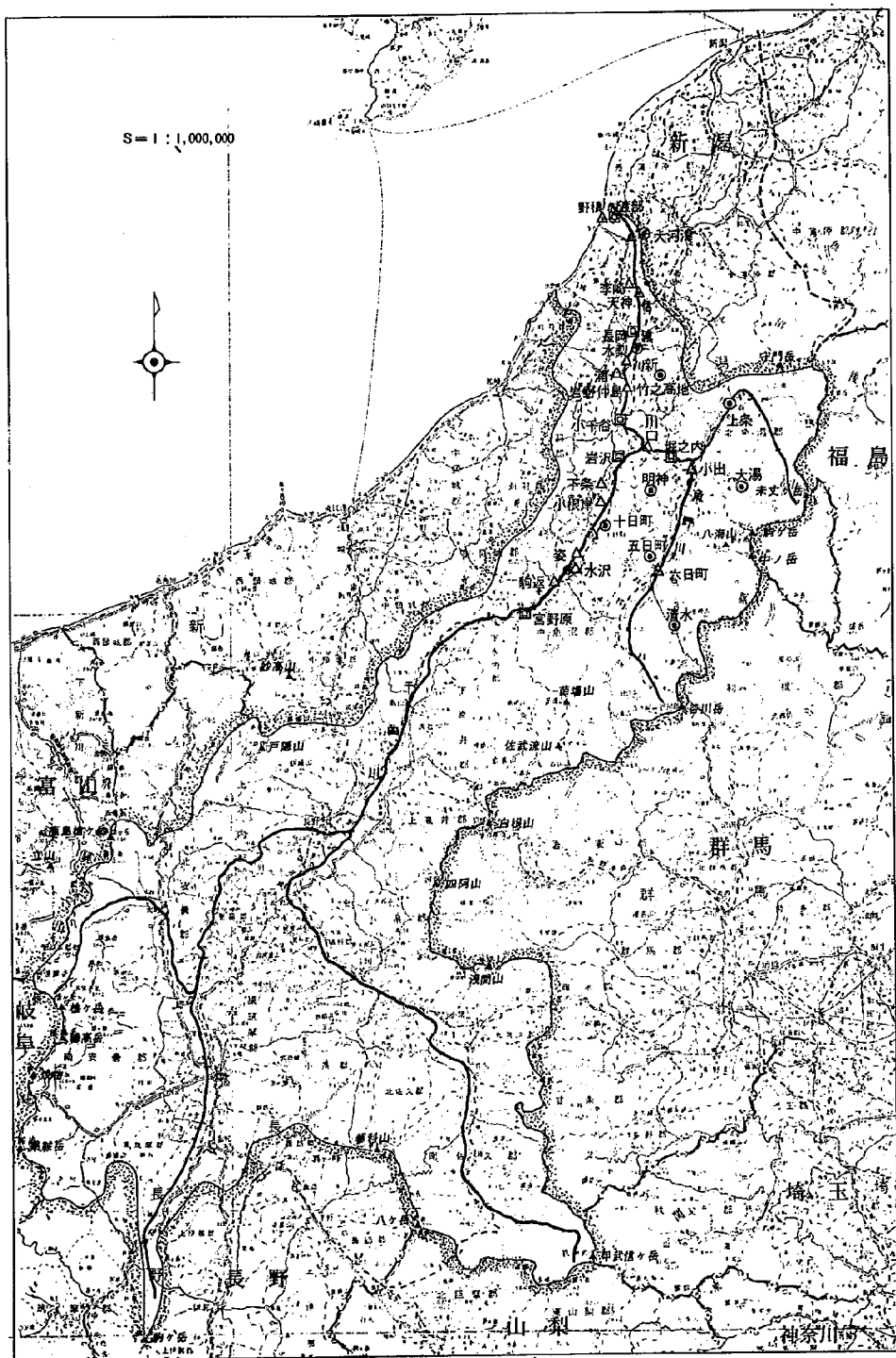


图-1.1.1. 流域图

1-2 信濃川の改修工事と計画諸元

明治から昭和初期にかけて行われた大河津分水完成後、大河津より上流小千谷に至る30km間の改修工事が、計画高水流量 $5,570\text{ m}^3/\text{s}$ を目途に進められた。その後昭和16年に計画高水流量が $9,000\text{ m}^3/\text{s}$ に改訂され、これに伴い大河津可動堰、洗堰、閘門等の一連の施設を改造するとともに堤防のかさ上げ、護岸、水制の増強を進めて来た。しかし、この計画高水流量の規模は15～30年程度と低いため、背後地の重要性等を考慮して、計画高水流量の規模を信濃川下流（魚野川合流点～大河津分水路）において150年に、信濃川上流（宮中堰堤～魚野川合流点）、魚野川において100年とし、信濃川上流部で $9,500\text{ m}^3/\text{s}$ 、信濃川下流部で $11,000\text{ m}^3/\text{s}$ 、魚野川で $5,000\text{ m}^3/\text{s}$ というように昭和49年4月1日より改訂された。

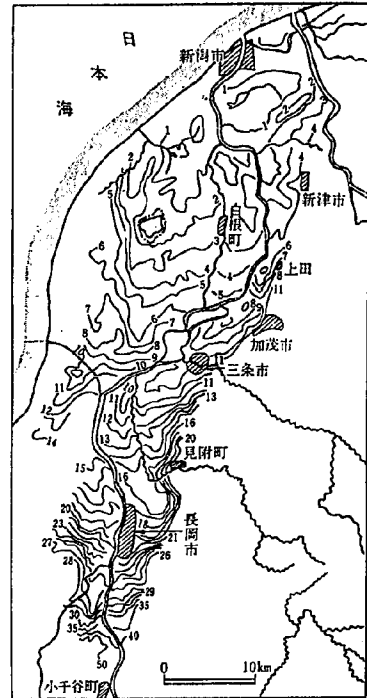


図- 1.1.3 信濃川下流地形図
(「日本の河川」：小出 より引用)

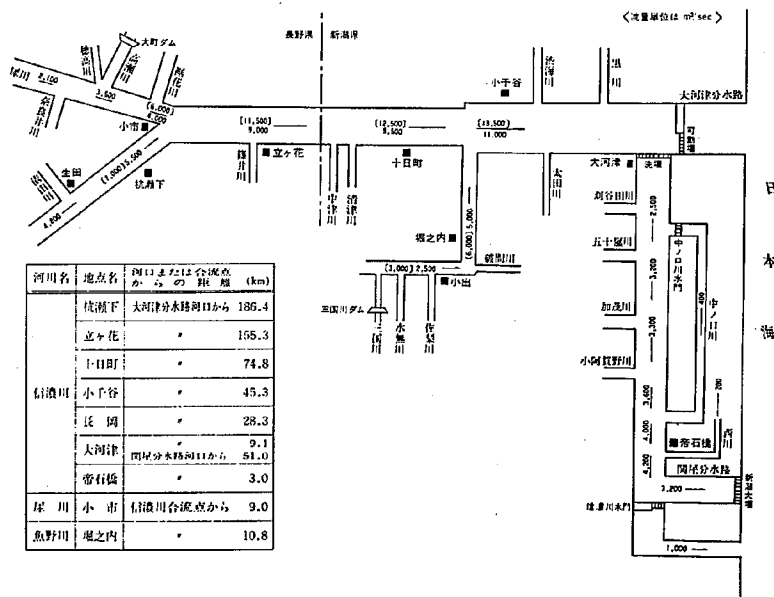


図- 1.2.1 流量配分図

2. 低水路法線の設定法

2-1 河道の縦断形状と平面形状

一般に河道を設計する場合、縦断形状、横断形状および平面形状の三つを決定しなければならない。三者は互いに密接に関連し合っており、自由に選定できるとは限らないが、ここでは便宜的に分けて考えることにする。河道の縦断形状（横断面積も含む）を決定する方法としては、河床変動計算という統一された手法があり、河道の一次元的な安定性の評価方法として重視されている。一方、横断形状や特に平面形状の決定方法については、これまで統一された手法がなく、経験的なものによることが多かったため、時には軽視されがちであったが、最近中規模河床形態である砂レキ堆およびそれに対応する洪水流の蛇行と河道平面形状（法線）とを結びつけた蛇行に関する研究が、平面形状の決定方法に有効な視点を与えるものとして注目されてきた。また、それは従来から経験的なものとされてきた種々の考え方を体系的に良く説明できるものである。

図-2.1.1は、河道の縦断形状、横断形状、平面形状とそれらに関連する河床形態とを対応させ

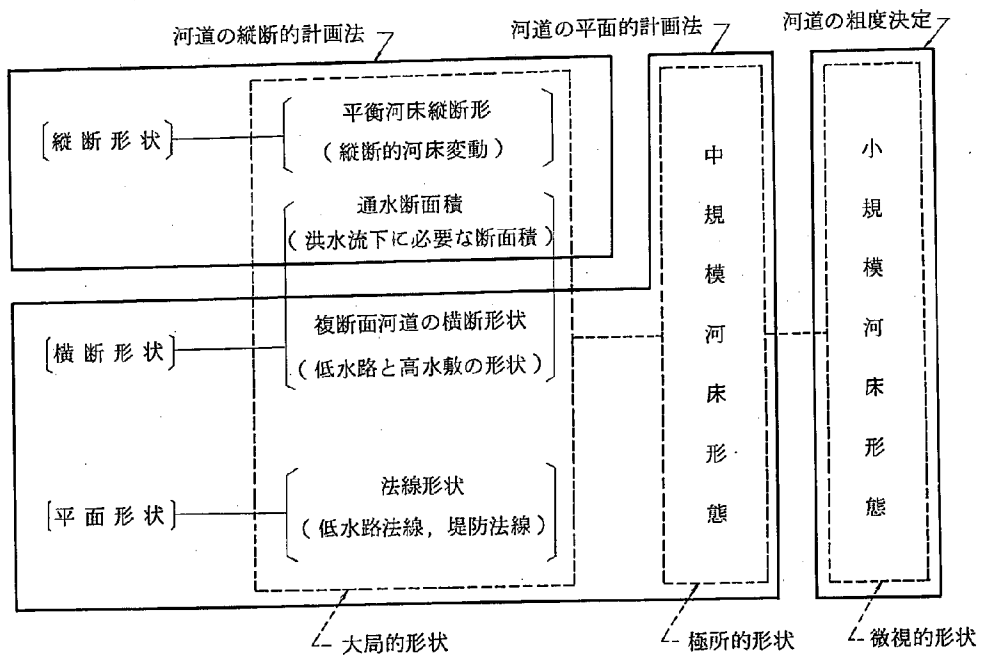


図-2.1.1 河道形状計画に関する概念図

て、河床変動計算による河道の縦断的計画法と蛇行現象を考慮した河道の平面的計画法とが扱う範囲を概念図にしたものである。中規模河床形態の単位で河道の現象を扱う河道の平面的計画法は、水流の蛇行による水衝部とそれに対する護岸の問題、堤防法線や特に低水路の配置の問題等を、まさにその対象とするものである。

