

る。河床の不安定の程度に応じて河川工法も自ら限られて来るのであり、其の特異性に應じた工法を採用しなければならない。或る河川に効果のあつた工法が他の河川では不結果を來したと云ふ事實は之に原因してゐる。捷水路、合流點或は護岸、水利等の處理に當つては特に此の問題は重大な關聯性を持つものであつて、決定的な役割をしてゐることを知らねばならない。

又此の問題は水理模型實驗に従事するものにとつては尙一層重要である。可動河床の模型實驗の相似律に關し1個の新しい指針を與へるものであつて、實際と模型とに於ける河床の移動状態を類推せしめることから、定性的から一步進めて定量的にもはiri得られるであらう。

河川を處理する場合に解析の方法にのみ依つては至難な現況に於ては自然觀察と模型實驗とに依る部分が大きく、此の觀察及び實驗の結果を理論的に把握することに依り初めて普遍的な効果を得ることが出来るのであり、之等相互間の關係を明瞭ならしめ、普遍性を與へることに依り河川工法を更に合理化し、發展せしめることが出来るのである。

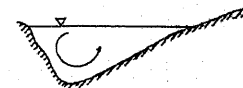
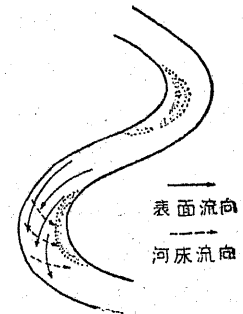
〔3〕 捷水路

〔3.1〕 概 説

沖積層地帯を流下する河川は一般に蛇行する傾向がある。蛇行河川は直行河川に比して不行狀を呈するのが普通であつて、著しく流水の疏通を害し、水位の上昇を來すと共に彎曲部凹岸では水面勾配が比較的緩になるにも關らず、河床の洗掘、河岸の決潰を來すと同時に其の反對側には砂洲を寄せる。又次の彎曲部に移る箇所、即ち主流が一方から他方に河を横斷する地點では流送土砂が堆積して滯筋を不安定ならしめ、勾配の急になる箇所をつくり、可航河川に於ては航行の大きな支障となつて居る。

一般に河川は其の掃流力に平衡する様な縦斷勾配を形造る様に常に進んでゐるものであるが、掃流力に餘裕があれば之に相應する距離を獲得する様に蛇行する。一度彎曲すれば表面に近い流水は遠心力のために著しく凹岸に向つて偏流し、河床附近では之に對抗するために河心線に沿つて略々同角度程度逆の方向に凸岸に向つて流れる。此の結果凹岸部河床は洗掘せられ、凸岸部には土砂の堆積を見る。此の場合流水は水平軸を持つ螺旋運動を行ふものと考へられ、河床砂礫は其の水衝作用に依つて吹き上げられるもので、一般に掃流力に依るものとは異つた事情に在る。斯くして彎曲は更に助長せられる(圖-50 参照)。

之等の河川に於ては蛇行の程度が進むと自然に短縮せられ、直行するが、斯くすれば水面勾配は急となり、従つて流速は増加し、上流部の土砂は洗掘せられ、流道土にて其の下流に堆積せられる。又之に依る偏流の結果は缺込を生じ、更に新なる彎曲を來すのである。Mississippi 河に於ける例に依ると



1876年に Vicksburg で捷水路を設けて流路を 11 km 短縮したが、1892年に測量した所に依れば之を中心として 83 km に互り 7 km の増加を見て居る。Mississippi 河下流地區に於ては此處 150 年の間に、精確な記録に依れば、20 個の捷水路が出来て、228 哩流送を短縮したのであるが、河は事實新しい屈曲を起して失つた延長を回復してゐる。

一般に捷水路は直ぐ其の上流側の水位を下げるのに役立つのみで、其の下流側では水位を上げる場合が多かつた。之等の事情の許される時にのみ捷水路は計畫されたのである。

Mississippi 河に於ては 1928 年迄は捷水路に關する問題は十分考究されてゐ

なかつた。1861年の Humphrey 及び Abott の有名な報告に依る‘捷水路に依つて流路を短縮すれば捷水路の上流では水位が低下し、下流では永久に水位の上昇を來すであらう。又捷水路に依つて勢力の平衡を破壊された河川は其の失つた延長と勾配の増加とを緩和するために新らしく蛇行を始めるに至る’¹⁾と云ふ主旨に従つて計畫されてゐたものであつて、工費の如何に關らず、Mississippi 河では此の工法に依る改修は禁ぜられて居た。過去の經驗は此の意見を支持して居り現在でもそうである。G. W. Olivecrona の珠江改修計畫に於ても此の點を強調し、成るべく捷水路は設けぬがよいと述べてゐる。

1927年の Mississippi 河の洪水に基き改訂された洪水調節計畫に關する Jadwin 報告に於ては‘人爲的或ひは自然的に造られた捷水路は其の點の流路を短縮し、勾配及び流速を増加するから局部的には水位を下げる。併し乍ら流速の増加は直ちに河岸の浸蝕を起す原因となる。人爲的に掘るとすれば其の方法は確實性に乏しく、覺束ないから其の採用は保證出來ない。現在河岸は流路短縮に依り必要となる範圍の護岸を施設してゐないし、將來も伸々行はれないであらう。又堤防の高さは未だ不足してゐるが、河の現在の形に順應して現存してゐる。捷水路のためには耕作地を失ふことになり、沿岸の都市に於ては陸揚場が遮斷される。一般に現在の形で河を維持する方針を墨守するがよい’²⁾と主張されて捷水路は特に設けないことにしてゐたのである。一般に捷水路は斯く考へられてゐた。

〔3.2〕 Mississippi 河に於ける捷水路

〔3.2.1〕 捷水路の開鑿

Mississippi 河では上述の如く捷水路は禁じられてゐたのである。然し改修工事の進展に伴つて 1930年頃になり河道を矯正し、之を安定せしめやうと云ふ案が考へられる様になつた。捷水路は洪水の疏通を十分にし、高水位を下げ

るに役立つものであり、捷水路に依る工費の増加に對しても河岸を鋪覆する工費を節約することが出来るし、又延長の短縮は航行、水路維持にとつても好都合である。然し之に對して自信はなかつた。當時工兵隊の南大西洋管區の技術官であつた General H. B. Fargvson は Mississippi 河下流地區の洪水調節及び河道安定に關し熱心に研究した結果、捷水路を設けると同時に掘鑿を行ひ、河道の法線、幅員、水深の改良を合せ施工する時は所期の目的を達し得られるのではないかと考へから、1930年此の事情を報告し、之が Board of Engineers for Rivers and Harbours と Chief of Engineers の承認する所となつて、1932年から實施せられるに至つた。此の工法に關しては相當異論の多かつたものであるから注意深く施工後の水位、勾配の變化に就て調査研究を続けながら工事を進めて行つたのである。

尙之より先 1929年には Vicksburg に水理試験所が設けられ、模型實驗に依つて水流に關する諸問題の解決に判斷を與へることが計畫せられたのであつて、1931年には Mississippi 河 Greenville 彎曲部の模型を作つて捷水路の影響を調査した。

