

# 障害物による背水効果に対するポンプの有効性

## REDUCTION OF BACKWATER EFFECTS DUE TO OBSTACLES BY PUMPING

吉川秀夫\*・萩原義孝\*\*

By Hideo KIKKAWA and Yoshitaka HAGIWARA

**It is an important subject to improve the urban rivers for flood protection. However, it is difficult in many cases to obtain the working spaces in the vicinity of the river channels. Therefore, the temporary stages are often constructed in the channels, and obstruct the flood flows. In order to reduce the backwater effects of such obstacles, the installation of pump system, by which a part of flood discharge is bypassed, are considered effective, and its applicability is investigated from the hydraulic view point.**

**Keywords : flow obstruction, backwater effect, pumping in open channel**

### 1. まえがき

都市部における河川改修は緊急な課題であるが、過密した土地利用のため、改修工事を行うための用地取得が困難であり、現河道の中に鉄柱等を立てて、上部に覆蓋を設け、その上を作業用地とせざるを得ない場合が増えている。この場合、現状河積を狭めることになるため、施工上困難な河積の増大等を計っているが、簡易なそして経済的な流水阻害の除去、減少を可能にする方法が望まれている。

一方、大河川においても河川構造物あるいは橋脚の施工のため河道に仮締切が設けられるが、出水期には洪水の流下を妨げるため撤去しなければならないし、また非出水期においても洪水の発生は皆無というわけにはいかない。このため洪水流の阻害なしに通年設置できれば経済的にも施工上も有利である。

また既設の橋脚、堰等の人工構造物、あるいは自然の狭さく部等の障害による上流の水位上昇を簡便確実な方法により減少させることができれば、場合によっては改築、改修よりも経済的である。

そこで河川中に存在する障害物によるせき上げの影響を、ポンプを用いてその上流から吸い込み下流に吐き出すことにより解決できるのではないかと考え、それを確かめてみた。

### 2. 実験装置

実験は、長さ 10 m、幅 40 cm の可変勾配水路を用い、川道中の障害物として、径 15 cm のコンクリート円柱 3 本を水路中央に並べたもの ( $X=600 \sim 645$ ,  $X$  は水路上流端からの距離 (cm)) を用いて行った。またポンプによりその円柱列の上流から水を吸い込み、下流側に吐き出し、その結果として現われる水位の変化を、ポイントゲージにより測定した。流速分布は小型プロペラ流速計を用いて測定した。ポンプの吸込み口、吐出口はおののおのエルボを付け主流の方向に軸を合わせ、口径は  $\phi=6$  cm のものを用いたが、口径の影響を知るため一部  $\phi=4$  cm のものも用いた。実験条件は表-1 に示すとおりである。

### 3. 実験結果

#### (1) 障害物による水位の上昇

各 RUN において水路中に障害物を置いたときの上流の水位の上昇の様子を示したのが表-2 である。

\* 正会員 工博 早稲田大学教授 理工学部土木工学科  
(〒160 新宿区大久保3-4-1)

\*\* 学生会員 早稲田大学大学院 (同上)

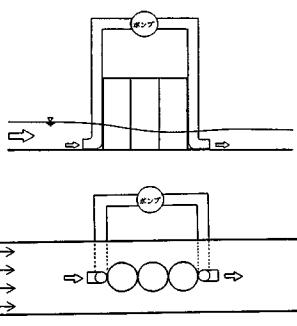


図-1 概念図

表-1 実験条件

RUN	流量 Q l/sec	効率 I	フルード数 Fr(X=600)
1	16	0.0031	0.32
2	16	0.0018	0.44
3	16	0.0018	0.32
4	12	0.0018	0.37

表-2 円柱の存在による水位上昇

RUN	水深 H=570 (cm)	円柱無し	円柱有り	差
1	11.63	12.38	0.75	
2	9.47	11.11	1.64	
3	11.80	12.45	0.65	
4	8.70	9.55	0.85	

### (2) ポンプで吸い込む流量と上流の水位の関係

障害物がないとき、障害物を置いたとき、およびそれにポンプを作動したとき（図-1参照）の水路中央での水面形を図-2に示す。ポンプ流量を調節することにより上流のせき上げの影響が解決されることがわかる。RUN. 1について、ポンプ流量（以下  $q$  で表わす）と障害物上流の水位の関係を調べると図-3のようになり流量  $q$  が増加すれば確実に上流の水位が低下することが確かめられた。