2-2 砂レキ堆と河道蛇行

中規模河床形態には、単列（交互）砂レキ堆、複列砂レキ堆、ウロコ状砂レキ堆、網状河道などがあり、それぞれ水流の蛇行と密接な関連がある。図 2.2.1 はそれらを表わしたものであり、いずれも水流の集中と発散をとまなう図 2.2.2 に示すような河床波が、それぞれの形で配列あるいは変形したものと考えられる。これらの形成される領域は少なくとも実際の河道に起っている現象を見るかぎり、互いに重なって生じることが多く、複列砂レキ堆やウロコ状砂レキ堆がさらに大きな単位の単列砂レキ堆として考えられる場合もある（図-2.2.3）。直線水路における実験の結果では、河幅と水深の比 B/H が 10~20 位以上で単列砂レキ堆が形成され、50 位より大きくなると複列砂レキ堆となるが、実際の河道で単列砂レキ堆と複列砂レキ堆の区分図を作ると図-2.2.4 のようになり、河道の曲りによって流れが強制的に曲げられ、砂レキ堆の単列性を強めていることがわかる。

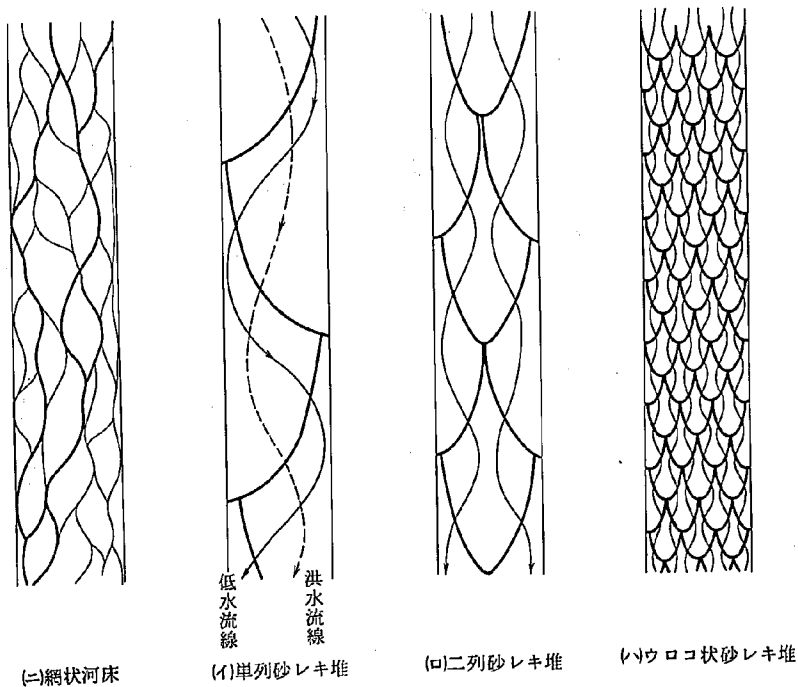


図-2.2.1 砂レキ堆と水流の蛇行

単列砂レキ堆が形成されている河道で、砂レキ堆2個によって河道が一蛇行するものを、特に蛇曲河道といい(図-2.2.5)、砂レキ堆3個以上で河道が一蛇行するものを迂曲河道という。蛇曲河道の特徴は、側岸が侵食される場合砂レキ堆の流下とともに図-2.2.6に示すように河道が平行移動的に流下することである。この他に砂レキ堆が5~7個位の大きな波長で見られる河道の蛇行があり、複列砂レキ堆や網状河床の場合も大波長の蛇行が見られる。もちろん、河道が砂レキ堆と関係なしに不規則に蛇行する場合も多い。

砂レキ堆の形成されている河道では、砂レキ堆を見れば水流の蛇行が、水流の蛇行を見ればそこにある砂レキ堆の形状がほぼ想像できる。蛇曲河道について水流の蛇行を見ると、図-2.2.5(イ)のよう

に模式化される。すなわち河道の蛇行と水流の蛇行とは位相がずれることになり、一般に蛇行した河道の中央を洪水の主流が走ると考えがちなことは異なる訳である。

砂レキ堆の性質として工学的に重要なことはその波長、波高、移動性である。直線水路の場合砂レキ堆の波長は河幅の数倍(2~12倍)と言われ、その値は最小と最大で約6倍のバラつきを持っている。短かくても、長くても砂レキ堆は不安定で、短いものは移動速度が大きく(活発な砂レキ堆)、長いもの

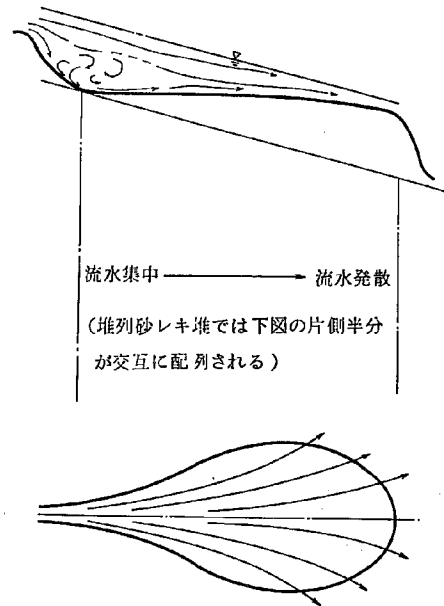


図 2.2.2 砂レキ堆の基本形態

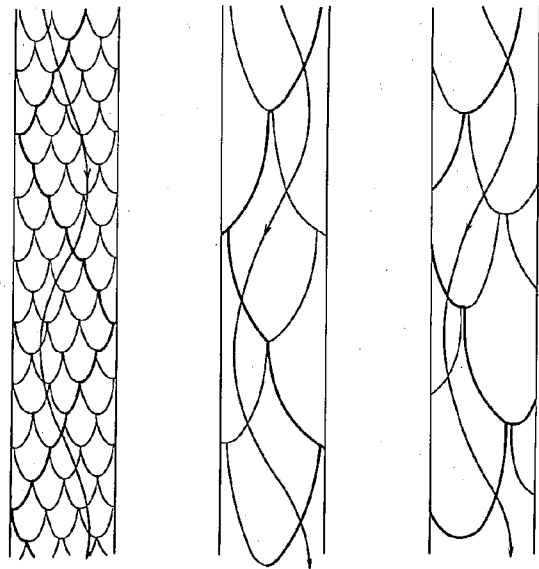


図-2.2.3 砂レキ堆の重合あるいは変形

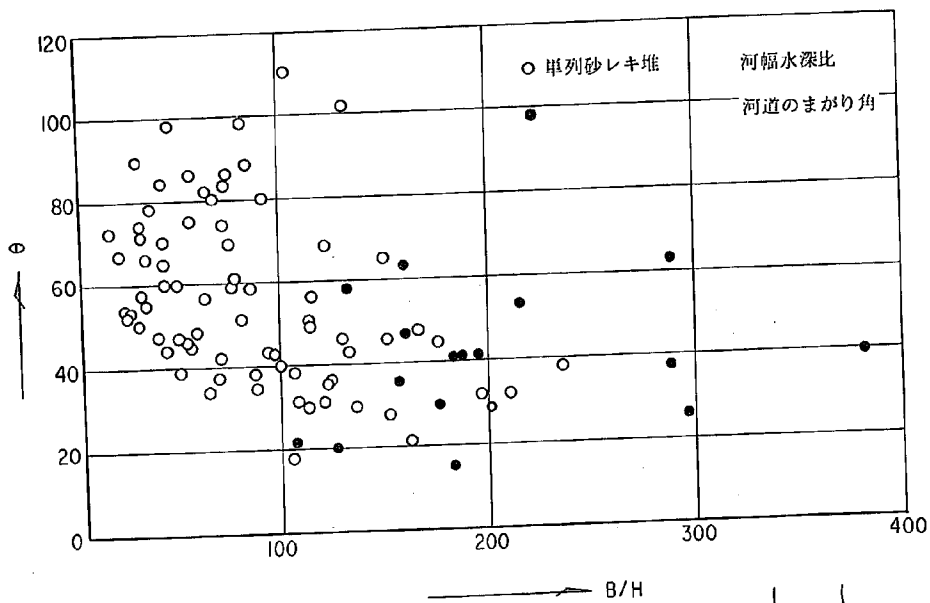
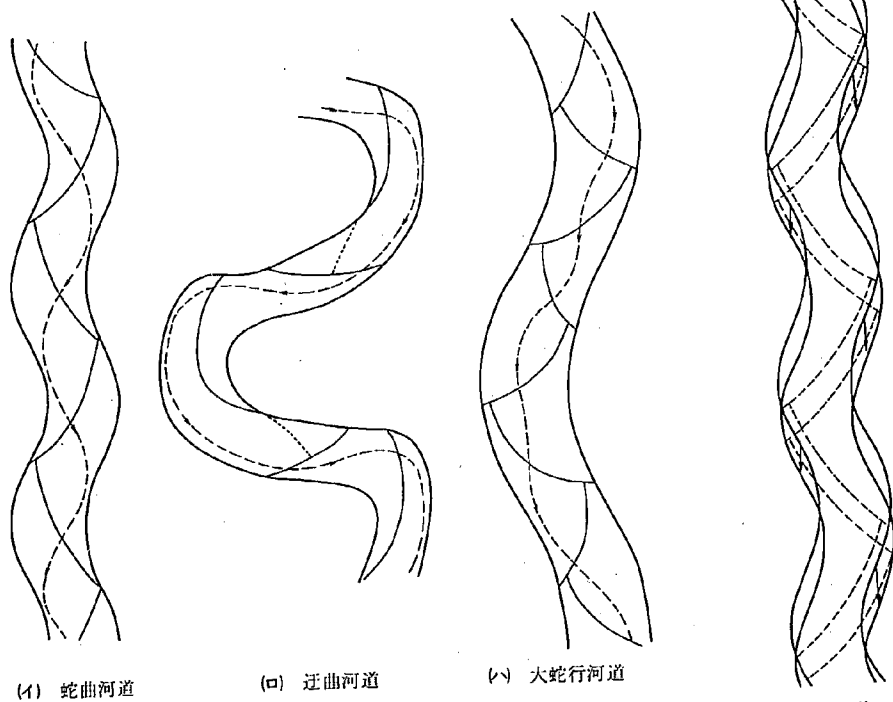