Greenville 彎曲部の模型は水平縮尺 1/4800、垂直縮尺 1/360 のものであつて、之に取入れた流路延長は 98哩、河の兩端間の直線距離は 42.5哩であり、此の模型に依つて捷水路が其の上下流に及ぼす影響を求め、之に依つて生ずる流量及び流速への影響に關する知識を得やうとするのである。土砂の流速並びに堆積の問題は斯る工事には關聯する所が多いので、之等を考慮に入れ慎重に取扱つた。此の實驗の結果に依ると、捷水路の河川に及ぼす影響は一般に捷水路上流側の水位は下がる傾向にあるが、下流側に對しては餘り變化を來さないと云ふことが判つたのである。各捷水路の下流には砂洲が出来たが、之は水位には永久的な影響を殆んど與へてゐない。捷水路を設けた場合には實際的な意味で如何なる場合にも河川の高水期間には捷水路下流出口には引續いて砂洲の

伸びるのが認められ、之は一時は捷水路中の水面勾配を緩にし、其の下流に暫時的に多少急な水面勾配を生ずる傾向が見受けられたが、併し何れの場合にも、減水時又は低水時には此の砂洲は取除かれてしまつてゐた。

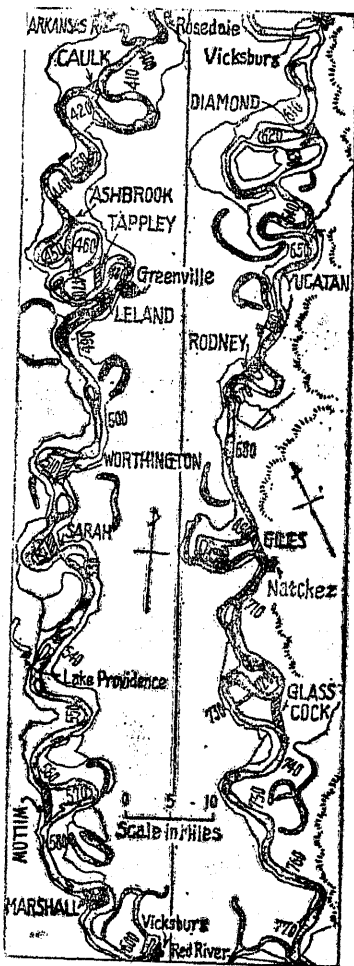
引続き Vicksburg 水理試験所では Helena-Donaldsonville 間の河通に就て野外実験を試みてゐる。此の模型は水平縮尺 1/2 000、垂直縮尺 1/100 であつて、模型の延長 1 060 呎、其の最大幅員 168 呎に達するもので、Mississippi 河本流 600 哩の他に更に Arkansas 河、Red 河、White 河、Yazoo 河流域、Atchafalaya 河流域から Mexico 灣に至る迄を含んでゐる。本実験に於ても同様、捷水路に依つて洪水位の低下することを知つた。捷水路を開鑿する結果生ずる最大水位の低下は寧ろ低水の場合に起つてゐた。

斯くして 1932 年 6 月 Red 河合流點から Arkansas 河合流點に至る區間に互り水路安定計畫に従ひ、捷水路、其他河道の法線、幅員及び水深の改良工事に着手したのである。

1929 年秋自然に出来た Yucatan 捷水路を合せ 1937 年 5 月迄には 13 個所の

圖-51. Mississippi 河平面圖

(Arkansas 河合流點より Red 河合流點に至る區間)

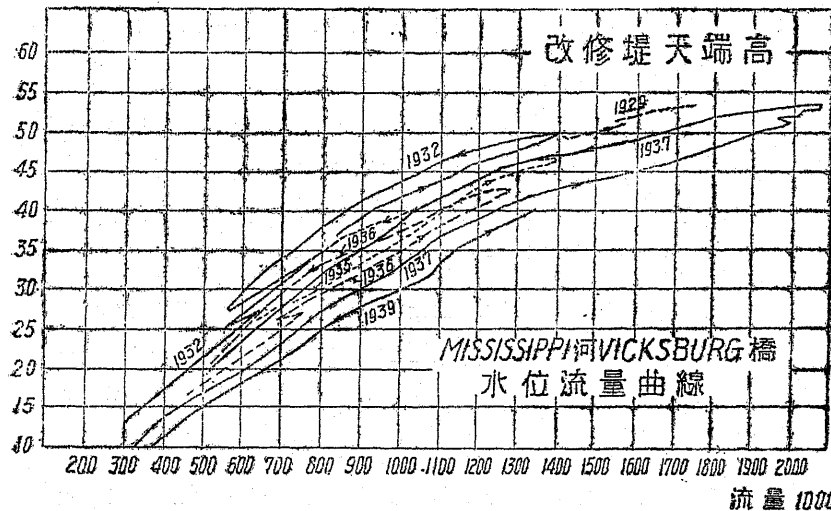


捷水路を作り、低水状態の場合に 115.8 哩の短縮となつた。此の間の迂回距離は 156.5 哩であつて、捷水路の延長は 40.7 哩である。河道總延長は 330.6 哩であるが、115.8 哩の短縮の上、更に河自身の直線化に依つて約 20 哩短縮したので、現在の延長は 194 哩となつてゐる(圖-51 参照)。

[3.2] 捷水路の成果

捷水路開鑿に當つては常に施工後の状況に就て調査を進めて行つたのであるが、1939 年春の洪水に際し調査した結果に依ると、明らかに其の効果を見ることが出来たのであつて、Vicksburg では 1933 年の洪水に比し 10~15 呎水位を低下せしめて居り、河道の通水能力は著しく増大された。圖-52 は 1929 年から 1939 年に至る間の Vicksburg 橋量水標の水位-流量曲線であるが、之に依つて其の状態を知ることが出来る。1939 年の春の洪水は 1 500 000 ft³/sec を流して居るが、此の地點の最大高水量は 2 500 000~3 000 000 ft³/sec と云はれてゐるもので、水位の低下は此の場合は多少は異なるであらうが、併し非常な

圖-52.



