

平行工の適用とその効果に関する研究

佐々木 八郎*

(昭和44年5月30日受理)

1. 平行工の適用とその問題点

1.1 偏流・乱流の防止と平行工の活用¹⁾の考え方

1.1.1 低水路の拡幅と偏流対策

今後の河道計画を合理化していく上で、とくにA級河川のような大河川にたいしては、まず基本高水流量を大きく引き上げることが基本的な要請であり、つぎにそのためには、低水路を拡幅することがきわめて有効適切な策案であると信じている。そこで、こうした拡幅がなされた場合を考えると、その後どんな悪影響が河道内に起こるであろうか、また、その対処はどうしたらよいかという2点が、これからさきの問題となってくる。まず、前者、すなわち悪影響の点は、かならずや偏流・乱流の顕著な発生¹⁾の姿で現われ、とくに、堤防・護岸の局所深掘れの現象が目立ってくるものと予想をすることができる。この点は、多年の経験実証をへて、低水路を設置してきた理由**に照らせば、誰しも容易に肯定ができるであろう。つぎに、後者、すなわちこうした困った現象にたいする新たな対処の点は、それぞれの立場***から、種々の対応策が提案できるわけである。そうした場合に、従来の平行工を活用することを考え、これによって、偏流・乱流の発生を防止し、護岸・堤防の保全をはかることを提案して、そうした場合の問題点をここで検討をし、解決の方法を考究していこうとするものである。つぎに、このことを説明していくことにする。

1.1.2 偏流防止と平行工の活用

多くの水制は、横工ともいわれているように、流れを横切ってつくられるものである。

* 土木工学教室、教授

** 低水路の設置の理由は、多くの専門書にのべられてあるように、(1)偏流・乱流の防止、(2)舟航路の確保、(3)用排水路の確保等によるが、ここでは、治水上からみてもっとも重要性をもつところの(1)をとる。

*** たとえば、建設省淀川工事事務所の計画案³⁾によれば、「低水路を拡幅する」計画が、はじめて淀川下流部で具体化しようとしている。そうした場合に、新低水路部の低・濁水位取水については可動堰を22kmと30km付近に設け、また、河道内に発生するであろう偏流と局所深掘れを防止する方策としては、導流堤・床固め水制などが提案なされている。

こうした水制は、その頭部がとくにいちじるしい洗掘をうけやすいので、そのために、適当な方法でこれを保護する場合がある。頭部水制を加えたところの鍵だし・鎌だし・丁だし等がそれである。こうした水制は、狂暴な河川の多いわが国で、経験的にいろいろ工夫をこらして適用され、治水の効果をおさめているのが各所に見られる。たとえば、筑後川筋には「荒籠(あらこ)」と呼ばれるもので、頭部が河心に達するような長大なT型不透過水制が、兩岸から突き出されて偏流を制した面影が随所に残っている。これは、丁だしの幹部水制を長くした特殊の型と考えてよく、水深維持の低水工として適用されたものである。

平行工は、うえの例とは逆に、丁だしの頭部水制の方をとくに長くのばしたものである。すなわち、平行工は、縦工ともいわれているように、流れにほぼ平行して護岸に近くつくられる一種の水制である。こうした平行工のすぐれた特性は、流れを導いてみおすじを固定する点にある。しかし、横工、すなわち通常の水制と呼ばれるものにくらべれば、土砂を誘致して沈でんをさせることが不確実であるという欠点がある。とくに、平行工を連続してもうけると、工の裏側すなわち岸方への土砂の沈でんがあまり期待ができなくなり、沈でんはきわめて徐々にしか進行しない。そこで、適当に切って隙間をつくり、土砂を流入させて堆積を起こさせることがよく行なわれる。工の高さは、維持上の容易さからなるべく低くし、平均低水位より高くてもせいぜい0.5mぐらいに止めるのが一般である。こうした長所と短所があるために、単独にもちいないで、平行工のもつ流水制御の効果が的確かつ迅速である利点と、横工のもつ効果は迅速を欠くが寄洲をうながし、建設・維持の費用が低れんである利点を組み合わせる設置されることが多い。まえの「あらこ」もそうした一つの活用の仕方であり、流水の快疏ならびに土砂の誘致・沈でんをはかったものである。

これまでわが国でよく知られた平行工の使い方としては、Max-Mayerの方法と呼ばれて、流水の横過防止や派川・旧川の締切りあるいは低水路の切りかえの場合などに適用されることが多かった。また、高水工事にもちいられる場合は、平行工は、むしろ根固め水制の性格をもっている。利根川や信濃川すじにはこうしたものを見ることができる。たとえば後者で、大河津の分派下流の旧信濃川がその好例である。すなわち、ここでは分派後に流量がへり、これまでの河川敷では広すぎるようになって、偏流や乱流を生じ、低水路の乱れがはなはだしくなり、河口の新潟港の維持にも悪影響をおよぼすにいたったため、一貫した低水路を固定する必要ができた。そこで、図-1(a)の略図のように平行工をもうけることにし、また、ポンプ船で浚渫を行なった結果、こうした偏流を防止して低水路を固定することができた。

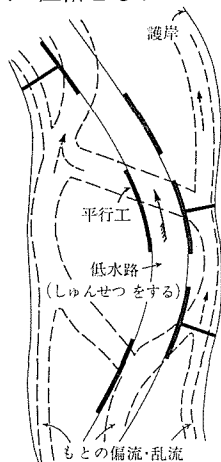


図-1 (a) 平行工による低水路の確保

元来、平行工の大規模なものもは歐洲方面に多い。歐洲大陸では、偏流・乱流の防止の問題は、河川を航行する面からとくに重要視されている。このために、大河川には平行工や横工と縦工のたぐみな組み合わせが随所に設置されている。たとえば、ライン河ボンゲン(河口から530km上流の河港)付近の例をあげると、図-1(b)のとおりである。この付近は、河床勾配が1/9,000、河幅(B)

が500mないし900mで、流路が変わりやすく航行に危険であるために、左岸に丁だしをならべて裏側に土砂を誘致させ、べつに長さ1kmにおよぶ平行工(P_0)を隙間をつけないで設けている。こうして、有効河幅は b_0 だけ縮幅されて $(b_1 + b_2)$ となり、平均水深は増大する。これによって、丁だしの内側(S)には土砂が沈んで左岸の侵蝕が防止されるとともに洪水の快疏に効果をあげ、また、平水時には偏流の発生が防止されて、A部が安全な航路として固定されるのである。さらに、最近の改修計画をみると、平水時流量*を $Q = 1349.2\text{m}^3/\text{s}(100\%)$ と定め、これに対応するA部は $Q_1 = 442.2\text{m}^3/\text{s}(32.8\%)$ 、 $b_1 = 100\text{m}$ とし、C部は $Q_2 = 907.0\text{m}^3/\text{s}(67.2\%)$ 、 $b_2 = 240\text{m}$ とし、また、A部の平水時水深を3mに維持できるようにし、平水時においても2航路線を確保させることにした。このため、平行工の頭部(K)から下流にかけて、これに必要な水理模型実験が行なわれている。

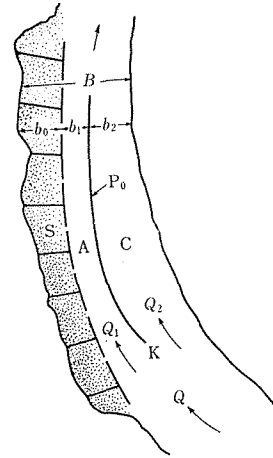


図-1 (b) 平行工と丁だしによる航路の確保 (ライン河ビンゲン港付近)

わが国では、これまでほとんど横工が使われていて、うえに引用した歐洲大河川にみられるような大規模な縦工としての平行工は、たいへんかねがねかかるという事情もあって、使用されていない。しかし、大河川周辺に集中する大都市の経済効果の面を再検討をして、これから大規模に平行工を活用して、偏流や乱流の防止に役立つ必要があると考えるものである。そうした場合に、さきに述べたようなこれまでの使い方にとどまらず、たとえば一つの活用の仕方として、河道の中央部まで平行工を發展させれば、どうなるか、また、こうした河川工作物は、どんな意義をもってくるか。そして、その水理的機能と効果はどんなものか、などと種々の問題が起こってくるはずである。しかし、現在こうした問題については、まったく明らかにされていないようである。平行工は、治水と利水の両面からみて今後おおいに活用をはかる価値がある工作物であると信じているのであって、低水路を拡幅するためにも、まえもってこうした問題を明らかにしておく必要があると考えている。こうした理由で、本文で平行工を研究しようとするものである。

1.2 平行工の活用上の問題点

平行工の活用にたいする期待は、これまで説明をしたとおりであるが、こうした場合の問題点を考えてみる。

まず、平行工の一つの活用の方式として、河道の中央部にこれを置いたものを考える。この場合に、図-1 (b)の平行工 P_0 のように隙間がない方式のものであれば、比較的簡単であって、流れは最も完全に導流されることが期待できる。しかし、もし隙間をとるところに明けた方式ならば、どうなるか。これはまだわからない問題である。そこで、平行工を河心にそって上流から下流まで数多くならべるが、そこには隙間があるものを考えることにする。こうした場合に、河道内の流れは、平行工のために初め両側に均等に分流され