図-2.2.4 実河川の砂レキ堆（単複の区別）



(イ) 蛇曲河道

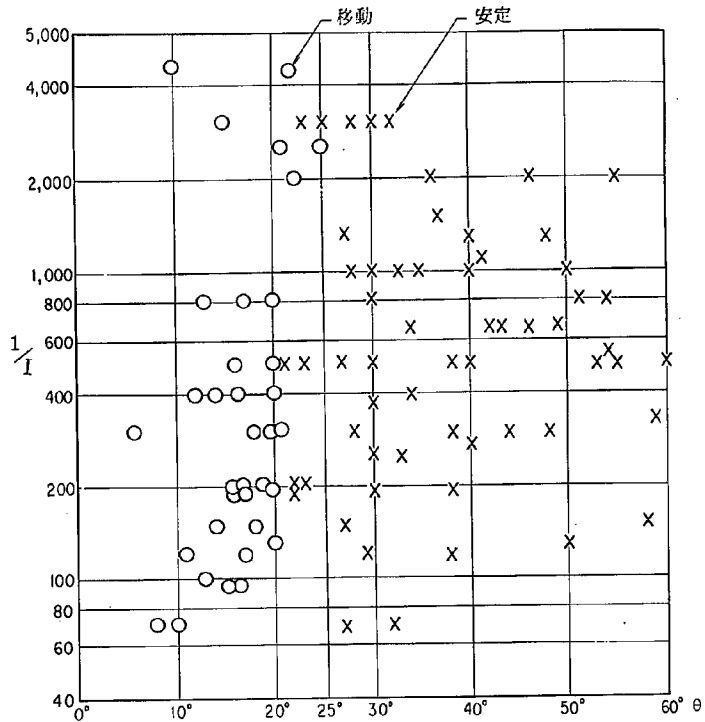
(ロ) 迂曲河道

(ハ) 大蛇行河道

図-2.2.5 砂レキ堆と河道蛇行

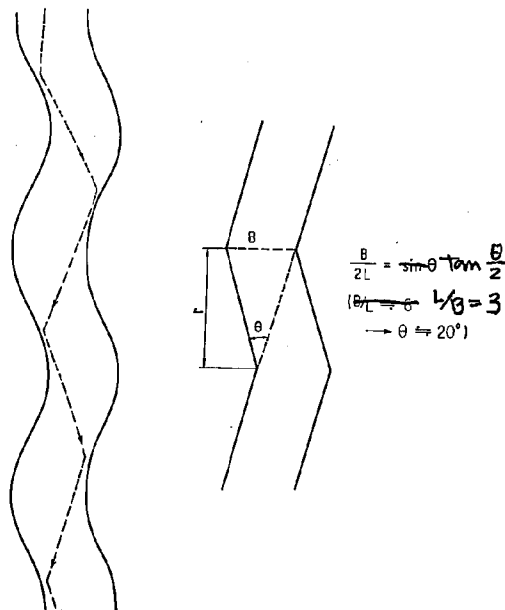
図-2.2.6 蛇曲河道の流下

は移動速度が遅く（不活発な砂レキ堆），1個の長い砂レキ堆が分裂して3個になったり，短い砂レキ堆が下流にあるものと合っして消滅したりすることがある。波高については定量的なことは不明であるが，河道が堆積傾向で砂レキ堆の移動が活発なところでは，大きくなると思われ，波長の長短と移動の遅速の関係と同様な変動性を有するものであると考えられる。



図－ 2. 2. 7 砂レキ堆の停止条件

実河道で砂レキ堆の安定性が問題となるのは，砂レキ堆の移動にともなう水衝部が移動したり，洪水の主流部が変動するということによる。木下・三輪は側岸の浸食を止めた蛇曲河道で砂レキ堆の移動が停止する条件として，図－ 2. 2. 7 のように，河道の曲りが $22 \sim 23$ 度以上あれば良いとしている。これは実際の蛇曲河道の蛇行半波長がほぼ河幅の $3 \sim 5$ 倍程度と考えれば，洪水の主流部が図－ 2. 2. 8 のように，必ずず凸岸の上流側へぶつかる条件であると考えられる。この蛇曲河道における砂レキ堆の安



図－ 2. 2. 8 砂レキ堆の停止河道

定、すなわち水衝部の固定という状態を、新たに低水路法線形を決める場合に適用すれば、護岸施設位置の限定という観点から非常に有効なものとなる。

2-3 地域別に見た蛇行の特性

砂レキ堆が単列になったり、複列になったりするのには、河幅と水深の比に関係があることを述べたが、自然の河道が地域によって河幅と水深の比を変えるため、砂レキ堆の種類も地域によってほぼ分けることができる。このことは大局的地形勾配とそこへ運搬堆積される土砂の量および質とによって説明されるはずであるが、ここでは次のように考えておくことにする。勾配の急な扇状地河川では、粒径が粗く、側岸の耐浸食性も弱い流れは浅く広くなる。このようなところでは、複列砂レキ堆や網状河道が見られやすい。下流の緩流部河道では側岸の耐浸食性が強く、流れは深く狭いため砂レキ堆は形成されにくく、あっても水面下のため見られにくい。これらの中間地域では、側岸物質や流れが上記の2者の中間にあり、単列砂レキ堆が形成され、蛇曲河道や迂曲河道もここに多く見られる。また、ウロコ状砂レキ堆は主に砂河川に多く見られる。

これらのことから、砂レキ堆と河道蛇行に関して、工学的に重要となるものは、扇状地河道で複列砂レキ堆が形成されたり網状河床となっている場合、および中間地河道で単列砂レキ堆が形成されている場合と言っても良いであろう。ただ、最近のように河道に多く人工の影響が加わっているために、やや様相の異なる場合もある。特に扇状地河道のように、かつて相当強い堆積性の環境にあったものが、河床低下によってみお筋だけが下がり、安定した単列砂レキ堆河道のように見えるものもある。

2-4 低水路法線計画

一般に低水路の設計には、(1)所定の洪水を流下させること、(2)河道が安定しており、災害が少ないこと、(3)費用が安いことなどが要求され、場合によってそれらの重みは異なるが、ある程度均合いのとれていることが望ましい。そのためには、低水路の形状を極力流れに逆らわないようなものにし、さらに低水路内においても水衝部位置を固定させることが望ましい。

複断面河道における低水路が、河道を流れる流量のうち頻度の大きい小洪水あるいは低水を流すためのものであるとすれば、低水路を設定するには対象となる低水路の設計流量を決めなければならない。その流量はふつう1年ないしは数年に1回程度の洪水であることが多いが、利用度の高い高水敷の保護や河積増大などのため必ずしもそうでない場合もある。設計流量が決まれば、それによって低水路の必要断面積が決まるが、複断面河道全体としては計画流量を流しうるものでなければならない。

複断面河道の全断面積のうち低水路のしめる割合、すなわち低水路流量 Q_L と高水流量 Q_H との比の大きさと、その場合の低水路幅のちがいによって、複断面河道の横断形状は4つのパターンに分けられる。しかし、河床勾配や河床材料によって、流量と低水路幅との関係はある程度限定され

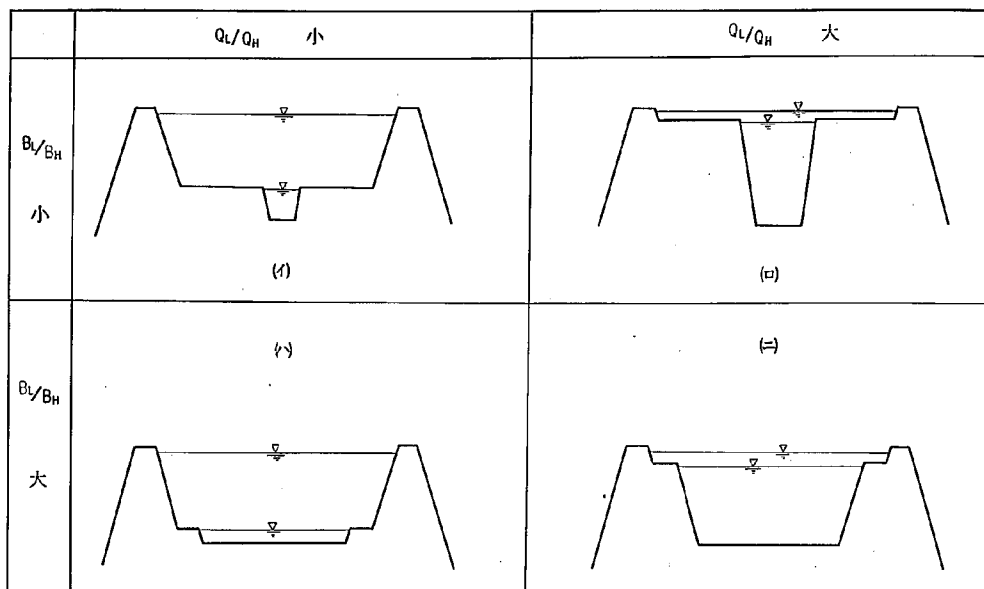


図 - 2.4.1 複断面河道の横断形状

てしまうため、4種類の組み合わせがいつも自由に存在するわけではない。図-2.4.1のうち低水路と高水敷とを流れる流量から考えて、(i)は堤防法線における固定床単断面、(ii)と(iii)は低水路法線における移動床単断面、(iv)は堤防法線における移動床単断面と考えられる。また、(ii)は大流量に対して砂レキ堆が

できにくく、
(iii)は小流量に対して複列砂レキ堆あるいは網状になりやすい場合も考えられる。

低水路には
いづれも砂レキ堆が形成され、砂レキ堆長が河道幅に比例すること

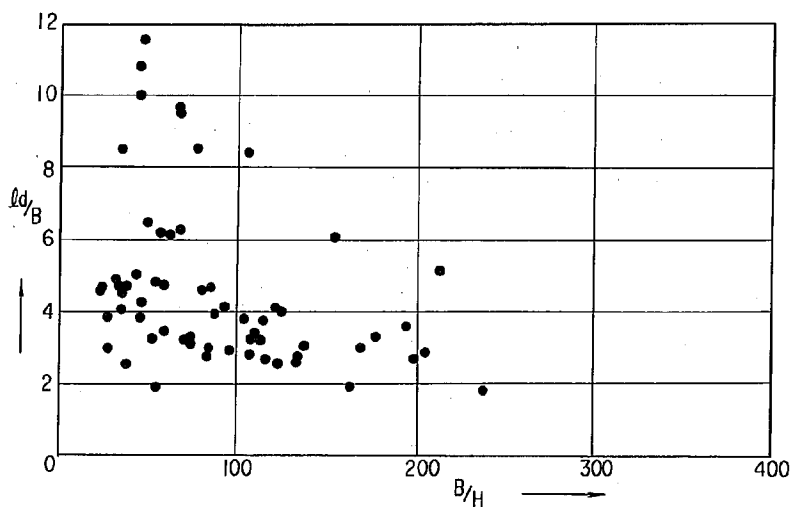


図 - 2.4.2 実河川における 砂レキ堆長／河幅 と 河幅／水深 の関係

から、砂レキ堆 2 個で河道が 1 蛇行するような蛇曲低水路で砂レキ堆の安定をはかるためには、(イ) (ロ) の低水路の蛇行ピッチは短く、(ハ) (ニ) の蛇行ピッチは長くする必要がある。実河川における砂レキ堆長を図 - 2.4.2 によって見ると、河道の曲りなどに対応して砂レキ堆長が伸縮するため、 l_d/B