低下を見ることは確實である。之は換言すれば河道改良の結果同一水位に對して流量の増加を示してゐるのである。Vicksburg 橋では 1937 年と 1939 年とでは約 100 000 ft³/sec 増加してゐる。之は約 10% の増加に相當する。Arkansas 市では通水能力は 514 000 ft³/sec 即ち 71% を 6 年間に増加した(圖-52 参照)。

之等の變化を詳細に調査するに河は水路断面を擴大し、其の大きさの均一化が行はれてゐるのであつて、水面勾配に就ては特に注意したのであるが、河床の容易に洗掘せられる様な場合にも河は其の以前の縦斷勾配を特長づけてゐる勾配を再び作ると云ふ著しい傾向のあることを知つたのである。或る地點では此の勾配の緩和は河床の固いために遅らされてゐる所もあるが、多少の掘鑿を行ふことに依つて河は容易に効果的な浸蝕を行ふことが出来た。

1937 年の河積と捷水路開鑿前の 1933 年の河積とを比較するに Glasscock 捷水路の始端から Arkansas 市迄の全區間に於ける河積の増加は平均 15 700 平方呎で 1933 年の河積よりも平均 7.6% 増加して居り、低水路に就ては更に大きく同區間に於て平均増加は 9 600 平方呎、即ち 1933 年の河積より 16.3% 増加して居る。

平均水深を比較するに同じく 1937 年と 1933 年では Glasscock 捷水路から Arkansas 市までの間で平均低水位で水深が 0.7 呎即ち 3.2% 増し、高水時には 2.8 呎即ち 6.6% 増してゐる。更に注意すべきことには Glasscock 捷水路から Marshall 捷水路に至る區間と Marshall 捷水路から Arkansas 市に至る區間と比較して見ると、下流區間では低水時平均水深は 2.2 呎即ち 10.0% 増加し、上流區間では却つて 0.5 呎即ち 2.2% 減じて居るが、高水時には平均水深は Glasscock-Marshall 間で 4.4 呎即ち 9.7% 増し、Marshall-Arkansas 市間では 1.8 呎即ち 4.5% 増加したのである。之を要するに過去數年間の經驗と河川の調査及び水路、水深に關する詳細な研究の結果は次の様なことが云ひ

得られる。

- (1) 捷水路は效果的である。之に合せ、水路の擴大、以前の水面勾配への還元と云ふことに依つて Mississippi 河の水位を決定的に低下せしめることが出来た。
- (2) 此の改良工事に平行して行はれた幅員と法線との調整に依つて主滞の横斷點の航路が改良せられ、水路の斷面積及び通水能力が増大し、河川は一層安定となつた。
- (3) 之等の結果長い緩やかな曲線の流路となり、之は高水に際しても沖積層地帯の河川の性質に適合してゐる程度の安定さを示すであらう。

尙捷水路を設けた結果は嘗つての推定に反し、過去 2 年間に於ける水路の維持費がそれ以前に比して遙かに低減したことが報告されてゐる。

〔3.3〕 鬼怒川筋鎌庭捷水路

〔3.3.1〕 概 説

内務省直轄施工の鬼怒川改修工事では茨城縣鉸城郡大形村鎌庭地先に捷水路を設けた。此の地點は利根川合流點から上流約 25 km から 30 km に亙る區間であつて、河道の屈曲甚しく洪水の疏通に著しい支障を來すと共に彎曲部四岸は流水の激衝を受け、往時から其の護岸施設に苦しみ、明治初年には和蘭人技師により護岸が施工せられたが、粗朶沈床を用ひた水制は効果がなかつた。其の後茨城縣では種々な工法を考案實施して漸く維持して來たのである。

在來河道の本區間延長は 4 400 m であつて、河床勾配 1/2 500、常水路幅員は 100~250 m、堤防間隔は 300~600 m であつた。捷水路は延長 2 050 m、河床勾配 1/1 139 に開鑿したもので、夫れに敷幅 60 m、深さ 1.6~2.0 m の低水路を新河道の中央に設けた。掘鑿土量は 1 200 000 m³ であつて、流頭部で舊河道は閉塞した。昭和 3 年 2 月に着手し、同 10 年 3 月新河道低水路に通

水、同年の洪水は新水路に
通したのである(圖-53 參
照)。

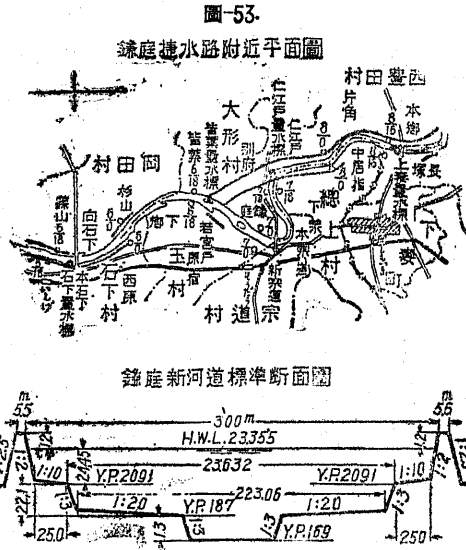
捷水路に通水後其の状態
を調べるために捷水路の上
下流端及び夫れから約 3.5
km, 上下流の上妻及び石下
地先に量水標を設け、水位
観測を行ふと共に出来るだ
け都合をつけて1ヶ年に約
1回當て横斷測量を試みた。

河床の状態は新河道流頭
部附近より上流は約 4 km に互り表面は砂であるが、少し掘れば徑 30 mm 内
外の砂利が現はれる。流頭部より下流には砂利は殆んど見受けられない。新河
道の河床は全部粘土である。

[3.3.2] 捷水路の河狀に及ぼせる影響に就て

新河道に通水後は出来るだけの機會を得て調査を行つた。新河道は其の後毎
年度々の洪水を徑験したが、特に昭和 12 年 9 月及同 13 年 9 月には大出水に遭
遇した。之は共に 20 數年來の洪水であつて、中でも昭和 13 年 9 月の出水は殆
んど計畫高水位に達し、流量は計畫高水流量 2900 m³/sec を超過して 3400
m³/sec に達してゐた様に推定された。捷水路流末から舊河道に逆流した水位
は往年の難所屈曲部凹岸の宗道河岸に於て舊堤天端から約 35 cm に達して居
り、若し捷水路が出来てゐなかつたならば、或は悲惨な災害を引起したのでは
ないかと思はれた。

(1) 平水位の變化



捷水路を設けた結果平均水位が如何に變化したかを知るために其の基準を捷
水路の影響を受けて居ないと思はれる水海道量水標(捷水路下流端より約 15.4
km 下流)にとり、之と捷水路上下流の量水標の捷水路通水前の水位相互間の
關係を求め、之と通水後の観測水位とを比較した。

捷水路通水前の水海道と中妻、石下、皆葉、仁江戸及び上妻各量水標との水
位相互間の關係は圖-53 に示す如く殆んど直線であつて、次の如く表はし得ら
れる。

$$\begin{aligned} \text{水海道量水標水位} - \text{中妻量水標水位} & H_0 = 1.23 H' \\ \text{石下} & = 0.79 H' - 0.29 \\ \text{皆葉} & = 0.83 H' - 0.59 \end{aligned} \quad \dots(79)$$

表-34 年平均水位比較表 (單位 m)

