

六戸島瀬割堤水理模型実験報告 (第1報)

竹本成行* 村崎 弘**

まえがき

石狩川と雨竜川の合流点は両河川の流れの性質の違いから合流点の位置を幾度も変えるなど、河道の変遷がはなはだしく複雑な河状を呈している。そこで両河川の相互干渉を緩和し、合流点の安定を計る目的で瀬割堤が計画された。この瀬割堤の規模は延長約1,600 m、総土量約50万 m^3 におよび、完成には昭和42年度から48年度までの7箇年を要する予定となっている。

本文は、この瀬割堤について計画法線の線形、延長の水理的適否の検討と、瀬割堤の保護および河道維持計画の資料を得るために、昭和42年度に行なった固定床模型実験の結果をとりまとめたものである。なおこの実験に必要な資料は依頼者の石狩川開発建設部から提供を受けた。

1. 現地河川について

雨竜川の合流点付近、六戸島地区の現況は次のようである。

1-1. 平面形状

河川改修計画に基づいてこの地区の河道整理および築堤工事は図-1のようになりに進捗してきている。例えば本流では芽生新水路、江部乙第2新水路、六戸島新水路など、雨竜川では追分第3新水路が開削され、築堤工事はほとんどが暫定断面ではあるが無堤地区は解消されている。合流点付近の堤防法線間隔、低水路巾は図-2のようである。図-2は後述の横断測量成果から各測線上の巾を求めたものであり、低水路巾は低水路法肩の巾である。なお改修計画河道定規図では次のようになっている。

区間	堤防法線間隔(m)
本流 ($\frac{3}{90} \sim \frac{0}{107}$)	650
本流 ($\frac{0}{107} \sim \frac{0}{125}$)	500
雨竜川 (合流点 $\sim \frac{6}{21}$)	300
低水路敷巾(m)	低水路法勾配
90	1 : 2

*河川研究室主任研究室 **同室

70	1 : 2
70	1 : 2

現状の低水路敷巾と定規図から求めた平均低水路敷巾を比較すると、現状の巾のほうが本流のほとんどの区間で広く、雨竜川では $\frac{4}{3}$ より上流の区間でやや狭い所が多い。

瀬割堤の進捗状況は、現在までに北海道開発青年隊の手によって根付部分が完成している。

1-2. 縦断形状

本流について昭和41年度測量(500m間隔)、雨竜川について昭和37年度測量(200m間隔)の横断面図から求めた平均低水路高、平均高水敷高、最低河床高の縦断変化を図-3(石狩川)図-4(雨竜川)に示す。なお合流点付近の計画河床勾配は、本流の $\frac{0}{107}$ より下流 $1/1,450$ 、 $\frac{0}{107}$ より上流 $1/934$ 、雨竜川 $1/1,560$ である。

1-3. 計画高水流量

この地区の計画高水流量は、合流前では石狩川4,100 m^3/s 、雨竜川2,500 m^3/s であるが、合流後は石狩川に4,100 m^3/s の出水があるとき雨竜川は1,300 m^3/s の出水があると推定し、5,400 m^3/s となっている。なお雨竜川流域に主体降雨がある場合の100年確率流量は、合流点より約10km下流の橋本町でピーク流量5,250 m^3/s と算出されている。

1-4. 粗度係数

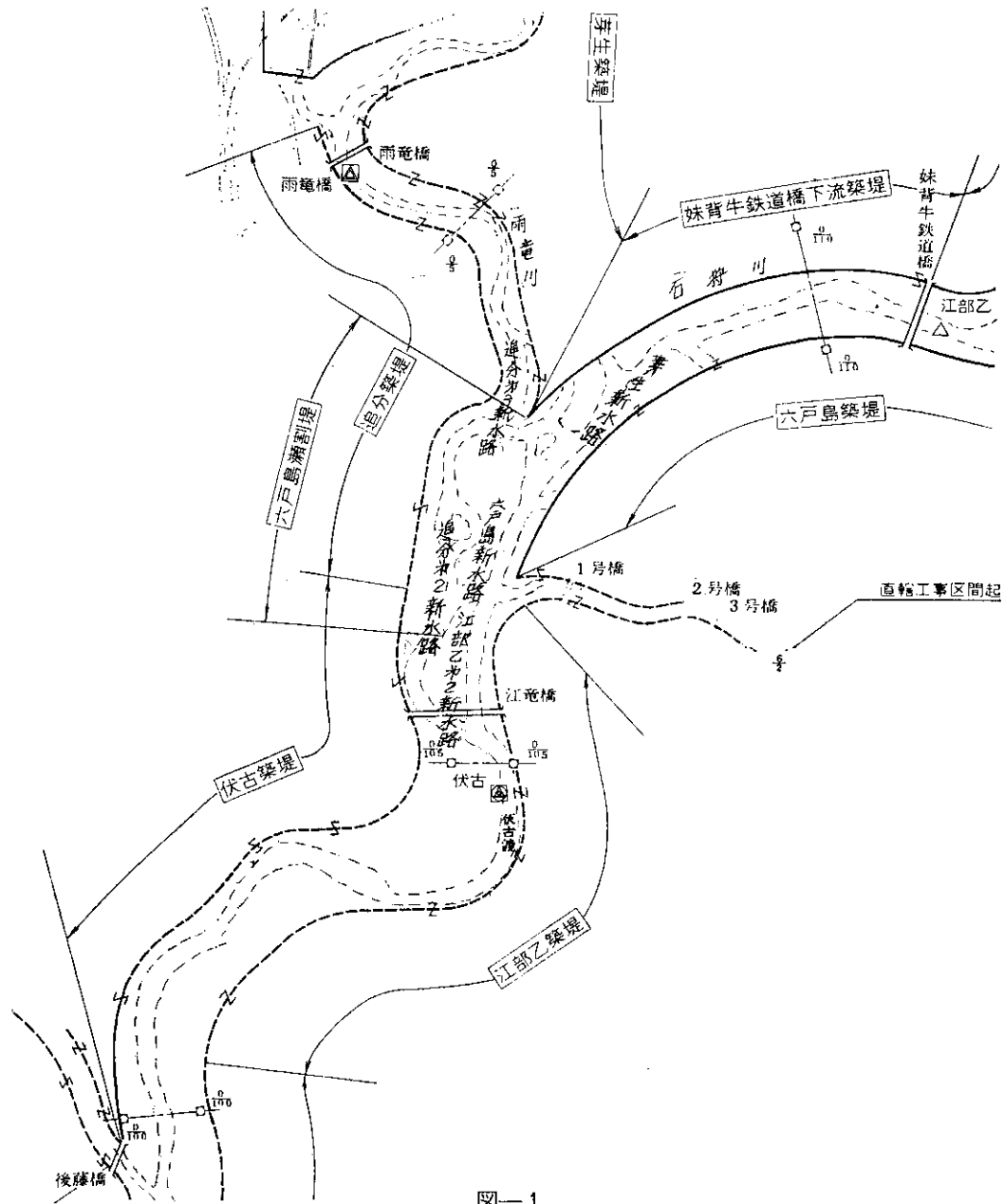
改修計画の水理計算に用いられた粗度係数は、低水路0.025、高水敷0.050、全断面を考慮した等価粗度係数0.030である。また合流点に近い石狩川 $\frac{7}{104}$ 地点の伏古、および雨竜川 $\frac{2}{5}$ 地点の雨竜橋の両水位流量観測所における昭和40年以降の流量観測成果から粗度係数を求め、流量との関係を見ると図-5のようになり、流量が増して行くと粗度係数は一定値に近づく傾向をみせている。

2. 実験の概要

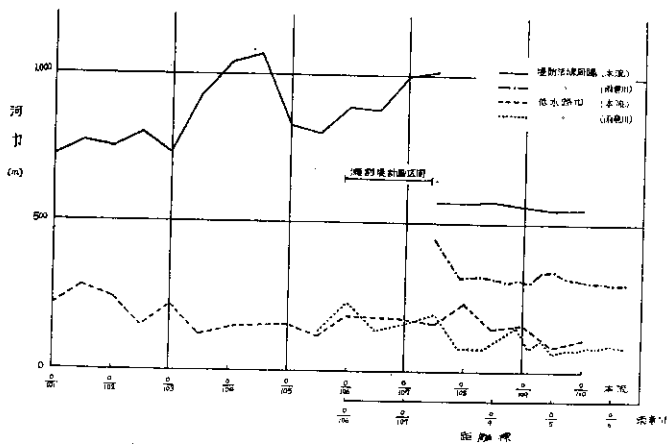
2-1. 水理条件

実験測量は本流、雨竜川に種々の流量を与え、いろいろな組み合わせによって小さい流量から計画流量まで採らなければならないが、依頼者と検討を重ねた結果、計画高

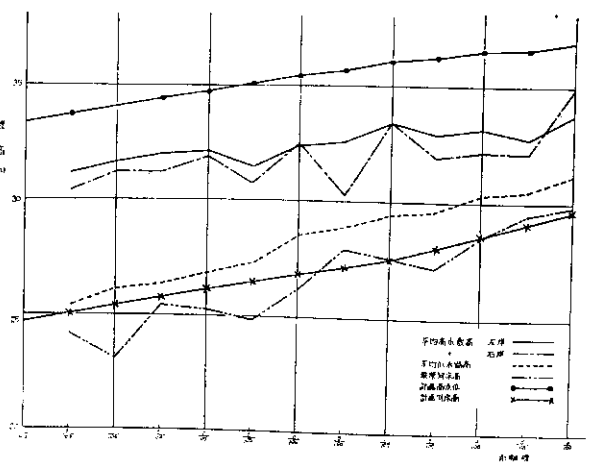
(本文4ページへつづく)