* 既往の最大洪水流量は $7,400\text{m}^3/\text{s}$ (1883年)である。

るはずであるが、途中に隙間があるから、両側の流れは完全な独立性を保つことができなくなろう。また、隙間のために、流況にいろいろ影響をあたえることになるろうと、まゑもって想像をすることができる。したがって、平行工を配置すれば、流心はどんな変化をするか、偏流や乱流の固定はどうであるか、分流の状態はどうであるか、護岸の洗掘は軽減されるかどうか、また、どのていどの隙間ならばどんな効果が期待できるか等が、問題の焦点となろう。こうしたところを、かりに水理条件の要素をとり入れた次式のかたちで表わしてみよう。すなわち、

$$N_s = \phi \left(\frac{Q}{Bh\sqrt{gh}}, i, \frac{v^2}{gd_m}, \frac{h_s}{h}, \frac{h_s}{h_f}, \frac{d_m}{B_s}, \frac{L_o}{B}, \frac{L_o}{L_o + L}, n_s, K_s \right), \quad (1)$$

とする。ここに、

B : 水路の全幅,

B_s : 平行工で左右に分割されてできた小流路の幅,

d_m : 移動床水路の底質の平均粒径,

g : 重力の加速度,

h : 平均水深,

h_f : 計画高水の水深,

h_s : 平行工の河床面からの高さ,

i : 河床勾配,

K_s : 平行工の頭部および尾部の形状等に関する項,

L : 平行工の設置間隔(すなわち、平行工の隙間の長さ),

L_o : 平行工の長さ(1単位長),

N_s : 平行工が、偏流・乱流を望ましいかたちに固定できる期待率(仮称),

n_s : 平行工の配列数,

Q : 流量,

v : 平均流速,

である。

すなわち、上式は、偏流・乱流の防止に平行工をこれから活用していくうえで、どんな項目が問題になるかを一応とりあげたものである。そこで、上式中のいくつかの項目を対象にして、これから平行工の機能と効果に関する研究をこころみることにする。このなかでは、つぎの点も重要な問題としてとらえたいと考えている。

一般に、流れには偏流や乱流状のもの、形の定まった蛇行流状のものを認めることができる。後者は、河道の安定からみて好ましい一つの形態といえることができる。⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾ したがって、蛇行の研究は河道計画の合理化にとって重要な問題である。いま、蛇行流量域*における蛇行のピッチ比(p/B で表わす)と流量の関係は、一般に次式で表わしうることが認められている。すなわち、

* 蛇行流量域とは、蛇行がよくできやすい流量の領域をいう。文献2), 8)に詳しくのべてあるのでここでは省略をする。

$$p/B = C_p Q^m, \tag{2}$$

ここに、

C_p : 水路の水量に、とくに水路壁に関する係数、

m : 水路の水量に関する指数、

p : 蛇行のピッチ、

とする。たとえば Friedkin や Inglis は、このように流量が大きくなれば、波長が長くなることを認め、前者は 図-2 をしめしてこれを説明をし、また、Inglis はつぎの式によって同様のことを表わしている。すなわち、

$$l = C_l Q_{max}^{1/2}, \tag{3}$$

$$W = C_w Q_{max}^{1/2}, \tag{4}$$

ここに、

l : 蛇行なりに測った 1 波長の平均長、

W : 蛇行流の水面の平均幅、

Q_{max} : 高水流量、

C_l, C_w : 係数、

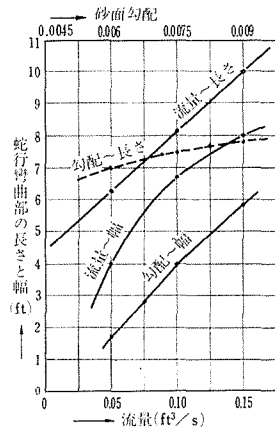


図-2 実験水路における蛇行の大きさ(平行工なし)(フリードキンによる)¹²⁾¹⁴⁾

である。

いまもし、こうした水路のなかに平行工もしくは背割工を設置した場合には、そこに新たに生ずる蛇行流が、

上記の諸式とどんな関係のある形態をとるであろうか、そして護岸に発生する洗掘はどのように変化を起こすであろうか。こうした点は、このような河川工作物を適用することによって、低水路の拡幅後の流れに対処をさせようと計画をする場合には、とくに重要な問題であると考えている。

2. 平行工の機能とその効果に関する研究

2.1 目的と方法

前章で平行工の活用の意義を明らかにし、その問題点となるところをあげておいた。これにもとづいて、その水工学的効果を明らかにしようとするのが本章の目的である。すなわち、こうした平行工を設置すれば、水理的機能はどうであるか、また、河道のなかの流れを調整し、護岸の洗掘を軽減するのに適用をすれば、どのような効果が期待できるかを明らかにするのがねらいである。

ここであつかう平行工の配列数は、 $n_s = 1$ 、すなわち河道の中央部に縦に 1 列だけ配置をしたものを考えることにする。したがって、水路の幅を B 、平行工で分割された小水路(左右 2 つ)の幅を B_s とすれば、この場合は、

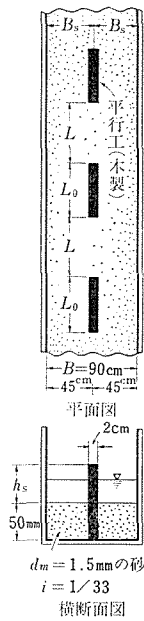


図-3 平行工の配置 (表-1参照)

$$B_s = B/(n_s + 1) = B/2,$$

となる。

実験水路は、幅 90cm, 全長 16m の木製で、夜間瀬川を対象にして、縮尺 $\lambda = 1/100$ につくったものを使用する。このときの相似律の点については、そこで検討をし詳述しているから省略をする。

ただし、この水路の主な常数は次のとおりである。

底勾配： $i = 1/33$,

水路幅： $B = 90\text{cm}$,

長さ： 16m ,

敷砂平均粒径： $d_m = 1.5\text{mm}$, (記号 S_m 砂),

敷砂厚： 50mm ,

流量： $Q = 0.5, 0.75, 1.0, 1.5, 2.0, 4.0\text{ l/sec}$.

この実験の対象とする平行工の配置は、図-3 と表-1 にしめしているが、説明をつけ加えると以下のとおりである。

ここに、

B : 水路の全幅,

B_s : 平行工で分割されてできた小水路の幅,

h_f : 計画高水の水深,

h_s : 平行工の高さ (敷砂の上面から),

L : 平行工の間隔の長さ,

L_o : 平行工の 1 単位長,

である。

表-1 平行工の配置の諸方式 (図-3 参照)

平行工		L_o (cm)	L_o/B	$L_o/(L_o+L)$	L/B	h_s (mm)	備 考
型	符号						
[1]	○	0	0	0	∞	0	通常的水路になる。
[2]	⊙	90	1.0	1/2	1.0	0	} 隙間のある平行工：この実験の対象 (河道の中央部に一列だけ配置)
[3]	⊛	90	1.0	1/2	1.0	10	
[4]	□	90	1.0	2/3	1/2	10	
[5]	▽	45	1/2	1/2	1/2	10	
[6]	—	→小	→小	—	→小	—	L_o と L が小さくなると、縦列の杭型水制のようになる。
[7]	—	∞	∞	1.0	0	$>h_f$	隙間のない平行工：工頂が十分高いので全く分離されて 2 本の平行水路になる。
[8]	—	∞	∞	1.0	0	$<h_f$	低・濁水時は [7] 型と同じであるがあるていどの高水になると流れが工頂をこえる。

註：平行工は、木製で不透過であり、厚さは 20mm で頭部と尾部の形は直角である。

また、平行工の諸型については、

【1】型： $L_0 = 0$ ，すなわち、平行工のない通常の水路にあたる場合である。

【2】～【5】型：この実験の主対象となるもので、4通りの隙間をもつ平行工である。ただし、

$L = 45\text{cm}$ および 90cm ， $L_0 = 45\text{cm}$ および 90cm ，

として、表-1に示す組み合わせをもつ。

【6】型：これも一つの平行工であるが、 L と L_0 を小さくすれば、縦に多数ならべた杭型水制になる。

【7】型： $L = 0$ ，すなわち、隙間のない平行工である。そして、 $h_s \gg h_f$ ，すなわち高さを十分に高くしたものである。したがって、左右両側の水路は完全に分割されて独立性を保つことができる。こうした場合は、背割工*と呼んでもよいと考えている。

