

土 研 資 料 土研資料第1597号

土 木 研 究 所 資 料

大武川流路工合流点処理水理模型実験報告書

昭和55年 3 月

建設省土木研究所

Copyriht © 55年度 by P.W.R.I.

All rights 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 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なってはならない。

はじめに

本報告書は、建設省関東地方建設局（富士川砂防工事事務所）の依頼を受け、昭和53年度～54年度に亘って実施した大武川流路工合流点処理計画に関して、水理模型実験から検討した結果をとりまとめたものである。

本実験は、1）合流位置と角度、2）大武川及び石空川の法線形状と流路幅の検討、3）既設床固工が流況や河床変動に与える影響、4）合流部での河床低下防止と流水の蛇行によって生ずる流水の集中緩和のための横工の配置計画などの検討がなされている。

昭和55年3月

建設省土木研究所砂防研究室

室 長 渡 辺 正 幸

研究員 阿 部 宗 平

伊 巻 幹 雄

はじめに

§ 1 文献にみられる合流点処理の考え方	
1-1 河川合流の問題点	1
1-2 合流点処理	1
§ 2 大武川合流点処理計画（案）	
2-1 過去の災害と現状河道の問題点	3
2-2 大武川合流点処理計画（案）の検討	5
2-2-1 計画上の制約条件	5
2-2-2 大武川流路工合流点処理計画	5
§ 3 実験概要	
3-1 実験目的	8
3-2 模 型	8
3-3 実験方法	9
3-4 実験ケース	9
§ 4 実験結果と考察	
4-1 計画（案）の問題点と対策	12
4-1-1 流路工計画区間	12
4-1-2 合流後の流況と河床変動	15
4-2 修 正 案	
4-2-1 法線形状と断面形状	16
4-2-2 合流部の河床低下防止	19
4-2-3 合流位置、合流角度	24
4-2-4 大武川流路工計画区間の床固工の形状	25
§ 5 ま と め	27
おわりに	28
参考文献	29

§ 1 文献にみられる合流点処理の考え方

1-1 河川合流の問題点

山本¹⁾、細井²⁾らの発表による合流点での問題点を整理すると次のようになる。

- 1) 合流点に堆積する土砂の影響を受けて流路の偏流が著しくなり、河岸、堤防が損傷を受けやすい。また、洪水の流下に支障をきたす。
- 2) 合流点より上流側の流路の蛇行状態と、合流点の位置の関係が適当でないと、合流点より下流の河道に乱流をひき起こす原因になる。
- 3) 本川は河状安定して支川の流出土砂が多い場合には、支川は本川を圧迫し、合流点は漸次本川の上流へ上流へと移行する傾向がある。したがって合流角度 α は、極端なものは、本川と直角または直角以上に逆に合流するようになり、支川の流水が中洪水程度の出水時に、本川の対岸に直射して脅威を与える。
- 4) 本川の流出土砂が多く支川が安定している場合は、天井川となり、支川は本川に流入しがたく、このため堤内地は排水不良な低湿地となる場合が多い。
- 5) 流出土砂の程度は同じで本川の洪水流量に支川の洪水流量が押される場合は、本川のBackを受けて支川は押され、排水不良な低湿地となることがある。

このような問題は、

- (1) 合流河川の流出土砂の大小
- (2) 流量の大小
- (3) 流速の大小
- (4) 出水時間の違い
- (5) 河床勾配の違い
- (6) 合流角度
- (7) 合流部の川幅の大小
- (8) 合流部より上流の蛇行状況

等に起因しており、合流点処理計画をたてる場合に、合流河川の性状をよく調査しておく必要がある。

1-2 合流点処理

合流点の処理について安芸³⁾は次のような三原則をあげている。

- 1) 河状の異なる河川の合流に際しては、なるべくこれらの河状を同一とするように可及的に是正する。
- 2) たがいになるべく接線の方に合流するように処置する。
- 3) 一般に河状がともに良好な場合は、合流後の幅員は合流前の諸河川の幅員の和程度とするのがよいが、一方が不良な場合には、合流後の幅員はそれより狭ましく、だいたい合流前の本川程度とする。

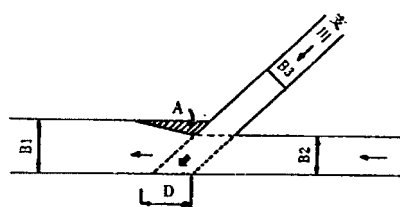
合流点調整の三原則に対して須賀⁴⁾は次のような対策を挙げている。

- 1) 上流河川の整備
- 2) 合流点水位の低下および合流点付近の掃流力の増大（下流河川の整備、上流水位に影響のない程度の川幅の縮小）

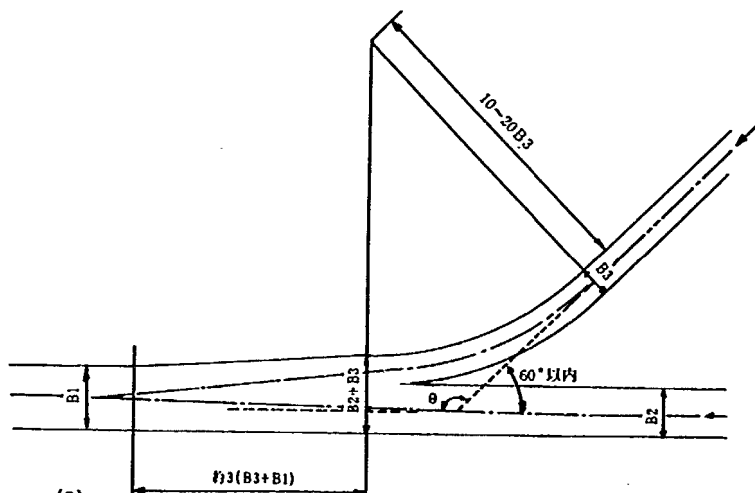
- 3) 合流角度の是正 (引堤、州の除去、背割堤……合流点を下流に下げる。)
- 4) 法線の是正 (水制、導流堤、引堤)
- 5) 支川流勢の減殺 (階段状床固工群)

流路幅、法線形、曲線半径、湾曲角度について千田は次のように述べている。

「図-1(1)のように鈍角で本川に合流するときは、本川と支川とでは、洪水の合流時差があるため、本川の高水流量が流入し、本川左岸のD河岸に激突し災害を招くおそれがある。またA部分に土砂が堆積し流過能力に影響を与えるので、計画高水流量に対して、十分な河積がとれなくなる。そこで、図-1(2)のように流水をなじませるために湾曲角度を 60° 以内、曲線半径を $(10\sim20)B_3$ とし、しかも合流直後の川幅は支川と本川の川幅の和 (B_2+B_3) による必要がある」と云っている。このことは、合流点処理計画に際して、損失水頭、土砂堆積、無効河積を少なくすることを考慮する必要があることを示唆している。



(1)



(2)

図-1 千田による合流処理の平面計画 5)

§ 2 大武川合流点処理計画（案）

2-1 過去の災害と現状河道の問題点

1) 過去に発生した災害

大武川における過去の主な災害は、明治40年、明治43年、昭和34年に発生している。なかでも昭和34年の台風7号による災害は大規模のものであり、災害記録は山梨県土木部による昭和34年土木災害記録集に整理されている。これによると、昭和34年に発生した台風7号の出水で、柳沢、上段の家屋の床上浸水や大竹、柳沢、牧の原等の部落で128戸が流出、23名の死者及び行方不明者を出し他、駒城橋の流出、水田の流出、埋没等の大惨事をもたらした。災害の直接誘因である降雨量は、日向山観測所で最大54 $\frac{mm}{hr}$ 、藪の湯観測所で49 $\frac{mm}{hr}$ が記録されている。

航空写真（S22年、S27年、S35年、S37年）からの判読によって災害原因を次のように推定した。

(1)大竹部落の流出

昭和27年撮影の航空写真判読によれば、大竹部落は、河床との比高が小さく、洪水流に対して危険度の高い場所に存在していた。

(2)柳沢、上段部落の床上浸水

上段部落は大武川と石空川合流点の右岸に存在している。

昭和27年撮影の航空写真によると、合流部に石空川からの流砂が堆積していることと、大武川の流水が合流部で左岸に集中していることが加わって、両河川の河床標高差が大きい。上段部落の災害は、この石空川の堆積土砂による河積不足と、この上流の湾曲部で流水が曲りきれずに直進したことに起因したと推定される。なお、石空川合流部での破堤点は、S22年の航空写真上にも存在していることなどから、同付近は洪水流に対する弱点となっている。

(3)柳沢、牧の原部落の流出

S22年、27年には、河道内に大規模な単列砂礫堆が形成されており、随所に溪岸水衝部が存在している。砂礫堆の高さは、堤内地盤高と同高か、あるいは堤内地盤より高いように判読される箇所が存在する。柳沢、牧の原部落における災害は、この砂礫堆による影響が大きかったと推定できる。また、柳沢部落で流出した家屋の多くは土砂堆積物上に存在していて、昭和22年以降に建てられた比較的時代の新しい家屋であった。

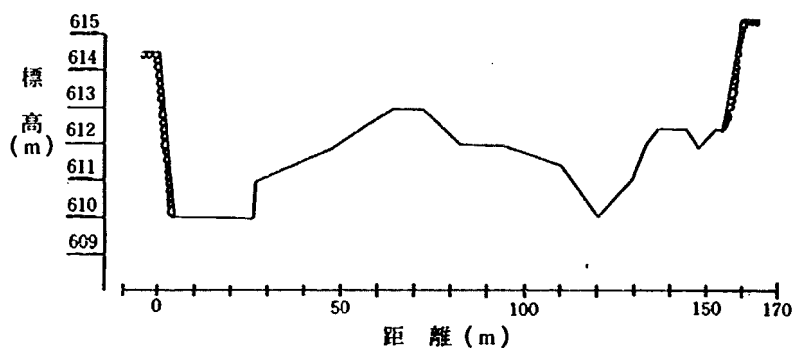
2) 現状河道の問題点と対策

(1)大武川砂防ダム～石空川合流点間は、合流後にくらべて不安定土砂が多く、ある規模の洪水出水時に流砂された土砂が、川幅の広く急変する合流部付近に多く堆積して、土砂災害が発生する危険性があると推察される。

(2) 実際に、災害復旧工事が実施された昭和37年当時にくらべて、多くの土砂が合流部に堆積している。図一2は、合流部における河床の横断形状を示した。このような土砂の堆積物は、石空川の流水を右岸に押しやり、護岸破壊等に対する危険度を高めることになる。

(3) 右岸扇面、石空川橋付近は過去における氾濫発生点である。同じ箇所で砂堤すると、旧流路に沿う家屋や水田に被害を与えることになる。昭和22年、27年の航空写真上で判読される河床堆積物上にそれ以降建てられた駒城橋付近に存在する家屋や水田は、洪水流に対する危険度が高いと言えよう。

(4) 合流部における土砂堆積は、34年度の災害復旧工事として施工されている合流部の床固工による影響も考えられる。



図一 2 合流部における堆積状況

以上の問題点に対して

- 1) 合流点より上流部の砂防工事の促進
- 2) 合流部で、異常土砂の堆積、局所洗掘を防止する合流点処理が必要となろう。

2-2 大武川合流点処理計画(案)の検討

2-2-1 計画上の制約条件

合流点処理計画を進めるにあたって、次のような制約条件がある。

- 1) 大武川本川および石空川は、合流点より上流部の流路工が完成した状態を前提条件とする。ここで言う流路工完成区間は、大武川本川が断面No26の帯工より上流、石空川が第9床固工より上流部である。(図-3参照)
- 2) 石空川の第9床固工より下流右岸の既設護岸を利用した法線形、流路幅であること。
- 3) 合流部より下流の既設護岸、床固工は既存のまま残す。ただし、合流点に施工されている床固工の方向が流心を左岸に向けたり、床固工が上流部の土砂堆積を助長させる等の悪影響が生じる場合に、床固工を改良するか、撤去する等の対策を講ずる。