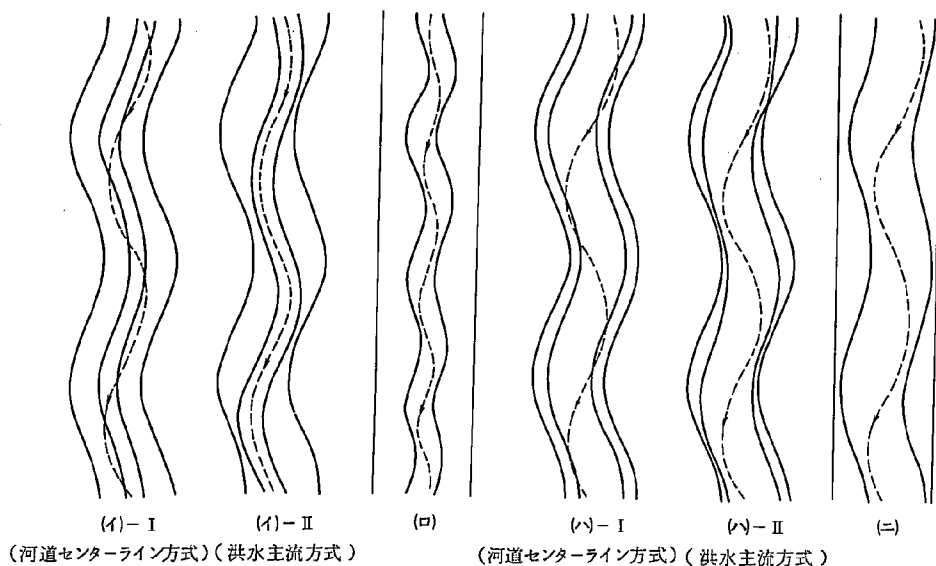


図 - 2.4.3 複断面河道における洪水量

は最高 6 倍程度のバラツキを有している。また B/H の値によっても l_d/B は異なるようである。(イ) (ロ) (ハ) (ニ) のそれぞれについて、大流量時の洪水の主流部を想定すると、図 - 2.4.3 のようになり、(ロ) と (ニ) は洪水がほとんど低水路を流れることから、主に低水路法線だけを考慮して設計すればよく、蛇曲河道で砂レキ堆が停止するようにできれば、特に護岸の必要な場所は限定される。(イ) については、低水路の設置位置によって、Ⅰ河道センターライン方式とⅡ洪水主流方式とを並記した。この図によれば(イ)-Ⅰでは主流線は低水路と位相が異なるため、流れが高水敷へのり上げて低水路へ落ちるまでの高水敷上の荒廃が激しい。一方、(イ)-Ⅱでは主流線が低水路法線と一致しており高水敷が保護され、有効な流水断面積を確保することができる。種々の点でこのような場合の低水路法線形は河道センターライン方式より洪水主流方式の方がすぐれていると言えそうである。ただ、低水路流量時には、低水路蛇行波長が長いために、低水路流量に相当する砂レキ堆の移動が起って水衝部が移動するかもしれない。(ハ) の場合もⅠとⅡが考えられ、この場合は河道センターライン方式としたときのデメリットが(イ) の場合より小さいが、やはり(ハ)-Ⅱのような洪水主流方式の方に合理性がありそうである。また、この場合は低水路蛇行波長と河幅との関係も堤防法線の蛇行波長によって決められてしまう。

実際の河道は(1)(2)(3)のような極端なものだけではなく、それらの中間的なものがあるため一層複雑である。結局、洪水主流線の走り方として(1)(2)と(3)(4)の極端を、低水路の適切な蛇行波長に關係する低水路幅について(1)(2)と(3)(4)の両極端を考え、どれに最も近いかによって設計の主眼を決めれば良いであろう。

3. 信濃川小千谷地区における低水路計画

一般に扇状地河道に低水路を設けるということは、その河道における土砂移動が堆積傾向にある場合には困難であるが、信濃川小千谷地区では河床は低下傾向にあり、将来も上流から極端な土砂供給がないと考えられるため、扇状地性の河道ではあるが比較的 low 水路を設置しやすい状態にあるものと考えられる。しかし、中間地や緩流部に低水路を設ける場合とは異なる部分も多いため、以下の論議においても常に注意しながら検討を加えなければならないであろう。

3-1 砂レキ堆の状況

信濃川小千谷地区の河道は、前述のようにもともと扇状地の乱流河道であったものを、自然的または人工的にある幅の堤防の中へ閉じ込めたものである。現在は扇状地形成期から比べるとかなり低い位置に河道がある。おそらく、完全な乱流状態で流れていたのは扇状地形成期であり、地形変化等によって河道が扇面より低くなってからは、ある幅の中を複列砂レキ堆を形成しながら流れたのであろう。そのことは現在の河道の形状を見ても了解できる。それが現在では、大規模な土砂採取や上流からの土砂供給の減少等によって、複列砂レキ堆の河床をさらにみお筋沿いに低下させて、小洪水時には単列砂レキ堆を形成しながら流れているものと解釈できる。また、現在の河床には土砂採取による砂州の除去も影響している。

このようなことを昭和22年、昭和37年、および昭和49年に撮影された航空写真を見ながら検討してみよう。図-3.1.1、-3.1.2、-3.1.3はそれぞれの年代の河床に形成されている砂レキ堆をその前縁線をもって示したものである。図-3.1.1中、Ⅰの線は比較的高い段丘面で、Ⅱの線は山際を示す。また、点線に示しているのは砂州よりも一段と高い部分で、河道内の州に草木の生えたものと、Ⅲの面と同時代の州のなごりとがあり、おそらくは後者のものも多いと考えられる。形成された年代の異なるものを同一に扱うのは不都合であるかもしれないが、ここでは河道がある一定幅に制限された後の河床の状態を考えることとし、破線で示すような複列砂レキ堆河床を昭和22年当時の河道とみなすことにする。工学的には、今考察しようとしている河道の砂レキ堆の原形を昭和22年当時の複列砂レキ堆河道と考えてもさしつかえないであろうから、これがその後の砂州の除去や河床低下によって変形して行くとすると、現在の河床に関する上述の解釈が理解できる。また、昭和37年の状態を表した図-3.1.2では、2.4.5K付近左岸の堤防締切りによって、そこから新たな砂レキ堆が2.4K下流までのびていることに気がつく。それが昭和49年にはさらに下流へ発達し、中州を形成するまでに至っている。また、昭和49年には2.5K~2.7Kで左岸よった流れは、この区間に2個の単列砂レキ堆を形成している。さらに、2.2K付近左岸には低水路設定用の導流堤が、以前の複利砂レキ堆の中央を仕切る形で設けられている。