量水標名	位置	水位	昭. 9.	昭.10.	昭.11.	昭.12.	昭.13.	昭.14.	昭.15.	備考
中妻	3/12 里	H ₀	1.01	1.13	1.16	1.09	1.12	0.76	0.55	
	上 27 m	H	1.01	1.07	1.05	0.97	0.99	0.77	0.65	
		H-H ₀	0	-0.06	-0.11	-0.12	-0.13	-0.02	-0.10	
石下	5/24 里	H ₀	0.36	0.44	0.45	0.41	0.43	0.19	0.07	
	上 95 m	H	0.36	0.44	5.50	0.50	0.62	0.49	0.38	
		H-H ₀	0	0	+0.05	+0.09	+0.19	+0.30	+0.31	
皆葉	捷水路 2 上 28 m	H ₀	0.10	0.19	0.21	0.17	0.19			捷水路 流末
		H	0.10	0.25	0.36	0.24	0.19			
		H-H ₀	0	+0.06	+0.15	+0.07	0			
仁江戸	7/21 里	H ₀	-0.02	0.08	0.10	0.05	0.05			捷水路 流頭
		H	-0.02	-0.29	-0.50	-0.64	-0.67			
		H-H ₀	0	-0.37	-0.60	-0.69	-0.74			
上妻	8/21 里 上 30 m	H ₀	1.23	1.35	1.37	1.31	1.32	0.98	0.80	
		H	1.23	1.26	1.12	1.03	0.89	0.43	0.29	
		H-H ₀	0	-0.09	-0.25	-0.28	-0.44	-0.55	-0.51	

茲に H₀: 捷水路通水前の水海道量水標相當水位即ち (1) 式よりの計算水位、
H: 観測水位

$$\begin{aligned} \text{水海道量水標水位} - \text{仁江戸量水標水位} & H_0 = 1.09 H' - 0.92 \\ \text{上妻} & \text{ " " } = 1.17 H' + 0.27 \end{aligned}$$

茲に單位は m を表はし、 H' : 水海道量水標水位、 H_0 : 各量水標水位である。

水海道量水標の位置は捷水路下流端から約 15.4 km、中妻量水標は約 12.6 km、石下量水標は約 3.2 km 下流にあり、皆葉量水標は捷水路下流端に、仁江戸量水標は其の上流端に設けられたもので、上妻量水標の位置は捷水路上流端から約 3.5 km 上流に在る。

圖-54. 水海道及上妻、仁江戸、皆葉、石下、中妻量水標相當水位

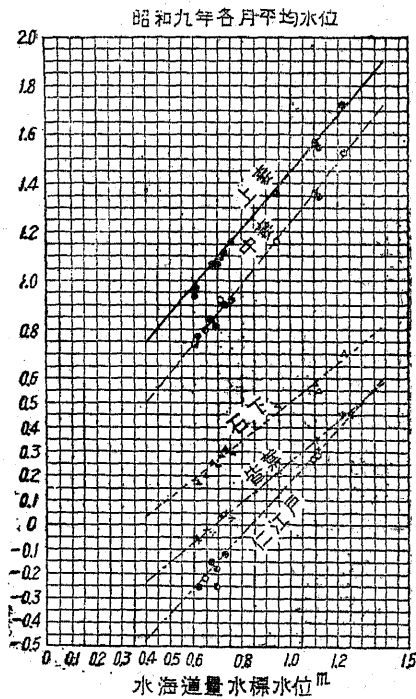
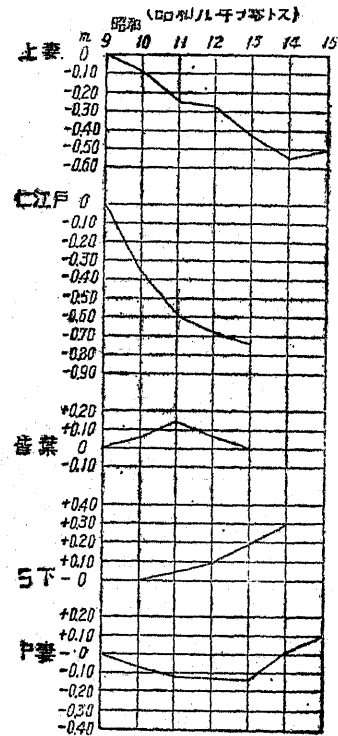


圖-55. 年平均水位變化圖表



之から年平均水位を比較したのであるが、之は表-34 に示す通りであり、昭和9年を基準として其の昇降を圖示すれば圖-55 の如くになった。

之に依れば年平均水位は捷水路の流頭では著しく低下した。最初の1ヶ年には 0.37 m 低下し、次の1ヶ年には 0.23 m の低下を見たが、

其の後は尙低下の傾向は見受けられるが之は漸減して4年目には合計して 0.7 m の低下となつてゐる。夫れより約 3.5 m 上流の上妻では最初の年に 0.09 m の低下を見たに過ぎなかつたが、其の後は増加し、4年目には合計 0.44 m の低下となつた。昭和14年には 0.55 m となり、同15年には 0.5 m となつたのである。捷水路の流末では通水後次第に高まり、2年目には 0.15 m 上昇したのであるが、其の後は低下して4年目には通水前と殆んど同様になつたのである。夫れより約 3.2 km 下流の石下では3年目までは殆んど變動なく、0.09 m の上昇に過ぎなかつたが、4年目には 0.19 m の上昇となり、5年目の昭和14年に

圖-56 (1).

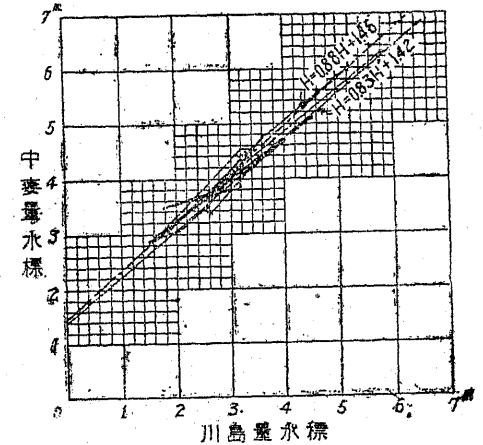
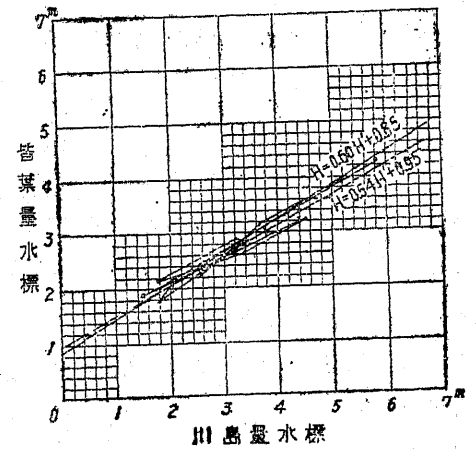


圖-56 (2).