【8】型：平面的には【7】型と同様に隙間がない。ただし、 $h_s < h_f$ であるから、洪水時には水面下にかくれる点が【7】型とことなる。

ここで【1】型は、通常の水路であって、平行工を入れた場合の効果を比較検討するための標準型として示しておいた。

つぎに【2】～【5】型は、隙間の割合などをいろいろと変えた平行工であって、ここで実験をする諸型である。これらの平行工では、こうした隙間のために両側の水路は独立性が弱く、流れはたがいに干渉し合って、状態がいろいろ変化をすることが想像できる。このような平行工では、偏流や乱流はどうか、蛇行流はどうなるか、また、護岸に発生する局所深掘れはどうなるか、どのていどの隙間ならば、どのていどの効果が期待できるか、などが問題であって、これらは実験によらなければわからぬところである。

つぎに【6】型は、平行工の単位長をちぢめ、また、隙間をも小さくしたもので、その極限に近いものは、杭型水制を縦に多数ならべた場合に相当する。こうした杭型水制については、べつに貴重な研究がなされているから、ここでは省略をすることにする**。

つぎに【7】型は、隙間をつけない平行工であって、工の高さを洪水位よりも十分に高くしたものである。平行工をもっとも完全化した型式である。本文では、これを背割工と呼ぶことにする。この型は、あとで考察の重要な対象にする考えである。

最後に【8】型は、【7】型と同じく連続したものであるが、工の高さが低いために、洪水時には上層の流れが全面的に一緒になるものである。しかし、せっかく1本に連続をさせながら、このような型を採用することは實際上不利であると考えられるので、実験および考察の対象から除くことにする。

2.2 実験と考察

2.2.1 平行工をもつ水路に起こる流心の変化

まえに述べたところによって、移動床水路の中央部にならべた平行工のうち【2】～【5】

* 背割工と呼ぶわけは、もっぱら2川の合流調整を目的とするところの背割堤（瀬割堤とかく専門書もある）と区別をするためである。

** たとえば、文献15)、16)を参照。

型について、通水を行ない(通水時間は5分から180分まで)、これを【1】型の標準の場合と比較をし分析をする。

右の図-4は、流量の変化にともなう流心の変化を示す一つの例である。図の中で、I, II, III, IVとある記号は、 Q がそれぞれ、0.75, 1.0, 1.5, 2.0(l/sec)の場合の流心線をあらわす。

【1】型(平行工をおかない場合：図-4【1】参照)。

一般的に通水時間が長いほど蛇行形状が明確になり、また、流量が増大するほど蛇行のピッチ λ が長くなって、蛇行度が緩和されていくことがわかる。

【2】型(平行工の1単位長と隙間の長さが同じで、工の背丈けがきわめて低い場合：図-4【2】の流線図を参照)。

この型の場合の流れの特徴は、

(1) 一般に、平行工の両側に等分に分流しない。ゆがんだひょうたん状、あるいは8の字状と見なされる流れが発生しやすい。

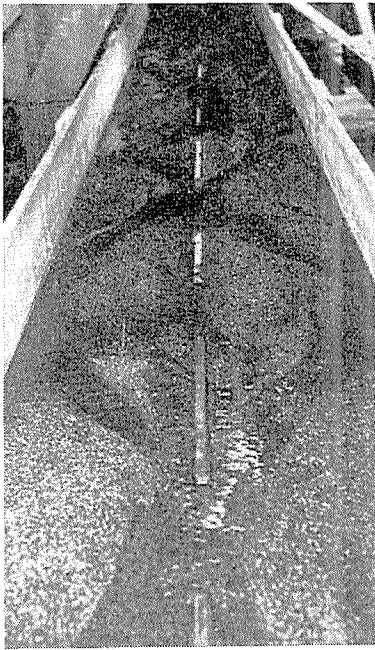


写真-1：【4】型 $Q=1.5l/sec$,
通水時間120分。

実験のうちでは、隙間がいちばん少ない平行工であるから、左右に分流される状態は均等的で、両側にできた蛇行流は、たがいに干渉する度合いが少なく、典型的なひょうたん状をている。この場合は、平行工2本につき1個のくびれを生じている(下流から撮影)。

(2) 平行工の頂部が砂床面と同高につくられてあるために、その上に堆砂ができたり、または流れがそこを横過したりしやすく、まへの【1】型の場合に似てくる。すなわち、平行工を入れた意味が認めにくい。たとえば、【2】型とかけた流線図で説明をすれば、流線は平行工の影響はうけるが、流量と通水時間がふえると底質の移動がはげしくなり、一部の平行工の頭部は橋脚のような状態で流れを受けとめ、また逆に、一部の平行工は堆砂面の下に埋没してしまうことが多い。

【3】型(平行工の1単位長と隙間の長さが同じで、工の背丈けが十分に高いもの：図-4【3】の流線図を参照)。

この場合は、中・下流部から次第に、平行工の両側に振幅 B_s をもつ2本の蛇行流ができはじめ、背丈けが十分に高いので、工を横過して流れたり、また、堆砂で埋まったりすることはなく、2本の蛇行流は次第に対称的にできていく。しかし、流量がふえると、こうした蛇行流のピッチは次第に長くなる。

【4】型(この型では、隙間の長さを平行工1単位長の半分、すなわち全体の1/3の割合にしてあるから、【3】型よりも隙間が少ない。工の背丈けは【3】型と同様に高い：図-

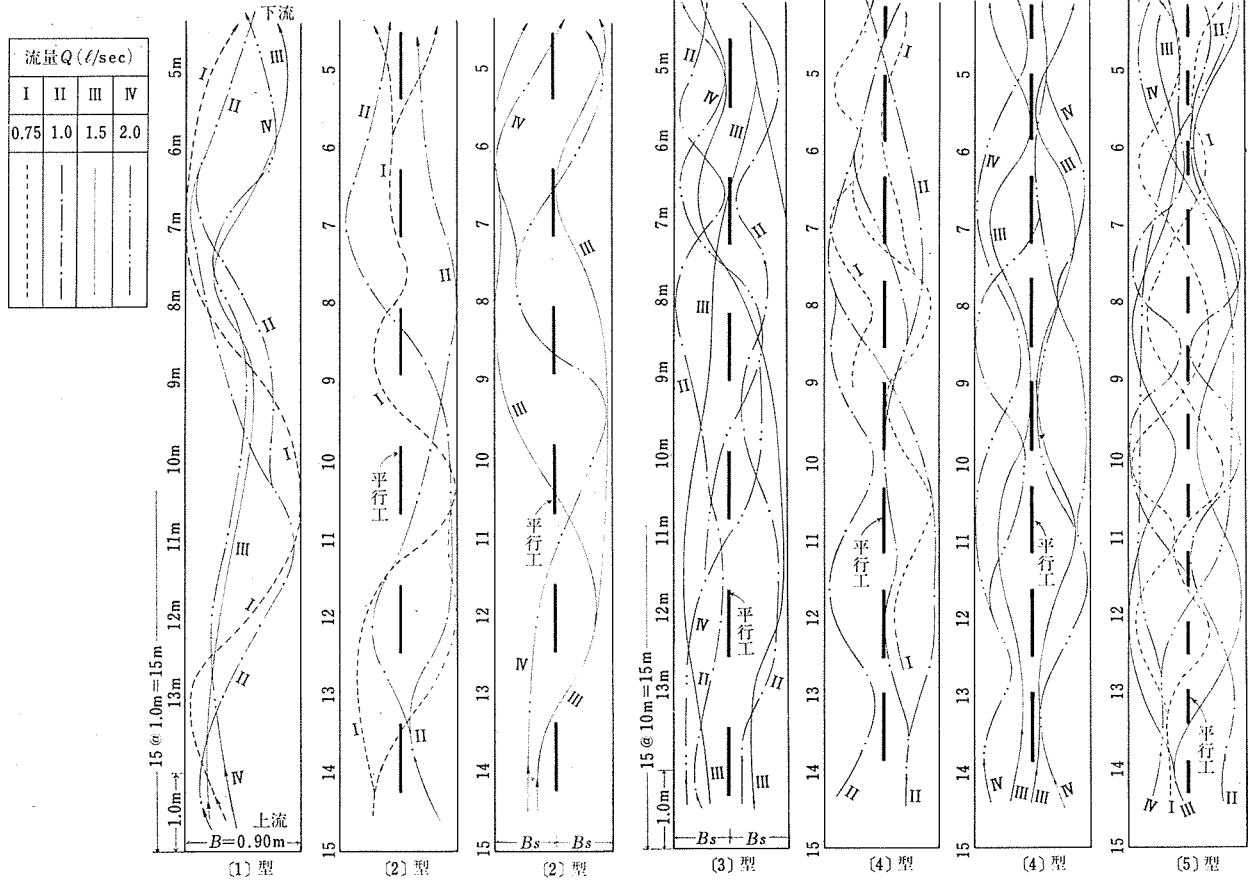


図-4 平行工の配置～流心～流量

4【4】の流線図を参照).