图—1



图—2



图—3

水流量の組み合わせとし、瀬割堤施工前後の流況を比較することにした。

粗度係数は改修計画書どおり低水路0.025、高水敷0.050を用いた。ただし低水路については図-4のように最近の実測値からも0.025は妥当な値であることを確認したが、高水敷に対しては検討する資料がないので0.050が妥当かどうかは不明である。

模型下流端水位の決定は、実測値のある伏古水位流量観測所の水位によることが望ましいが、実測測量の最大値が1.170m³/sと小さく、この成果から得られた水位流量曲線を延長して用いることはできないであろうし(図-6参照)また現計画高水位は昭和27年度測量の横断面図を用いて計算されたもので、河道整理が進んだ現在の河道にそのまま適用することにも疑問があるので、ここでは $\frac{5}{103}$ 断面を選び、昭和37年8月洪水の痕跡水位勾配1/2,130を用いて等流計算を行ない計画高水流量5,400m³/sに対する水位を33.60mと定めた。

2-2. 模型について

図-7に示すように模型は本流の距離標 $\frac{5}{101}$ から $\frac{0}{110}$ 雨竜川の距離標 $\frac{4}{6}$ までの範囲を取り入れ、水平縮尺1/200垂直縮尺1/50で製作した河床面モルタル仕上げの固定床模型である。模型製作に用いた図面は、昭和35年度測量の1/5,000改修計画平面図と1-2で述べた横断面図である。なお瀬割堤の施工にともなって開削される追分第2新水路は、まだ設計法線が決定されていないが、呑口、吐口を除く中間部分の表土がすき取られているので、法線はこれにならい、断面形状は改修計画河道定規図にしたがうように定め、縦断勾配は現在の河床高にすり付くようにした。

2-3. 相似律

河川の模型では水面勾配の変化が比較的小さいので重力の作用する割合も小さく、それに対して河床における摩擦力は河川の長い区間を取り入れるため無視できなくなる。したがって一般に開水路の水理模型実験で用いられるフルードの相似律はそのまま適用できない。このようなときは、運動方程式が原型と模型とで等しくなるようにして相似の成立を計るが、抵抗法則としてマンニングの平均流速公式を用いるなら粗度については次式を満足するように模型を製作しなければならない。

$$n_r = x_r^{-\frac{1}{2}}, h_r^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots(1)$$

式中、 n_r は原型と模型との粗度係数の比、 x_r は水平長さの比、 h_r は垂直長さの比である。

本模型は実験場の広さと模型の流れを十分乱流にする必要から $x_r=200$ 、 $h_r=50$ としたので(1)式から $n_r=0.96$ となる。すなわち模型の粗度係数は実物のそれと同程度

にする必要がある。しかし、モルタル床のままでは粗度が小さいので、粗度の補正をしなければならないが、模型水路においてここで対象としている実物と同じ程度の粗度係数を得ることはかなり困難であるので各断面での平均流速公式(ここではマンニングの式)が模型と実物の間で相似関係を保つという近似的な考えを適用した。

したがって流速の比(U_r)、流量の比(Q_r)は次のように

$$U_r = n_r^{-1}, x_r^{-\frac{1}{2}}, h_r^{\frac{7}{6}} \dots\dots\dots(2)$$

$$Q_r = n_r^{-1}, x_r^{\frac{1}{2}}, h_r^{\frac{13}{6}} \dots\dots\dots(3)$$

実際には流量を種々変化させ、小砂利をまくなどできるだけ(1)式の条件を満足させるように粗度を補正し、不等流計算水位に一致するようにして、流量比を求めた。このようにして得た流量比は $Q_r=56,550$ である。

2-4. 実験の種類および測定項目

実験の種類は次の4種とした。

現河道状態で

石狩川 4,100m³/s, 雨竜川 1,300m³/s……case 1

石狩川 2,900m³/s, 雨竜川 2,500m³/s……case 2

現計画に基づいて瀬割堤が施工された状態で

石狩川 4,100m³/s, 雨竜川 1,300m³/s……case 3

石狩川 2,900m³/s, 雨竜川 2,500m³/s……case 4

case 2および4の流量組み合わせは、雨竜川が計画高水流量のときの合流後の流量が、合流後の計画高水流量に近い値であり、かつ模型下流端水位の決定が近似的方法によっていることから、case 1および3との比較を容易にするため、合流後の流量が計画高水流量に一致するように本流の流量を定めた。

測定項目および測定断面は次のとおりである。

$$\text{水位: } \frac{0}{103}, \frac{5}{103}, \frac{0}{104}, \frac{5}{104}, \frac{0}{105}, \frac{5}{105}, \frac{0}{106}, \frac{5}{106}, \frac{0}{107}, \frac{5}{107}, \frac{0}{109}, \frac{2}{4}, \frac{0}{6}$$

$$\text{流速: } \frac{0}{103}, \frac{5}{103}, \frac{0}{104}, \frac{5}{104}, \frac{0}{105}, \frac{5}{105}, \frac{0}{106}, \frac{5}{106}, \frac{0}{107}, \frac{5}{107}$$

流向: $\frac{0}{103} \sim \frac{0}{108}$ の範囲

水位は横断面内の12~17点でポイントゲージによって測定し、流速は水位と同じ横断面内測点に垂直測線を設けピトー管で測定した。また流向は表面浮子を流した状態と、過マンガン酸カリの水溶液を流した状態を写真に撮って考察した。

3. 実験の結果と考察

3-1. 水 位

水位の縦断変化を図一8~10に、横断変化を図一11に示す。水位縦断は横断各測点の水位の算術平均で表わしたものであり、case 1, 2の場合の瀬割堤が計画されている区間の水位は、計画瀬割堤法線によって石狩川、雨竜川に分離して平均水位を求めたものである。なお $\frac{0}{109}$ 、 $\frac{0}{6}$ 断面はまだ助走区間にあると思われるが、一応測定して比較した。現河道状態の実験case 1, 2の水位を観察すると、合流直前の $\frac{5}{107}$ 断面の水位は本流より雨竜川が低く、また本流はこの付近で弯曲しており、雨竜川は凹岸側にあるため、本流の流れは雨竜川に流れ込む傾向が見られ、 $\frac{0}{107}$ から $\frac{0}{106}$ にかけて雨竜川の水位はかなり盛り上がる。この傾向はcase 1の場合、特に顕著で、瀬割堤先端が侵食される危険と新たな低水路蛇行を発生させる恐れがある。瀬割堤の施工によって石狩川から雨竜川へ横溢流のような形で入る流れを防ぐため、図一7, 8に見られるように石狩川の水位は上昇し、雨竜川は低下する。

3-2. 流 速

流速の横断分布を図一12, 13に示す。これは横断面内の各垂直測線の平均流速を図示したものである。

本流の流れは、case 1, 2の場合 $\frac{5}{107}$ から $\frac{0}{106}$ にかけて

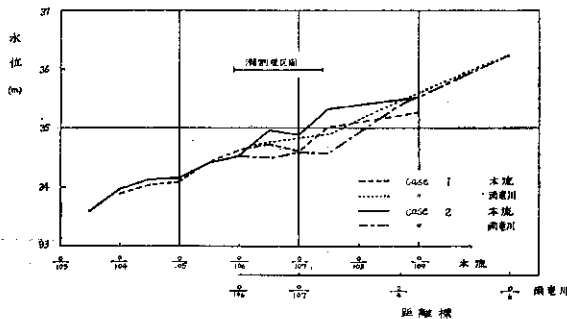
本流から雨竜川に向かう流れがあるため、左岸側の流速が減少し $\frac{5}{106}$ 付近の左岸には死水域が現われる。瀬割堤を設けたcase 3, 4では左岸の流速が増加し、死水域もかなり小さくなり、瀬割堤施工前後の水位差が小さい $\frac{0}{106}$ 断面では、雨竜川に向かう流れを防ぐことによる流量増のため流速の増加が明らかに認められるが、上流部は水位が上昇するため流速の変化は小さく、 $\frac{5}{107}$ ではやや減少する。

一方、雨竜川の流れは、 $\frac{4}{3}$ 、 $\frac{6}{3}$ 断面（追分第3新水路区間）の高水敷が高いためほとんどの流量が低水路を流れ、追分第3新水路の吐口が急拡部となる形状であるため、case 3, 4では水流が兩岸からはく離し逆流領域ができる。この範囲はcase 4の場合でも $\frac{5}{106}$ 付近にまで達している。瀬割堤施工前後の流速を比較すると、case 4の場合、追分第3新水路の上流側がcase 2の場合より水位が高くなるため水面勾配が急となって $\frac{0}{107}$ では非常に大きくなる。 $\frac{0}{107}$ では大きな変化は見られないが $\frac{0}{106}$ 、 $\frac{5}{105}$ では瀬割堤の施工によって流速は減少し、特にcase 1に比較するとcase 3の変化が顕著である。

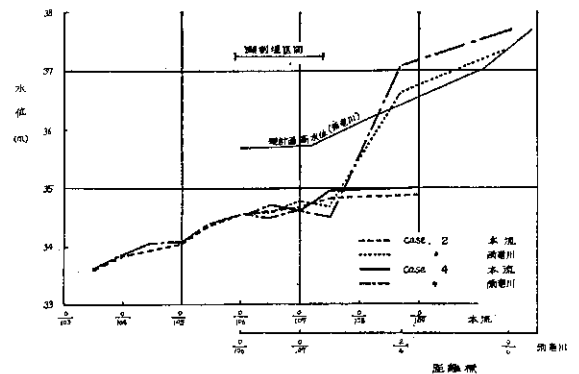
3-3. 流 向

表面浮子を流した状態を写真一1~4に、過マンガン

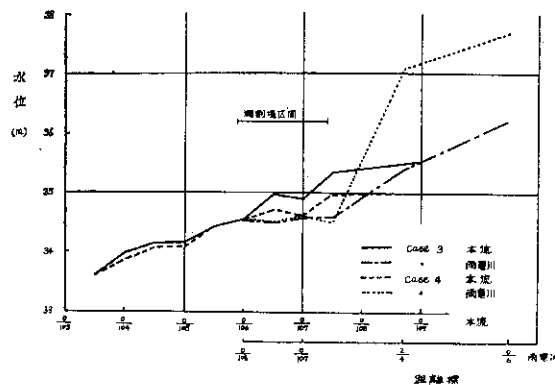
(本文11ページへつづく)