は 0.30 m に増加したが、同 15 年には 0.31 m となり落着を示して来た。更に之から 9.4 km 下流の中妻では 4 年目の昭和 13 年迄は寧ろいくらか低下して直接捷水路の影響を受けぬものゝ如くであつたが、5 年目からは漸増し同 14 年には昭和 9 年に比し 0.02 m、翌 15 年には 0.10 m 嵩まり、増高の傾向を示して来た、中妻量水標には石下量水標より約 3 年遅れて捷水路の影響が現はれて来たものと考へられる。之に依ると昭和 15 年以後には水海道も多少嵩るものと想像せられる。一般に平均水位の低下は上流に向け進み、其の上昇は下流に向つて進んでゐるが、次第に其の量は少なくなつてゐるので、其の影響は遠からず消滅するものと思はれ、在來の勾配に近い勾配をとる様になるであらう。上妻量水標では初めの 4 年間は一樣に低下して来たが昭和 14、15 年の 2 年間には殆んど變化なく寧ろ多少上昇の傾向さへ見へて来た。特に下流側の變動の少ないのは注意を要する。皆葉では通水後 4 年目の昭和 13 年には

圖-56 (3)

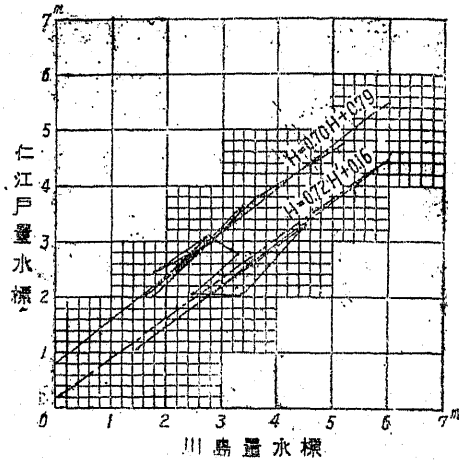
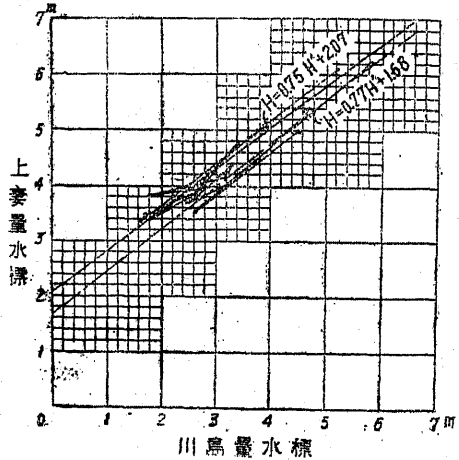


圖-56 (4)



殆んど以前の狀態に還り、石下では通水後 2 年目より影響を見始めたが之も 5 年目以後は變動を見なくなつた。

殆んど以前の狀態に還り、石下では通水後 2 年目より影響を見始めたが之も 5 年目以後は變動を見なくなつた。

(2) 高水位の變化

捷水路設置に依る高水位の變化に就ては其の影響を受けぬと思はれる。川島量水標(捷水路の上流端より 18.5 km 上流)を基準にとり、之と前記各量水標水位との相互關係を求めた。此の場合洪水に際しては下流側水海道量水標も多少捷水路による影響を受けてゐる虞があるので、ずつと上流側に基準を置いたのである。之は圖-56(1)~(4)に示す通りで、前の場合と同様に大體に於て直線で表はし得られる。

(a) 捷水路通水前

川島量水標水位	— 中妻量水標水位	$H = 0.88 H'' + 1.46$	}(80)
"	— 皆葉 "	$H = 0.60 H'' + 0.86$	
"	— 仁江戸 "	$H = 0.79 H'' + 0.79$	
"	— 上妻 "	$H = 0.75 H'' + 2.07$	

(b) 捷水路通水後

川島量水標水位	— 中妻量水標水位	$H = 0.83 H'' + 1.42$	}(81)
"	— 石下 "	$H = 0.57 H'' + 0.94$	
"	— 皆葉 "	$H = 0.54 H'' + 0.95$	
"	— 仁江戸 "	$H = 0.72 H'' + 0.16$	
"	— 上妻 "	$H = 0.77 H'' + 1.68$	

茲に單位は m にして、 H'' は川島量水標水位、 H は各量水標水位である。

之から川島量水標が計畫高水位 5.94 m に達した場合の各量水標の捷水路通水前及び後の相當水位を (80) 及び (81) 式から求めると表-35(イ)の通りとなり、昭和 13 年 9 月の高水位、之は川島量水標で 5.80 m に達したものである

が、此の場合の観測水位と(80)式に依る相当水位との関係は表-35(イ)の如くなる(圖-57参照)。

昭和13年9月

圖-57. 高水位比較表

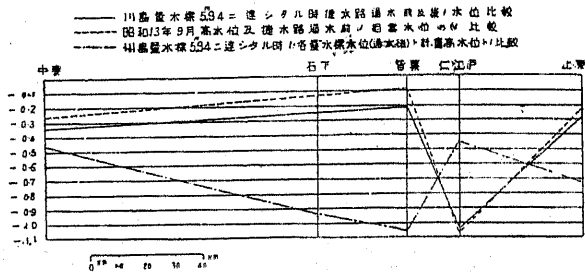


表-35(イ). 高水位比較表
(川島量水標が計算高水位 5.94 m に達した場合)

量水標名	水位 (m)				H-H ₀
	H ₀		H		
	讀數	Y.P.	讀數	Y.P.	
中妻	6.69	17.48	6.35	17.14	-0.34
石下	—	—	4.33	20.33	—
皆葉	4.42	22.06	4.16	21.80	-0.21
仁江	5.48	24.85	4.44	23.81	-1.04
上妻	6.53	26.29	6.25	26.01	-0.28

茲に H₀: 捷水路通水前の川島量水標相当水位
H: 捷水路通水後の川島量水標相当水位

表-35(ロ). 高水位比較表
(昭和13年9月高水位川島量水標 5.80 m に達した場合)

量水標名	水位 (m)				H-H ₀
	H ₀		H		
	讀數	Y.P.	讀數	Y.P.	
中妻	6.56	17.35	6.30	17.09	-0.26
石下	—	—	4.30	20.30	—
皆葉	4.34	21.98	4.25	21.89	-0.09
仁江	5.37	24.74	4.30	23.67	-1.07
上妻	6.42	26.18	6.20	25.96	-0.22

茲に H₀: 捷水路通水前の川島量水標相当水位 H: 観測水位

の洪水は殆んど計畫高水位に相当するものであつたが、之に依れば捷水路設置なき場合の豫想よりも全般に互つて低く、捷水路の流頭では特に著しく 1.07 m に達し、上妻でも 0.22 m 低下した。捷水路流末に於ては 0.09 m 低いのであつて、一般に漸次低下の傾向のあることから考へれば、將來は尙低くなるものと推量せられる。兎に角河道の通水能力は全般を通じて良くなつてゐることが認められる。

(3) 河床の變化

捷水路に通水の結果河床に變動を生ずることが豫想されたので、通水直前昭和10年1月に捷水路の前後 8 km に互つて横斷測量を行ひ、通水後は同年10月、同11年1月、同7月、同12年2月、同13年12月及び同16年7月に引続き横斷測量を実施した。此の横斷圖から常水路の部分の平均河床高の變化を求めると表-36の通りである。