この河道の最近の河床変動を河床縦断変化図によって見てみよう。図-3.1.4は昭和33年、昭

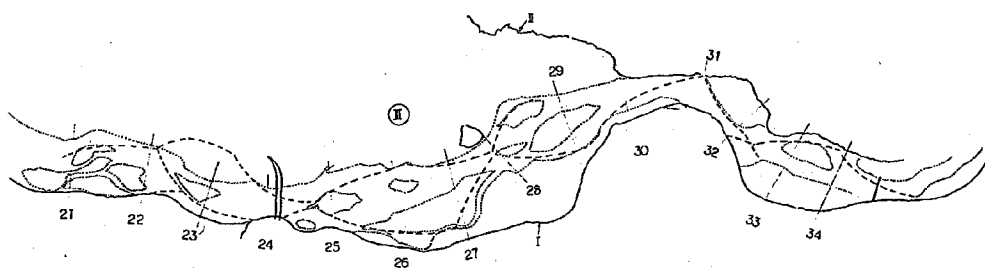


図-3.1.1 S.22 砂レキ堆状況

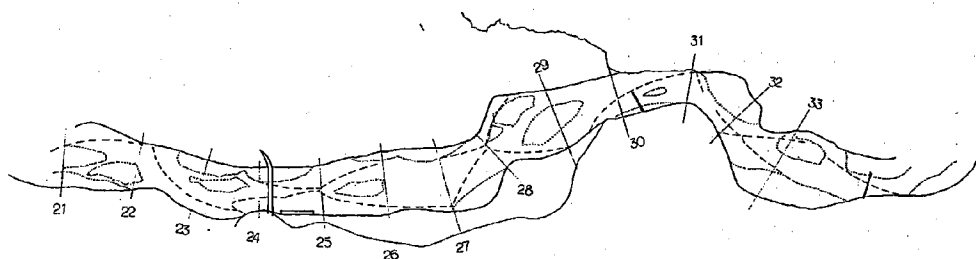


図-3.1.2 S.37 砂レキ堆状況

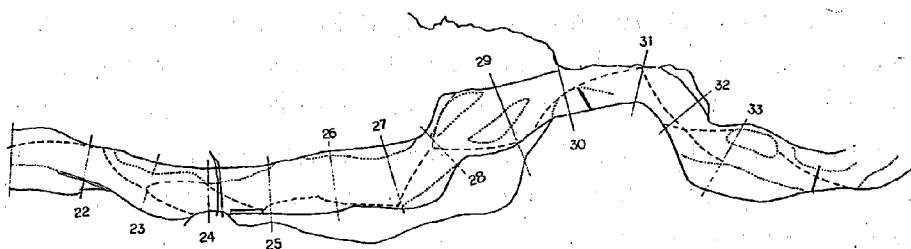


図-3.1.3 S.49 砂レキ堆状況

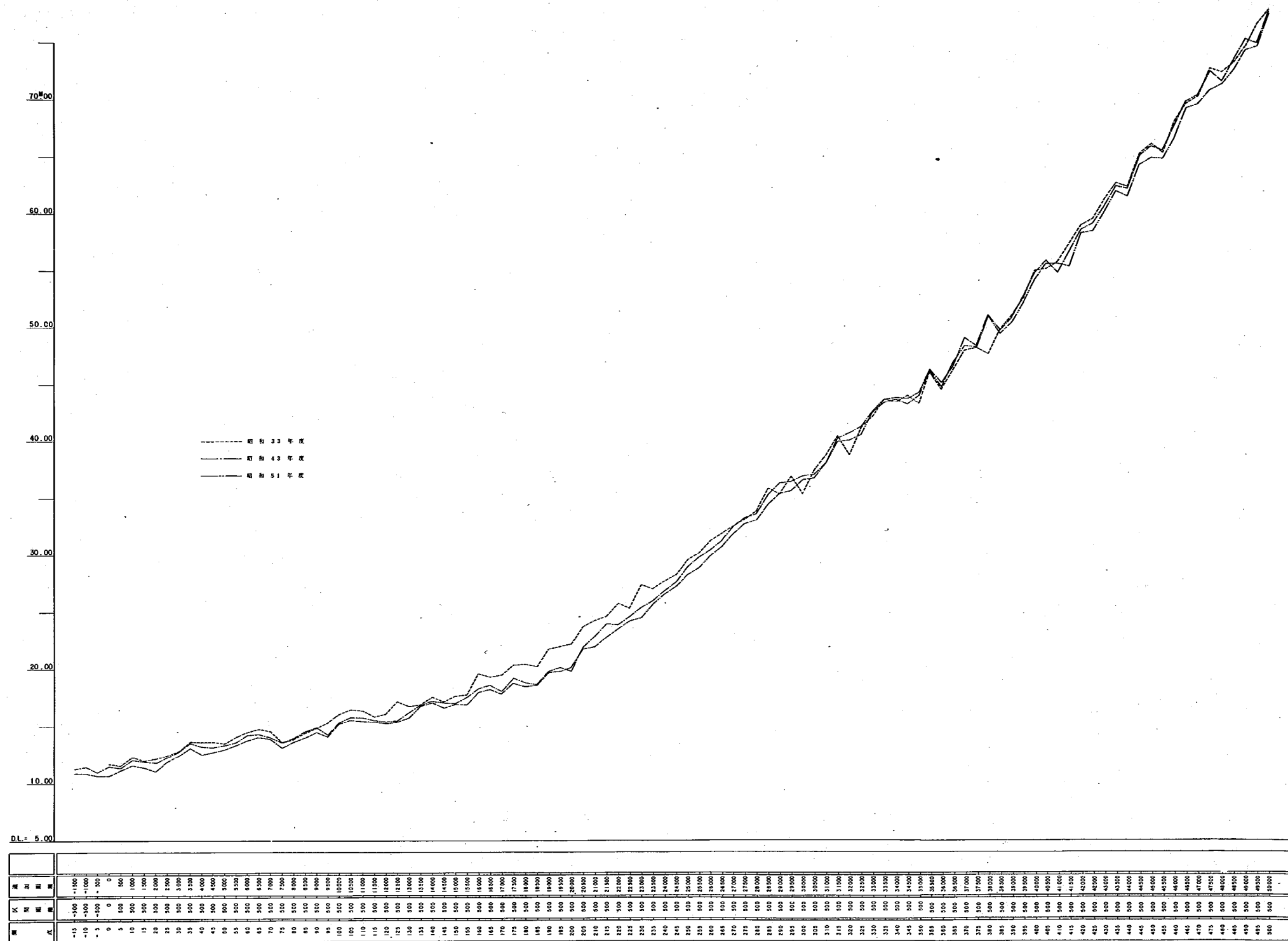


図-3.1.4 平均河床縦断面

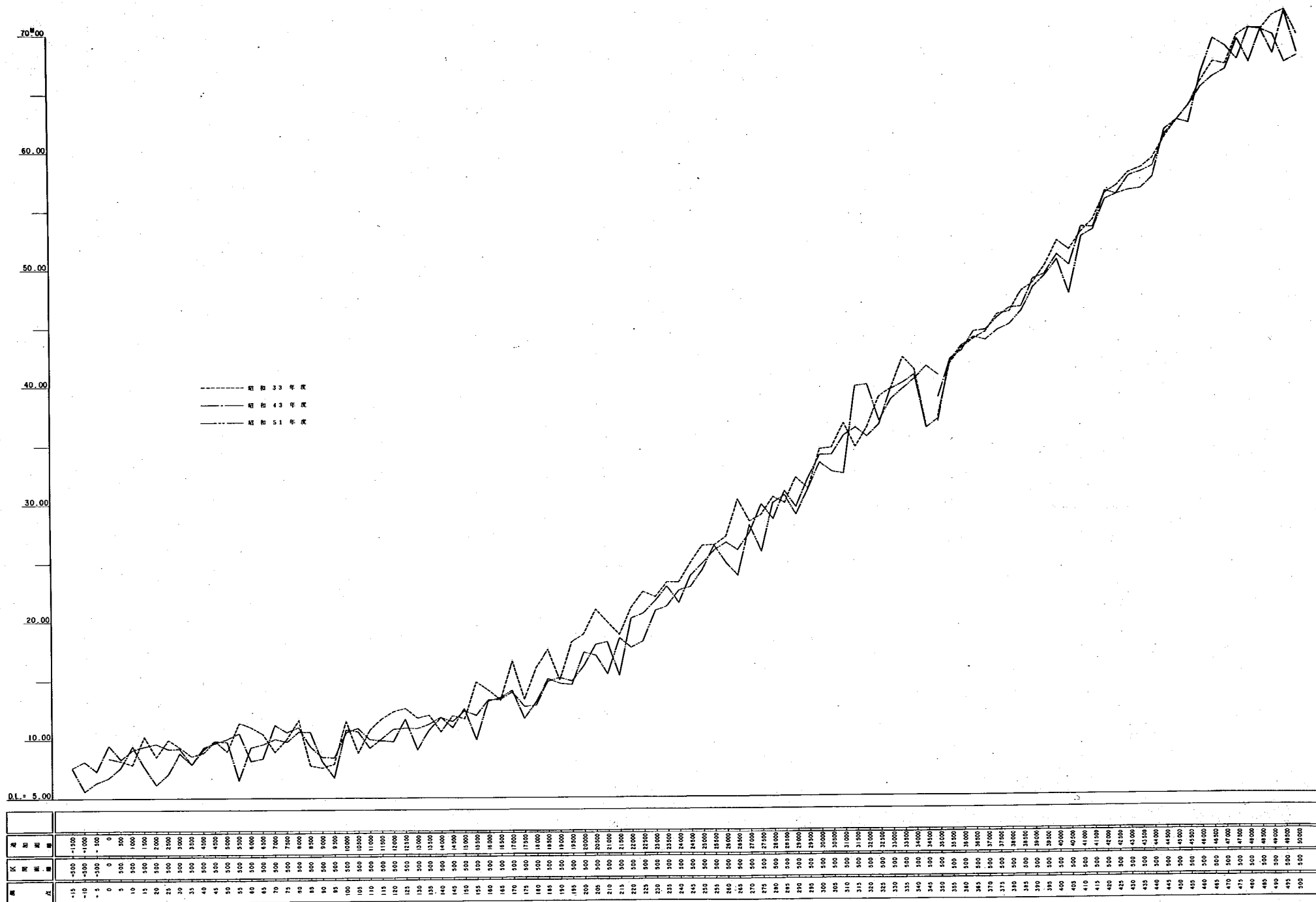


图-3.1.5 最深河床縦断变化图

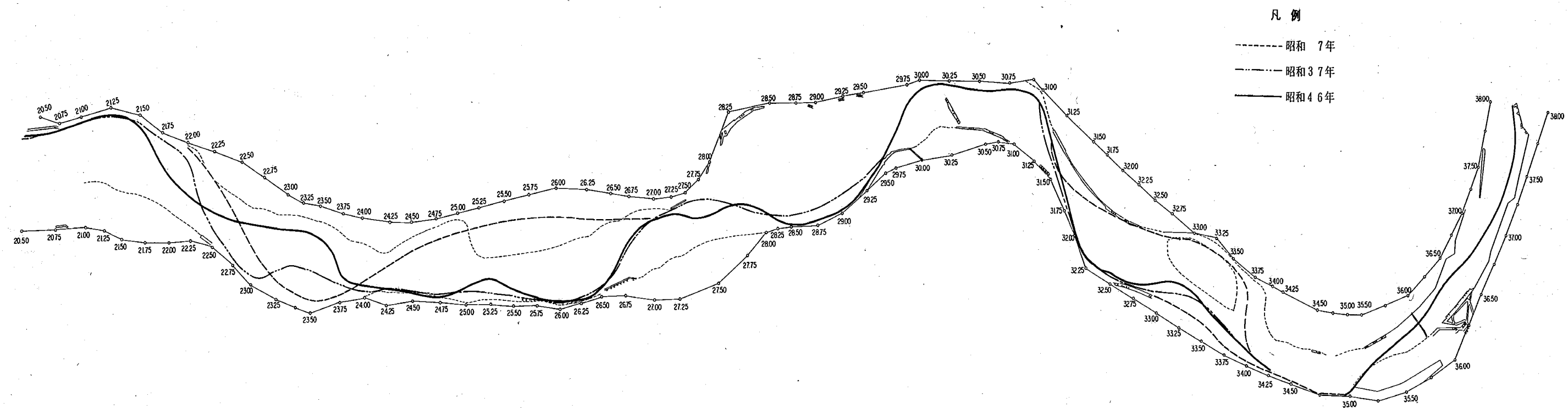


图-3.1.6-(1) 最深河床变迁图

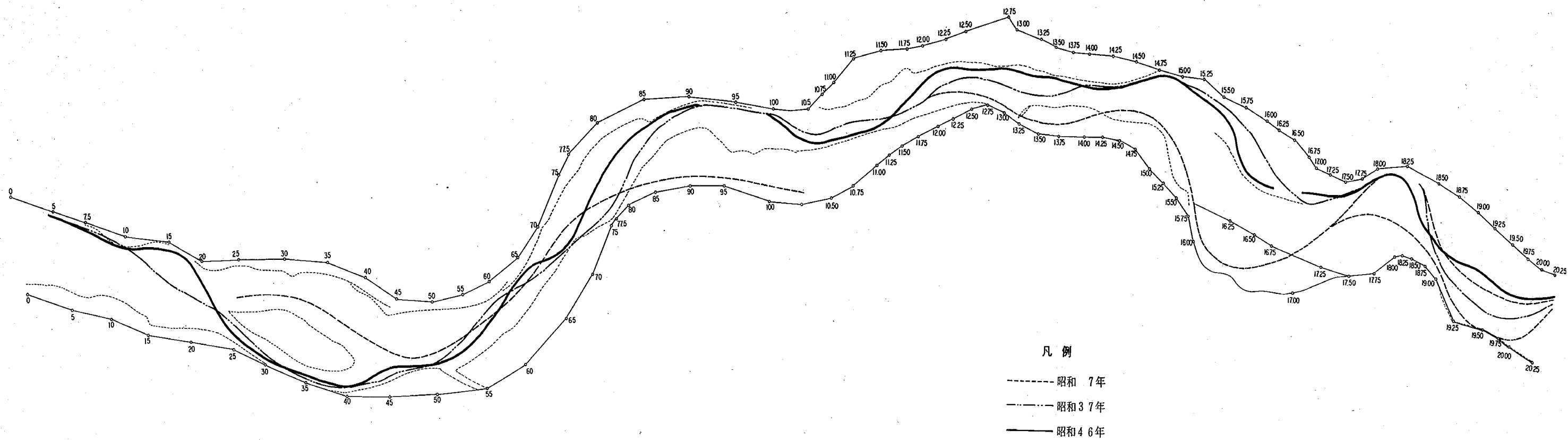


圖- 3.1.6 - (2) 最深河床變遷圖

和43年、昭和51年の平均河床縦断面図である。上流の40~50Kでは平均河床は着実に低下しており、昭和33年から18年間でほぼ1m前後の河床低下が見られる。33~40Kを見ると、昭和33年から43年ではやや堆積ぎみ、昭和43年から昭和51年ではやや洗掘ぎみで、全体としては35~40Kが堆積、30~35Kが大きな変化なしという状態になる。次に下流の15~30Kでは、昭和33年から昭和43年の10年間で15~20K区間が約2mの大きな河床低下となっており、その上流20~30Kでは低下量が漸減しながらつながっている。その後昭和43年から昭和51年の間で15~20K区間の河床高はほとんど変化ないまま、20~30Kにかけては河床低下が下流から上流に向かって伝ばんしていくように見える。この河道の勾配急変点は昭和33年には15~16K付近であったものが、20K付近まで移動しているのがわかる。

図-3.1.5は同じく最深河床高によって河床変動を表わしたものである。河床が低下する場合、それはみお筋沿いに顕著に生ずる。これを図-3.1.6の最深河床変せん図と対応して見ると、30.5K右岸、29.0K左岸、27.5K右岸、26.5K左岸という具合に、みお筋沿いの水衝部に大きな河床低下のあることがわかる。最深河床変せん図を見ると、昭和7年のものと昭和33年以降のものとは、22~30Kの区間で蛇行波長に2倍の違いを認めることができ、昭和33年には既に河床が低下していたことをうかがわせる。

実際の河道で砂レキ堆の形状を判断するには、どのような流量に対応する砂レキ堆であるかを考えなければならないことが多い。比較的大きな流量で河道幅いっぱい形成された砂レキ堆の上に、小さな流量で形成された小さな砂レキ堆が重なる場合

(図-3.1.7(i))比較的小さな流量では複列砂レキ堆であるが、流量が大きくなるとさらに大きな単列砂レキ堆となる場合(図-3.1.7(ii))などである。

信濃川の場合のように形成年代の異なる砂レキ堆が混在したり、砂州が植生によって動きにくくなったり、あるいはみお筋の河床低下などが重なるとさらに現象は複雑となる。信濃川では大流量時にはおそらく図-3.1.7(ii)のような単列砂レキ堆的な状態となるであろうが、大きな河床低下のため図-3.1.7(i)に示すように、複列砂レキ堆の片側の単列砂レキ堆の部分に流れが集中して、波長の短い砂レキ堆が顕著となったものと解される。また、河床低下はこの幅の狭い部分で流すことのできる洪水の流量を増大させるため、比較的大きな洪水まで片側単列砂レキ堆の河道で流下させることが可能となっていることも考えられる。すなわち、信濃川小千谷地区の河道は、河床低下によって中小洪