図一8



図一9



図一10

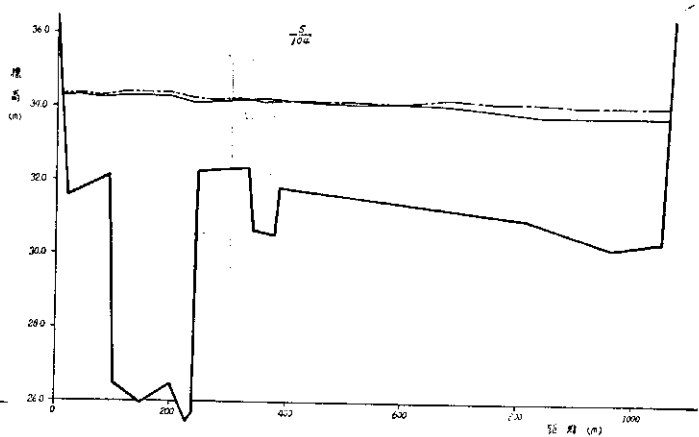
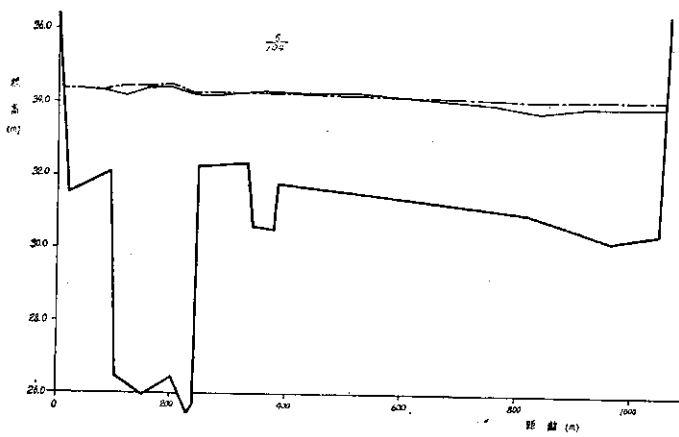
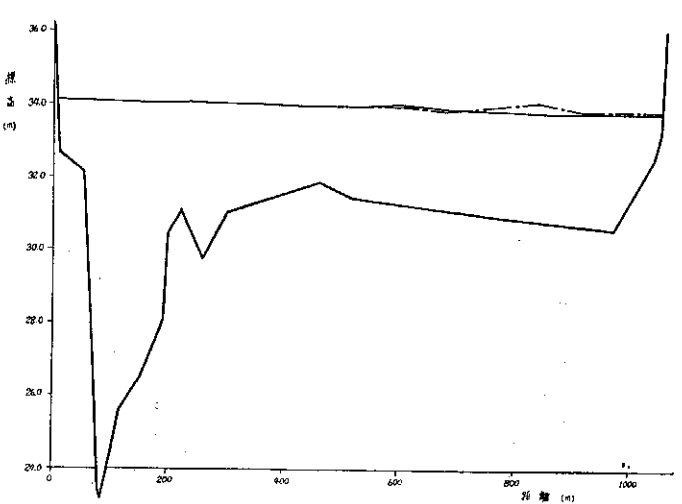
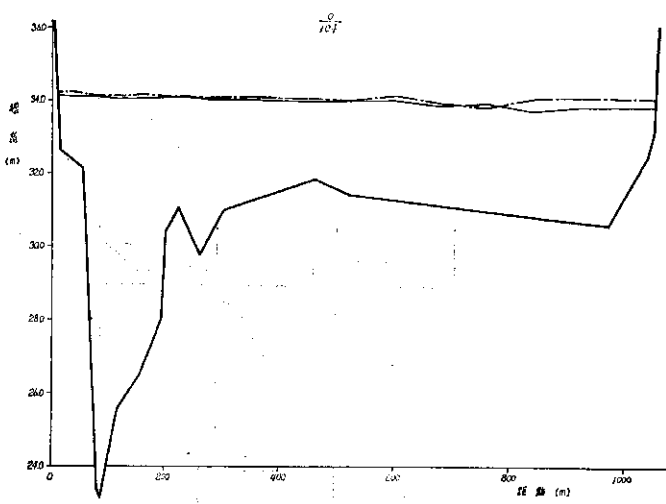
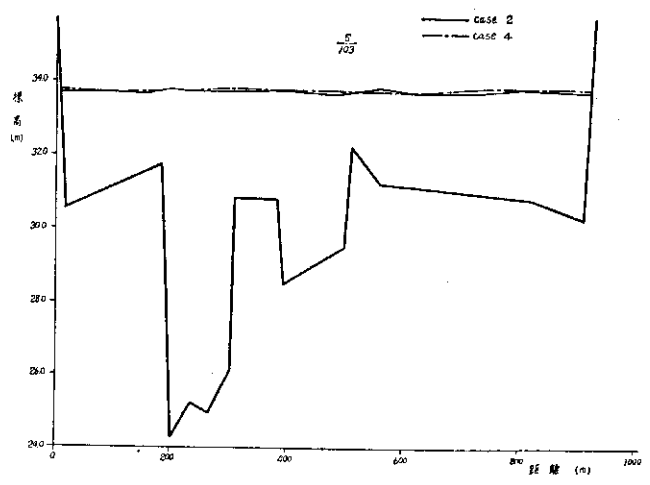
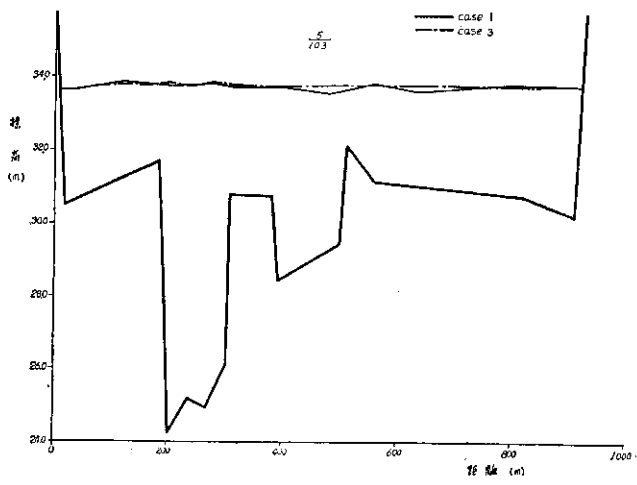


图-11.1

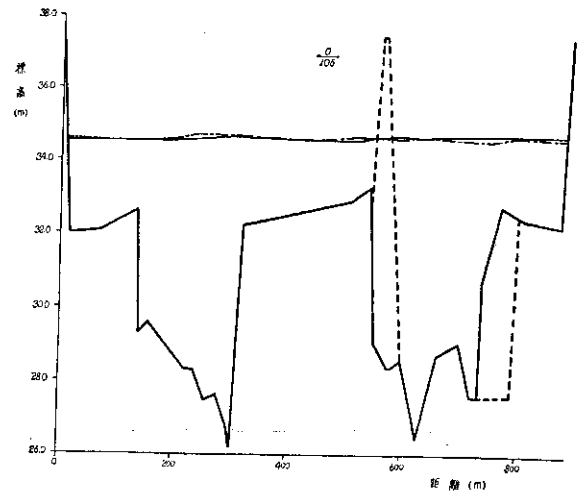
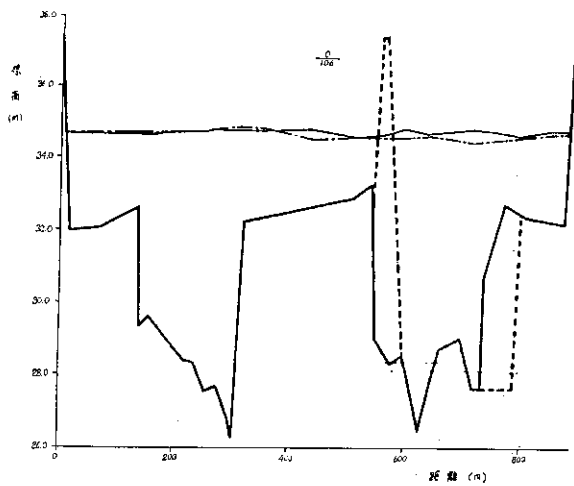
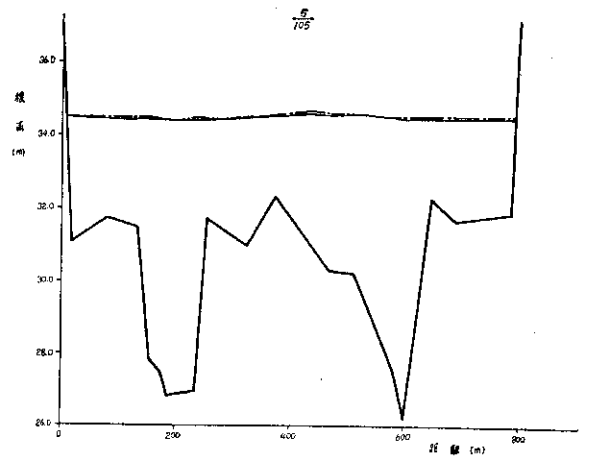
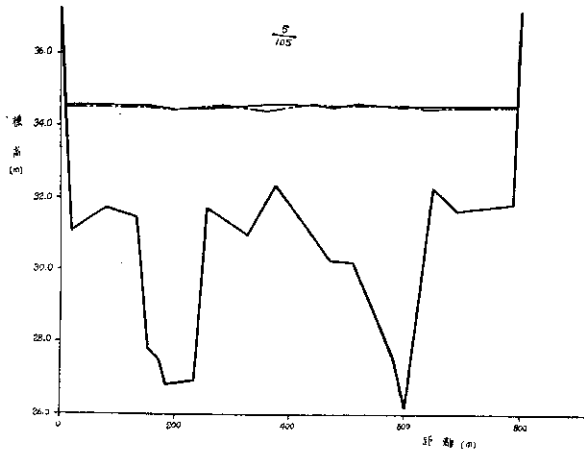
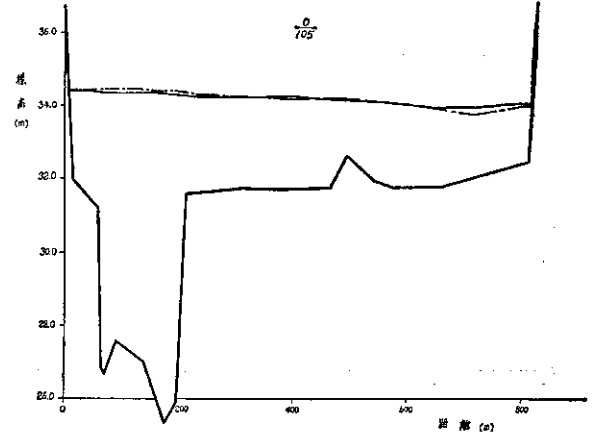
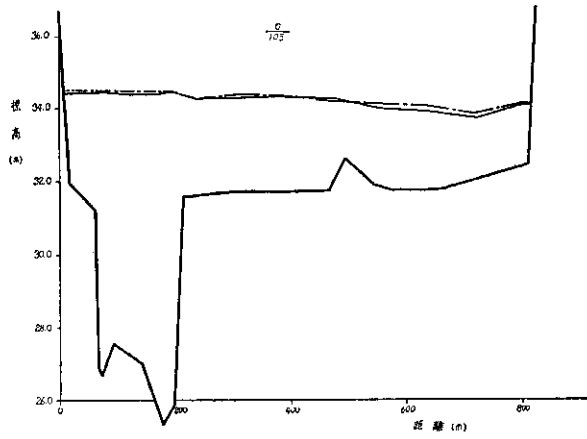