2-2-2 大武川流路工合流点処理計画

- 1) 図-3は、建設省富士川砂防工事事務所が立案した平面計画(案)である。

交角は 35° に計画されており、千田の考え方に従うと 60° 以内にあるので妥当であると言える。しかし、石空川の合流点直上流での曲線半径は $5B$ と小さく、湾曲部における水面隆起、流線剥離による局部的摩擦流速の増加が著しくなると考えられる。しかも反曲線に計画しているので、流れに与える影響は大きいと考えられ、場合によっては法線の修正が必要となろう。

- 2) 計画流路幅は、Reigme 理論によって決める考え方がある。Reigme 理論による流路幅は、 $B = \alpha Q^{1/2}$ で与えられる。ここで α は、図-4に示すように流域面積との関係で示され、 α の決定因子は河床構成物質による⁶⁾

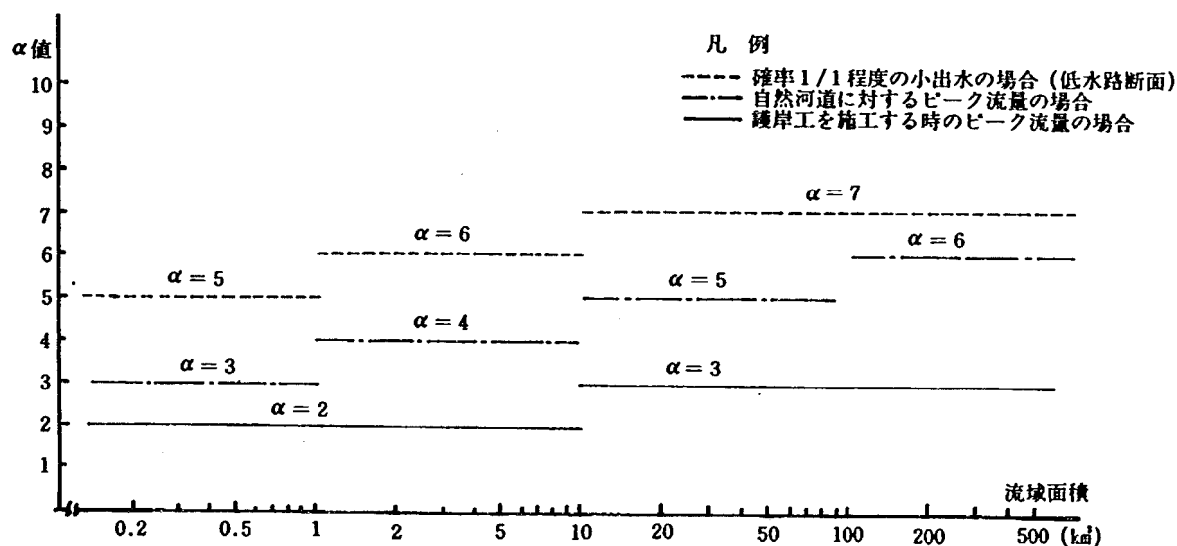
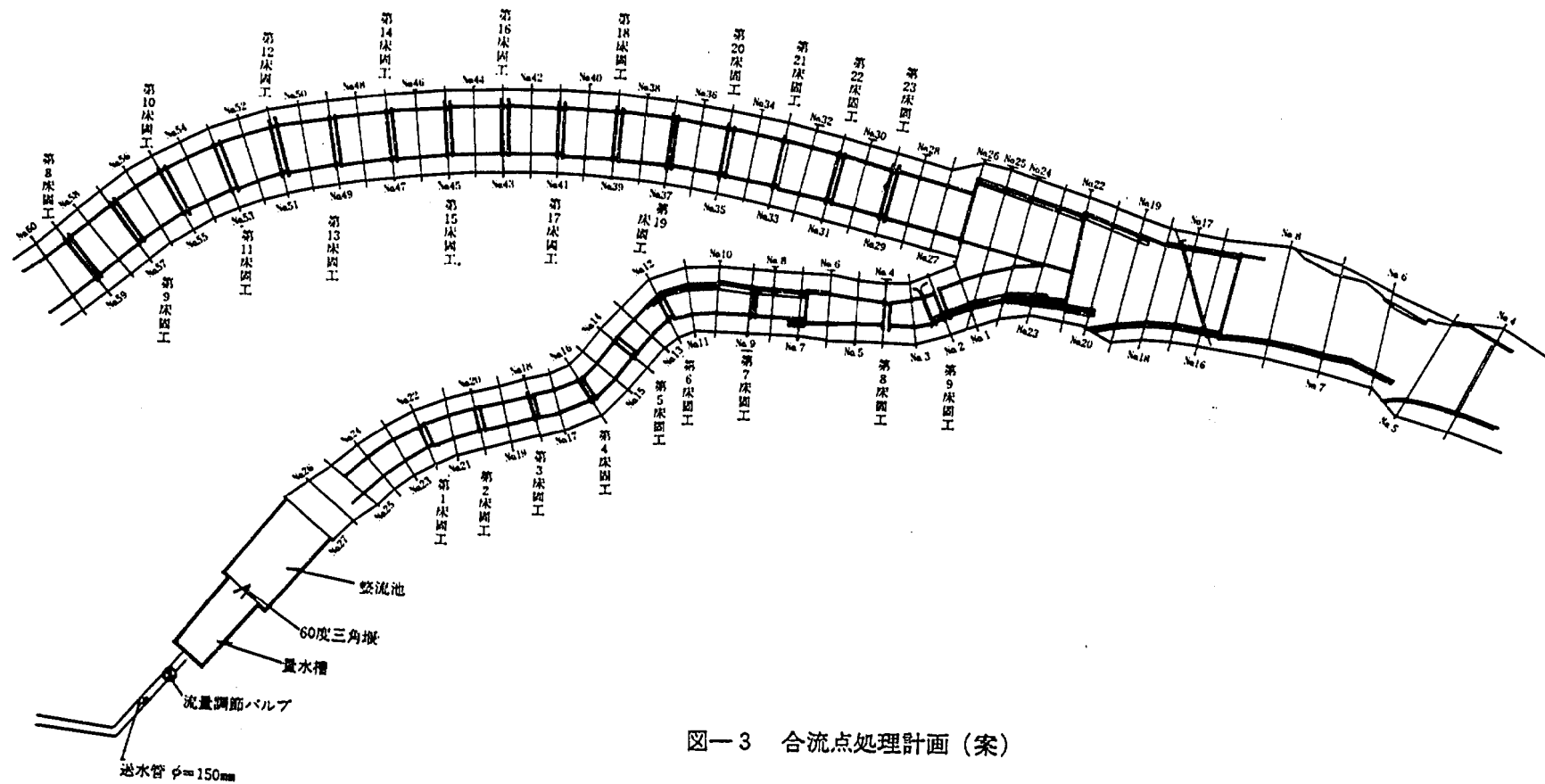


図-4 安定河道設計のための河幅(案)⁶⁾



図一3 合流点処理計画 (案)

合流点における流域面積は、大武川が 37.6km^2 、石空川が 13.6km^2 であるから、計画高水量に対する α 値は3、出現頻度の多い流量に対する α 値は7となる。出現頻度の多い流量を10年確率流量と仮定して、大武川及び石空川における流路幅を算定すると表-1のようになる。

表-1 流路幅の検討

	大武川 $A=37.6\text{km}^2$		石空川 $A=13.6\text{km}^2$		合流後 51.2km^2	
	流 量	流路幅	流 量	流路幅	流 量	流路幅
150年確率流量	546 (m^3/s)	70 (m)	228 (m^3/s)	45 (m)	774 (m^3/s)	83 (m)
10年確率流量	135	80	70	60	205	100

流路工の計画流路幅は大武川で80m、石空川で40mに計画されているので、Regime理論による考え方を適用すると、大武川本川の流路幅は妥当であるが、石空川でやや狭い計画値になっている。

また、合流点での流路幅は、大武川が90m、石空川が50mに計画されていて、上流の流路工区間にくらべて、流路幅が広い。湾曲法線形の影響も加えて、合流部～石空川橋付近の河床変動や流況について、特に調べる必要があろう。

合流部の既設床固工下流部における流路幅は、災害復旧工事として施工された護岸工によって、ほぼ130mに固定されている。この値は、表-1で示す値より大きく、流水の蛇行による問題が推察される。

3) 筆者らは、直線水路における砂礫堆に関する実験で、 α の値が大きくなると、流水の蛇行現象による流水の集中化が強まることに原因して、砂礫堆の高さが大きくなるので、計画高水流量と、これ以下の小流量（例えば、出水頻度の多い流量）に対する α の値に大きな差異が生じる場合は、複断面的な考え方をとり入れる必要性が生じること、また、床固工を $L/B=2$ の間隔に配置すると、 α の変化による影響は小さく、広範囲における流量に対して安全度が高まることを発表している。（ただし、床固工間隔は、計画護岸根入深をいくらかにとるかによって決まるもので、 $L/B=2$ にすべきだと言うことではない。）大武川では、合流後における α 値が10年確率流量時において、9となること、既設床固工間隔は、 $L/B=3.5$ となっていることから、実験結果によっては、床固工間に帯工を設置する案についての検討が必要となるだろう。

4) 合流後の河床勾配は $1/45$ から $1/28$ に変化するので、河床低下の問題が生じると推察されるので、横工の検討が必要となるのであろう。

§ 3 実験概要

3-1 実験目的

適切な合流点処理計画案を得ようとする場合、制約条件のなかで満足されなければならない条件は何かを検討する必要がある。主な検討項目を列挙すると次のようである。

- (1) 対岸に水衝部をつくらないこと。
- (2) 死水域が生じて土砂が堆積し、流過能力に影響を与えないこと。
- (3) 合流部において異常土砂の堆積、洗掘が生じないこと。
- (4) 護岸、床固工および橋脚などの河道工作物が安全であること。

本実験は、§ 2 で検討した合流点処理計画（案）に対する問題点を解消して修正案を得ることを目的として実施するものであり、具体的には次の内容について検討するものである。

- (1) 合流位置、合流角度の検討
- (2) 合流点直上流の大武川、石空川の法線形状と流路幅の検討
- (3) 既設床固工が流況や河床変動に与える影響の検討
- (4) 河床低下防止と流水の蛇行の緩和のための横工配置計画

3-2 模 型

模型は図-1 に示すように最上流端が本川大武川で頭首工、支川石空川で農業用取水堰堤までとし、最下流端は合流点下流 0.8km 地点までの範囲である。

模型縮尺は 1/60 である。各々の水理量はフルード相似則を適用することにより表-2 のように示される。

表-2 諸物理量縮尺比率表（フルード法則）

諸 元		次 元		実物値の模型換算	模型値の実物換算
水	深	L	n	1 : 0、0 1 6 6 7	1 : 6 0
勾	配	$L L^{-1}$	1	1 : 1	1 : 1
時	間	T	$n^{-\frac{1}{2}}$	1 : 0、1 2 9 1 0	1 : 7、7 4 5 9 7
流	量	$L^3 T^{-1}$	$n^{\frac{5}{2}}$	1 : 0、0 0 0 0 3 6	1 : 2 7 8 8 6、2 2
流	速	$L T^{-1}$	$n^{\frac{1}{2}}$	1 : 0、1 2 9 1 0	1 : 7、7 4 5 9 7
粗 度 係 数		$L^{-\frac{1}{3}} T$	$n^{\frac{1}{6}}$	1 : 0、5 0 5 4 0	1 : 1、9 7 8 6 0
流 量 係 数		$L^{\frac{1}{2}} T$	1	1 : 1	1 : 1
圧 力 強 度		$M L^{-1} T^2$	n	1 : 0、0 1 6 6 7	1 : 6 0