この型は、この実験で、いちばん隙間の割合を少なくしてある。そのために、平行工の両側に発生する蛇行流は、それぞれ振幅が B_0 で、対称形をていしやすい。水路全体から見ると、平行工を中心軸とするひょうたん状で、そのくびれの部が I 字型に、ふくらみの部が O 字型をていする。こうした形状は流路工で生じやすい鎖流*によく似ている。写真-1 は、これをしめす。流量の変化につれて、こうした形状には変化を生ずるので、その一例を図-4 の【4】の流線図で示している。

【5】型（平行工の 1 単位長と隙間の長さが同じであるが、長さを小刻みにしてならべた点がまえと異なる。すなわち、1 単位長が【3】型や【4】型の半分であり、隙間の長さが【4】型と同一である。ただし、工の背丈は、これらと同じく、高くつくってある：図-4 の【5】の流線図を参照）。

この平行工の場合は、かなり典型的なひょうたん状ができてやすい。図-4 の【5】は、これの流量の変化にともなう流線の変化を図示した例である。流量の少ないあいだは、平行工 2 本ごとに 1 つのくびれを生じ、また、その 2 倍のピッチの蛇行流が外側にうすく生じやすい。これは、隙間が小刻みにできているのが原因である。しかし、流量がふえると、主流はピッチの長い方へ移る傾向があって、これの方が鮮明になってくる。さらに流量がふえると、流砂がはげしくて、流れはまっすぐになって、全面的流状をていする。

以上、例を挙げながら説明をしたが、平行工を設置すれば、流れにいちじるしい変化を生ずる。その一般的な特徴は、蛇行流量域²⁾¹⁷⁾と認めることのできる領域内で、分割された水路の両側に発生するところのそれぞれの蛇行流が、平行工を中心軸として左右対称の形をつくりやすい。水路全体的に観察をすると、ひょうたん状もしくは 8 の字状ないしは鎖流状に似た流れである。こうした蛇行流のピッチは、平行工の隙間のおき方にもちろん関係することがわかるのであって、そのうえ、通水の経過時間によって影響をうけ、とりわけ流量の大小によってかなり大きな影響をうけることがわかる。つぎに、こうした流れの形状は、かならずしも整然としたものばかりでない。複合体（1 つの明確な蛇行流と、もう一つは、微かな形体であるが、その 2 倍のピッチをもち、ひとまわり緩和されたところの蛇行流との両者の複合体）をていするもの、あるいは隣りの水路にはいって一部合流するもの、あるいはまた、一本の偏流もしくは蛇行流となって両側の水路を大きく占めるものなどを認めることができる。こうした流れの変化は、平行工には隙間が存在するために、はなはだしいのであるから、これらの諸点に関し、以下の各項で分析をこころみることにする。

2.2.2 平行工が起こす左右分流の状態

(1) 分流効果と通水経過時間

平行工をもうけたために、その始端で流れが左右に分流され、引きつづきそれぞれの流れの独立性を保持しながら水路の末端まで流れ去る状態は、同じ流量でも時間の経過で変わってくる。このことはまえに流心の変化のところでも一部を具体的に例示した。こうした

* 鎖流とは、I 字型の流れと O 字型の流れが連続して、ちょうど鎖のつながりのような形状をていする流れを仮称したものである²⁾¹⁷⁾。

表-2 平行工諸型の分流効果および通水経過時間

平行工*	経過時間 T (分)	分流のていど		
		完全率 (%)	不完全率 (%)	分流しない率 (%)
【1】型 (平行工のない 通常の水路)	30	0	0	100
	60**	0	0	100
	120	0	0	100
【2】型	30	0	33	67
	60	36	46	18
	120	0	50	50
【3】型	30	14	57	29
	60	25	50	25
	120	43	43	14
【4】型	30	10	67	23
	60	71	29	0
	120	63	37	0
【5】型	30	40	60	0
	60	48	52	0
	120	48	52	0

* 表-1を参照.

** 実験の60分は、対象とする現地の11時間にあたる2).

多数の結果を整理して、平行工各型の相異を、分流という項目でとり上げ比較をすると、表-2のとおりである。

ここに、この表で見られる分流という言葉の説明すると、分流が「完全」というのは、始めに2本に分けられた流れがしまいで $B_1 = B/2$ をそれぞれ自己の河道として、隣りの河道へ逸れることのないものを指すのである。この率が100%であれば、分流が最高度に保持されていることを意味し、こうした流れは、河道の保持・護岸の保全上から見てきわめて好ましい状態であるといえることができる。

また、「不完全」というのは、分流が所々で平行工の隙間や工頂を横過して、隣りの河道の流れに合流するものもあって、それぞれの小水路の独立性が多少おこされる状態を指している。

また、「分流しない」というのは、流れが1本のままの偏流もしくは蛇行流で、もとの水路の幅 B をいっぱい流れる状態を指しており、こうした場合は、せっかく分けられた小水路もたがいに独立性をうしない、平行工をもうけた意義が認めにくくなるものと考えている。

以上によって分析をすると、おおよそ次のようにいえることができる。

【1】型 この型は、平行工をまだ入れない場合である。つまり通常の水路である。したがって、流れはほとんど1本の偏流や蛇行流となって河道の全幅をあちこちに流れやすいことは始めから予想ができることであり、また、実際に測定を行なった結果も表-2に示すとおりで、分流しない率が100%である。ただし、その状態は時間と流量で変化するのを認めることができる。

【2】型 この型は、分流効果があるていど認めることができる。しかし、この型はきわめて不完全な平行工であって、工頂が砂面下に埋まるところを生じ、そのため、ここを横過する流れを生ずる。分流効果の面から見て、最も不完全な型であることは、この表の数字が示すとおりである。

【3】型 この型は、分流状態が良好である。この表からわかるとおり、通水の時間がたつほど分流の完全率が順調に向上し40%ていどをしめしている。しかし、隙間が【4】、【5】型よりも広くできているために、分流しない率が20%前後に達し高率である。

【4】型 この型は、隙間の割合がいちばん少ない。これによると、分流しない率をほとんど0%にくい止めている。とくに、時間の長い場合に流れが安定をたもっている。分流の完全率は70%まで達し、これらの平行工の中では最高である。

【5】型 この型は、隙間と平行工の長さが最も小刻みにできている。時間の長短によっての変化はあまりない。すなわち、通水を始めると間もなく安定した流れをたもちやすい。分流の完全率も高く50%ていどである。

以上によってみれば、平行工を河道の中央部にもうければ、流れが河道の一方だけに片寄るといふ完全偏流現象をいちじるしく減らすことができるということがわかる。ただし反面において、こうした平行工につけた隙間のために、派流を生じやすい傾向のあることもまぬがれない。

一般的に、通水の時間が経過するにつれて、流れが固定化されて安定になり、分流の完全率が向上するのを認めることができる。こうした点は、各型の平行工の単位長、隙間の長さおよび流量に関係している。これらを比較すれば、分流の完全率は、【3】、【4】、【5】型が良好で、なかでも【4】型がすぐれている。定性的には、 L/B が小さければ分流の完全率は高く、また、 $L_o/(L_o + L)$ が大きければ同じく完全率は高いといえることができる。もし、 $h_s < h_f$ であれば、完全率は低下する。【2】型が、それをはっきり示している。したがって、以上から類推をして分流効果上の最高条件をもとめれば、 $L/B = 0$ (最小値)、 $L_o/(L_o + L) = 1$ (1は最大値である)、 $h_s \geq h_f$ の型ということになる。こうした条件の平行工とは、隙間をまったくなくして1本に連続させたもので、工の高さが洪水位よりも十分に高いもの、つまり、背割工方式ということになる。こうした最も完全型の平行工を、大規模な偏流・乱流を生じやすいところの河道内に設置すれば、流れを左右に分流し固定する効果は、もっとも確実であると期待することができる。そこでつぎに、河道保持に効果的なこの分流を、流量の変化の面とあわせて追究をすることにする。

(2) 分流効果と流量の変化

一般に、流量が小さくて蛇行流量域にまだ達しなければ、流れは全面的流状である。また逆に、流量が大きくて蛇行流量域を超えるならば、蛇行は消失に向かい流れはまっすぐ流れる形状となり、流水面は河道いっぱい²⁾³⁾に拡がり、これもまた全面的流状であると考えている。したがって、こうした蛇行流量域外においては、分流は、完全率100%であると考える。したがって、表-2からは除いてある。すなわち、同表は蛇行流量域にたいしての分析である。

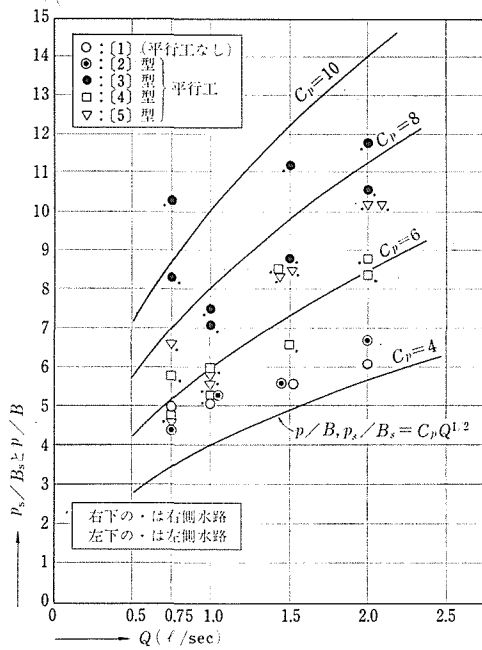


図-5 平行工の諸型～蛇行のピッチ比～流量
($B = 0.90 \text{ m}$, $i = 1/33$, $d_m = 1.5 \text{ mm}$)