图-11.2

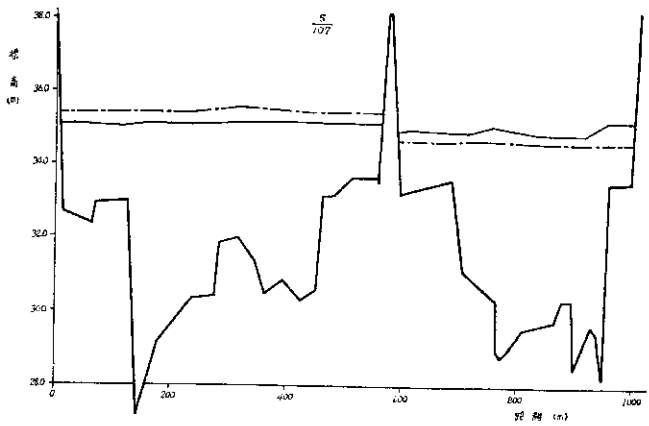
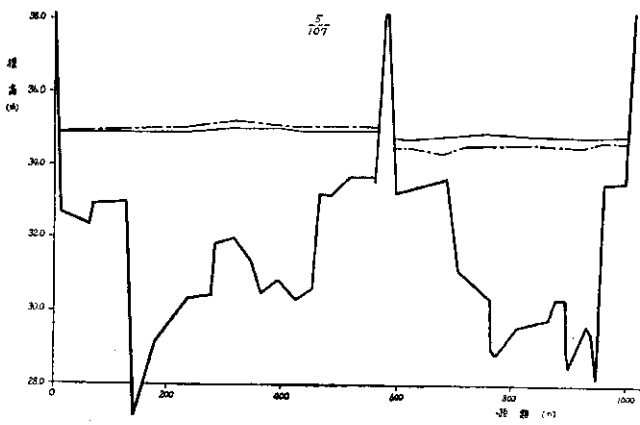
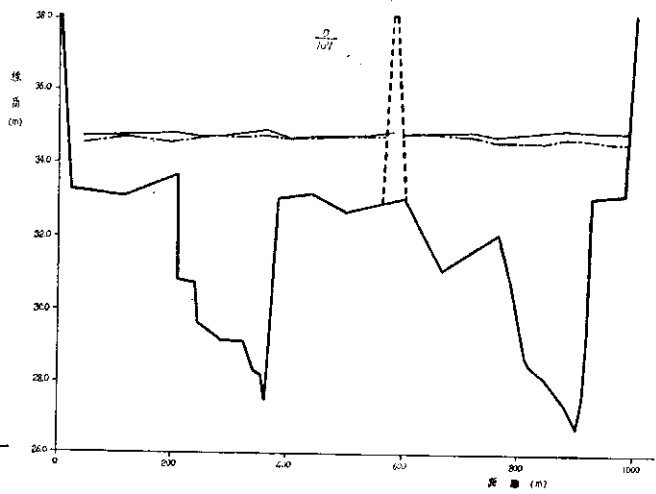
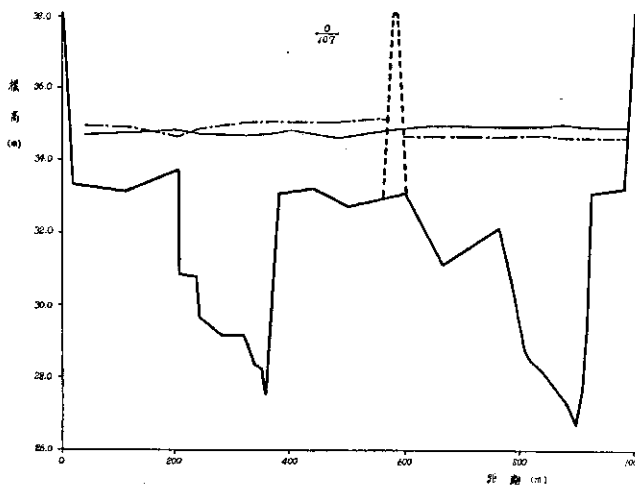
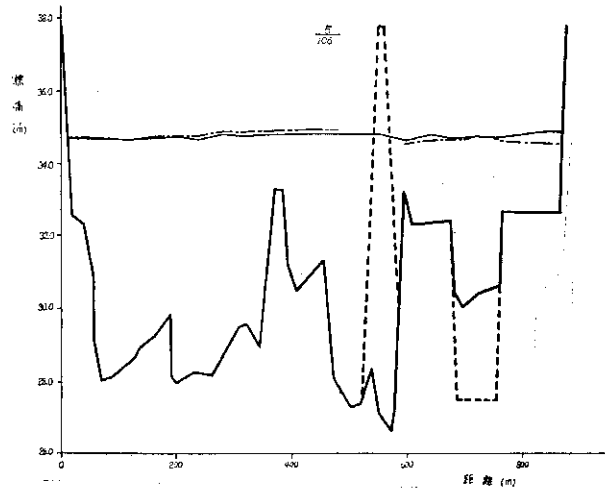
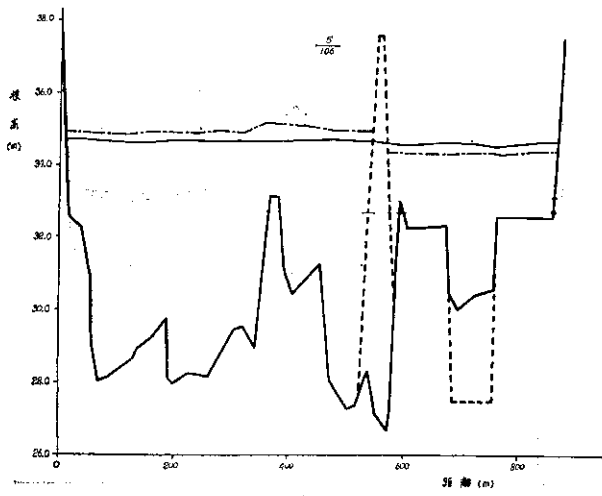
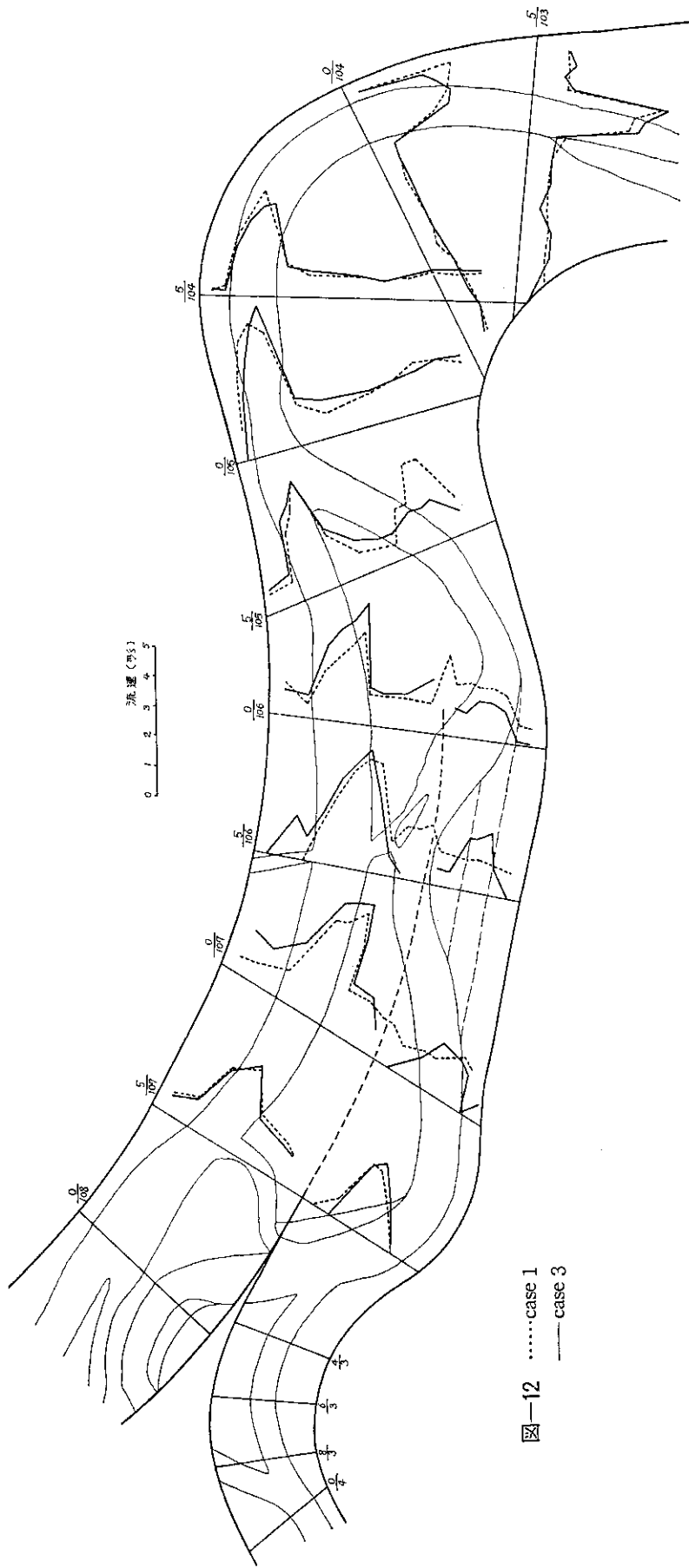
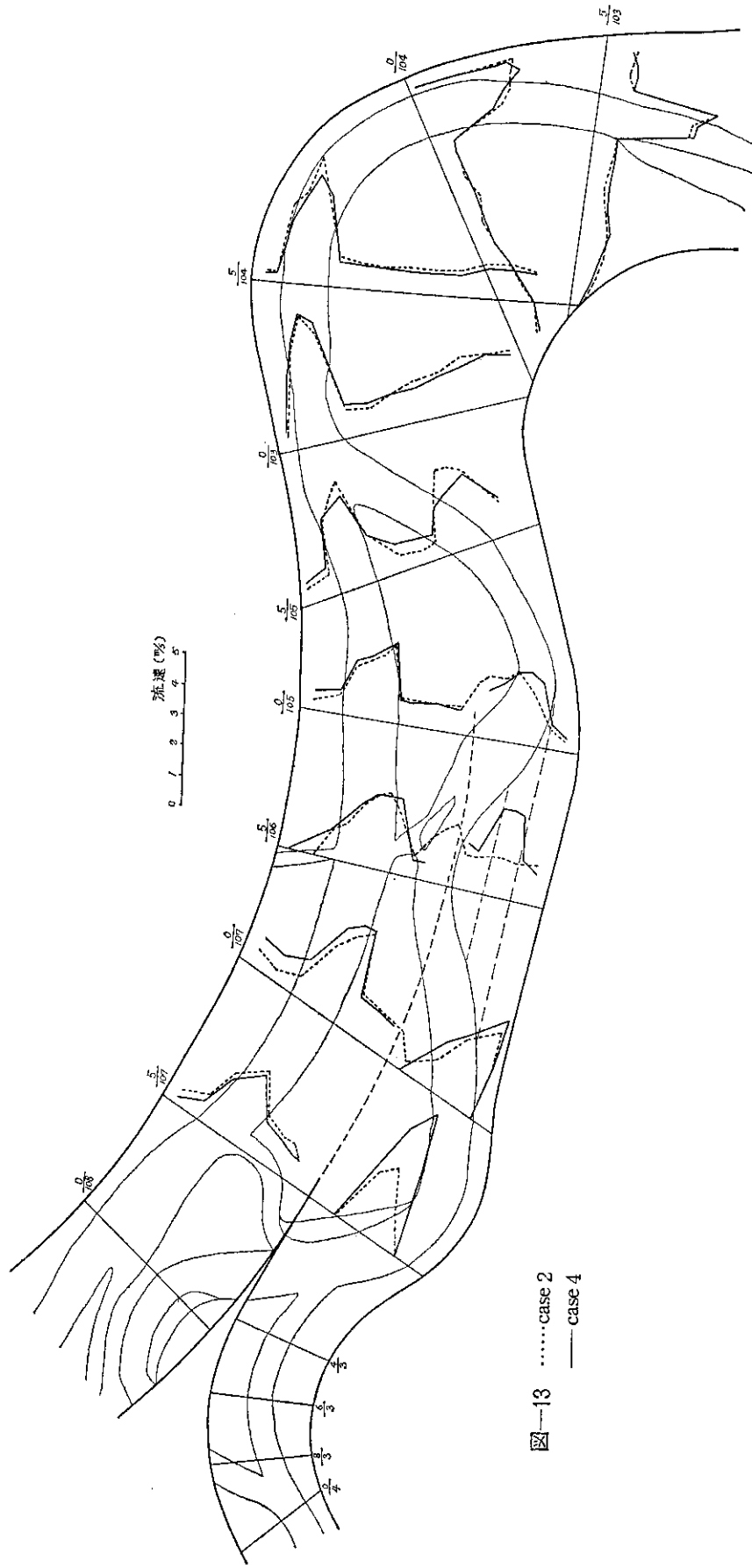