3-3 実験方法

- ① 流量：大武川と石空川の流量が合流点に同時到達するように流量調節を行なった。なお、実験開始時刻は合流後の流量が最下流部を通過する時刻とした。
- ② 給砂：大武川6号床固工と石空川№25断面地点より所定流量にみあうような平衡給砂を行なった。給砂材料の粒度分布は河床材料のそれと同一であり、図-5に示すような最大粒径0.55cm、50%粒径0.17cmの混合砂を使用した。
- ③ 水位および河床高測定：一定流量を与えた実験においては、実験開始から15分間隔毎に5から18断面について、不定流量を与えた実験においては、流量変化毎に18断面の測定を行なった。

⊗ 実験使用砂

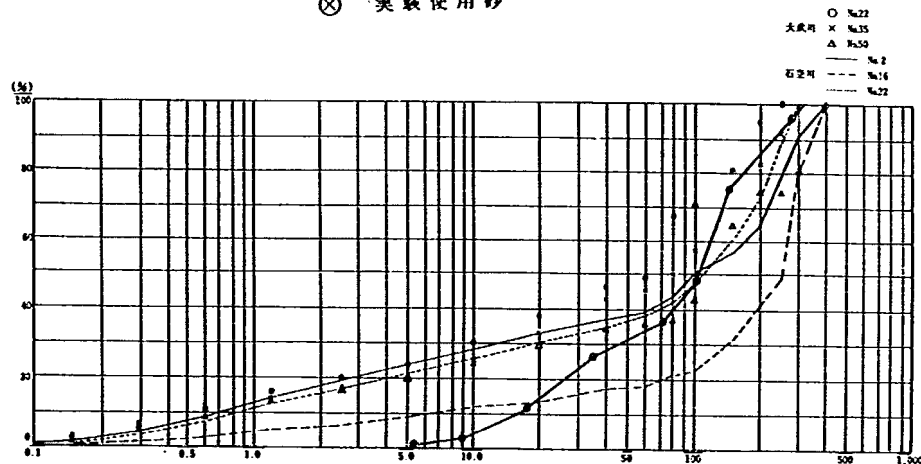


図-5 粒度分布加積曲線

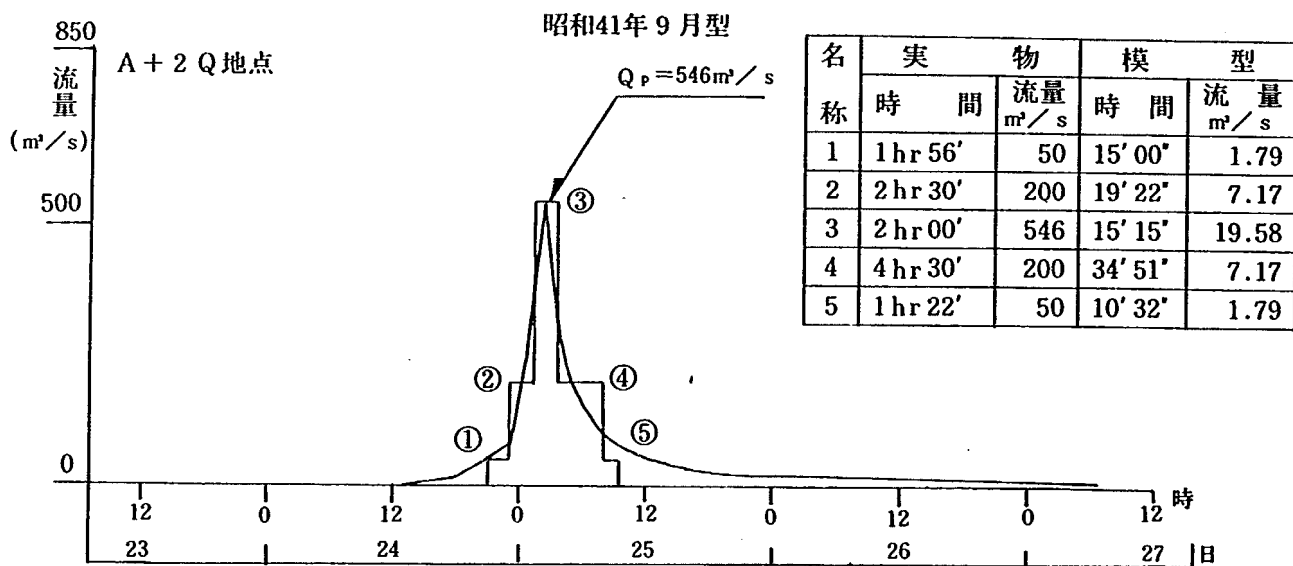
- ④ 流速測定：水位および河床高測定と同一断面、同一時刻に測定を行なった。測定は原則として一断面当たり5点とした。
- ⑤ 流砂量測定：模型最下流端において実験開始より3分間隔で測定を行なった。
- ⑥ 流向測定：固定カメラ2台とメモーションカメラ1台を使用し水性ペイントを流下させ撮影した。撮影は主に合流部を中心に固定カメラでは流水や土砂の移動状況を10分間隔毎、メモーションカメラでは流線や平面的な河床変動状況を2秒間隔で行なった。
- ⑦ 河床高測定：計画原案に対する検討実験に際しては通水終了後10断面、改良案に対する検討実験に際しては35断面の測定を行なった。
- ⑧ 流況観察測定：③、④、⑥、⑦の測定結果等を合わせた総合的考察を行なった。

3-4 実験ケース

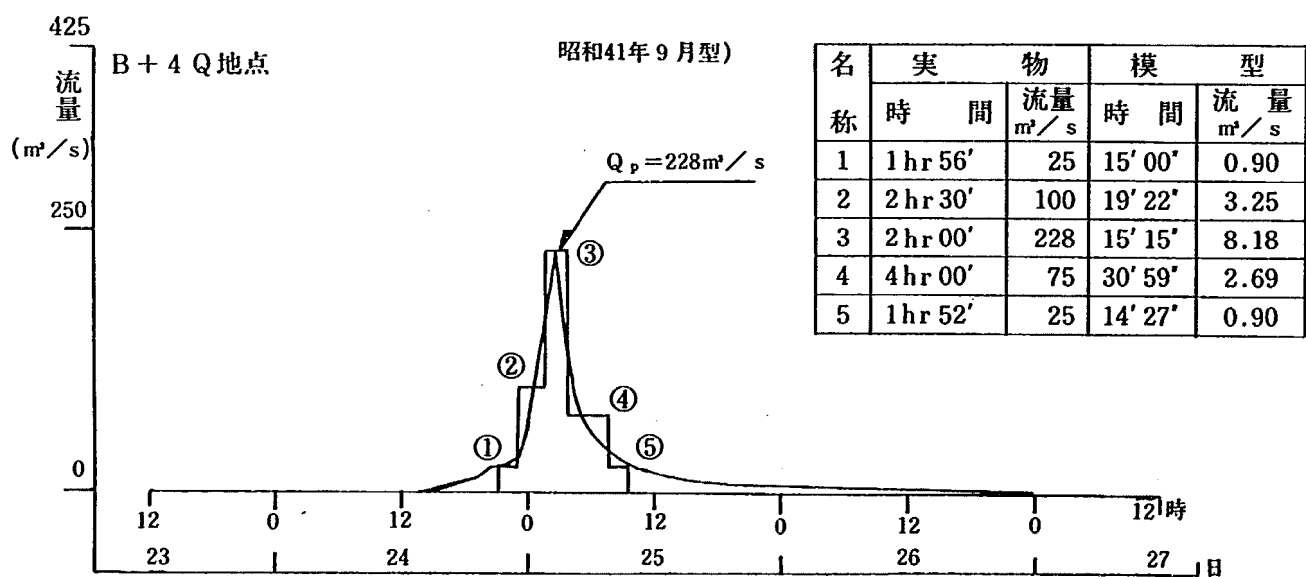
実験は18ケース行なった。その内容は表-3のとおりである。

実験条件で流量は、次のような考のもとで決めている。

- 1) 建設省富士川砂防工事事務所から提示された計画洪水波形図を図-6に示した。ピーク流量は150年確率で、大武川が546m³/sec、石空川で228m³/secとなっている。同図に実験で与えた波形流量を併記している。(大武川流出解析報告書、富士川砂防工事事務所)



図一6.(1) 大武川計画洪水流量波形



図一6.(2) 石空川計画洪水流量波形

表一 3 実験ケース

Case No	流 量	m ³ /Sec	給砂量	実 験 時 間
	大武川	石空川		
1	洪水波形	洪水波形	平 衡	95分
2	〃	〃	〃	95分
3	〃	〃	〃	95分
4	546	228	〃	60分
5	洪水波形	洪水波形	〃	95分
6	546	228	〃	60分
7	洪水波形	洪水波形	〃	95分
8	〃	〃	〃	95分
9	〃	〃	〃	95分
10	200	100	〃	60分
11	546 135 246	228 70 122	〃	25分 25分 25分
12	135	70	〃	95分
13	246	0	〃	60分
14	0	122	〃	60分
15	246	122	〃	95分
16	洪水波形	洪水波形	〃	95分
17	〃	〃	〃	95分
18	〃	〃	〃	95分

2) 定流実験は、計画高水流量 546m³/sec (石空川 228m³/sec) のほかに、30年確率流量の 246m³/sec (石空川122m³/sec) と、10年確率流量 135m³/sec (石空川70m³/sec) を対象に与えた。これは、計画高水流量を与えた場合、土砂の流送能力が増大し、河床を平坦化する現象がみられるのに対して、10年確率流量及び30年確率流量を与えた場合に、流水の蛇行現象が生じること、10年確率流量時に流入する土砂は、流路工計画区間の床固工と床固工の間に堆積して、合流点より下流に流送される土砂は僅かであるが、30年確率流量を与えると流路工内に堆積することなしに、合流点より下流に流送される等、与える流量に応じて異なる現象が生じることを考慮して決めている。