### (3) 断面エネルギー係数、運動量係数の変化

図-1に示すように、障害物の前後でポンプを動かしたとき、それぞれの断面内の流速分布を測定し、断面ごとのエネルギー高  $H = \frac{1}{A} \sum \frac{v^2}{2g} dA + h + z$  および（運動量+圧力） $M = \sum \rho \cdot dQ \cdot v + \frac{\rho g}{2} B h^2$  と、流量と水深から求めた平均流速で求めたものを比べた。この差がそれぞれ全量の 2~3% 程度であるので本文では以後エネルギーおよび運動量の計算には平均流速を用い、エネルギー係数、運動量係数は 1 とする。障害物およびポンプ吐出し口より十分下流（本実験では  $X=870$ ）での運動量は、流量と下流端の条件で定まることから、ポンプ吐出し口より上流においての運動量は、下流条件およびポンプによって吐き出された運動量に支配される。したがってポンプによって吐き出された運動量が増せばその分上流の運動量が減少、すなわち常流の場合には水位が

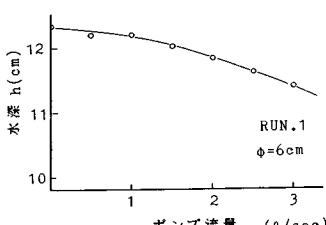


図-3 ポンプ流量と障害物上流の水位

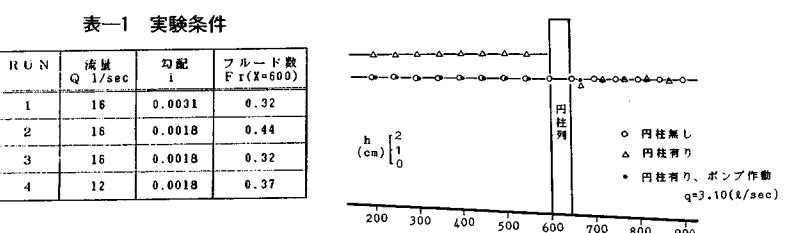


図-2 水面形 (RUN.2)

低下する。水路床を水平にし、吐出し口のみを流れの中におき、そのときポンプで与えた運動量と上流での運動量の減少量との関係を図-5に示した。図より上記の説明の正しい

ことが認められる。

### (4) ポンプ吸込み口前後のエネルギー水頭

横越流堰の場合など流下方向に流量が減少していく流れの場合、単位質量当たりのエネルギーは変化しないことが確かめられている。このことを流れの中にポンプの吸込み口のみを置き水路の外へ排水し、その前後のエネルギーを求めて確かめた。また吸込み口の口径を小さくしたもの、エルボをとってしまい吸込み口が真下に向いている場合についても確かめてみたがおのおのの差は現われなかった。図-4にエルボの有無によるプロットとを示したがまったく変化は認められない。

### (5) ポンプ流量の変化と上流の水位

この方法によりポンプを作動すると上流の水位が低下する原因の 1 つとして、ポンプにより流れの一部がバイパスされた結果、障害物側方を流れる流量が減少することから、摩擦および剥離によるエネルギーの損失が少くなり、その結果として上流の水位が低下することが考えられる。そこで下流でのエネルギー高を一定に保ち流量  $Q$  を変化させて、障害物の存在により生じるエネルギー損失の変化を調べた。この結果を表わしたのが図-6である。これから流量  $Q$  の増加に従い障害物によるエネルギー損失が増えることが示される。したがってポンプにより流水を吸い込むことによりエネルギー損失を

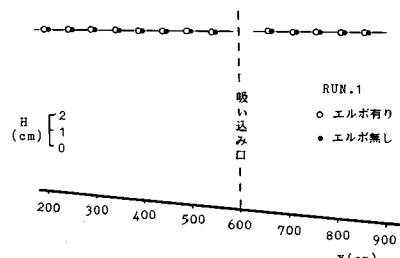


図-4 ポンプ吸込み口前後のエネルギー高 (H)

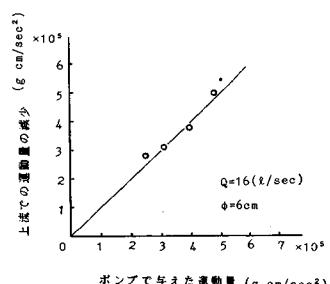


図-5 ポンプで与えた運動量と上流での減少量

少なくすることが可能であることがわかる。たとえば RUN. 2 で流量が 16 l/s の場合にはエネルギー損失が 1.44 cm であり、水位にして 1.64 cm 上昇するが、ポンプ流量  $q = 2 \text{ l/s}$  の場合にはエネルギー損失を 0.96 cm に減らすことができ、これは水位にして 0.55 cm 低下させることになる。