又此の場合砂礫の移動量を知るために、調査區間を捷水路と夫々其の上下流との3區間に分つて單位面積上の砂礫の移動量を計算する表-37, 38 の如くである。

之等の關係は圖-53, 59 及び 60 に示

す通りであつて、先づ捷水路上流側の

圖 58. 年平均河床高變動圖

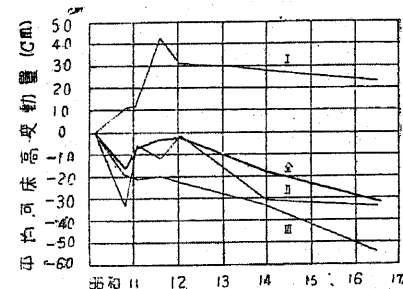


圖-59. 年平均砂礫堆積量變動圖

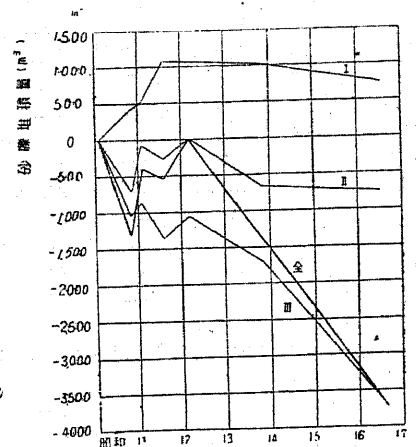


表-36. 平均

位置	遞加距離 (m)	平均河							
		昭. 8. 12.		昭.10.1.	昭. 10. 10.		昭. 11. 1.		
		Y.P.	昭.10.1.よりの昇降	Y.P.	Y.P.	昭.10.1.よりの昇降	Y.P.	昭.10.1.よりの昇降	
4/18	619.4	13.68	+0.19	13.49	—	—	13.55	+0.06	
4/24	1 220.2	13.74	+0.01	13.73	—	—	13.64	-0.09	
4/30	1 807.1	14.41	+0.04	14.37	—	—	14.17	-0.20	
5/0	2 447.1	14.61	+0.04	14.57	—	—	14.42	-0.15	
5/6	3 105.7	15.10	-0.17	15.27	—	—	15.21	-0.06	
5/12	3 781.0	15.72	+0.09	15.63	—	—	15.65	+0.02	
5/18	4 490.4	15.40	-0.09	15.49	—	—	15.69	+0.20	
5/24	5 211.7	16.10	+0.18	15.92	15.93	+0.01	15.85	-0.07	
5/30	5 888.1	16.35	+0.08	16.27	16.42	+0.15	16.59	+0.32	
6/0	6 516.8	16.51	-0.01	16.52	16.92	+0.40	16.60	+0.08	
6/6	7 141.7	11.80	-0.05	16.85	17.05	+0.20	17.26	+0.41	
6/12	7 759.5	17.03	+0.03	17.00	16.92	-0.08	17.00	—	
6/18	8 137.7	17.32	+0.06	17.26	17.23	-0.03	17.32	+0.06	
2"	8 410.9	—	—	17.43	17.16	-0.27	17.27	-0.16	
3"	8 683.3	—	—	17.05	16.60	-0.45	17.10	+0.05	
5	8 956.1	—	—	17.15	16.81	-0.34	17.20	+0.05	
6'	9 228.9	—	—	17.47	17.04	-0.43	17.42	-0.05	
7"	9 501.7	—	—	17.56	17.08	-0.48	17.58	+0.02	
8"	9 809.0	—	—	17.75	17.46	-0.29	17.86	+0.11	
7/21	10 091.9	19.58	+0.28	19.30	18.92	-0.38	18.76	-0.54	
7/24	10 704.6	19.00	-0.32	19.32	18.71	-0.61	18.64	-0.68	
7/30	11 413.7	19.13	-0.17	19.30	18.89	-0.41	19.19	-0.11	
8/0	12 050.1	19.57	-0.01	19.58	19.42	-0.16	19.38	-0.20	
8/6	12 633.3	20.16	+0.23	19.93	20.09	+0.16	19.92	-0.01	
8/12	13 285.5	20.12	+0.02	20.10	20.00	-0.10	19.85	-0.25	
8/18	13 636.4	—	—	20.42	20.01	-0.41	19.95	-0.47	
8/21	14 330.6	20.31	+0.10	20.21	19.92	-0.29	20.38	+0.17	
8/27	15 394.4	—	—	21.03	20.91	-0.12	20.98	-0.05	
9/0	16 265.5	—	—	21.38	21.56	+0.18	21.66	+0.28	
9/9	17 236.4	—	—	21.47	21.53	+0.06	21.05	-0.42	
9/18	18 221.0	—	—	22.46	—	—	22.27	-0.19	
9/27	—	—	—	22.22	—	—	22.06	-0.16	

備考——平均河床高とは常水路の部分の平均河床高を示す

河床高

床高 (単位 m)							
昭. 11. 7.		昭. 12. 1.		昭. 13. 12.		昭. 16. 7.	
Y.P.	昭.10.1.よりの昇降	Y.P.	昭.10.1.よりの昇降	Y.P.	昭.10.1.よりの昇降	Y.P.	昭.10.1.よりの昇降
13.63	+0.14	13.63	+0.14	13.45	-0.04	13.65	+0.16
14.07	+0.34	14.05	+0.32	14.04	+0.31	14.49	+0.76
14.33	-0.04	14.43	+0.06	15.04	+0.67	14.31	-0.06
14.65	+0.08	14.94	+0.37	14.63	+0.06	14.56	-0.01
15.33	+0.06	15.11	-0.16	15.18	-0.09	15.20	-0.07
15.41	-0.22	15.78	+0.15	15.92	+0.29	15.67	+0.04
15.91	+0.42	15.79	+0.30	15.98	+0.49	15.73	+0.24
16.03	+0.11	16.03	+0.11	16.20	+0.28	16.19	+0.27
16.76	+0.49	16.56	+0.29	16.67	+0.40	16.40	+0.13
17.19	+0.67	16.81	+0.29	16.81	+0.29	16.69	+0.17
17.07	+0.22	17.38	+0.53	17.64	+0.79	17.43	+0.58
17.51	+0.51	17.35	+0.35	16.89	-0.11	17.00	+0.60
17.84	+0.58	17.52	+0.26	17.30	+0.04	17.48	+0.22
17.60	+0.17	17.52	+0.09	17.22	-0.21	17.39	-0.04
16.86	-0.19	17.04	-0.01	16.71	-0.34	16.68	-0.37
16.99	-0.16	17.34	+0.19	16.80	-0.35	16.80	-0.35
17.13	-0.34	17.39	-0.08	17.01	-0.46	16.96	-0.51
17.27	-0.29	17.54	-0.02	17.06	-0.50	16.99	-0.57
17.47	-0.28	17.63	-0.12	17.46	-0.29	17.12	-0.63
18.86	-0.44	18.87	-0.43	18.91	-0.39	18.87	+0.43
18.61	-0.71	18.80	-0.52	18.23	-1.09	18.37	-0.95
19.43	+0.13	18.77	-0.53	19.50	+0.20	18.77	-0.53
19.35	-0.23	19.36	-0.22	19.01	-0.57	19.14	-0.44
20.22	+0.29	20.02	+0.09	20.16	+0.23	19.81	-0.12
19.80	-0.30	19.90	-0.20	19.76	-0.34	19.56	-0.54
19.76	-0.66	19.86	-0.56	19.51	-0.91	19.75	-0.67
19.93	-0.23	20.21	0	20.09	-0.12	19.63	-0.57
20.70	-0.33	21.23	+0.20	21.16	+0.13	20.50	-0.53
21.18	-0.20	21.46	+0.08	21.24	-0.14	20.57	-0.81
21.92	+0.45	21.08	-0.39	20.78	-0.69	20.94	-0.53
22.15	-0.31	22.38	-0.08	22.24	-0.22	21.80	-0.69
21.09	-0.13	22.18	-0.04	21.92	-0.30	21.46	-0.76