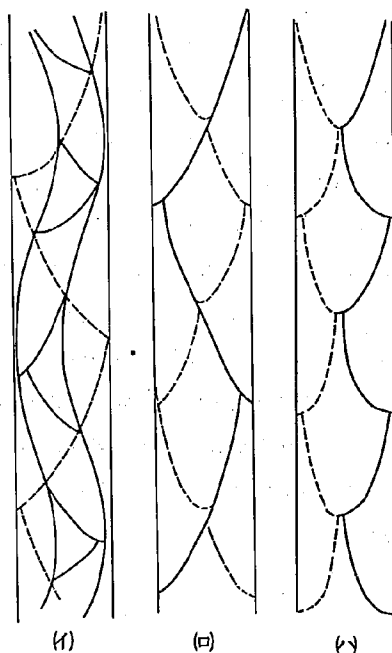


図-3.1.7

水でも複列砂レキ堆を形成せずに、自然に出きた低水路の中を単列砂レキ堆を形成しながら流れるような傾向になりつつあると見る事が可能なのではないだろうか。(大洪水時はそのかぎりではない)

3-2 護岸・水制工事箇所と蛇行

図-3.2.1は昭和46年度の護岸水制台帳から護岸および水制の施設場所を平面図上におとしたものである。新ためて述べるまでもなく、これらと洪水の蛇行にともなう水衝部の位置とは密接に関連する。15Kから17Kにかけては護岸・水制の施設箇所が兩岸に分かれており中州を有する2列蛇行の特徴を表わしている。このような場所は28Kから29Kにかけての中州の両側にも見られる。18K右岸、20Kの左岸、21Kから22Kの右岸、23Kから24Kの左岸はこれらの配置が交互になっており、図-3.1.7回に示したような大きな単位での単列蛇行のピッチに一致している。24Kから28Kの区間は、比較的護岸・水制の集中した箇所がなく、洪水の蛇行による水衝部の不明確な区間ではないだろうか。河道縦断方向における大局的な護岸・水制の集中具合を見ると、およそ、15Kから18K、21Kから24K、27Kから30Kとなり、水流の偏りが土砂堆積域で顕著なことを考え合わせると、約7~8kmの波長における土砂堆積形態の波動性を想像させるものである。

3-3 洪水流の蛇行

信濃川小千谷地区の現在の河道に洪水が流れる場合どのような流況を呈するであろうか。砂レキ堆の形状を見ればおよそ洪水の主流部がどのような流れ方をするかを想像することができる。①)完全な複列砂レキ堆、②)単列性を帯びた複列砂レキ堆、③)大洪水時に単列砂レキ堆となる場合、④)複列砂レキ堆の片側に流れが集中する場合、⑤)小洪水時の単列砂レキ堆が重なる場合のそれぞれについて、異った水流の蛇行が見られるが、信濃川小千谷地区河道の場合、具体的にいくらの流量のときに、上述のどの状態が対応するのかはまだ不明である。

河道に種々の洪水が流れた場合の航空写真による流速解析結果があれば、洪水の流況が把握できる訳であるが、そのような資料が今のところないので、模型実験による流況解析結果を用いることにする。これは信濃川小千谷地区河道模型実験として行った一連の実験のうち、現状河道模型実験として昭和50年度および51年度にかけて行われたものから抜粋したものである。実験は縮尺1/80の移動床模型を用いて行われたが、実験結果の詳しい検討は、この後予定している一連の計画河道に関する模型実験の報告の際に行うことにする。このときに用いた現状河道は昭和47年度の定期横断測量結果に基づいて整形製作したものである。図-3.3.1はその河床横断形の概略図である。

図-3.3.2、-3.3.3、-3.3.4、-3.3.5はそれぞれ流量 $4,000\text{ m}^3/\text{s}$ 、 $6,000\text{ m}^3/\text{s}$ 、 $8,000\text{ m}^3/\text{s}$ 、 $11,000\text{ m}^3/\text{s}$ の洪水時における流線と主流部の位置を示している。この場合の流