#### (6) ポンプ吸込み口、吐出し口の口径の影響

(4) からポンプの吸込み口に関しては口径の変化の影響はないことが確かめられている。吐出し口に関しては、吐き出された水が流れ全体の運動量に影響を与えることから大きな影響があると考えられ、それを実験により確かめ図-9 に示した。○が口径  $\phi = 6 \text{ cm}$ 、●が  $\phi = 4 \text{ cm}$ 。これからポンプにより同じ流量を吸い込み、吐き出しても、吐出し口の口径によって上流の水位が異なり、吐き出された水量のもつ運動量に関係することが知られる。

#### (7) 水位の低下に寄与する吸込み、吐出しの割合

(6) からポンプで水を吐き出すことにより、また(5)からポンプで水を吸い込むことによりおののおの上流の水位を低下させる効果のあることが確かめられた。吸込みの効果と吐出しの効果を別個に見積っておくことはさまざまな条件でポンプの効果を予測するときに便利であると考え、次のような一連の実験を行うことによりおののおのの効果が負担している割合を見積ることにした。

a. 障害物を置かず、流量  $Q$  を流す。

b. 障害物を置き、流量  $Q$  を流す。a. との差が障害物による上流の水位上昇である。

c. 障害物を置き、その前後にポンプを設置、作動させ（ポンプの流量  $q$  を変化させる）、上流の水位を a. と同じにする。これにより障害物上流の水位を b. から c. 状態まで下げる事ができた、これがポンプによって吸い込み、吐き出したことの効果の和である。

d. 障害物を置き流量  $Q - q$  を流す。

下流のエネルギー高を a. と同じに合わせる。このとき b. と下流の条件は同じにもかかわらず上流のエネルギーが減少し

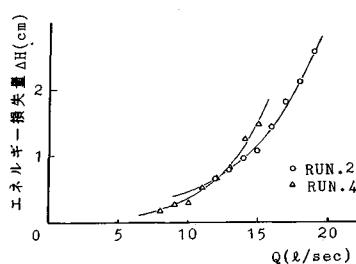


図-6 流量とエネルギー損失量

ており、これがポンプによって吸い込まれたことによる影響だと考えられる。

e. 障害物を置き、流量  $Q - q$  を流す。さらにポンプの吐出し口のみを障害物後方に設置し流量  $q$  を吐き出す。これにより上流のエネルギーが d. のときよりもさらに下がった。これは吐き出された水により吐出し口における水位が低下したことにより上流の水位も低下したものである。

上の過程（図-7 参照）での障害物前後のエネルギー差を示したのが表-3 である。これから各 RUN. における吸込み、吐出しの負担の割合をつかむことができる。

#### (8) ポンプの吸込み口の位置の影響

この方法を現場に用いる場合に障害物が長い場合には吸込みから吐出しまでの配管が長くなり、管路の摩擦損失や施工の費用が大きく、また緊急時に付設に時間がかかる欠点がある。そこでポンプの吸込み口の位置を変化させ、水位の低下に対する効果の様子を調べてみた。障害物として図-8 のような箱を用いた実験条件（表-4）について、吸込みの位置を①、②、③と変えて試してみた。その結果を示したのが表-5 であり、吸込み口を下流にもってくるほど効果は減少するが障害物による摩擦損失が比較的小さい場合には効果があることが確かめられた。この実験の場合には吐出し口直前で吸い込んでも上端で吸い込む場合の 70 % 程度有効であった。

#### (9) 水位低下の計算方法

以上の考察をもとに、このポンプによる水位の低下の計算を試みた。実験結果から各区間における摩擦損失係数を定め、これを用いたエネルギー式と、ポンプの吐出し口に関しては運動量式を用いることによって水位変化の計算を行った。ポンプの効果を推定するために各区間ににおけるエネルギー損失  $\Delta H$  を見積ることが必要である。そこでポンプの吐出し口を境として上流と下流とに分けて考える。吐出し口下流での損失は、上流からの流れとポンプによって吐き出された流れの急拡によるものと、摩擦によるもの、また吐出し

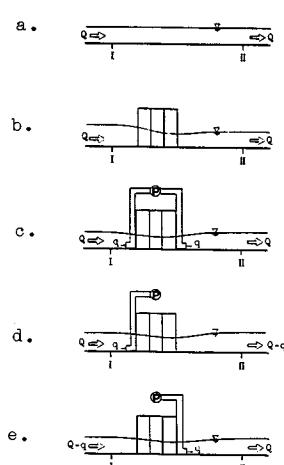


図-7

表-3

	RUN.1	RUN.2	RUN.3	RUN.4
ポンプ流量 $q$ l/sec	2.42	3.08	2.70	2.08
エネルギー差 I - II (cm)				
a	0.09	0.39	0.22	0.36
b	0.71	1.62	0.89	1.11
c	0.16	0.29	0.19	0.25
d	0.47	0.95	0.47	0.81
e	0.16	0.27	0.19	0.34
b-c	0.55	1.33	0.70	0.86
b-d	0.24	0.67	0.42	0.30
d-e	0.31	0.58	0.28	0.47