これによれば、流量がますます分流量効果は向上し、そのために偏流や蛇行流は、平行工のために左右両側にうまく分配されやすくなり、隣り合った水路の流量はどちらも均等化し、たがいの水路の独立性が強まる。なかでも、隙間の割合が最少の【4】型(隙間の割合 $= L/(L + L_o) = 1/3$)が、他の【2】、【3】、【5】型 ($L/(L + L_o) = 1/2$) よりもこうした傾向が強い。こうした機能は、隙間をまったく持たない平行工、すなわち、背割工 ($L/(L + L_o) = 0$) の形体が、その究極に該当することは明らかである。

2.2.3 平行工をもつ水路の蛇行のピッチ

一般に、蛇行流量域における蛇行のピッチ比と流量の関係は、まえにあげておいた(2)式で表わしうるものと考えている。すなわち、

$$p/B = C_p Q^m, \tag{2}$$

とする。

いま、平行工をおいた場合に、そのうちでとくに完全分流量ができたものについて、通常の水路の場合と同じように蛇行のピッチ比を測定した。この結果を図示すると図-5のとおりである(測定値平均でしめしている)。ただし、これに添字 s をつけて平行工を入れた場合を表わして通常の水路と区別をしている。そこで、この図にもとづいて(2)式中の C_p , m を定めるときは次式がえられる。

$p/B \rightleftharpoons 5$	$Q^{1/2}$	【1】型(平行工なし)	(2【1】)
$p_s/B_s \rightleftharpoons (5 \sim 6)$	$Q^{1/2}$	【2】型	(2【2】)
$p_s/B_s \rightleftharpoons 8$	$Q^{1/2}$	【3】型	(2【3】)
$p_s/B_s \rightleftharpoons (6 \sim 7)$	$Q^{1/2}$	【4】型	(2【4】)
$p_s/B_s \rightleftharpoons 7$	$Q^{1/2}$	【5】型	(2【5】)

} 隙間のある平行工

ただし上式中、

Q は l/sec 単位とし、水理量は、 $B = 0.90 \text{ m}$, $i = 1/33$, $d_m = 1.5 \text{ mm}$, $Q = 0.5 \sim 2.0 \text{ l/sec}$ とする。

いま、うえの(2【1】～【5】)式を検討するとき、容易に次式の関係を確認することができる。

$$b_s/B_s \geq b/B. \tag{5a}$$

すなわち、平行工をもうければ、これをもうけない場合よりも、蛇行の度合いがゆるやかになる傾向を認めることができる。このことは、いかえると、護岸に当る偏流の角度がゆるやかになる傾向をもつということを意味する。すなわち、

$$\theta_g \leq \theta_{g_0}, \tag{5b}$$

と表わすことができる。ただし、図-6において、

θ_{g_0} : 護岸に当る蛇行流の角度(平行工を入れない通常の場合),

θ_g : 同上(平行工を入れた場合),

とする。

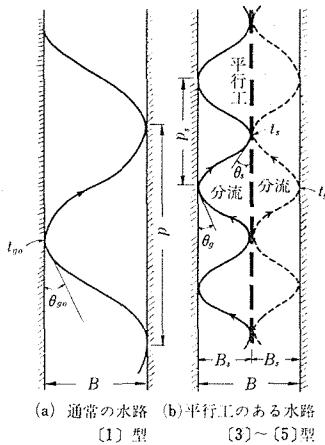


図-6 通常の水路の蛇行と平行工のある水路の蛇行(典型的にしめす)

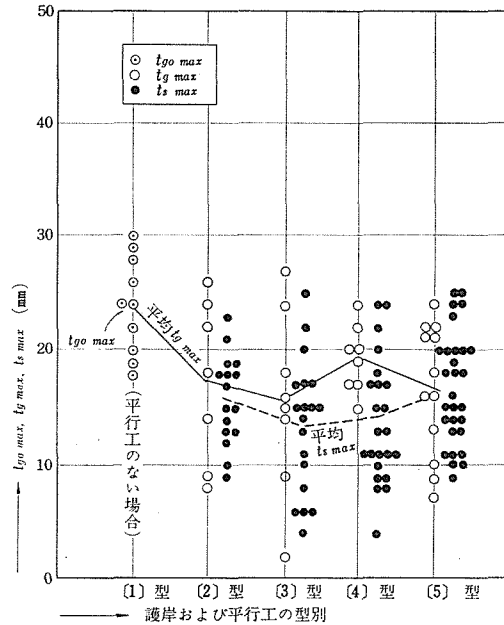


図-7 平行工および護岸の最大洗掘深 ($Q = 1.0 \text{ l/sec}$, $T = 90 \text{ 分}$)

2.2.4 平行工をもつ水路の護岸の深掘れ

いま、平行工のために2つに分けられた流れが、完全率100%の状態では平行工を軸にして対称的な蛇行流を生じた場合を典型的に示せば図-6のとおりである。しかし一般に、こうはならないで、流れの状態にも、また、深掘れ発生の状態にも、ある程度のむらのあるのが認められる。そこでいま、平行工をもうけた場合について、護岸および平行工部に発生するところの深掘れの最大深を測ってみると、図-7に示すとおりである。ただし、この図は $Q = 1.0 \text{ l/sec}$, T (経過時間) = 90分 の場合の例である。

こうした分析を総合して検討をすると、ほぼ次の関係を認めることができた。すなわち、

$$t_{g \max} < t_{g_0 \max} \tag{6a}$$

$$t_{s \max} < t_{g_0 \max} \tag{7a}$$

ここに、

$t_{g_0 \max}$: 護岸部最大洗掘深の平均値(平行工をおかない場合)

$t_{g \max}$: 同上(平行工をおいた場合)

$t_{s \max}$: 平行工部最大洗掘深の平均値、

ただし、この実験の水理量のもとではほぼ、

$$t_{g \max} = (0.6 \sim 0.8)t_{g_0 \max} \tag{6b}$$

$$t_{s \max} = (0.6 \sim 0.8)t_{g_0 \max} \tag{7b}$$

と表わすことができた。

なお、分流効果の点で最も劣る【2】型でさえも、最大洗掘深 $t_{g \max}$ を減少させるはたらしきをもつことが認められ、平行工のこうした面の効果を明らかにしている。もし $t_{g \max}$ の

減少だけについて見れば、【5】型が最も効果的である。

これによって、平行工をもうけるならば、護岸に生ずるはずの最大洗掘深 $t_{g_0 \max}$ を、 $t_{g \max}$ まで軽減をすることが可能であるといえることができる。こうした点は、さきの(5)式が意味するところからも推察ができてことである。すなわち、 $t_{max} \sim p/B$ および p_s/B_s の関係を図-8のように表わすことができるから、巨視的には、最大の洗掘深 t_{max} が、ピッチ比 p/B および p_s/B_s の大きくなるにつれて減少していくことを認めることができる。

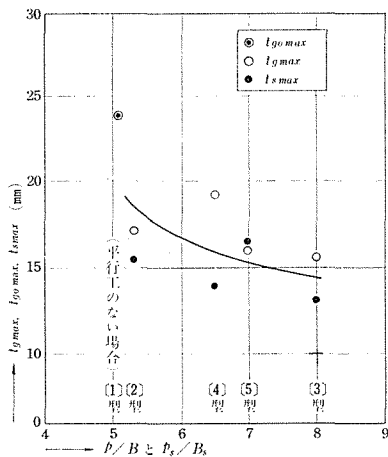


図-8 $t_{max} \sim p/B$ と p_s/B_s
($Q = 1.0 \text{ l/sec}$, $T = 90 \text{ 分}$)

2.2.5 平行工が起こす分流の意義

ここでいう分流とは、河道をいくつかに分け、流れを分けることである。いま、

分流がもつ意義をのべれば、

(1) 分流によって、一本の偏流のもつ勢力をいくつかに分けて、衝突あるいは洗掘などで護岸が受ける負担を軽くすることができる。平行工には、こうした分流を起こす効果が認められる。この効果とていどの内容は、まえの諸項で分析をし明らかにしておいた。なお、平行工の隙間を全くなくして完全なものにすれば、すなわち、背割工の方式にすれば、こうした諸効果を最高度に期待することができる。

(2) 分流と縮幅の結果、河川横断面方向に発生する副流の規模は小型になり、底質が横方向へ移動する幅と量が制限をうけることになる。このため、河道の維持が容易になる。

(3) 分流によって、流れそのものの規模が小さくなり、偏流・乱流の固定が容易になる。もし、平行工の隙間をなくせば、(2)、(3)項の効果が最も確実に期待することができることは、(1)項の場合と同様である。