3) 図一 6 から、出水時間差はないものとして、合流部で流量が同時に到達するようにした。

§ 4 実験結果と考察

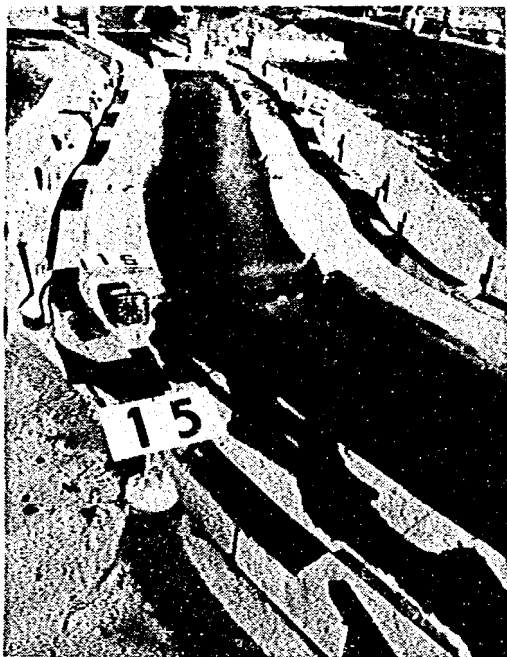
4-1 計画(案)の問題点と対策

4-1-1 流路工計画区間

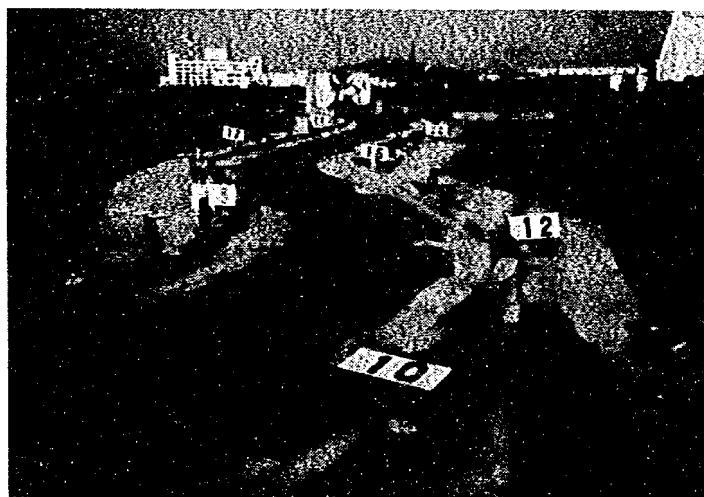
1) 石空川は、計画高水量 $228\text{m}^3/\text{sec}$ (150年確率流量)を与えた場合に、次の湾曲部で護岸越水する。

(1) 測線No17~No14の湾曲部右岸で時々越水するが量的に僅かである。(写真—1)

(2) 測線No12~No9の左岸側で0.3~0.5mの水深で護岸越水する。(写真—2)



写真—1



写真—2

このいずれの湾曲部においても、曲線半径と河幅との比 R/B が3.75と小さいこと、連結した反曲線を設けている法線形状に問題があると考えられる。図—7に同区間の通水初期河床高に対する変化高を平面的に示しているが、流水が集中する護岸沿いでの洗掘深が大きく、護岸の安全性に乏しい。

地形的条件から制約を受けて、法線形の修正が困難な場合は護岸の嵩上げをおこなって越水を防止することと、根固工か、あるいは根入深を大きくとって護岸工作物に対する安全度を高めることを考える必要性が生じる。

護岸の嵩上げ高を、グラショウの式によって算定すると次のようになる。

$$H = 2.3 \frac{V^2}{g} (\log R_2 - \log R_1) = 1.38\text{m}$$

上式で、 V は、ピーク流量時における実験値での護岸沿いの最大流速 $7\text{m}/\text{sec}$ 、 $R_2 = 170\text{m}$ 、 $R_1 = 130\text{m}$ を代入すると1.38mの嵩上げが必要となる。

実験結果によるピーク流量時における最大洗掘深は第5床固工の下流20mの位置で2.5mで、平均的には、約1.5mの洗掘深となっている。現地資料と実験結果とから護岸根入深を計画することが望ましい。

(3) 9号床固工より下流部の右岸は、法線形の影響と土砂堆積による河積不足で護岸越水する。

土砂が堆積する原因として、法線形や流路幅に加えて、既設床固工による影響が考えられるが、法線と流路幅の修正を優先して検討する。

2) 大武川本川は、法線形に特に問題がない。しかし、計画高水流量時に流水が段波状をなして前進する現象が観察され、床固工前庭部では跳水現象も加わって護岸高に余裕がなくなり、No36~25の区間で時的に越水する場合がある。(写真-3)

また、大武川本川は、10年確率流量 $135\text{m}^3/\text{sec}$ 以下の出水時に流路工内に土砂が堆積する。(写真-4)

4) そして、30年確率流量 $246\text{m}^3/\text{sec}$ 以上の出水時にこの堆積土砂を流送して、合流点の既設床固工より上流、第23床固工間に堆積させる。この区間の堆積土砂が安定する勾配に達するまで、これより下

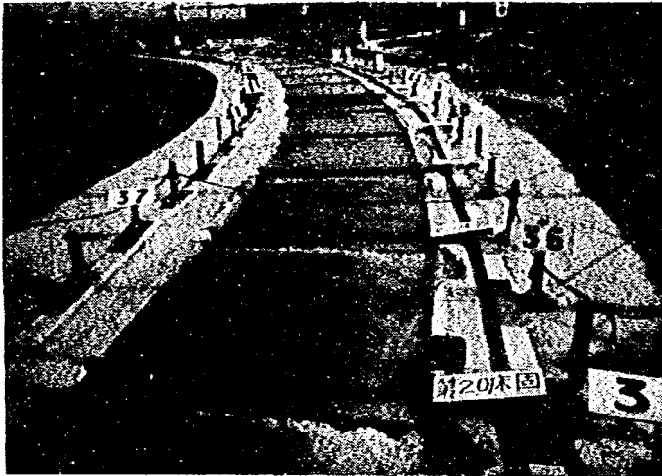


写真-3 床固工前庭部の越水状況

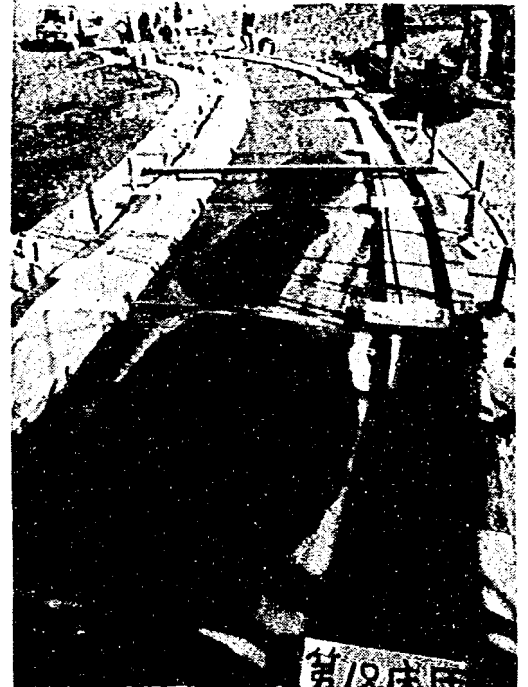
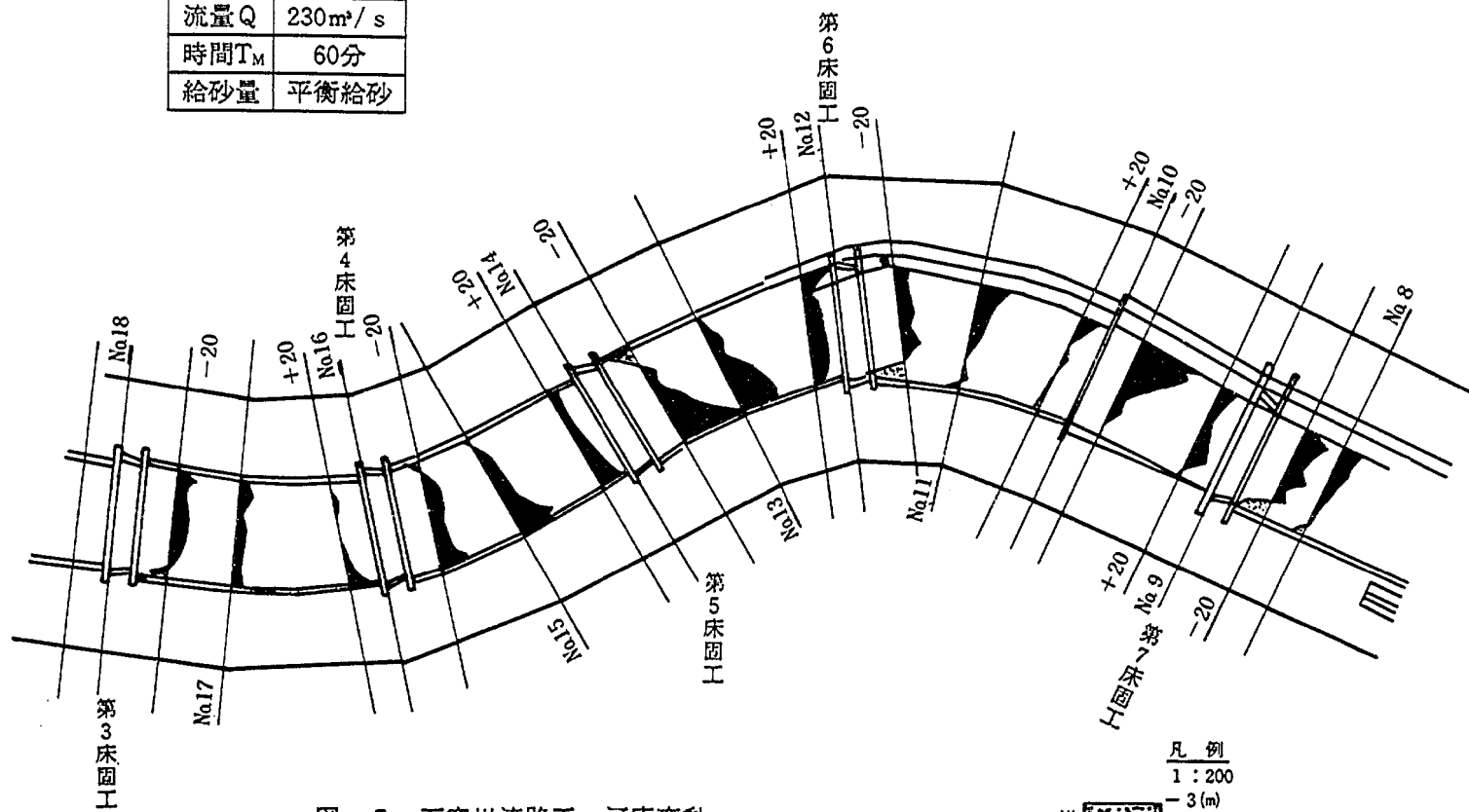


写真-4 $135\text{m}^3/\text{sec}$ 以下の流量では流路内に土砂が堆積する。

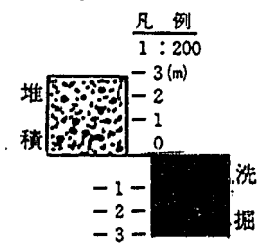
流への流送土砂は僅かである。実験結果によれば、流路工に土砂が堆積することによる越水問題は生じていないが、合流部で河床低下が生じていること、また一般の流路工で水たたき上まで土砂が堆積し、柳等の植生が繁茂している状況をみかけるが、このような状態になると流水の流過能力を減少させることからみても、流路内に土砂を堆積させない方がよい。

対策としては、床固工の形状を複断面とすると、断面No26~22間の流路幅100 mを上流流路幅と同じ80 mとする修正案が考えられる。

実験条件	
流量Q	230m ³ /s
時間T _M	60分
給砂量	平衡給砂



図一7 石空川流路工。河床変動



4-1-2 合流後の流況と河床変動

- 1) 写真-5 でみるように、合流点既設床固工の直下流で河道中央より右岸寄りにかけて堆積している土砂の影響を受けて、流水は駒城橋左岸沿いに集中し、護岸水衝部での流速は $6 \sim 7 \text{ m/sec}$ と大きい (写真-6)。駒城橋は床版より 0.5 m 下がった位置まで水位が上昇し、流水がせり上がる場合は床版下部より $0.5 \sim 1 \text{ m}$ 程度の水深で冠水する場合がある。