图-11.3



图—12case 1
——case 3



酸カリの水溶液を流した状態を写真—5～7に示す。

case 1 および 3 の場合は、本流の流れがかなり雨竜川の流れを圧迫する様子がうかがわれる（写真—1, 2 および 5 参照）。

瀬割堤の施工によって（実験：case 3, 4）新合流点付近の両河川の流れはほぼ平行になる（写真—3, 4 および 6, 7 参照）。

case 1, 2 の実験結果は、この分流点に瀬割堤の必要性を示しており、case 3, 4 の実験からその効果もかなり期待できることがわかった。

3-4. 瀬割堤の線形、長さについて

現計画瀬割堤の延長は、 $\frac{5}{107}$ のやや下流から $\frac{0}{106}$ のやや下流にまで達する約 1,600 m の長さである。この区間の堤防法線間隔は合流前両河川の堤防法線間隔のほぼ和となっており、現計画瀬割堤法線の線形は、合流前のそれぞれの河川の堤防法線間隔を保つ方向に設けられている。この計画に基づいて瀬割堤を施工した場合、本流の水位は上昇するが計画高水位には達しないし、死水域が縮小されるなど瀬割堤区内の流況は改善されている。一方、雨竜川では追分第 3 新水路吐口から $\frac{5}{106}$ 付近までの両岸に死水域ができて全断面が有効に働かない。しかし雨竜川を $\frac{5}{106}$ より下流では全断面を流れ、新合流点に近い $\frac{0}{106}$ 断面では本流と雨竜川の水位はほぼ等しく、横断勾配もなくなっている。また表面浮子、過マンガン酸カリを流した流線写真からみても、両河川の相互干渉は緩和され、両河川は平行に合流することがうかがわれる。

線形については、まず本流側に寄せることはますます水位を上げることになるので考えられないし、また右岸側に寄せられた場合、本流の水位は下がるであろうが、本流左岸側の流速を弱め、 $\frac{5}{106}$ 付近に現われる死水域を大きくするのであろうし、さらに現計画法線のままで新合流点付近の流況は良好であり、瀬割堤の根付部分もすでに完成しているのでこの 2 点を固定して考えるなら、現計画法線の修正を必要とする要素は見当たらない。一方、長さについては施工後の流況が見てこれ以上長くする必要はないし、逆に短くすると合流点に雨竜川の旧低水路が現われ、本流の出水時には $\frac{5}{106}$ 付近から雨竜川に向かう流れが生じて河状を乱す恐れがある。以上のことから現計画法線の線形および長さは妥当であると判定される。

3-5. 雨竜川の水位について

瀬割堤の施工によって合流点の位置が下流に移り、また本流から雨竜川へ向かう流れの影響が取り除かれるため瀬割堤区間の雨竜川水位は低下する。case 3 の場合は、この低下背水の効果が上流にまでおよび $\frac{0}{6}$ に至って case 1 の水位にはほぼ一致する。しかし case 2 および 4 の場合、

$\frac{4}{3}$, $\frac{6}{3}$ の左岸（凹岸側）高水敷が高いために、この付近が狭さく部となって上流側の水位は流速増加に見合うだけ上昇し、case 4 の場合は、下流水位の低下によって流積が減少するため、この影響が一層強調されて上流側の水位は case 2 の水位より高くなる。

3-6. 瀬割堤の維持について

瀬割堤に添う流れは、本流側の全区間雨竜川の $\frac{5}{106}$ 付近から下流に見られる。本流の $\frac{0}{107}$ 付近では水位が右岸側で上昇するので、この付近から下流で 2 次流が発達することも予想されるし、また $\frac{0}{106}$ と $\frac{5}{106}$ の中間から下流には両河川とも雨竜川の旧低水路が残され複雑な河床となっているので渦などが生じ、瀬割堤およびその付近の河床が侵食される恐れがある。瀬割堤の突端では、case 3, 4 ともに両河川の流速にかなり差があるため、突端付近に乱れが生じるであろう。したがって本流側では瀬割堤のほとんど全区間にわたって、雨竜川では下流側半分の区間について保護工を施すことが望ましい。