2.2.6 偏流防止のうえにはたす平行工(背割工をふくむ)の機能と効果

これまで述べた実験は、平行工を河道の中央部に1列に設けた場合について、さきの(1)式の、

$$N_s, \frac{Q}{Bh\sqrt{gh}}, \frac{h_s}{h}, \frac{L_o}{B}, \frac{L_o}{L_o+L}, \frac{d_m}{B_s},$$

の諸項に関し、また、偏流と関係の深い護岸の深掘れに関して分析を行なったものである。これらを総合した結果、こうした平行工の機能には、つぎの特徴があることを見いだした。

(1) 平行工は、流れにいちじるしい影響をあたえる。とくに、その両側に対称的な蛇行流を発生しやすい。河道全体的にみると、ひょうたん状、または8の字状、ないしは鎖流状の流れをつくりやすい。

(2) 偏流(蛇行流をもふくめて)を固定するはたらきには、平行工の隙間および流量ならびに時間が、とくに深い関係をもっている。

(3) 平行工のうちでも、高さ h_s が低いところの【2】型は、埋まったり横過流を生じたりしやすく、流路を固定するはたらきはあまり認めにくい。 h_s を洪水位よりも高くしたところの【3】～【5】型には、流路をかなりよく固定するはたらきが認められる。これらのうちで、【3】型と【5】型は、堤体と隙間を等長につくったものであるが、【5】型の方が細かいために枝流を派生しやすい。こうした点からみると、あまり小分けせずに、そして隙間の割合が少ない【4】型が、最もすぐれている。

平行工をつかって、流れを完全に分流し、これを固定できる機能は、隙間が全体の1/2～1/3の割合のときに20～70%ぐらいを期待できるが、工の単位長を長くし隙間を短くするほど向上する。

(4) 平行工には、護岸に発生する深掘れを減少させるはたらきがある。実験にもちいた平行工の場合は、洗掘深を、60～80%でいどに減少できることを認めた。こうした機能は流水からうける護岸・堤防の負担を軽減させるのにきわめて効果的である。

これまで分析をし明らかにしたところを総合して判断すれば、【2】～【5】型で確認されたところの河道保全に効果的な機能は、たとえば、分流がうまくできて流れを固定し、また、蛇行流や一般の偏流の度合いを緩和できて深掘れを軽減するところの機能は、【7】型の構造にすれば、最も徹底し最も確実になる。

もともと、偏流・乱流は、移動床をもつ河川において、流量にくらべて河幅が広すぎるときに発生しやすい現象であることは、実際面で経験的に認められているとともに、室内実験的にもまったく同様である。²⁾⁸⁾¹⁷⁾これによれば、およそ同じ底質をもつ移動床水路にたいして、縮幅をおこない、単位水路あたりの流量をふやすときは、明らかに流れの蛇行度

がへって、次第に全面的流れの形状に近づいていく。偏流や乱流においても、蛇行流の場合と合様に、その偏向や流れ方のていどがへって、偏曲度が和らぎ、流れが集束されていくことがわかる。したがって、平行工を適用して水路の幅を狭めれば偏流のうごきの幅を制限し、また、護岸に当る蛇曲の度合いをへらすのに効果的で、これにつれて護岸基部に発生しやすい局所深掘れの量を軽減することができる。こうしたはたらきの実際は、現場においてよく観察される²⁾¹⁷⁾¹⁸⁾ところであり、また、実験的にも証明されている²⁾¹⁷⁾¹⁸⁾のである。こうした事実²⁾¹⁷⁾¹⁸⁾に照らすときは、平行工の隙間をなくして背丈けを十分高くした型、すなわち、背割工は、移動床水路の縮幅ならびに単位水路幅あたりの流量の増加といううえの2条件を満足できる工法であるから、偏流や乱流を防止し、護岸法尻の深掘れを防止するための最も効果的な活用の仕方であると断言することができる。以上によって、平行工が河道保全のうえで持つところの好ましい機能と効果は、これを背割工の方式まで発展をさせて活用をすることによって、最も確実に期待することができる²⁾¹⁷⁾¹⁸⁾と結論するものである。

3. 研究成果の適用

3.1 偏流の防止への適用

縦工の水制である平行工は、わが国では護岸に近くもうけ、また、横工との組み合わせの形で多く用いられてきた。そこで、これを、河幅が広くて偏流・乱流を生じやすい河道の中央部へもち出してもっと活用をはかることを1章で提言をし、また、そのために問題となるところをあげた。

つぎに2章において、これに関する実験的考察を行なって、こうした平行工は、河道の保全上で効果的な機能を持つことを明らかにした。効果の主な点は、蛇行や偏流のていどを和らげ、護岸の深掘れを少なくできることである。たとえば、こうした平行工をもうけて、その隙間を全体の30～50%につくるならば、分流を完全にし流れを固定できるていどを50%ぐらいに期待ができ、護岸の深掘れを80%ぐらいに軽減ができることを明らかにした。こうした効果は、平行工の背丈けを高くし、隙間の部分を少なくするほど向上し、【2】型よりも【3】型が、さらに【4】、【5】型がすぐれていることを明らかにしている。しかし、隙間をつくることは、建設費を下げるのに役立つかわりに、弱点となって維持費がかさむことになる。まして、効果の点は、実験からえられたていどでは、実際問題として十分に安心ができない。それではどうすればよいかというに、それは、背割工方式まで充実すればよい。そのわけは、背割工は相当かねのかかるものではあるが、工費を50～70%につめて、効果を50%以下におとすよりも、むしろ完全につくることが工学者として考えるべきことであるというのが、研究成果からの推論である。結局、平行工の隙間を充実させた究極の構造であるところの背割工方式こそ、もっとも推奨すべきものであると信じている。

つぎに、2章から類推ができるように、背割工の配置数は、1列よりも2列、2列より

も3列というふうにして、水路を数多くに分けるほど、偏流を防止し護岸の洗掘を防止するのに効果的である(のちの図-15は、2列の場合をしめす)。そこで、こうした水工工作物のさらに発展的な活用をはかる方法として、まず、工の始端と終端に可動堰をもうけ、河水の流入・流出を自由に調整できる施設をつくる必要があることを強調する。こうすれば、治水だけでなく、利水の諸面にも適用をひろげることができる。たとえば、

- (1) 治水面：低水路の拡幅に対処して適用、
 - (2) 利水面：水資源、都市衛生、都市交通など都市問題に対処して適用、すなわち、
 - 1) 取水および水資源、
 - 2) 都市交通および市民レクリエーション、
- などである。そこで本文の研究成果を適用する諸面について説明をしていくことにする。

3.2 平行工ならびに背割工の活用の実際面

3.2.1 平行工の活用の方式

平行工ならびに背割工を実際面に活用する場合に、この研究の成果に照らして考えられる諸方式を説明する。

まず、図-9は平行工(P)を河道の中央部においた中央方式である。こうした場合の機能と効果は2章でくわしく説明をしておいた。ただし、このままでは実際面であまり適用の対象にしにくい、図-14はこの方式の一つの適用の仕方である。

ついで、図-10は平行工Pを両脇に2列にならべた両脇方式である。さきの中央方式とは考え方が基本的にことなっている。それは、平行工を分流のための手段に使用するのはなくて、流れの幅をせばめて、流れを河心部 b の領域にあつめようという考え方である。したがって、むしろ工のところどころを切って隙間をつくり、横工をつないで丁だしのかたちとし、両脇 b_0 の部に土砂を誘致し護岸の洗掘を防止させるのである。こうすれば、河幅を適当に縮幅できて偏流の発生を防止し、低水時には流路を固定するはたらきをし、高水時には根固め水制の役目をつとめて、きわめて効果的である。 b は、この場合の有効河幅である。Sは土砂を誘致する区域である。この方式の実際例は内外ともに数多く見ることができ、ヨーロッパではおもに航路の確保に適用をしている。また、わが国ではまえに

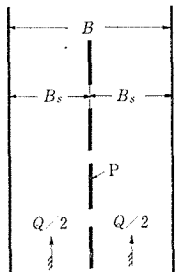


図-9 平行工中央方式

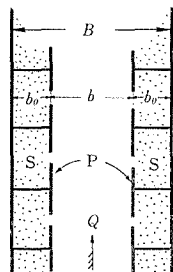


図-10 平行工両脇方式
(丁だしを両脇に)

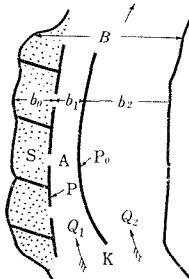


図-11 平行工混用方式
(丁だしと隙間なし平行工)

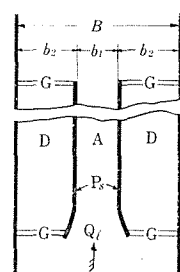


図-12 背割工方式
(可動せきを備えて)