このように、堆積している土砂は、流況に悪影響を与えるので除石して河床整理をおこなう方がよい。

- 2) Na22地点の既設床固工下流での河床低下が著しく、床固工下流50mの位置で $3 \sim 4 \text{ m}$ の局所洗掘深が測定されている。

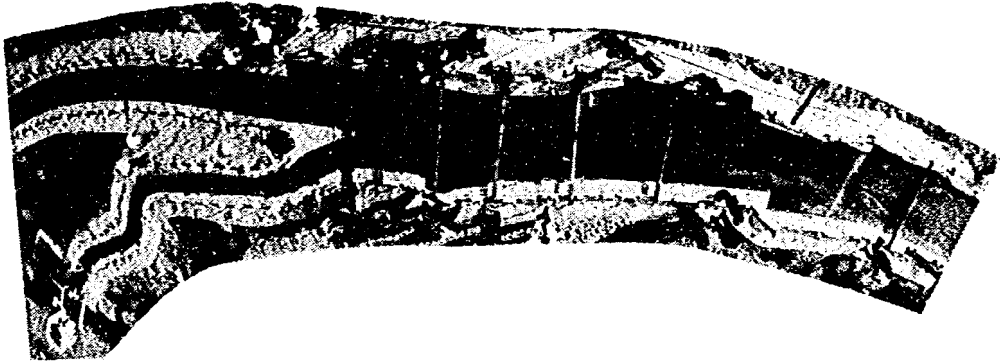


写真-5 駒城橋付近で右岸の土砂堆積によって流路は固定されている。



写真-6 流水は護岸沿いに集中して $6 \sim 7 \text{ m/sec}$ の流速が生じている。

4-2 修正案

4-2-1 法線形状と断面形状

計画(案)の問題点に対して、石空川の法線形および流路幅を図-8のような修正案を考えた。

- 1) まず、実験Na 2は、図-8で示す形状に修正した場合の実験である。実験Na 2の水位及び河床高(計画高水流量時と通水後の河床)を図-9(1)で示しているが、修正前の流況と大差がなく、第9床固工直下流の右岸は堆積する土砂の影響を受けて、ピーク流量時に越水する問題が残る。(写真-7)
- 2) そこで、実験Na 4は、流路幅を40m、合流角度 $35^{\circ} 30'$ とし、交角 $I=28^{\circ}$ 、 $R=300\text{m}$ 、 $R/B=5$ の曲線として反曲線を緩和させた。しかし、実験1、実験2と同様、ピーク流量時に左岸寄りに堆積した土砂と、右岸への流水の集中、落差工前庭部での落下水脈の乱れの影響を受けて9号床固工前庭部右岸、水たたき先端より10~15mの範囲で護岸越水する。

実験Na 1とNa 4の合流部付近の流況を図-10に示しているが、第9床固工の右岸および測線No.24付近の左岸に流水が集中していることからみても、測線No.7~No.2区間の法線形状の修正が必要だと考えられる。また、床固工前庭部での護岸越水防止のために、図-11のように護岸天端高を修正した方がよい。

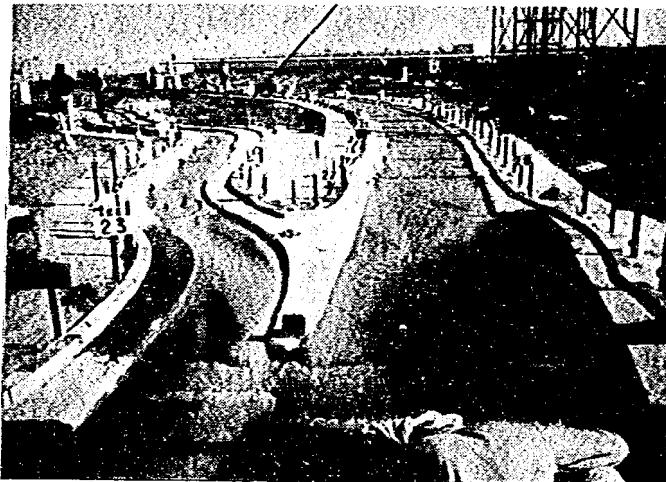


写真-7 合流部の流況
石空川は湾曲法線の影響を受けて
流水が蛇行している。

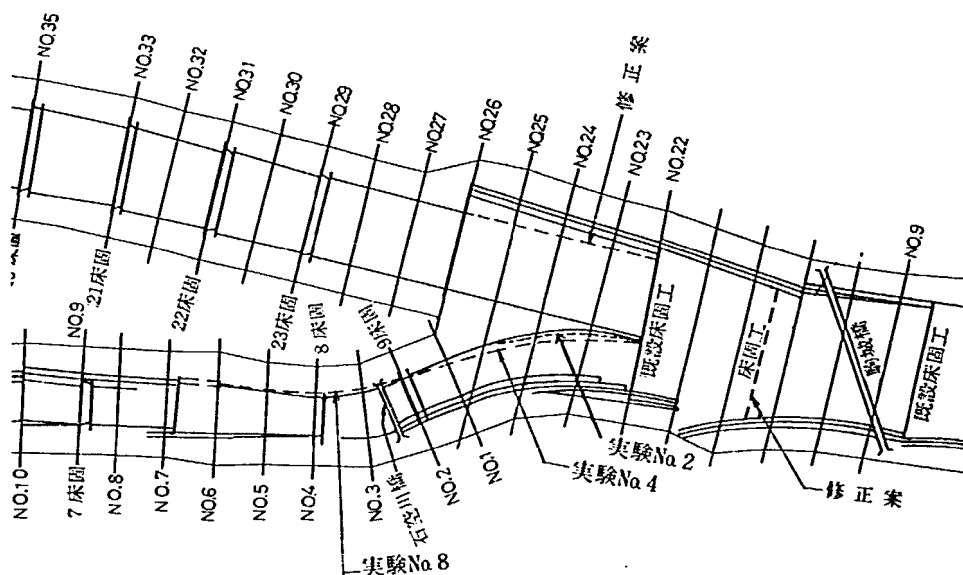
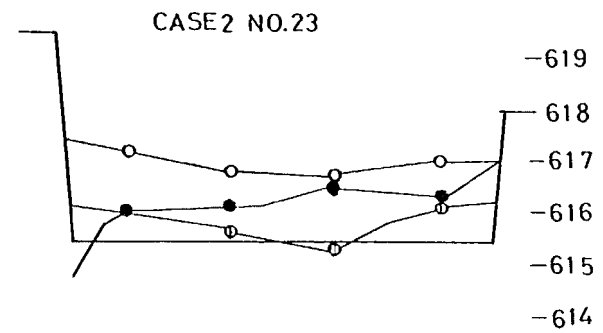
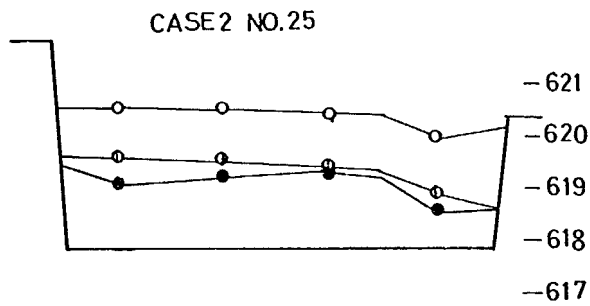
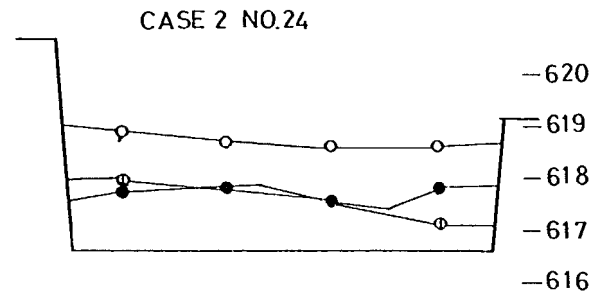
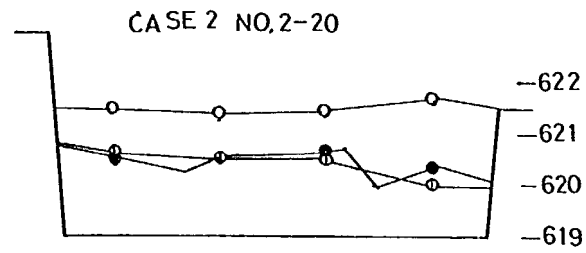
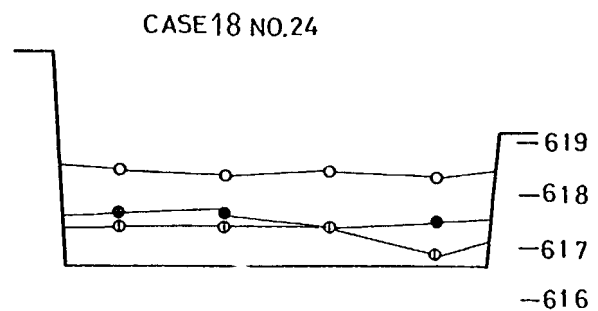
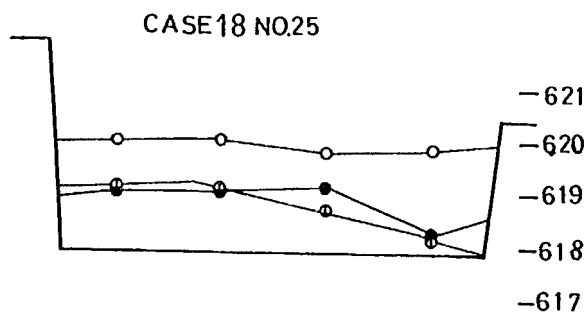
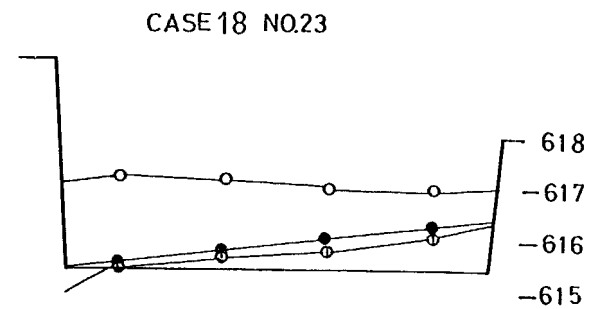
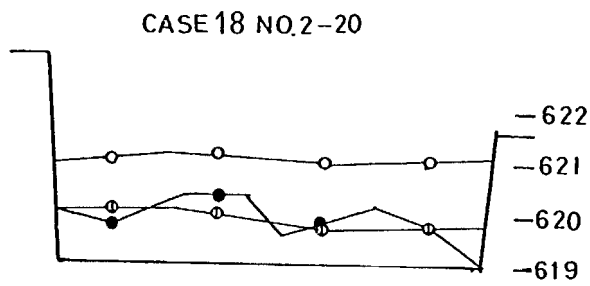