表-57. 砂礫移動の状況

区間	砂礫移動量 (単位幅當り m³)					
	昭. 10. 10.		昭. 11. 1.		昭. 11. 7.	
	+	差*	単位距離** 當り	+	差*	単位距離** 當り
1	480	+ 416	+0.13	538	+535	+0.16
2	0	- 707	-0.34	46	- 71	-0.03
3	212	-1 046	-0.16	232	-861	-0.13
計	693	-1 317	-0.11	818	-398	-0.03

区間	砂礫移動量 (単位幅當り m³)					
	昭. 12. 2.		昭. 13. 12.		昭. 16. 7.	
	+	差*	単位距離** 當り	+	差*	単位距離** 當り
1	1 066	+1 065	+0.33	1 044	+1 012	+0.31
2	126	+ 3	0	1	- 662	-0.32
3	243	-1 068	-0.17	139	-1 716	-0.27
計	1 433	0	0	1 184	-1 366	-0.12

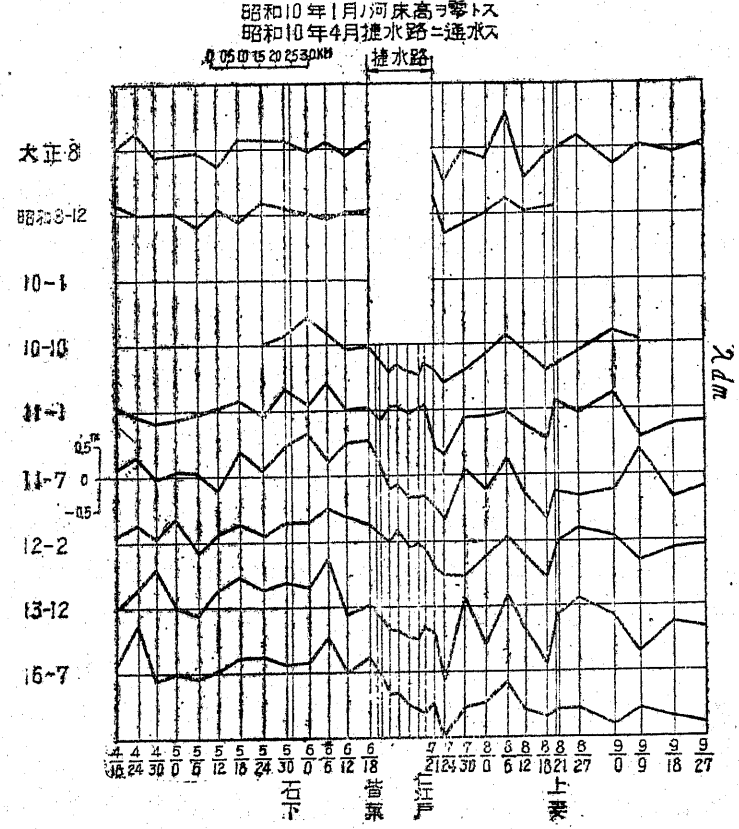
備考 砂礫移動量は昭和10年1月の状態との比較を示す
* は単位幅當りの移動量にして ** は河床単位面積當りの移動土量を示す

表-38. 区間別距離表

区間	丁 杭	距離 (m)
I	5/24~6/18	3 269
II	6/18~7/21	2 050
III	7/21~9/9	6 456
全		11 775

平均河床高を見れば、此の部分では一樣に低下してゐる。捷水路通水以前の状態から考へると此の影響は漸次下流から上流に向つて進んで居り、初め、3、4年の間は特に下流側 3.5 km 位の範圍の低下が著しかつたが 5~6 年目に至つては 4~

圖-60. 平均河床高變動圖



8 km の区間の低下が判然と現はれて来て、此の影響は更に上流に及んで居ることが想像せられる。本区間は通水初年度以来殆んど同じ割合で低下してゐるものであつて、更に之が漸増を豫想することが出来るが、既に最初に著しい低下を來たした下流側 3.5 km の間は漸く安定であることが認められる。圖-60 にある様に此の区間中、丁杭番號 7/30, 8/6 及び 8/27 の地點では昭和16年に於ては多少是正せられて來た様であるが、然し河床は却つて上昇して不規則となつてゐる。之は彎曲部に相當してゐる所であつて、流速が増大された結果、彎曲に依る影響が一層著しくなり、偏流を來して、砂洲の上昇を招いたものであり、又彎曲に依る洗掘の爲に其の終端附近に砂洲の堆積を來したもので、流路の調整を行へば取除き得られるものと考へる。

捷水路の区間も一般に低下してゐる。之は其の後上下流端に床固として沈床を敷設したので、此の影響が見受けられるが勾配は次第に緩になつてゐる。通水當初には捷水路断面2號と8號(全延長を10に區分してゐる)との河床高の差が32 cm あつたのであるが、之が昭和13年12月には24 cm となつた。此の区間は低い水位の続く間は上流よりの流送土砂で幾分堆積せられる傾向があるが、高水後には之等の土砂は更に搬送せられるのが認められる。

此の場合の問題の重點は捷水路の下流側に在るのであるが、此の地區では初めの620 m の区間は昭和11年7月の實測値が最も高く同10年1月の値に比して平均54.5 cm 上昇したが、其の後低下し、同13年12月の實測値に依れば却つて3.5 cm 低下してゐる。其の後又多少増加し昭和16年7月には11 cm の上昇となつてゐるが漸次低下の状態に在る。之に續く約1300 m の区間は次の彎曲に續く直線部に相當し、比較的幅員が廣いのであるが、此處でも矢張り昭和11年7月が最高で平均46.7 cm 上昇し、其の後は漸次減少して同12年2月には平均39 cm となり、同13年12月には32.3 cm、同16年7月には25 cm の上昇となつた。同11年1月には捷水路の影響の見受けられた區域は捷

水路流末から2700 m の区間であつたが、之が同年7月には3500 m となり、同12年2月には4000 m、同13年12月には4500 m となつた。昭和16年7月に至つては全面的に低下を來してゐる様になり、此の影響範圍は漸次不明瞭となりつゝある。出水毎に搬送される土砂は其の下流地區に堆積せられるが、此の堆積せられた土砂は漸次下流に移動し、其の堆積高さを減ずるものゝ様に考へられる。