旧信濃川の場合を例にひいて述べておいたとおり、低水路の固定を行なって、おもに用排水路の確保に適用をしている。しかし今後は、低水路拡幅後の偏流・乱流対処の面へこの方式をおおいにとり入れて大規模に適用させるのがよいと信じている。

ついで、図-11は、平行工混用方式である。これは、とくに洗掘を防止したい側に平行工Pを配置し、横工をつないでS区間に土砂を誘致するねらいはうえの両脇方式と同様である。ただし、べつに長い1本つづきの平行工P₀を配置したものである。この方式は、流路の固定がとくに重要な彎曲部などに適用をすれば効果的である。こうすればA部には低水時でも確実な流路を固定することができる。まえに説明をしておいたライン河ビンゲン港付近の実例がこの方式にあたる。

さいごに、図-12は、【7】型の平行工、つまり背割工P₀を2本入れて、可動堰Gを完備した方式である。低・濁水時には、もっぱらA部だけを疏通のためにあて、D部は閉鎖をして貯水をする。のちの図-15は、こうした適用の仕方を示しているが、わが国の大河川下流部で今後おおいに活用されてよい方式であると信じている。そのため、背割工方式の適用を、ウィーン市の河道計画が示唆¹⁹⁾していて参考になるので、順序としてこれにふれつぎに適用の実際面を述べることにする。

3.2.2 ウィーン市のドナウ河道計画と背割工

ウィーン市においては、近年水経済の問題がきわめて重大化した。そのため、新水源の探求、下水道施設の完備、河川汚濁防止の厳重な法的措置、市民レクリエーション施設の確保、治水利水の調和等について徹底した計画がなされており、わが国にとって学ぶべきものが少なくない。また、このなかにも人命を尊重して経済よりもおおいに優位におく思想がおりこまれていることも注目すべき点である。しかし、ここではドナウ河の洪水疏通計画の点だけにふれることにする。これによれば、低水路を拡幅する場合に、背割工方式をとれば、きわめて効果的であり、都市の再開発上でも貢献が大きいことがわかる。

ウィーン市におけるドナウ河の既往最大洪水流量は、14,000m³/sec (1501年; 推定値)である。1875年にドナウ放水路工が始まり6年後に完成し、市民はこれで洪水の脅威から解放されるものと思った。ところが、1897年に9,500m³/secの洪水が襲来したとき、早くもこの規模ではとてもたりないことがわかった。ついに、計画高水流量を14,000m³/sec (1957年)にあらためたが、これに相当する超過確率年数は、わが国A級河川の80~100年ないし200年でいどにくらべると、もっと格段に高いものであり、いかに人命を尊重しているかということがわかる。この基本的要求にたいする構想の中心計画は、Langenzersdorfから始まって、Praterspitzに終わるドナウ水路の開削による分流である。こうして、ドナウ河本流から分流されるドナウ水路は、計画高水時に全流量の1/2.7にあたる5,200m³/secを快疏できるように企画されている。

いま、図-13からわかるとおり、ドナウ本流とドナウ水路との間には、長さ17km、幅200m前後の細長い島のような部分が存在して2つの水路を分けている。この部分こそ、背割工の大規模なものであると見なすことができる。この図に見られる地点でいえば、河幅は全部で200+220+350=800mであるから、もし、わが国で似たような計画をたてるとすれば、流量と河川敷の規模から判断して、ちょうど、淀川下流部(八幡で新計画高水

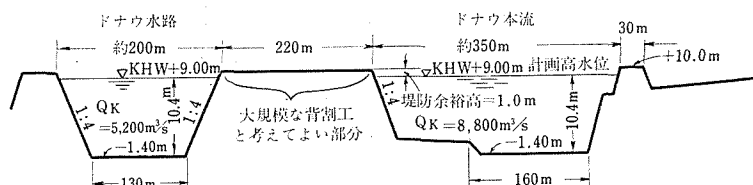


図-13 ドナウ本流とドナウ水路の横断面図 (横:縦の縮尺比=1:10)

流量 11,000m³/sec, 河川敷幅約 670m) などうまく当てはめることができるわけである。²⁾³⁾²⁰⁾ すなわち, こうした水路の分け方を, 前項で説明をした背割工方式の適用によって行なえばよいのである。

ウィーン市では, この細長い地帯に樹木をうえ, 市民休養の場や運動場として理想的な施設を計画している。ドナウ水路は, 洪水時のほかは本流からまったく切りはなすことができて水位の調節も自由である。したがって, こうした水面は, 水上競技や市民の大好きな水浴にとって理想的である。しかも, 大量の貯水は, 飲料水や非常用水として, 民生の安定に寄与することができる。この河道計画は, 350 m の長大模型水路によって実験され(1963年), 洪水時の水工工作物の水理機能が解明され, 計算されて, 実施してもよいことが裏づけされた。本計画は, わが国の集中都市地帯を流れる大河川の河道計画にたいして平行工をいろいろの形式で活用をはかり, これから大規模に適用をさせていくことを深く考えさせるものである。

3.2.3 低水路の拡幅への適用と効果

最近の産業開発による国土の様相の急速な変化のもとでは, これに対処できるものとして, 治水面では, A級河川下流部の低水路を拡幅することを, 適当な河川から急ぎ着手せざるをえない時代になったと信ずる。³⁾²⁰⁾ これによって, 基本高水流量をもっと引き上げて民心の安定をはかることができる。そのための一つの方法として平行工の適用がきわめて効果的であることをこれまでもふれてきたが, その実際的な適用の仕方をここで述べる。これには2つの方法が考えられる。すなわち, 図-10の平行工両脇方式と図-12の背割工方式である。前者の方式は, まえによく説明をしてあるので省略をし, 後者の方式について説明をする。

いま, もし背割工(いいかえれば, 【7】の平行工)を n_s 本河道に平行にならべれば, もとの河道は $(n_s + 1)$ 本のたがいに独立した水路に分離することができる。さきの図-12は $n_s = 2$ の場合である。また, うへのウィーン市は $n_s = 1$ の場合であると考えてよい。いづれにしてもこうした方式では, 始端と終端に可動堰など適当な施設を付加することが大切な条件である。これを操作して, 出水量に応じてそれぞれの水路を開閉し, 流入・流出量を調節し, 疏通を行なうのである。たとえば, 低・渇水時にはこのうちの1本(図-12の場合ならばAの水路)だけを専用にし, 高水時には順次に他の水路を開放し, 洪水時には全水路である $(n_s + 1)$ 本全部を開放して, いつも水深および流量を都合のよいように保持させる方式である。このようにすれば, 広い河道も, $(n_s + 1)$ 本の低水路で構成された

も同然であるから、拡幅以前の複断面方式をとる場合と同様に、低・濁水のときでもあまり偏流・乱流を生じないですみ、また、洪水のさいは平均水深の大きい点が役立って十分に快疏ができることになる。そればかりでなく、2章の研究で明らかにしたとおり、局所深掘れが軽減されて、河道の保全をよく維持できることになる。

いま、活用の形態を例示する。図-14は、図-9の中央方式をとったもので、平行工の配列が $n_s = 1$ の場合である。こうした構造では、両側の水路の流れはあるていど干渉しあうから、あまり安心できないことは前章で詳しくのべたとおりである。これにたいして、図-15は、図-12の背割工方式をとったもので、配列数が $n_s = 2$ の場合である。こうしてできた3本の水路は、完全にそれぞれの独立性を保ち、しかも疏通量の配分が自在で融通性をもつから、河道の保全にきわめて役立つものである。この図で、中央の水路を低・濁水時の専用に使っているが、拡幅後の偏・乱流に対処ができ、また、護岸の深掘れを軽減できるわけである。

まえに参考にあげたウィーン市の河道計画では、図-13からわかるとおり、全河道はドナウ本流とドナウ水路の2つからできていて両方とも単断面方式で浅川係数の値が $\gamma = 20 \sim 35$ となるから、平均水深も大きくて10mにおよんでいる。わが国の大河川の平均水深は4mないし7mていどであるから、勾配や流速の水理量や一般河況の点で事情がちがうけれども、へだたりがあまりにも大きいことがわかる²⁰⁾²¹⁾。こうした2つの水路を仕切っているのは、細長い島のような部分であるが、これは大規模な背割工であると見なして少しもさしつかえがない。わが国においては、こうした背割工方式を大規模に適用して、ウィーン市におとらぬ合理的計画をたてることのできる大河川は、いくつも存在するはずであると信じている。

3.2.4 都市問題への適用と効果

(1) 取水および水資源

A級河川のような大河川の下流部は、利水面からも今後ますます重要性をまし、資源保護の手をさしのべる必要にせまられている。ことに汚染防止が厄介な問題になっているおりから、こうした水資源の質的保全と量的確保のためには、平行工、とくに背割工の活用がきわめて有望であると考えらる。