図-8 計画修正案

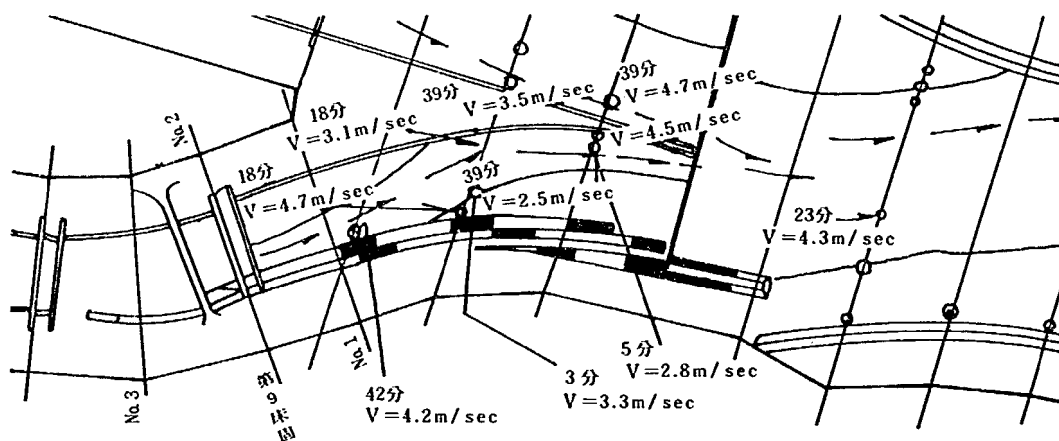
通水前	—
水位	○—○
河床	●—●
通水後	●—●



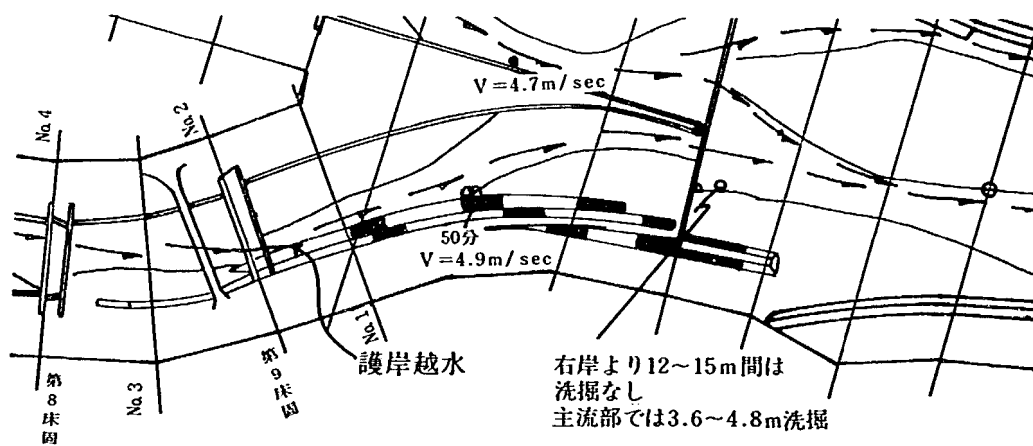
図一 9. (1) 水位及び河床高



図一 9. (2) 水位及び河床高

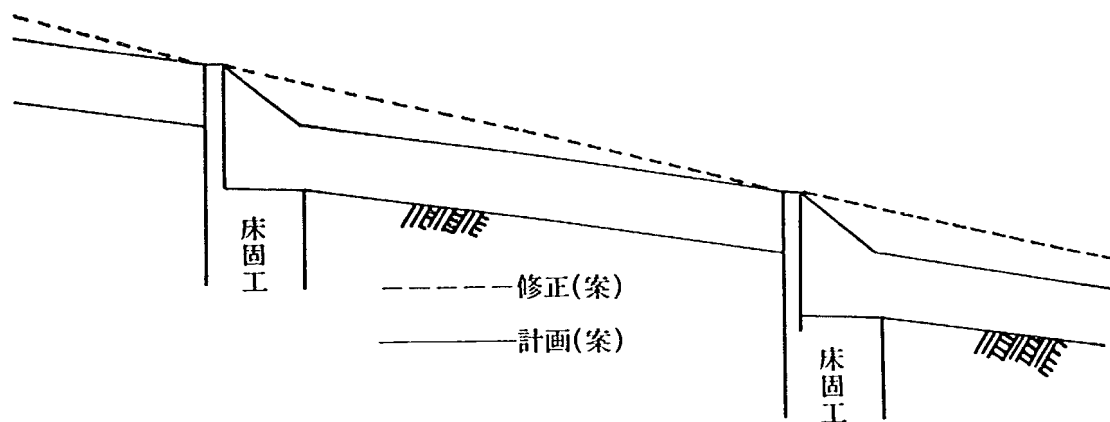


図一10(1) 実験No.1



図一10. (2) 実験No.5

図一10 石空川合流部の流況



図一11 護岸高修正案

3) 実験No18は、石空川橋に手を加えないことを考慮して、測線No.7～No.2区間の左岸法線を修正し、実験No.4の形状にすりつけた。図一9(2)で水位及び河床高を実験No.2のそれと比較すると、流路内の河床高と水位が低下する傾向を示しているが、測線No.2～20～25区間の左岸の余裕高は1m以下であり、可能であれば左岸法線はさらに左に寄せて、反曲線による影響を緩和させた方がよい。護岸法線の修正が困難な場合は左岸護岸の余裕高は1m以下となるので安全性を考慮すると護岸の嵩上げが必要となるだろう。

4-2-2 合流部の河床低下防止

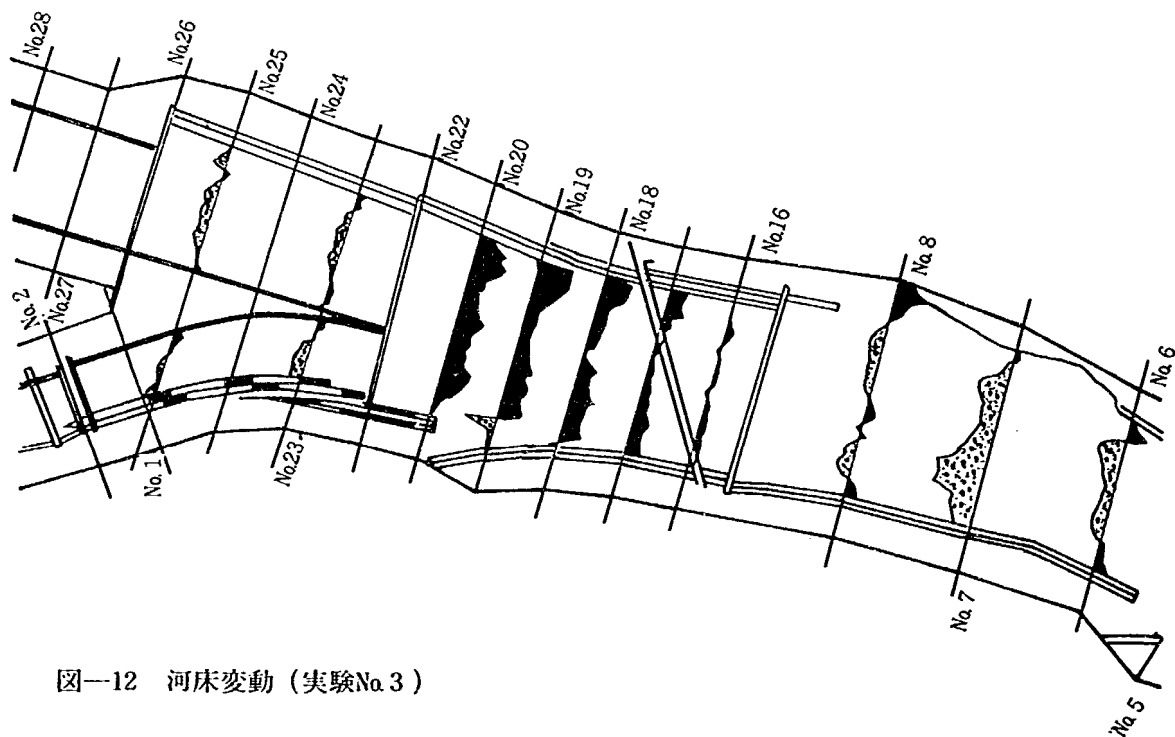
1) 計画(案)の問題点に対して、合流点より下流、測線No.9～No.22の区間にわたって1/35の勾配で河床整理をおこなった。この勾配は、測線No.22の既設床固工の水たたき天端高と、測線No.9の既設床固工の水通し天端高を結ぶ勾配である。河床整理をおこなった結果、実験No.1でみられた堆積土砂の影響による流水の片寄りは防止された(写真一8)。しかし、河床変動の状況を図一12で示しているように、既設床固工間の河床低下が著しい。特に測線No.22の既設床固工水たたき直下流で、ピーク流量時に5～6mの局所洗掘が観察測定される等の問題が生じている。通水直後における平均河床高を示したのが図一13であるが、同区間における平均河床勾配は約1/47に変化して、流路工計画区間の河床勾配にほぼ等しくなるまで河床低下している。

このことは、測線No.22の既設護岸工作物に対して安全性を欠くことになるので、横工による河床低下防止対策が必要となる。

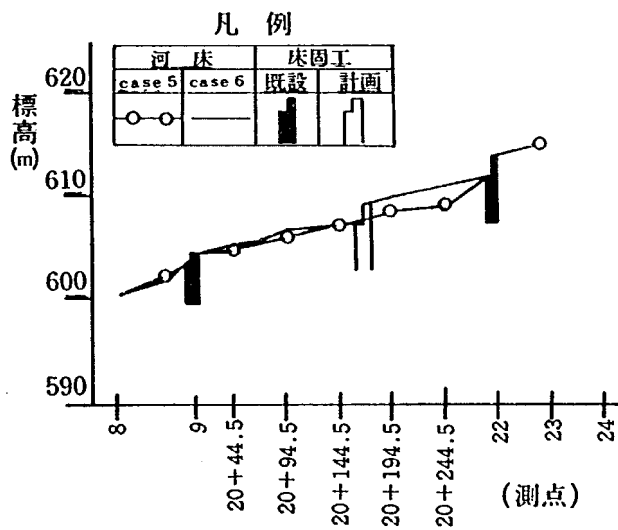
写真一8
河床整理をおこなうと実験1で
みられた流水の片寄りはなくなる。



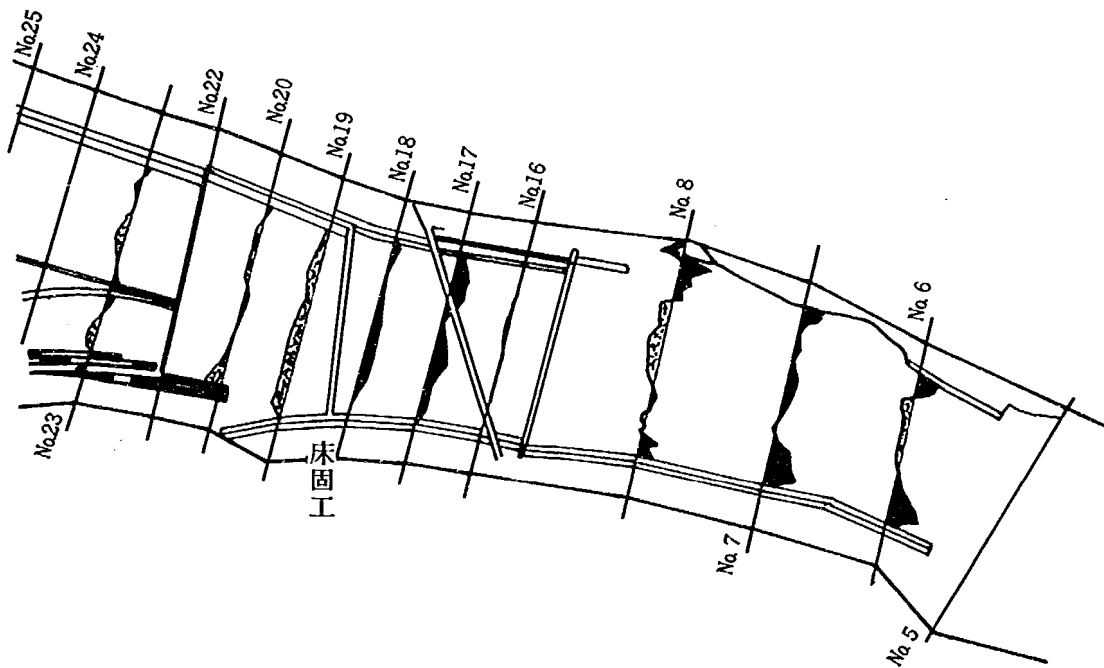
- 2) 実験Na 6は、実験Na 5の河床変動結果から、図一13に示すように駒城橋の上流70m地点に落差2mの床固工を配置して、既設床固工間の河床勾配の緩和をはかった(1/40~1/44)。図一13及び図一12と図一14で河床変化高を比較すると、床固工を配置することにより河床低下は防止されていることがわかる。
- 3) 以上のようにして、合流部における河床低下は防止され流況も安定するが、実験Na 7の流量200m³/sec時の流況を写真一9で、また、実験Na 8とNa 9の河床変動の状況を図一15と図一16で示すように駒城橋より下流で流水の蛇行が原因して、護岸沿いで局所洗掘が生じている等の問題が残されている。
- 流水の蛇行現象は、ピーク流量以下の出水時に発生し、ピーク流量時は広く分散されて流下する。