3-7. 下流に及ぼす影響について

六戸島新水路、江戸乙第 2 新水路の開削以前の河道変遷を見ると、 $\frac{0}{106}$ から $\frac{0}{105}$ の区間（現雨竜川低水路）は右岸が侵食され、 $\frac{5}{104}$ から $\frac{0}{103}$ にかけては左岸が侵食されていたようであるが、 $\frac{0}{105}$ から $\frac{5}{104}$ の区間および $\frac{5}{102}$ の付近は比較的安定している。

上記の 2 つの新水路が開削される頃の低水路の合流位置は $\frac{5}{106}$ 付近にあり、本流と雨竜川の全流量が現在の雨竜川低水路の $\frac{0}{106}$ から $\frac{0}{105}$ の区間を流れていたであろうから河岸に対する影響も大きかったと思われる。この雨竜川低水路の $\frac{0}{106}$ から $\frac{0}{105}$ にかけての弯曲部に対しては、2 つの新水路が開削され低水路の合流位置が $\frac{0}{105}$ に移った現状では、本流に大きな出水がないかぎり、本流の影響がこの付近に及ばないし、瀬割堤の施工によって一層本流の影響が緩和されるであろう。 $\frac{0}{105}$ より下流に対しては、流速の横断分布を見ると case 4 と case 2 の傾向はほぼ同じであるが、case 3 の場合は case 1 より最大流速の位置が右に寄る傾向にあるので左岸の侵食に対しては安全側となる。 $\frac{5}{103}$ では瀬割堤施工前後の水位および流速の横断変化がほぼ一致していることから、瀬割堤の影響が $\frac{5}{103}$ より下流には大きく現われることはないと思われる。

4. ま と め

以上の実験結果を集約すると、次のようなことがいえよう。

1. 現計画瀬割堤法線の線形および長さはほぼ妥当であり、石狩川と雨竜川を円滑に合流させることができる。
2. 瀬割堤の施工によって本流の水位は上昇するが、現計画高水位を越えることはない。

3. 雨竜川の水位は瀬割堤の施工によって低下するが、流量が大きくなると追分第3新水路の上流ではかえって上昇する。したがって追分第3新水路に対して高水敷造成、低水路拡巾などの改修が必要である。

4. 瀬割堤を維持するためには、本流側の全区間に対して、また雨竜川の側では $\frac{0}{107}$ より下流の区間に保護工が必要と思われる。

5. 瀬割堤の施工は、 $\frac{0}{106}$ より下流の低水路の河岸浸

食に対して安全側となる。

参 考 文 献

- 1) 石狩川水系工事実施基本計画参考資料 その4
昭和40年2月 北海道開発局
- 2) 六戸島瀬割堤水理模型実験報告 昭和42年11月
北海道開発コンサルタント
- 3) 石狩川河道変遷調査 昭和36年11月
科学技術庁資源局 資料第36号

兩老川 石狩川

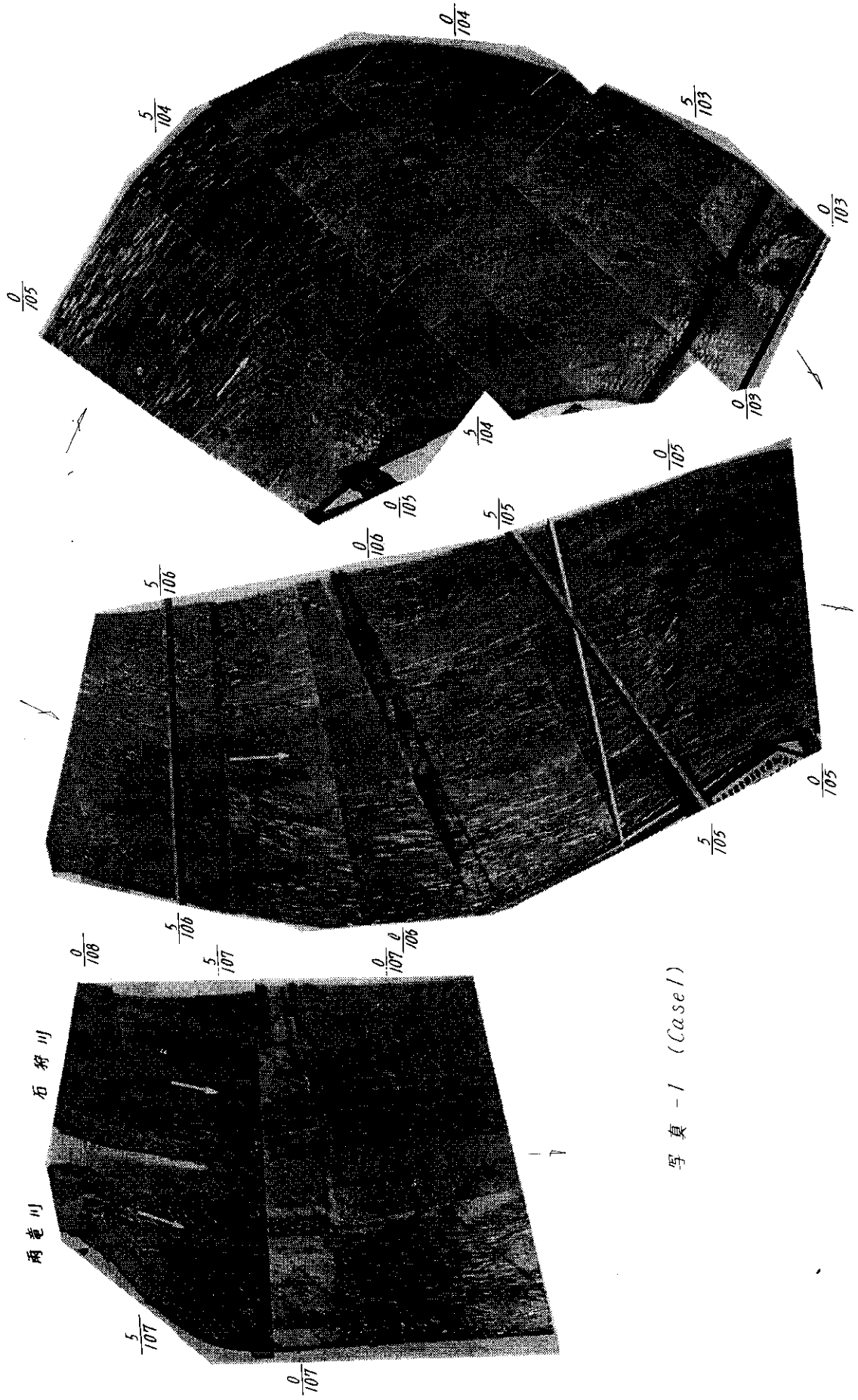
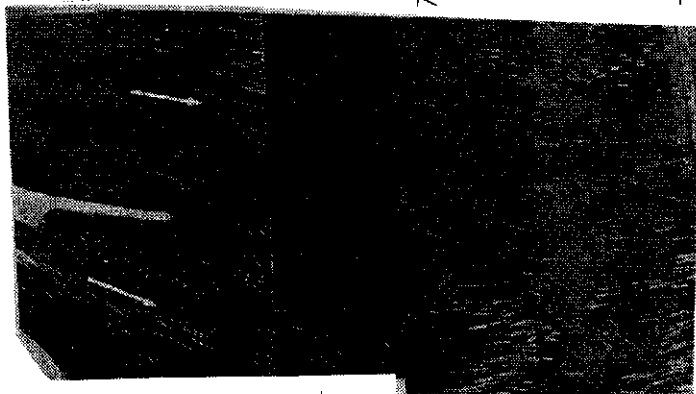


写真-1 (Case1)