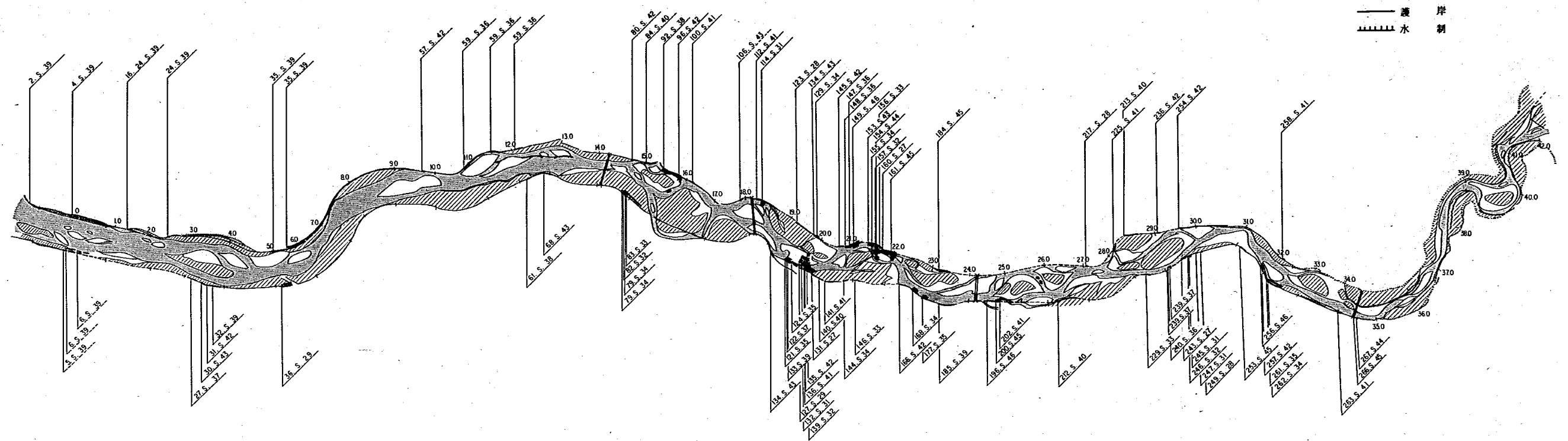


図- 3.2.1-(2) 護岸・水制の施設箇所（災害復旧あるいは補修工事）

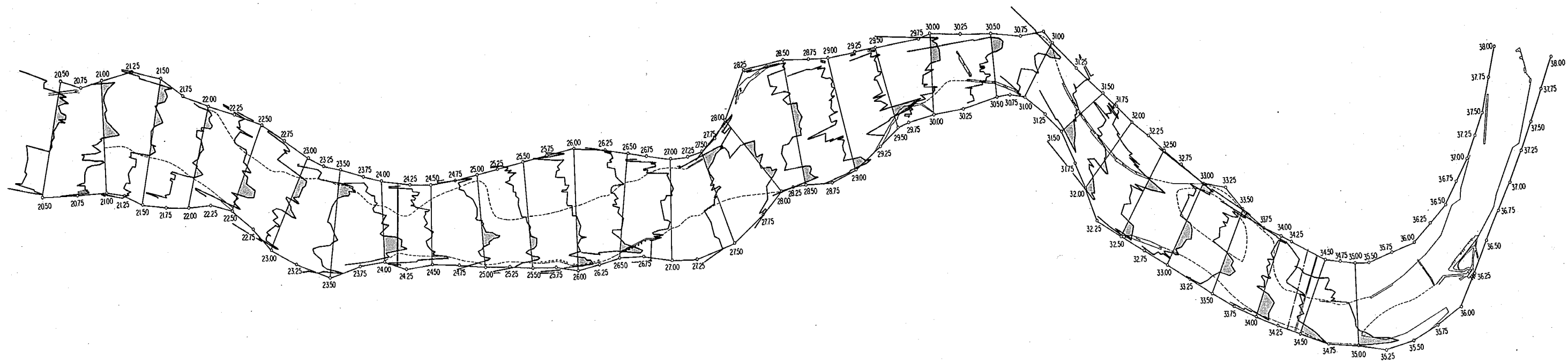


図-3.3.1 昭和47年河床横断形

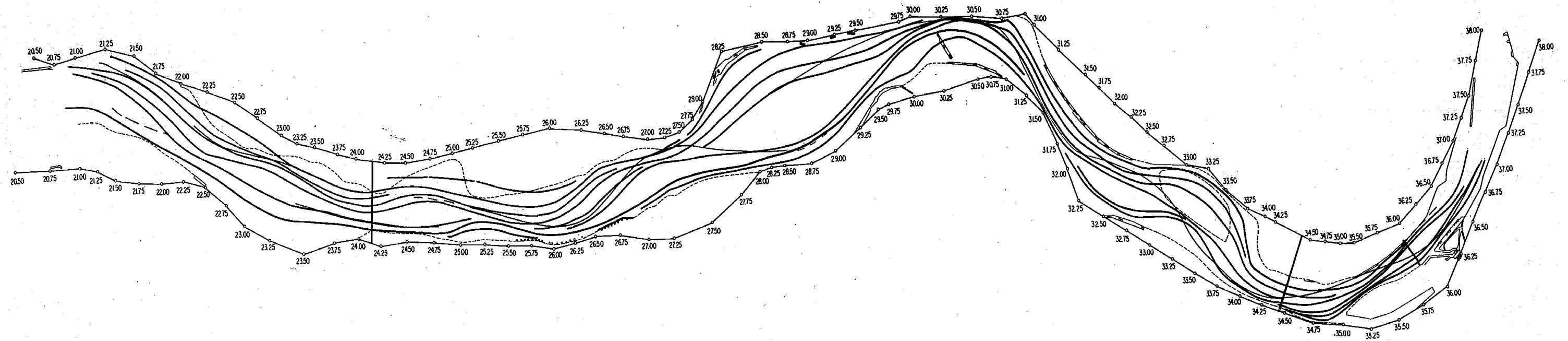


図- 3.3.2 流量 $4,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 時の洪水流況

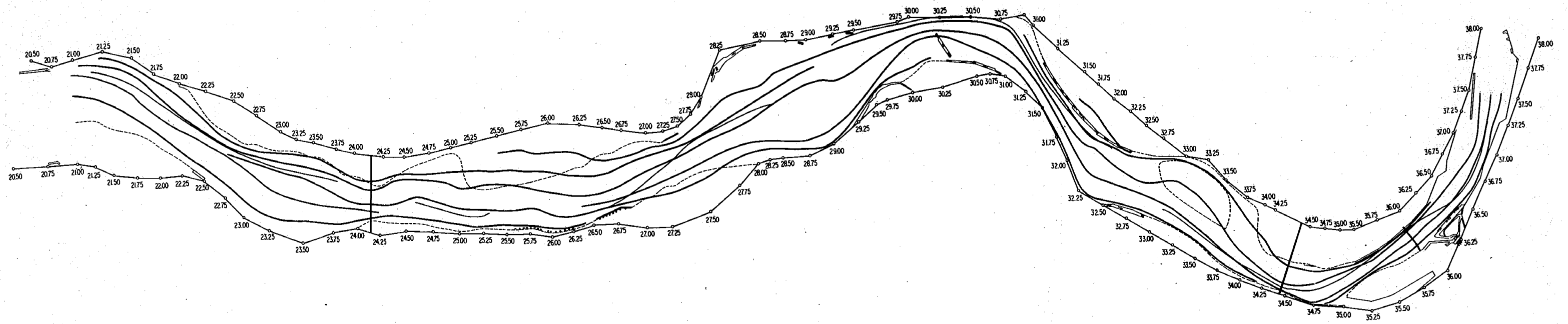


図- 3.3.3 流量 $6,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 時の洪水流況

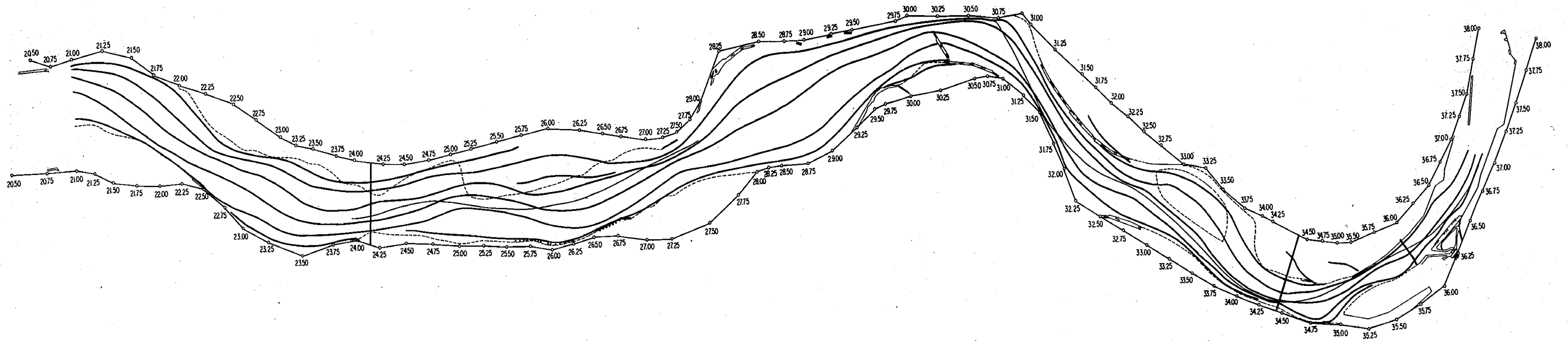


図- 3.3.4 流量 $8,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 時の洪水流況

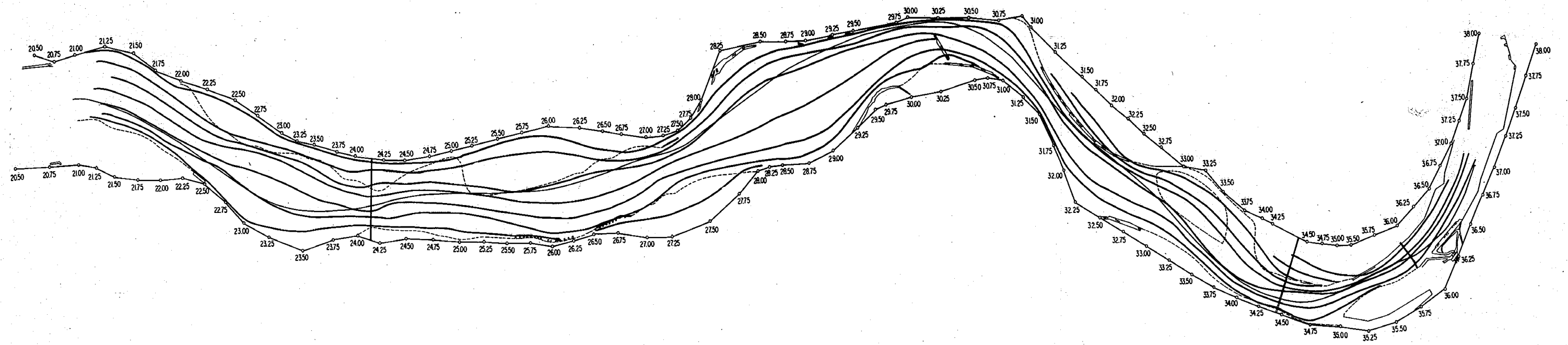


図-3.3.5 流量 $11,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 時の洪水流況

線は色素を流して上空から気球により撮映した写真を用いて、また主流部の位置は板木製の浮子の一定時間における流下距離を、同様の撮映方法により測定して求めた流速ベクトル図を用いて記入してある。

流量 $4,000 \text{ m}^3/\text{s}$ では洪水の主流部は、現状河道のみお筋沿いに走る傾向が強く、主流を一本の線で連ねた場合の蛇行ピッチは約 2 km となる。ただし、実際の流れでは、主流は一本の線とはならず、 29 K 付近や 25 K 付近のように、左右にわかれて流れる傾向が強い。流量が $6,000 \text{ m}^3/\text{s}$ になると、 $4,000 \text{ m}^3/\text{s}$ の場合に主流線が2つにわかれていた辺りで、主流の位置が不明瞭になってくる。さらに流量が $8,000 \text{ m}^3/\text{s}$ になると、 31 K から下流の主流は $4,000 \text{ m}^3/\text{s}$ のときの2倍の波長となり、一本のゆるやかな曲線を描くようになる。この傾向は流量が $1,100 \text{ m}^3/\text{s}$ になるとより明瞭となり、主流線の蛇行状態もより直線的なものとなる。

以上のことから、信濃川 21 K から 31 K の間では、流量が $4,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 以下の場合の洪水主流線は、昭和 22 年の河道に見られるような二列砂礫堆河道の片側だけが河床低下などにより分離され、単列砂礫堆化した部分のみお筋に沿って、約 2 km の波長で蛇行しながら流れることがわかる。ここで $4,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 以下としたのは、流量 $4,000 \text{ m}^3/\text{s}$ における洪水主流線の 2 km という波長が、毎年融雪出水によって長時間継続する流量 $2,000 \text{ m}^3/\text{s}$ クラスの洪水で形成されたみお筋の影響によって、生じている可能性があるからである。また、流量が $6,000 \text{ m}^3/\text{s}$ を越えると、二列砂礫堆河道を大局的に単列と見なした場合の砂礫堆上を、約 4 km の波長で主流線蛇行するようになる。さらに流量が増大すると、主流線の蛇行波長は変化しないが、蛇行振幅の小さい直線的なものとなってくることがわかる。すなわち、大洪水の場合は、現状河道のみお筋とは関係しない流れとなることがわかる。

3-4 低水路法線の選定

信濃川小千谷地区の場合、各流量に対する平均的な低水路断面積と高水敷断面積の比率は、図-3.4.1に示されるようなものである。2-4で述べた複断面河道の横断形状による分類からすると、大洪水時には高水敷上の水深も大となって、図-2.4.1に示すような4つの典型例のどれとも言えない中間的なものとなる。

信濃川の場合、低水路幅は流量 $4,000 \text{ m}^3/\text{s}$ を対象に設計されているが、法線形状については大洪水を対象とするか小洪水を対象とするかで問題が異なる。大洪水を対象とした場合、主流部が高水敷上を走らない

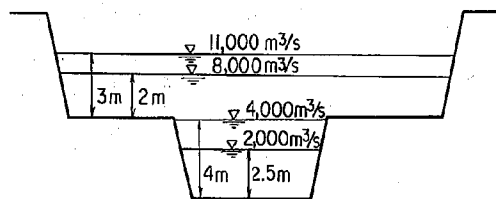


図-3.4.1 低水路断面積と高水敷断面積の比率

ようにするため、低水路法線は洪水主流線に合わせる。この場合、3-3で述べように洪水主流線の蛇行波長は約 4 km で、それに合わせた法線形状は図-3.1.1を参考に昭和 22 年の河床に見ら

れる砂礫堆形状も考慮して描くと図-3.4.2に表わされるものになる。小洪水を対象とした場合、低水路内の砂礫堆の安定すなわち水衝部の固定をはかるため、洪水主流線を低水路法線の凸岸上流部で受けるような低水路法線形状としなければならない。3-3で述べたように小洪水の主流部は約2kmの波長で蛇行をしており、それに合わせた法線形状は図-3.1.3を参考に、現在の河道のみお筋も考慮して描くと、図-3.4.2に表わされるものとなる。

これらふたつの法線形状には、それぞれ相反する問題点があり、大洪水を対象とした長波長の法線形では、融雪出水などの小洪水で、低水路内にさらに短い波長の砂礫堆が形成され、低水路維持が困難となる場合が考えられる。逆に、小洪水を対象とした短波長の法線形では、大洪水時に主流部が低水路をはずれて高水敷上に走るため、低水路の乗り上げ部、落ち込み部、高水敷に大きな災害の起ることが予想される。一般に前者の災害は規模は小さいが頻度が高く、後者の災害は頻度が小さいが規模が大きいと言える。低水路法線形としては、これらふたつの他に堤防中央に直線的に設定するもの(図-3.4.4)も考えられるが、この河道センターライン方式の場合、おそらく前のふたつの法線形で生じる問題点の両方が起る可能が強く、有利な面はあまりないであろう。図-3.4.5は河道センターライン方式で流量 $8,000\text{ m}^3/\text{s}$ を流した場合の砂礫堆形状を表わしたものであるが、30K右岸の水衝部付近を除いて、下流に生じている水衝部はすべて、砂礫堆の流下とともに移動し、低水路維持が困難となることが予想された。

次に、水路幅と蛇行波長との関係から低水路法線形状を検討してみよう。一般にレジーム論などでは、水路幅と蛇行波長はほぼ比例すると言われているが、ここでは水路に形成される砂礫堆長と蛇行半波長を一致させて、蛇曲水路を設定することを前提に述べよう。低水路内に形成される砂礫堆を考える場合、図-3.4.1から流量 $4,000\text{ m}^3/\text{s}$ における河幅水深比 B/H は約75、流量 $2,000\text{ m}^3/\text{s}$ における河幅水深比 B/H は100~120となり、水路が直線的であれば、形成される砂礫堆は複列となることが予想されるが、低水路を蛇行させることによって、強制的に単列砂礫堆が形成され実河川の例ではふつう B/H が100以下であれば複列にならないことが多い。(流量 $2,000\text{ m}^3/\text{s}$ では複列砂礫堆となる可能性が出てくるが、低水路幅が $4,000\text{ m}^3/\text{s}$ を対象に決められたものなので、この低水路幅の中で新たに流量 $2,000\text{ m}^3/\text{s}$ に対応した流路を形成して、単列蛇行を形成する可能性の方が大きいと思われる。この場合の蛇行波長はおそらく現状河道のみお筋と同じく約2kmになると考えられる)。流量 $4,000\text{ m}^3/\text{s}$ では低水路内に生じる砂礫堆が単列であれば、その安定的な長さはおよそ $\frac{3}{2} \sim \frac{5}{3}$ 倍程度と考えられ、低水路幅300mに対して蛇曲河道の蛇行波長は $\frac{2}{3}\text{ km} \sim \frac{3}{4}\text{ km}$ となる。しかし、砂礫堆長は強制的に水路を蛇行させることによって、かなりの範囲で追従性を有するものであるから、蛇行波長をもう少し広い範囲で設定することも可能であろう。