本区間に於ける土砂の變動状態から見れば、捷水路下流地區3269 m の区間では捷水路通水直後には急激に土砂の堆積を見、昭和11年の夏期には最高に達し、河床單位面積當りの堆積土砂は 0.33 m^3 となつたが、夫れ以後は殆んど變化なく、同13年12月には多少減少して 0.31 m^3 となり、同16年7月には 0.23 m^3 となつた。捷水路の部分2050 m の間は通水直後に河床土砂を流送せられて以來は常時は多少埋没することもあるが、出水時には流送せられ大體に於て初めの状況を維持してゐる。捷水路上流地區の6456 m の区間であるが、此の部分は通水直後以來大體に於て同一割合で尙洗掘流送せられてゐる。昭和10年10月には單位面積當り 0.16 m^3 、同11年7月には 0.21 m^3 、同13年12月には 0.27 m^3 となり、同16年7月には 0.57 m^3 となつた。併し乍ら此の内容を見ると、初めの内は下流側の洗掘が多く、漸時上流に向ひ、之に従つて下流側の變動は極めて少くなりつゝあるのは注意を要する。11775 m の全区間に就て見れば通水直後に相當量の流送を見て以來2年間は多少土砂堆積の傾向に在つたのであるが、昭和12年以後は漸時流送量を増加し、昭和16年7月には單位面積當り 0.31 m^3 が本區域外に流送せられたのである。

〔3.3.3〕 要 約

之を要するに鬼怒川では捷水路は效果的であつた。捷水路上流地區では最初に下流側が著しく洗掘せられたが、其の後洗掘は漸次上流に向つて進み、下流側は稍々嵩つて來た。捷水路の下流側地區に於ては初め其の上流端に相當の土

砂堆積を見たのであるが、之は漸次低下し、土砂の堆積はあたかも一個の砂丘をなして下流に移動するものゝ如く、而も次第に其の高さを減じ、廣く分散される傾向が判然と見受けられてゐる。水面勾配も河床勾配も共に漸次以前の狀態に復歸しつゝあることが了解せられる。圖-60に見らるゝ様に捷水路上下流共に昭和16年7月の河床勾配は通水以前の狀況に酷似してゐる。最も懸念せられた下流地區の河床上昇も一時的の現象であつて、殆んど舊に近い狀態に還りつゝあつたことが認められる。河道の通水能力は全般を通じて著しく良好になつた。

捷水路の上、下流地區の水路の調整工作を施せば現在見受けられる多少の河床の不整は容易に除却せられるであらう。斯くすれば捷水路を設けることに依り、上流部の改善は明瞭であると共に下流部には外に悪影響を及ぼさず洪水流通能力を増大せしめ、全般的に與へる效果には著しいものがある。

〔3.4〕 捷水路の效果

〔3.4.1〕 概 況

以上に述べて來た Mississippi 河並に鬼怒川の捷水路は現在の所他に支障を及ぼさず、相當効果を擧げて居り、將來の見通しも良好なる様に考へられるが、捷水路には不結果を來した例も多いのである。

普通捷水路を設ける結果は勾配が急になり、流水は加速され、捷水路の上流では水位は低下するが、下流側では其の河道の通水し得る能力以上の水が來るため却つて水位の上昇を來す。又急勾配となつたため上流部で洗掘された土砂は其の下流に沈澱し、河床を高め、引いては航行河川では舟航に支障を來した例が多いのである。他の部分を犠牲にしても或る特定の場所を救はねばならぬ場合、又は下流地區では假に水位の上昇を來しても特別に支障のない場合に限つて捷水路は設くべきものと云はれて來た。

一般に河川は其の河道の延長が河狀に相應する様適當に定められ、適切な流れの條件が具備せられた時に安定となり、洪水の快疏に資することが出来るのであつて、若し河川が比較的安定してゐるとすれば、一度之を破壊した場合には相當長期間に亘つて支障を來すことは當然であつて、捷水路の效果には功罪相仲するものがあり、其の採用に限度のあると云はれてゐることは注意しなければならぬ。

〔3.4.2〕 捷水路の效果

Mississippi 河では捷水路を設けると同時に河道の法線、幅員、水深に留意して之を適當に保導して行つた。Mississippi 河で捷水路の成功したのは此の補助的の役割が大きな原因の一つとなつてゐると著者は考へる。

之を要するに捷水路の效果を決定のならしめる要素は捷水路設置後其の下流に流送された土砂を此の部分の河川の掃流力が十分其の抵抗に打ち勝つて、更に下流の廣範な區間に之を搬送し得るや否やと云ふに在る。此の場合重い土砂であるとするに此の堆積は永久的のものとなるかも知れない。斯くすれば水位は嵩上し、流水の疏通に支障を來すことになる。若しも現在の河道が安定してゐる——土砂の移動が比較的少ないと云ふ様な場合——河川では此の平衡狀態を破壊するが如き工事を施行すると、之が還元することは一般に困難であり、相當な期間を要するが、之が不安定な場合——土砂の移動、流路の變轉を見る様な場合——には河狀に幾何かの變化を與へても尙流水の力に餘裕があり、可及的に早く以前の狀態に、即ち以前の勾配に復歸し得るものである。捷水路を設ける場合に之のみでは十分でなく、其の場合の河道に適應する様に導く所の諸施設を合せ行ふ必要のあることを Mississippi 河で示唆してゐるのも之に基くものと考へられる。Mississippi 河は相當不安定な河川であつて、河床の移動は甚しいと云はれて居る。

鬼怒川も亦かなり不安定な河川であつて、鬼怒川下流地區では一度出水を見

れば數米も洗掘せられるが、出水後には又殆んど元へ還つてゐることは屢々報告されてゐる。既に〔2.5〕で記述した様に鬼怒川下流地區は掃流力に比し、河床構成の状態は不安定であつて、相當掃流力に餘裕あることが推量せられる。流水は更に流送せられた土砂を下流に搬送し得るものと考へられる。事實は之に近い結果を與へてゐる。河川を處理する場合に河相が重大なる關聯を持つ事は此の場合に就いても考へられるのである。

捷水路は其の河狀を十分認識し、之が是正を促進する所の他の工法を適當に組合せ用ひることに依つて初めて全面的に河道を匡整し、水位を低下せしめ、河道の通水能力を増大せしめることが出来るのであつて、十分之等の事情を考慮に入れないと今迄考へられてゐた様に種々な不結果を招來する虞がある。

〔4〕 河川合流點

〔4.1〕 河川合流點の形態

〔4.1.1〕 概 説

河川合流點を如何に處置するかと云ふことは吾々が河川改修工事を實施するに當つて、屢々遭遇する重要な問題である。一般に合流する諸河川の内一河川が他の河川に比し規模が著しく小さい場合には比較的問題は簡單であるが、勢力の匹敵する場合には相當困難となる。緩流の航行河川では航路維持、急流の場合には偏流に依る河岸、堤防の保全に就て十分考慮する要があると共に、洪水の疏通に關しても考へねばならない。

〔2〕に於て詳論したところであるが、或る河川に於ても上流に於けるもの程粒徑の大きなものを含み、流下するに連れて粒徑の大きなものを減じ細流が増加して來る。河狀に影響を及ぼす程の支流のない場合には普通之は規則正しく變化して來るが、相當大きな支流の合流する場合には、此の砂礫の混和状態に