兩卷川 石狩川



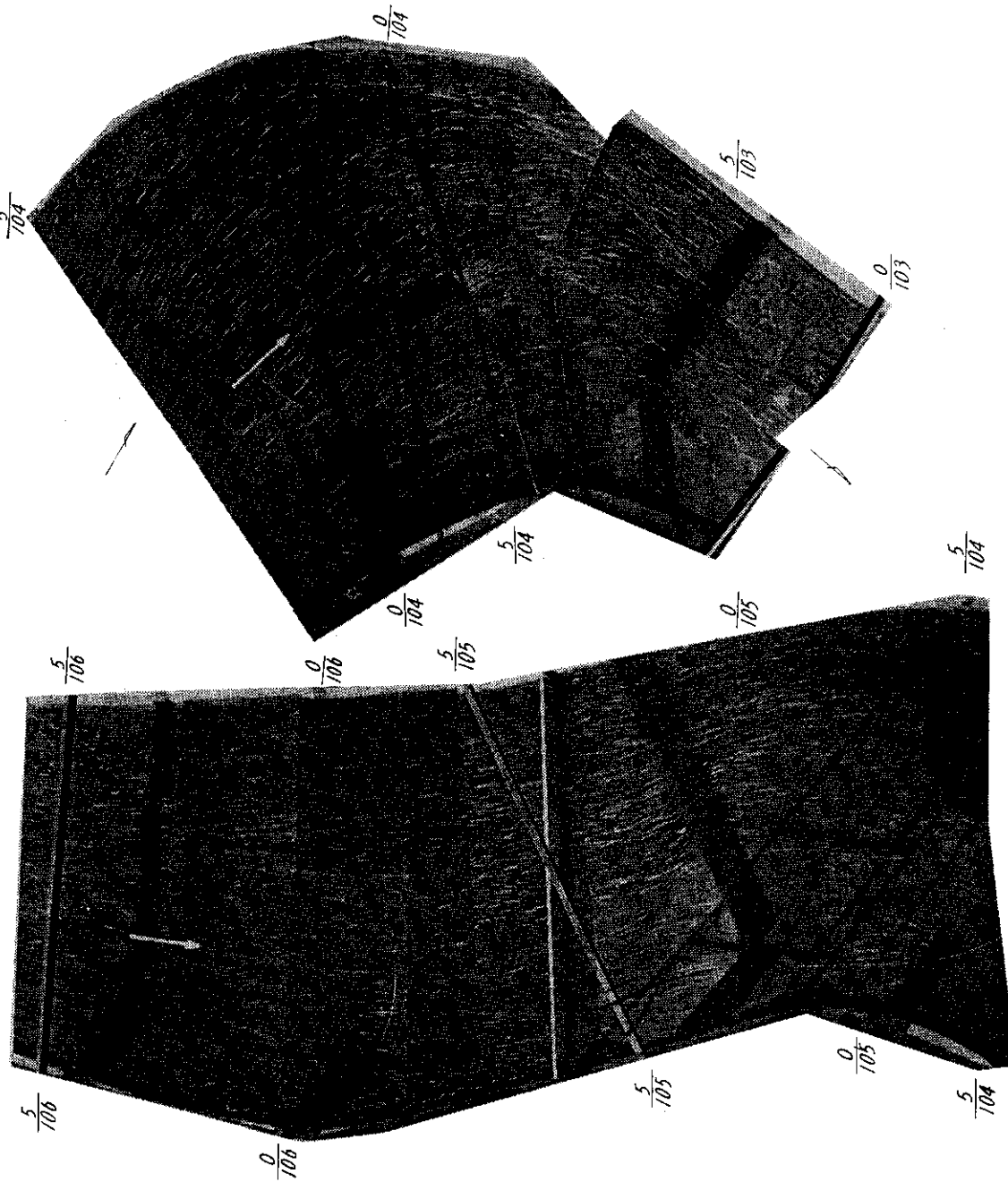
$\frac{5}{107}$

$\frac{5}{107}$

$\frac{0}{107}$

$\frac{0}{107}$

$\frac{5}{106}$



$\frac{5}{106}$

$\frac{5}{106}$

$\frac{0}{106}$

$\frac{0}{106}$

$\frac{5}{105}$

$\frac{0}{104}$

$\frac{5}{104}$

$\frac{0}{105}$

$\frac{5}{105}$

$\frac{0}{105}$

$\frac{5}{104}$

$\frac{5}{104}$

$\frac{0}{103}$

$\frac{5}{103}$

$\frac{0}{104}$

$\frac{5}{104}$

写真-2 (Case 2)

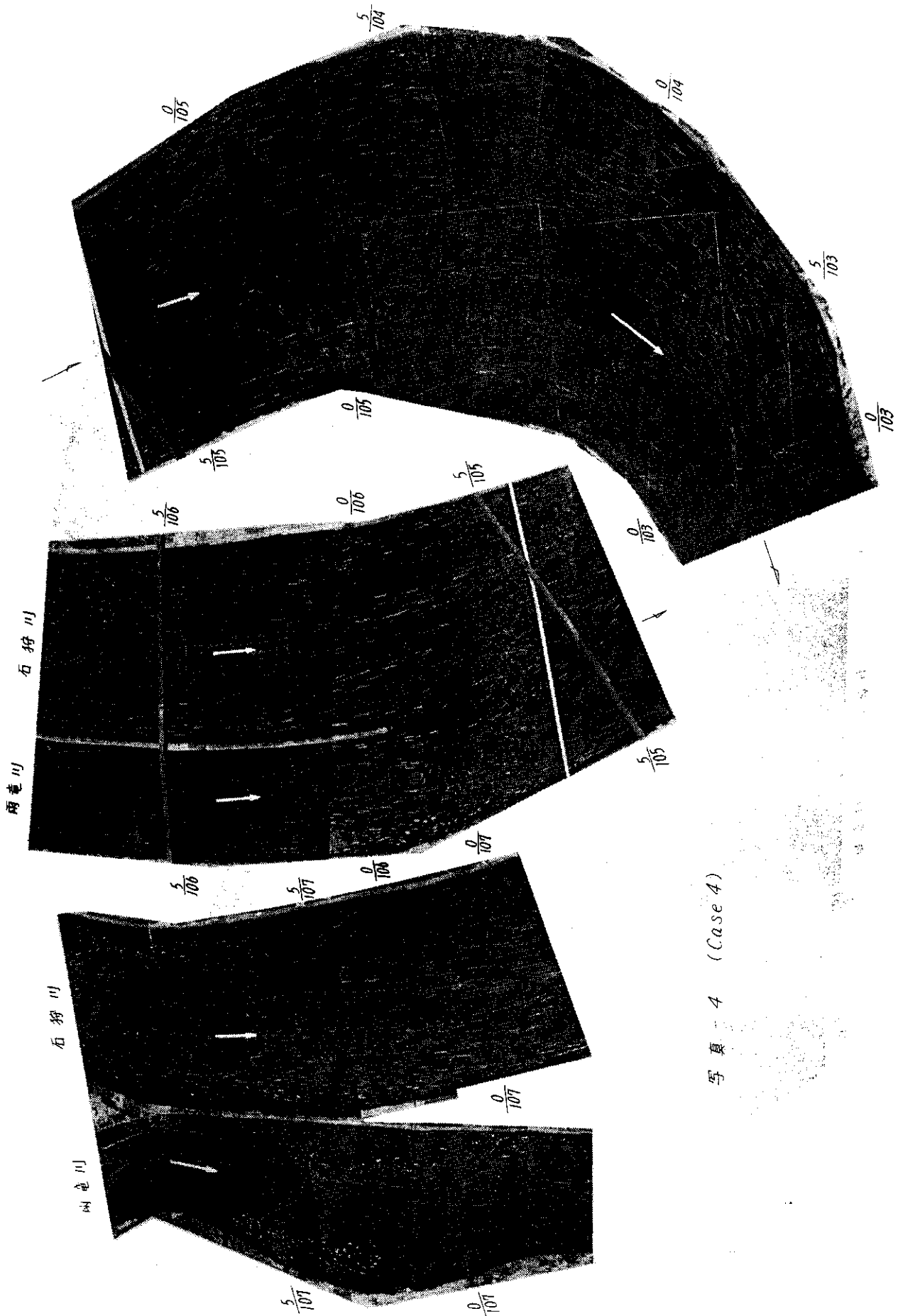
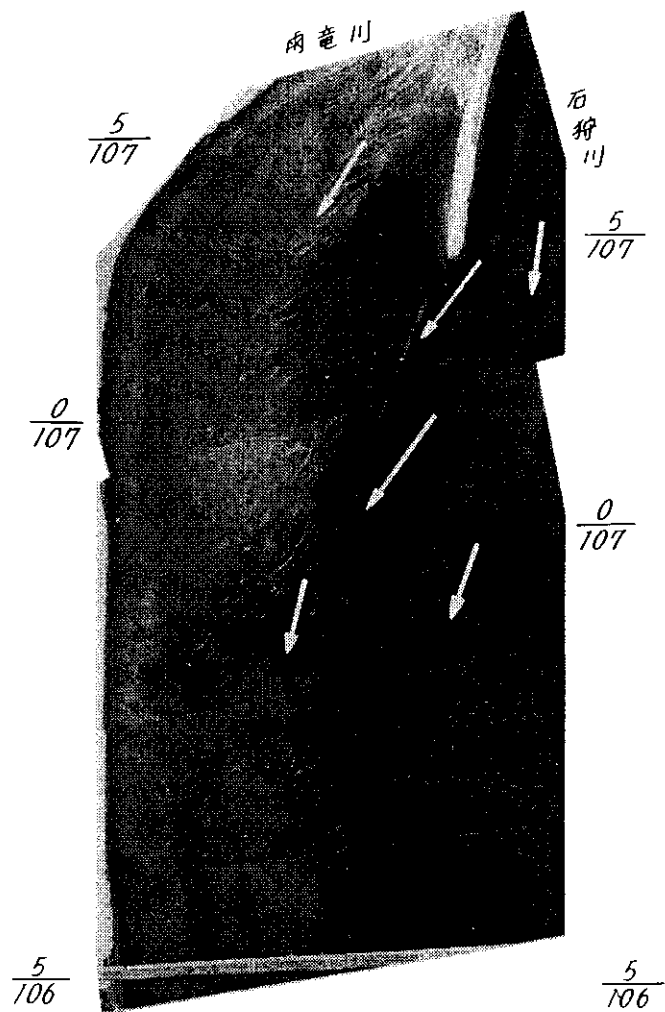
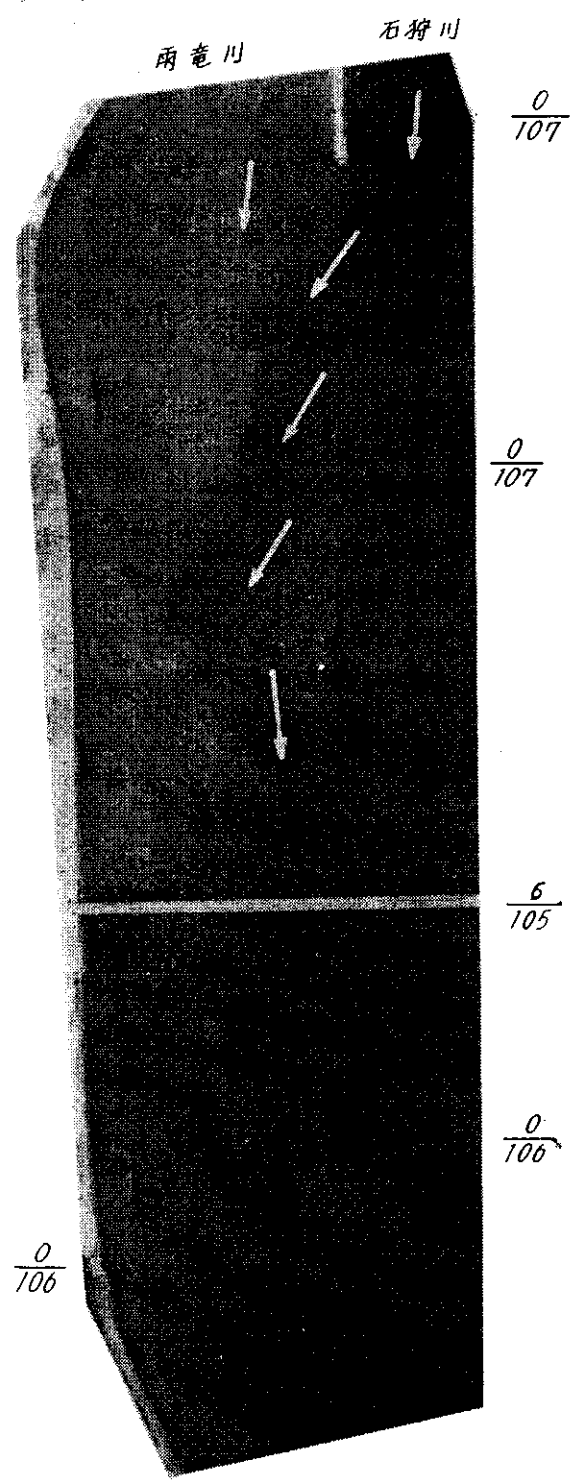