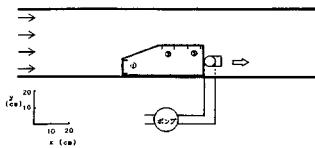


図-8 ポンプ吸込み口配置図

表-4 実験条件

RUN	流量 $Q(1/\text{sec})$	勾配 $i$	フルード数 $F_r(X=570)$
5	14	0.0018	0.28
6	16	0.0018	0.31

表-5 吸込み口位置による水深の変化 (RUN. 5:  $X=570$ )

	障害物の有無		吸い込みの位置		
	無	有	①	②	③
水深 (cm)	11.59	12.45	11.55	11.78	11.85
ポンプの効果 (cm)			0.90	0.67	0.60
レとの比較			1	0.74	0.67

ポンプの流量  $q = 2.75 \text{ l/sec}$ 表-6 吸込み口位置による水深の変化 (RUN. 6:  $X=570$ )

	障害物の有無		吸い込みの位置		
	無	有	①	②	③
水深 (cm)	12.00	13.25	12.45	12.59	12.67
ポンプの効果 (cm)			0.80	0.66	0.58
レとの比較			1	0.83	0.73

ポンプの流量  $q = 2.33 \text{ l/sec}$ 

口より上流については障害物側面の形状、摩擦によるものが考えられる。これを示したのが図-10である。ここで○は実験値を、実線は実験結果から摩擦損失係数を求めて計算したものを見た。このとき、ポンプの吐出しきの面積を83%としたときに実測値によく一致した。これは実験でも吐出しき直上のエルボのために吐出しき断面の中で20%程度の逆流域があったことによく一致した。また障害物の脇の流れについては形状の複雑さから摩擦のみを考えた今回の計算とは形状損失のため一致しなかった。実際にはそれぞれのケースについてこの様子を知ることが必要である。

以下にポンプによる効果を予測するための計算手順を示す。

- ① 流量、下流条件、摩擦損失係数から障害物設置前の水位を計算。
- ② 障害物の形状、側面の様子からエネルギー損失を求め、上流のせき上げられる高さの推定。
- ③ ポンプにより低下させる水位の決定。
- ④ 吸込み、吐出しきの位置、口径の仮定。
- ⑤ ポンプ流量と水位低下の関係の算定。
- ⑥ ③、⑤からポンプに必要なエネルギー量（管によるエネルギー損失を含む）、経費の見積。

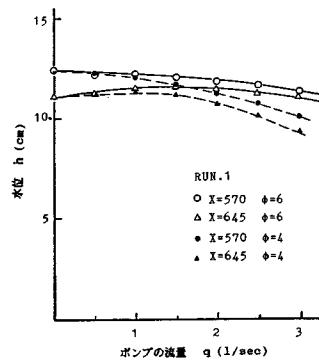


図-9 ポンプ流量と障害物前後の水位

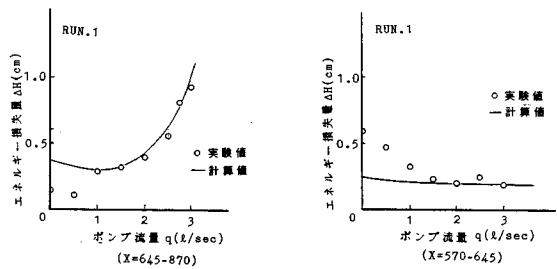


図-10 各区間のエネルギー損失

⑦ ④～⑥を繰り返し最適なものを求める。

⑧ 他の手段との比較。

#### 4. まとめ

河川中の障害物による上流のせき上げを減少させるのにポンプを用いることが有効であることがわかり、その効果の度合も、計算から予測することが可能であることを示した。したがって現存する、またはこれから設置する障害物による流れに対する阻害の程度を見積れば、それに対するポンプの効果を予測できる。また障害物の延長が長い場合にはその上流端から吸い込まずに下流の方で吸い込んでも障害物によるエネルギー損失は除去できないが長い配管をせずとも効果をあげることができることを示した。ただし、ポンプの効率、配管による損失、経済的な面からの効果的、経済的な面については個々の箇所での条件に基づいて検討すべきであり、ここではその基礎となる水理的関係については計算できるようにした。

謝 辞：本研究を進めるにあたり、本学4年生の奥出英博君、小池裕之君の多大な協力を得た、ここに記して謝意を表します。

(1988.2.1・受付)