図一12 河床変動(実験Na 3)



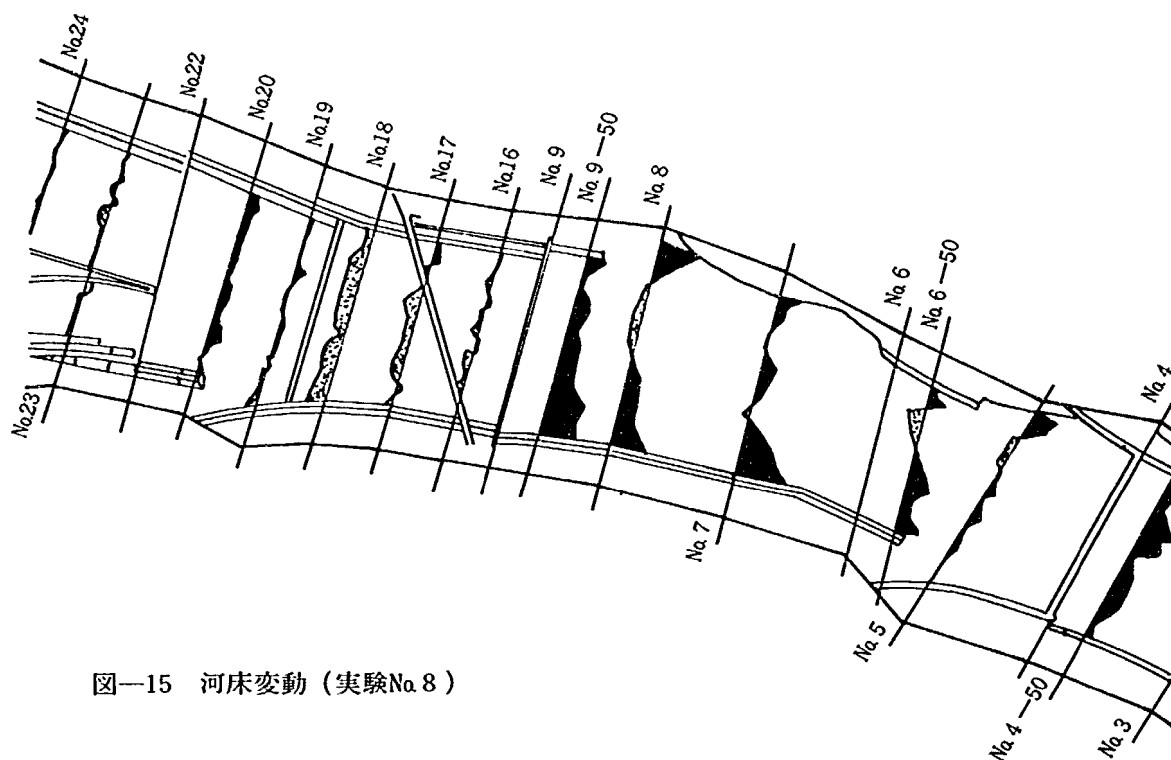
図一13 河床高縦断図 (通水後)



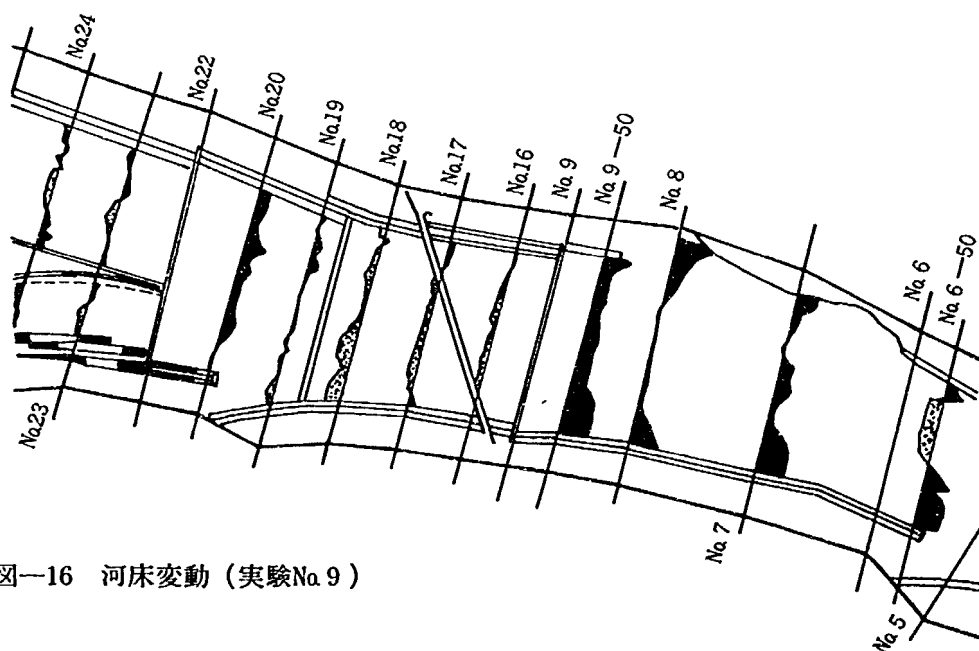
図一14 河床変動 (実験Na.6 床固工配置)



写真一9 (実験Na.7 流量 200m³/secの流況)



図—15 河床変動（実験Na.8）



図—16 河床変動（実験Na.9）

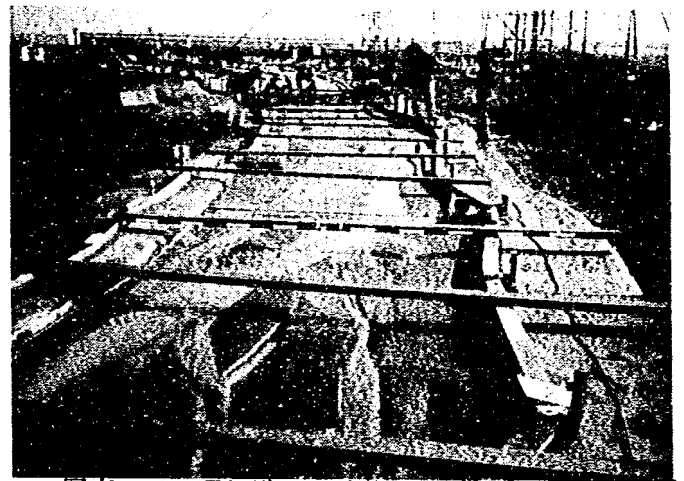
小流量時に蛇行するのは、§2で述べたようにRegime理論から α の値に関係していると考えられる。さらに、測線No.9より下流は、現河道の河床堆積物が流向を決めていること（写真—10）。災害復旧工事として施工されている護岸の屈曲部による影響も考えられる。（写真—11）

現存する床固工、護岸法線を改造しないことを前提条件とすると、次のような対策案が考えられる。

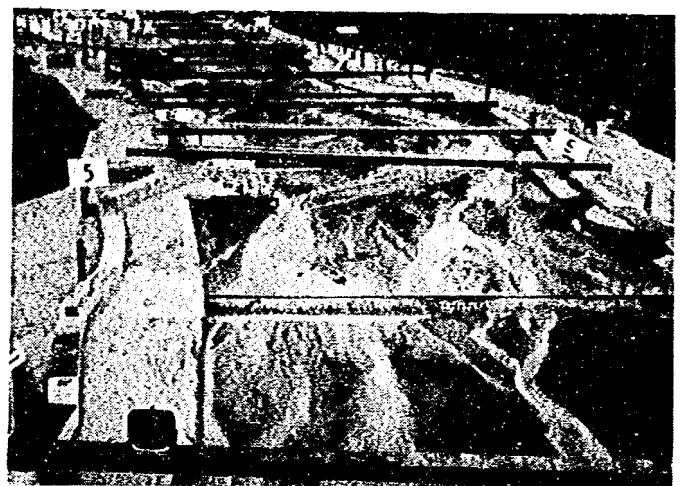
- ① 砂礫堆の高さを小さくすれば、流水の蛇行は緩和されることになると考えて、横工と砂礫堆の関係を調べた研究が発表されている。この研究は、直線水路で、一様粒径砂の実験的研究であるが、 $B/H_m 750$ の領域で帯工を $L/B=1.5$ の間隔に配置すると砂礫堆の高さを小さくする効果が認められている。大武川の場合に、この考え方が適用できると仮定すると、既設床固工間に帯工を配置する案が考えられる。

実験No.16は、図—17に示すように、No.9測線の床固工と、No.4測線の床固工の間に帯工を配置して、横工間隔を $L/B=1.8$ とした場合の実験である。図—15と図—17とで河床変動を比較すると、帯工を設置した測線No.6より上流の護岸沿いの洗掘深を小さくする効果が認められる。

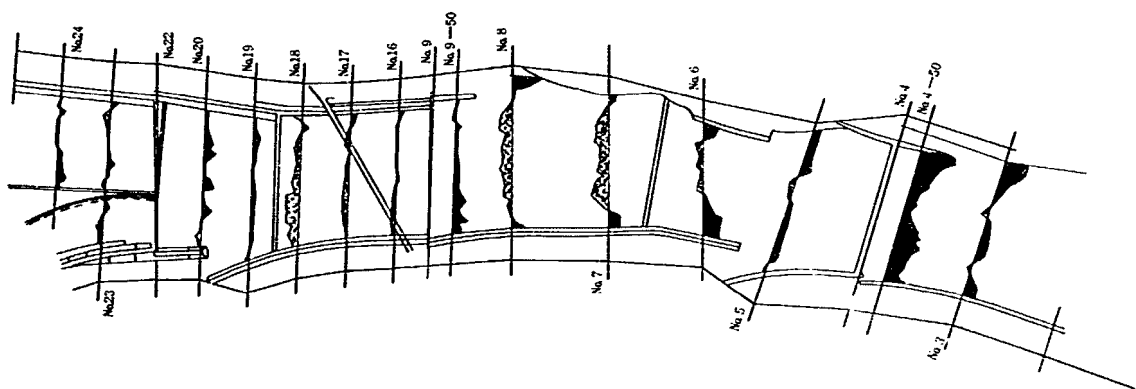
このことから、測線No.6より下流においても、帯工を流路の1.5～2倍に配置し、河床整理をおこなうことによって流況を安定させることができると推定される。



写真—10 現河道の堆積物が流向を決めている状況



写真—11 既設護岸の屈曲部が流況に影響を与える



図—17 河床変動（実験No.16）第9床固工と第4床固工間に帯工を配置

- ② 既設護岸の根入深が洗掘深に対して十分である場合は流水の蛇行をある程度許すことができる。洗掘深が大きくて、護岸根入深が不足する場合は、横工を配置して洗掘深を小さくするほかに根固工を施して護岸を保護する案が考えられる。