以上述べたことから、低水路を設定する際に対象とする流量別に、それぞれの法線形状の良否を比較すると表-3.4.1のようになる。結局、河道センターライン方式の法線を除いて、4km波長の法線とした場合の小洪水時の低水路維持がどうなるか、2km波長の法線とした場合の大洪水時の高

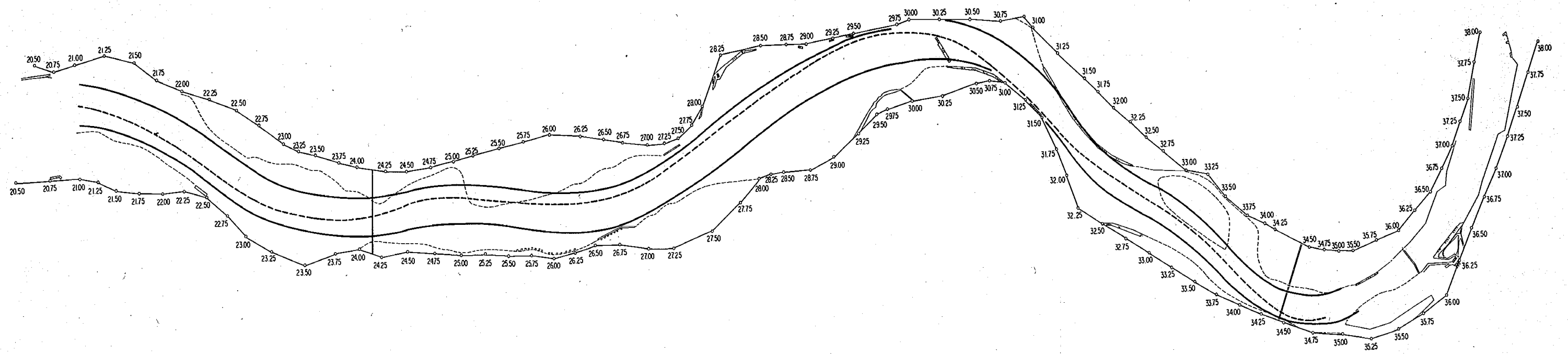


圖- 3. 4. 2 低水路法線案 1.

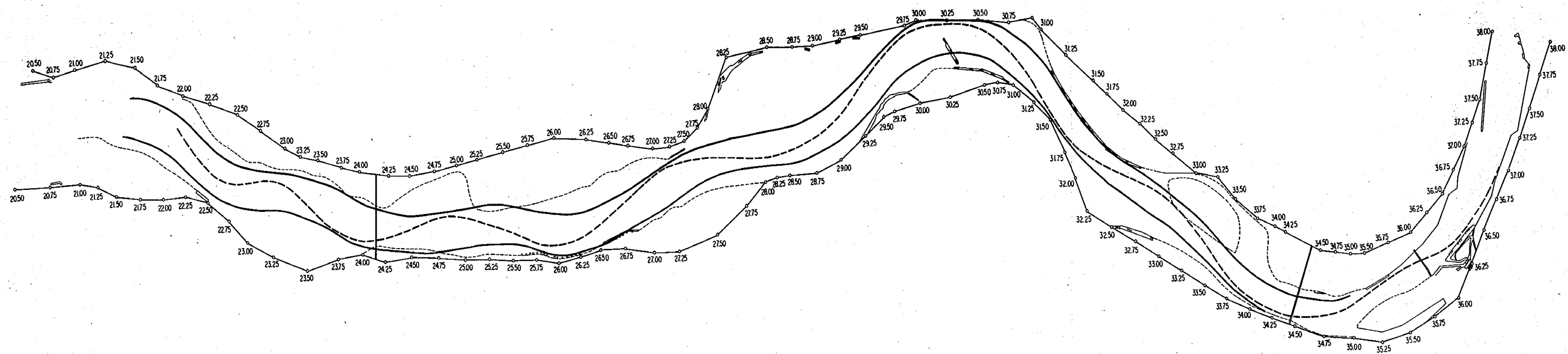


图-3.4.3 低水路法線案2.

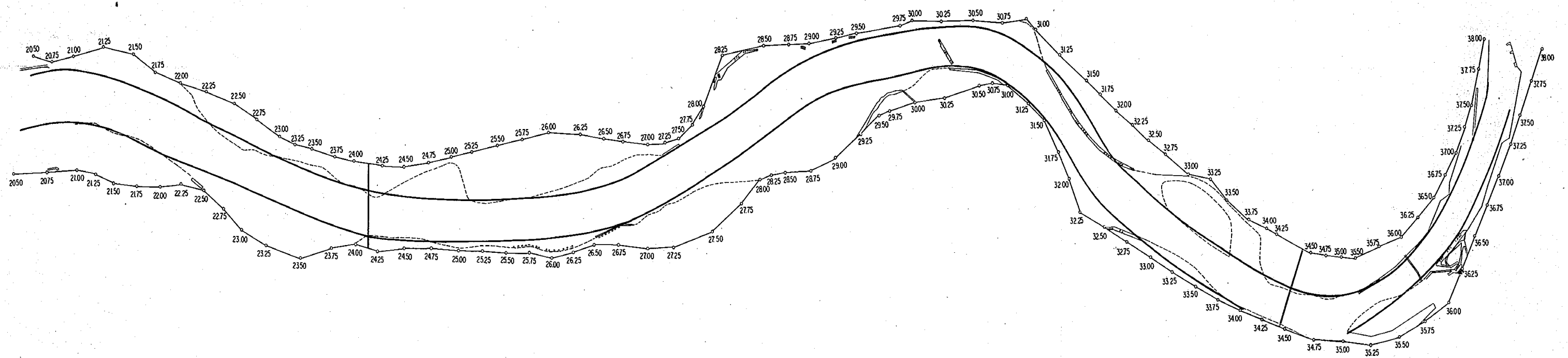


图-3.4.4 低水路法線案3.

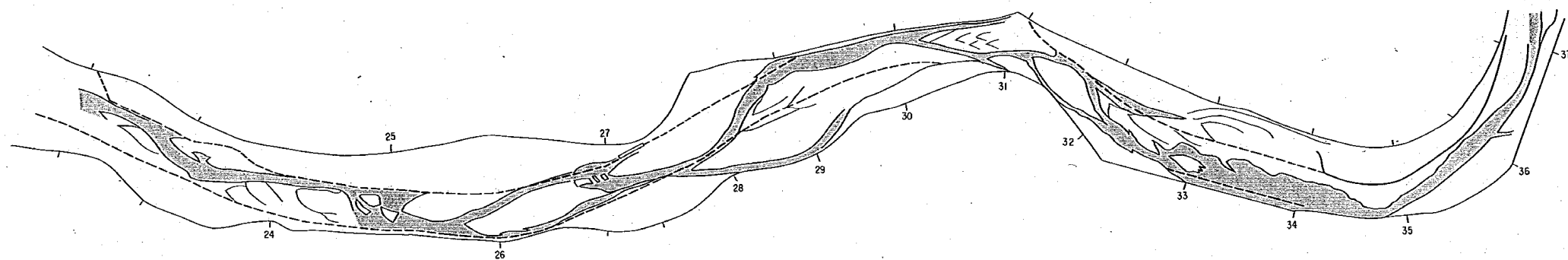


図-3.4.5 幅300mの事務所案低水路に形成される砂レキ堆

表- 3.4.1 低水路法線形状の検討

判 定 条 件						法 線 形 の 適 否	
対象流量	流量の意味	流 量 頻 度	主流線の蛇行波長	適切な流路幅	低水路内に形成される砂レキ堆積量	幅300m, 波長4kmの法線	幅300m, 波長2kmの法線
2,000 m^3/s	長時間継続する流量	毎 年	約2K	300m以下	約2K前後	低水路維持に関して要検討	△ (低水路幅が広い)
4,000 m^3/s	計画低水路満杯流量	2~3年に一回	約2K (みお筋の影響か?)	300m	約2~3K前後	△	△
11,000 m^3/s	計画洪水流量	(1/150)	約4K	300m以上		○	洪水の高水敷のり上げに関して要検討

水敷災害がどの程度であるかの2点を実験等によって検討し、最終的にどちらをとるかの判断を下すことにするが、2~3年に一回程度の洪水量である4,000 m^3/s において、4Km波長の法線に合った砂礫堆形成が予想されること、2Km波長の法線にした場合の大洪水による災害が甚大であると予想されることを考えると、4Km波長の法線の方が若干有利となるであろう。

ま と め

低水路法線計画に関する考え方

- 河道平面形状の決定にとって、河道に形成される中規模河床形態と、それにともなう洪水流の蛇行が、重要な要素である。
- 水流は河道に生じる砂レキ堆形状に応じた蛇行を示すが、基本的には集中と発散をともなう、砂レキ堆上の流れとして説明される。
- 河道の蛇行と砂レキ堆との組み合わせで、蛇曲河道、迂曲河道、大蛇行河道などの区別をする。
- 水流の蛇行と河道の蛇行とは一致しない。
- 砂レキ堆の性質として工学的に重要なのは、波長、波高、移動性である。
- 特に砂レキ堆2個で河道が一蛇行するような蛇曲河道では、河道の曲り角度をある程度以上にして側岸を固定すれば、砂レキ堆の移動を停止させることができる。
- 砂レキ堆形状は、河道の地域区分と密接に関連し、 B/H の大きい扇状地河川では、複列砂レキ堆や網流河道となり、 B/H の小さい緩流部河川では、砂レキ堆の形成が弱く、それらの中間地では単列砂レキ堆が顕著に形成されることが多い。
- 低水路の設計には、大洪水時に高水敷の荒廃を防ぎ、中小洪水（低水路を流れる洪水）時に低水路内の安定をはかるという二つの視点があるが、高水断面と低水断面における流量の差が大きいほど、両者は相反するものとなる。
- 一般の高水計画では前者を優先し、低水路法線を大洪水時の主流線に合わせるのがよい。

信濃川小千谷地区における低水路計画

- 信濃川小千谷地区の河道は扇状地性河道であるが、最近河床低下によって比較的安定している。
- 河床低下によってみお筋沿いにできた自然の低水路には、中小洪水に対応すると思われる単列砂レキ堆が形成されている。
- しかし、本来は複列砂レキ堆河道であり、このことは護岸・水制の設置箇所からも確認される。
- 現在の河道における洪水の主流線を実験によって調べると、 $4,000\text{ m}^3/\text{s}$ より小さい流量では現状のみお筋沿いに波長約2 Kmの蛇行を示すが、 $6,000\text{ m}^3/\text{s}$ を越えると河道の大局的な砂レキ堆形状に従った波長約4 Kmの蛇行を示すようになる。
- 低水路法線形状は、洪水主流線の蛇行波長からは、中小洪水の場合約2 Km、大洪水の場合約4 Kmの波長で蛇行させることが妥当と思われるが、
- 低水路の河幅とそこに生じるであろう砂レキ堆の安定性からは、低水路の蛇行波長は3～4 Kmが妥当と考えられる。

○この他、低水路を設定する場合の対象洪水選定には、洪水の頻度とその洪水による災害の程度を考慮しなければならず、表－3.4.1のような判定あるいは検討が必要となる。