いま、具体的に説明をこころみよう。たとえば、淀川であるが、その合流3河川のうち桂川が京都市の汚水の流入をうけて、汚染度が最高である。そのつぎが淀本流であり、木津川のが最低である。桂川には、堀川・高瀬川を受け入れる鴨川が流入するので汚濁状況がとくにわるい。この影響がはるか下流におよんで、大阪市の水源地の柴島や庭窪の取水点では、もはや原水としての汚濁限度をこえて困っており、種々の対策を講じている。こうした問題には、河流の拡散混合作用と自浄作用が密接に関係しており、その解決のために基礎的研究が進められている*。そこで、背割工の適用には、こうした研究の成果もとり入れた計画をたて、汚染のていどを考えて複数の水路に分けて疏通し、また、可動堰の設備や取水口の変更などの工事を適切にほどこすときは、治水上ではもちろん、利水上でも多大の貢献ができるものと信ずる。

* たとえば、文献22)～25)を参照。

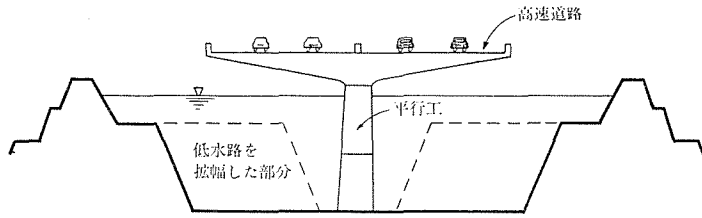


図-14 平行工中央方式と高速道路

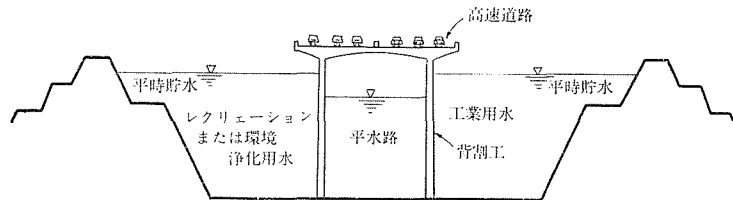


図-15 背割工方式と高速道路と利水

(2) 都市交通および市民レクリエーション

平行工ならびに背割工を、治水上の目的から設けると同時に、都市交通の緩和や市民のレクリエーションの方面にも活用させることができる。すなわち、図-14は、平行工中央方式による場合であって、低水路を拡幅して河道の中央に1列だけ配置をし、これを高速道路のような交通機関に利用させるものである。しかし、もっと安心ができるためには、背割工方式にすることである。図-15は、そうした例である。この図は、背割工を2列に配置して河道を3つに区分している。このようにすれば、まえの(1)項に述べたと同様に可動堰をつくることができるから、水位の調節が自由で、洪水時には疏通に全部を開放し、また平時には貯水をして工業用水やフラッシュ用水にあて、都市の環境浄化や市民のレクリエーションなどにも役立てることができる。なお、図の中で、高速道路となっている部分はウィーン市の計画のように、市民休養の場として好適な施設をつくって都市の再開発の面に役立てることができる。

以上、諸例をひいて説明をしたが、このように平行工をこれから活用をして、河道計画の合理化のうえに適用をすれば、たんに治水のうえだけでなく、利水のうえにも、おおいに貢献ができるものと信じている。

4. 結 論

本文は、平行工の適用と効果をあつかった研究で、とくに、縦工の水制としての平行工をもっと活用することをねらいとしたものである。ここでは、平行工を実験用水路の中央部に配置した場合に起こる流れの機構の問題をとり上げて究明をした。これによって、平行工は、一種の蛇行流をつくって流路を固定するはたらきをもつとともに、護岸基部に発

生ずる洗掘を軽減して、防災上で効果的な機能をもつことを明らかにすることができた。そして、こうした効果は、平行工の際間をまったくなくして、背割工のかたちによれば、もっとも高度であることを究明した。そこで、こうした背割工は、とくに、大河川の下流部で低水路を拡幅した場合に、新しい河川工種として適用をすれば、河道の安定確保のうえできわめて効果的であることを説明するとともに、若干の具体的な例をあげて、治水ばかりでなく利水および都市の再開発の面にも役立てることができることをしめした。

おわりに、懇篤な指導を賜った 京都大学教授 石原藤次郎博士にたいして、厚く感謝の意を表すのしだいである。また、有益な助言をいただいた 京都大学防災研究所教授 芦田和男博士にお礼を申しあげる。

文 献

- 1) 石原藤次郎：わが国の水問題について，土木学会誌，Vol. 53，No. 12，p. 20，（土木学会 昭和43年度全国大会特別講演）（1968）。
- 2) 佐々木八郎：河道計画の合理化に関連する諸問題の研究，京都大学審査学位論文，388 pp.（1968）。
- 3) 近畿地方建設局淀川工事事務所：淀川新水系計画（案），治水計画，32 pp.（1967）。
近畿地方建設局淀川工事事務所：淀川河道計画報告書，第12報，63 pp.（1967）。
- 4) 土木学会西部支部：郷土の土木，筑後川，土木学会誌，Vol. 53，No. 1，p. 79，（1968）。
- 5) たとえば，山本三郎：河川工学，p. 321，（1967），参照。
- 6) 川村満雄・宮内宏：河川施工法（1），（1963）。
- 7) Felkel, K. : Modelluntersuchungen für den Rhein bei Bingen, Die Wasserwirtschaft, Jahrg. 53, Heft 6, S. 206-213, (1963).
- 8) 結城朝恭・佐々木八郎・吉田俊弥・草間孝志・青木康夫：蛇行と水制に関する一実験，信州大学工学部研究報告，Vol. 3，No. 3，pp. 91-115，（1954）；および土木学会第10回年次学術講演会講演概要，p. 87，（1954）。
- 9) 細井正延：河川急流部の粗度係数と河道計画との関連について，土木研究所報告，No. 115，pp. 1-80，（1963）。
- 10) 木下良作：河床における砂礫堆の形成について—蛇行の実態の観察—土木学会論文集，No. 42，pp. 1-21，（1957）。
- 11) Blench, T. : Regime behaviour of canals and rivers, p. 76, Butterworths Scientific Publications, London, (1957).
- 12) Friedkin, J. F. : Meandering of Alluvial Rivers, U. S. Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss., (1945).
- 13) Linsley, R. K., M. A. Kohler and J. L. H. Paulhus : Applied Hydrology, p. 348, (1949).
- 14) 石原藤次郎・本間 仁：応用水理学，中I，p. 72，図2.1.66，（1958）。
- 15) 秋草 勲・吉川秀夫・坂上義次郎・芦田和男・土屋昭彦：水制に関する研究，土木研究所報告，No. 107の6，pp. 61-153，（1961）。
- 16) 足立昭平：人工粗度の実験的研究，土木学会論文集，No. 104，pp. 33-44，（1964）。

- 17) 佐々木八郎・草間孝志・阿座上新吾：床固工群を有する急流河川の偏流防止に関する研究，土木学会第19回年次学術講演会講演概要，II-16，(1964).
- 18) 佐々木八郎：床固めの形状とその影響に関する研究，信州大学工学部紀要，No. 26 pp. 197-245，(1969).
- 19) Koller, R. : Die Wasserwirtschaftlichen Probleme der Bundeshauptstadt Wien, Oesterreichische Wasserwirtschaft, Jahrg. 17, Heft 3/4, S. 76-103, (1965).
- 20) 佐々木八郎：護岸の高さと河積に関する研究，信州大学工学部紀要，No. 26, pp. 107-169, (1969).
- 21) 佐々木八郎：河道計画の合理化と河道横断面形に関する一考察，土木学会第23回年次学術講演会講演概要II-137, pp. 377-380, (1968).
- 22) 岩佐義朗・村本嘉雄・今本博健：開水路流れにおける粒子拡散について，土木学会第17回年次学術講演会 (1962).
- 23) 岩井重久・井上頼輝・寺島泰：淀川の将来水質，下水道協会誌，Vol. 3, No. 25, pp. 26-36, (1966).
- 24) 末石富太郎・勝矢淳雄・弘元晋一：下水道系統の水量・水質制御に関する研究(I)―監視機構について―，土木学会第23回年次学術講演会講演概要，II-173, (1968).
- 25) 岩井重久：土木公害―その2，河川汚濁，下水について (水資源の質的保全)土木学会誌，Vol. 51, No. 5, pp. 18-21, (1966).

Summary

On Application of Parallel Dike and Its Effectiveness

Hachiro SASAKI

(Professor of Civil Engineering, Faculty of Engineering)

The problem of the application and the effectiveness of parallel dikes is studied by the author in this paper. He researches the mechanism of a flow influenced by a parallel dike which is set up along the center line in a laboratorial channel. He proves, in the prevention from disasters, a parallel dike has an effective mechanism to fix a water course by making a sort of meandering flows and to decrease the scour at the base of a revetment. He also proves that this effectiveness will be best when any space of the parallel dikes is be filled; the form of separation levee is made up. Thus, when it is applied to a new method of river works of the "widening of low water channel" in the lower part of large rivers, the separation levee will be very useful for keeping a channel stable. And, he shows several concrete examples to utilize it for not only a flood control but also the improvement of water resources and the redevelopment of towns.