実験No.9は、実験No.8の河床形状にさらに洪水波形流量を重ねた実験である。図-15と図-16で河床変化高を比較すると同じ箇所でも洗掘を受けていて、3 m以上の洗掘深を受けている箇所が存在している。現地資料や現地調査と実験結果をとみくらべて根固工を施す案も考えられる。

4-2-3 合流位置、合流角度

図-8に示すような形状に合流点処理を計画すると、水理条件を変化させた河床変動状況から考察して、対岸が水衝部となって深れが生じたり、支川が合流する直下流で土砂が堆積して流過能力に影響を与える等の問題が生じていないことから、合流位置、合流角度は図-8に示す形状でよいと考えられる。

写真-12は修正案におけるピーク流量時の流況を示している。

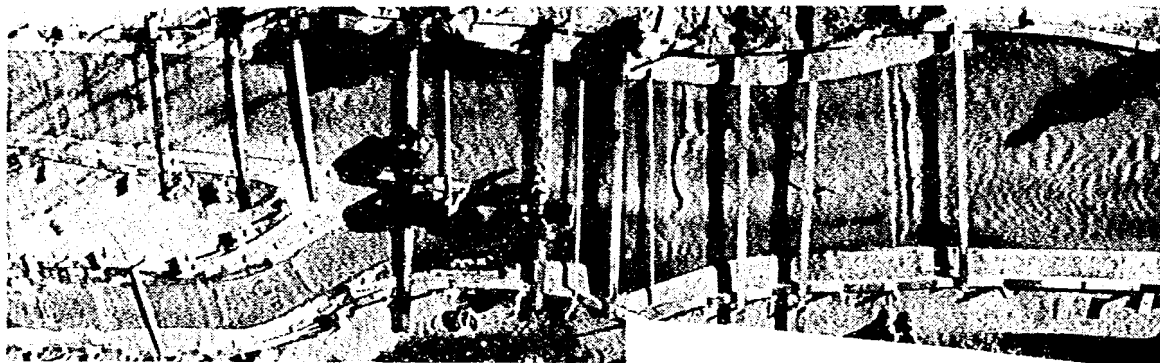


写真-12(1) 修正案におけるピーク流量時の流況

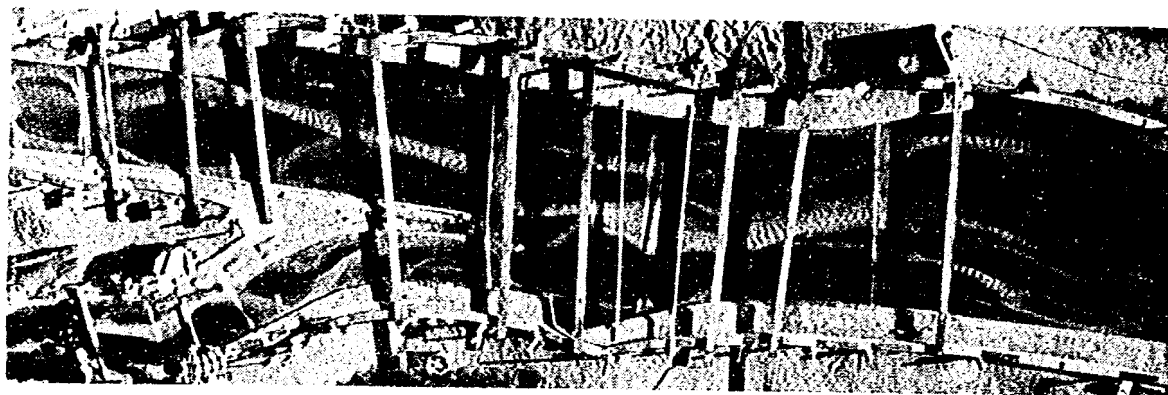


写真-12(2) 修正案における減水時の流況

4-2-4 大武川流路工計画区間の床固工の形状

10年確率流量 $135\text{m}^3/\text{sec}$ 以下の出水時に流路内で土砂が堆積することを防止するために、床固工に袖部をもうける。いわゆる複断面形状について検討した。

袖部の形状で、袖の長さが高さが問題となるが、実験では、 $B = \alpha Q^{\frac{1}{2}}$ の式で与えられる流路幅をとることにして、 $\alpha = 5$ としたときの $B = 55\text{m}$ 、 $\alpha = 3.5$ のときの $B = 40\text{m}$ について検討した。 $B = 80\text{m}$ に計画されているので、袖の長さは 12.5m と 20m となる。高さは $n = 0.06$ 、 $I = 1/45$ 、 $Q = 135\text{m}^3/\text{sec}$ の条件での等流水深 $H = 1.0\text{m}$ 、 $H = 1.2\text{m}$ からとっている。

まず、 $B_1 = 55\text{m}$ 、 $H_1 = 1.0\text{m}$ の断面形状 (type1) とした場合は、写真-13で流況を示しているように、床固工間に土砂が堆積していて袖を設けたことによる影響はあらわれていない。 $B_2 = 40\text{m}$ 、 $H_2 = 1.2\text{m}$ の断面形状 (type2) にすると写真-14で示すように、土砂堆積の問題は解消されている。しかも type2 の形状の場合、ピーク流量時に流水がせり上がって、床固工上流部では護岸高に余裕がなくなり、写真-15で示すように湾曲部の左岸で越水する場合があること、床固工前庭部、中央での局所洗掘深が大きくなる等の問題も生じる。これは袖高が大きすぎたことによる影響が考えられる。袖高の低い条件での検討がさらに必要となり、床固工における袖の効果について今後実験的研究を進めたい。



写真-13 (流量 $135\text{m}^3/\text{sec}$)
床固工袖長 12.5m 、袖高 1m の
type1 の場合は床固工間に土砂
が堆積している。

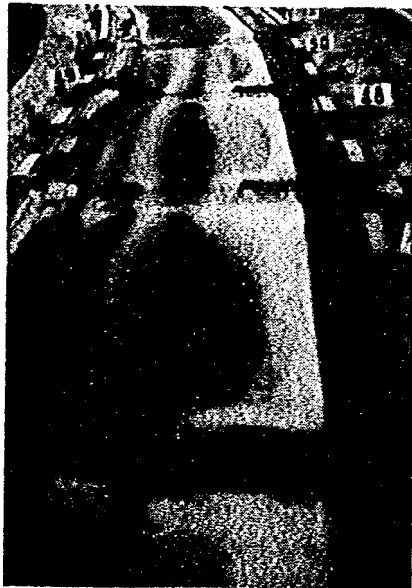
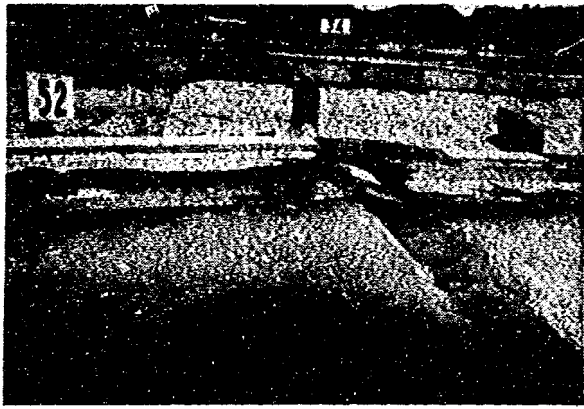


写真-14 (流量 $135\text{m}^3/\text{sec}$)
床固工袖長 20m 、袖高 1.2m の
type2 の場合は
床固工間の土砂堆積の問題は解
消されている。



写真—15 (流量 $546\text{m}^3/\text{sec}$)
type2の袖を設置すると流水の
せり上がり背水で護岸越水が生
じる場合がある。

§ 5 ま と め

1. 対岸に水衝部をつくらないこと、死水域が生じて土砂が堆積し、流過能力に影響を与えないこと、合流部に異常土砂の堆積や洗掘を生じないこと、護岸や床固工及び橋脚などの河道工作物が安全であること等の観点からみて、大武川流路工計画は図—8のように提案される。ただし、石空川合流部の法線は、石空川橋かけ替え、曲線半径を大きくし、反曲線による影響を小さくすることが望ましい。
2. 計画(案)に対する実験的検討から主な内容を整理すると次のようになる。
 - 1) 石空川
 - (1) 石空川9号床固工～合流点にかけて、曲線半径が小さいことや反曲線の影響を受けて流水は蛇行する。これに加えて、土砂が堆積することによって護岸越水を生じさせるので、図—8に示すように法線と流路幅の修正が必要となる。修正案においても、測線Na2—20～Na25の左岸で計画高水流量時に余裕深が1 m以下となる。
 - (2) 測線Na17～Na14の右岸、Na12～Na9の左岸で越水ですので嵩上げが必要となる。グラショウの式から算定すると必要な護岸嵩上げ高は1.4 mとなる。嵩上げをおこなうと護岸越水はなくなる。また、測線Na12～Na9の左岸に流水が集中して、深掘が生じるので根固工を施す方が安全である。
 - 2) 大武川
 - (1) 流路工区間では、流量 $135\text{m}^3/\text{sec}$ (10年確率) 以下の出水時に土砂が堆積する。この問題は床固工を複断面形状(袖長20 m、袖高1.2 m)にすると解消する。しかし袖を設けることにより、計画高水流量時に流水のせり上がり背水の影響で護岸高が不足する。この現象は、特に左岸で多くみられる。また、袖を設けることによって床固工前庭部の中央で局所洗掘深が大きくなる等の問題が生じている。 $135\text{m}^3/\text{sec}$ 時の平均水深は0.7 mであることからみて、袖高を0.7 m程度に低くした方がよいと推察されるが、袖の効果について今後実験的研究を進める必要があることを感じている。
 - 3) 現河道の合流部に堆積している土砂は、流水を左側に向け、護岸沿いに集中させるのでこれを除石しておく必要がある。又上流部で流路工が完成すると、合流部は河床が低下する。河床低下を防止するためには合流部に床固工の設置が必要となる。合流部下流での河床低下や流水の蛇行による局所洗掘防止に対しては、河床整理をおこなって、床固工間に帯工を配置すると効果がある。
 - 4) 合流角度、合流位置については特に問題がない。

お わ り に

本実験は、合流点より上流に流路工が完成していることを前提条件にして合流点処理計画を検討しているが、石空川流路工の法線形状で、曲線半径が小さいことや、連続して反曲線をもうけていることによる、流況や河床変動に与える影響が大きいことを、実施計画に当って考慮することが大切である。

本実験を進めるにあたって、関東地建富士川砂防工事事務所の渡辺昌弘所長、門間調査課長をはじめ、多くの方々に大変お世話になった。また、データ整理は、土木研究所砂防研究室、鈴木浩之技官に負うところが大きい。

上の方々に深く感謝いたし、厚くお礼申しあげる。

参 考 文 献

- 1) 山本三郎 河川工学、朝倉書店、P160~161 昭和33年
- 2) 細井正延、稲田 裕、橋本 清 河川16わかりやすい土木講座、彰国社、P152~155 昭和47年
- 3) 安芸岐一 河川合流点の調整について、土木試験所報告46号、昭和14年
- 4) 須賀堯三 合流点処理の調整法、土木技術資料7-12、昭和40年
- 5) 千田 稔 実用河川計画、一中小河川改修計画の理論と実際一、理工図書、昭和46年
- 6) 池谷 浩、伊巻幹雄 急勾配河川における水理特性一特に河幅と粗度について一土研資料第1309号
昭和53年
- 7)、8) 阿部宗平、伊巻幹雄、北山滋基 急勾配河川における砂礫堆に関する研究(第3報)一床固
工の効果について一
昭和55年度砂防学会研究発表会概要集、昭和55年