写真 4 (Case 4)



(Case 1)



(Case 2)

写真-5

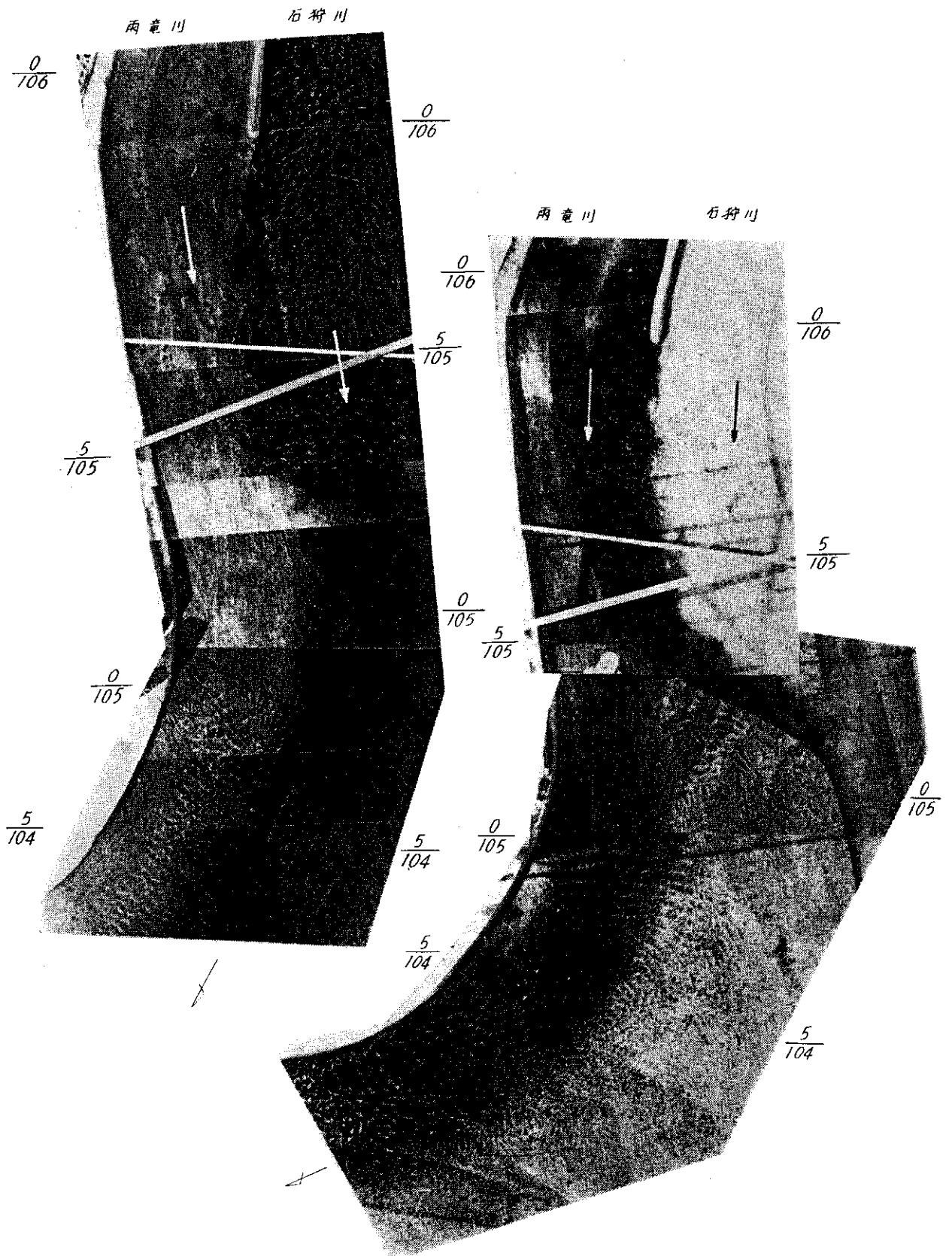
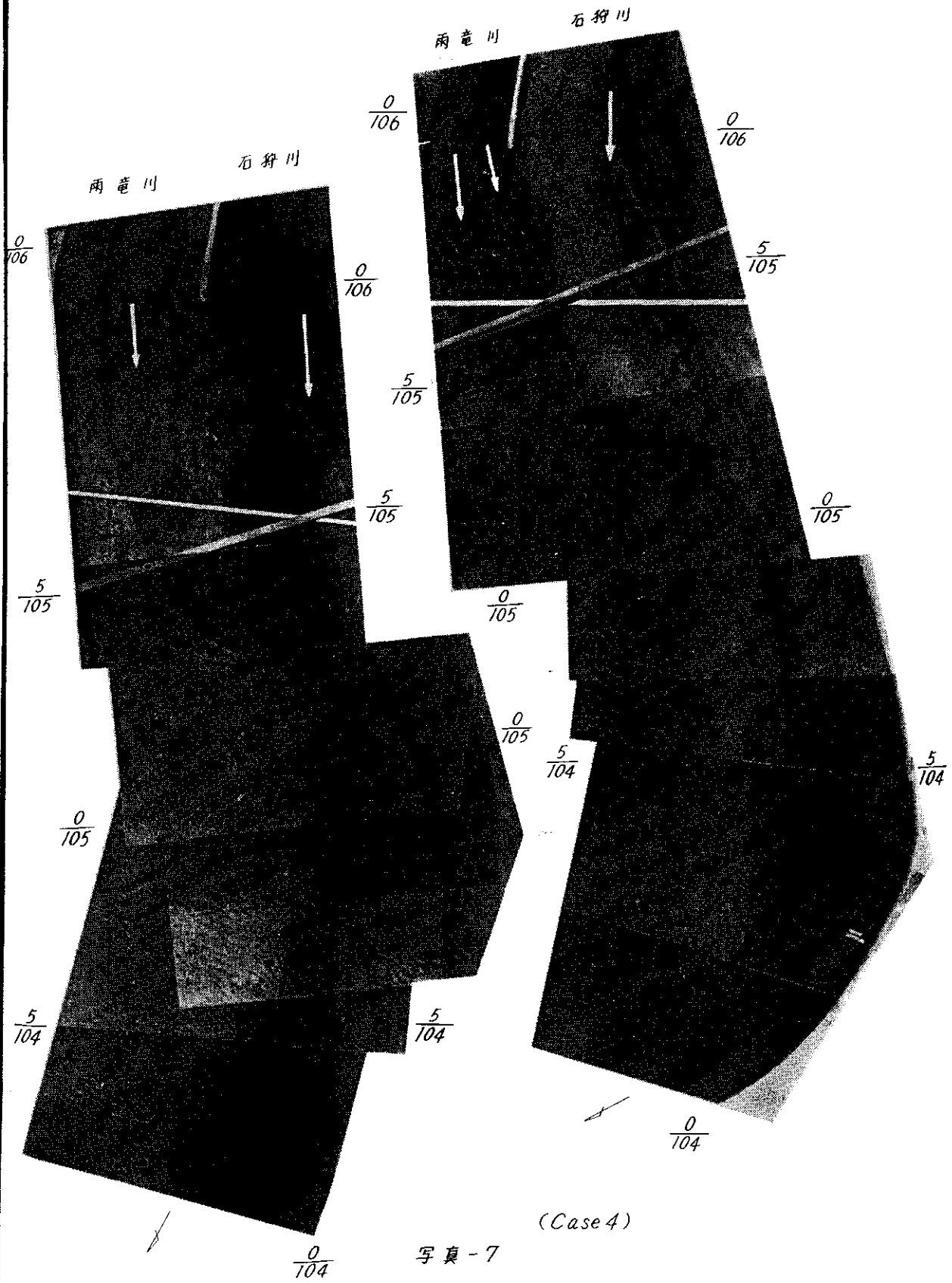


写真 - 6

(Case 3)



昭和43年10月31日発行 編集兼 発行人 小山道義

発行所 北海道開発局土木試験所
062 札幌市平岸無番地
電話 ☎ 4161 (代表)

印刷所 日栄舎印刷株式会社
札幌市菊水西町10丁目
電話 ☎ 9267 (代表)