

投稿論文 (和文ノート)

**TECHNICAL
NOTE**

自己転倒式自動堰の設計と特性について

和泉 清*・吉川秀夫**・佐藤岳晴***・
佐々木六造****

平常時流量が少なく、水質の悪化した都市河川の浄化装置として本装置を考案した。本装置は河川水を堰止め、河川水に対するエアレーションを可能とし、さらに放流時にフラッシュ効果を持たせたものである。本報は本装置の設計法と、重錘、上下流水位等の設計にあたっての検討事項を示し、模型実験、現地実験で得られた流出特性、転倒・復起時の水位を明らかにし、流出時間、水位変化をシミュレートしたものである。

Keywords : self-regulating, flash, environmental control

1. はじめに

自己転倒式自動堰河川浄化装置は、平常時流量が少なく、水質の悪化が問題とされる都市河川の浄化を目的としている。本装置は自動的に「堰止め・放流」を行う装置であり、装置上流側の貯留水に対しエアレーションを行い河川水の溶存酸素を増加させ、放流時にはフラッシュ効果により河床堆積物をまきあげ、浮遊した有機性懸濁物質を分解しながら下流へ輸送することにより浄化を行うためのものである。なお、装置の動力は水圧と本装置の自重（重錘を含む）のみであり、水位の検出手段等の電氣的機構を全く必要としない。

本報では本装置の設計法とその検討について述べ、実際に製作した模型での室内実験の結果から得られた装置の特性、及び現地実験の結果について報告する。

2. 装置の設計

(1) 装置の構成とその動作

装置の流れ方向の断面でみた動作状況を図-1に示す。装置は軸支部で回転可能とした転倒止水板、重錘、ストッパー、及び軸支部下位の止水板に下流側からの水圧を作用させる水溜部を作るための下流側堰により構成されている。動作状況は、図-1(a)が貯留時であり、上流側水位が破線に達した時に止水板が転倒し、(b)の放流状態となる。上流側水位が支持軸程度に下がった(c)の状態となり、復元力が止水板に作用する水圧より強くなった時に止水板は起立し、再び貯留をはじめる。

(2) 設計方法

上流水圧、下流水圧、及び止水板自重（重錘を含む）

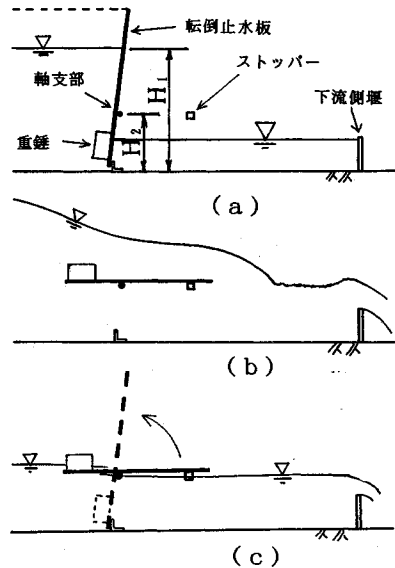


図-1 動作状況説明図

が平衡である状態に対し、図-2のように記号を与える
と単位幅あたりに対し次式が成り立つ。

$$w \frac{Hg \cdot l_0}{2} \left(\frac{l_0}{3} - l_2 \right) + w \frac{Hd \cdot l_4}{2} \left(l_2 - \frac{l_4}{3} \right) + \frac{R \cdot l_1^2 \cos \alpha}{2} - \frac{R' \cdot l_2^2 \cos \alpha}{2} - W(l_3 / \cos \gamma) \cos(\alpha - \gamma) = 0 \dots \dots (1)$$

ここで、 w ：水の単位体積重量、 R 及び R' ：止水板の単位幅・単位長あたり空中重量及び水中重量、 W ：重錘の単位幅あたり水中重量である。また止水板が転倒している状態において、軸支部上位による転倒方向モーメント Mp と軸支部下位による復起方向モーメント Mn は
 $Mp = R \cdot l_1^2 / 2$, $Mn = W \cdot l_3 + R' \cdot l_2^2 / 2 \dots \dots (2)$
となり、 $Mn > Mp$ でなければならない。

* 正会員 東京都土木技術研究所主任研究員 (〒136 江東区新砂 1-9-15)
** 正会員 工博 早稲田大学教授 理工学部土木工学科
*** 学生会員 早稲田大学大学院理工学研究科修士課程学生
**** 早稲田大学流体実験室管理室職員

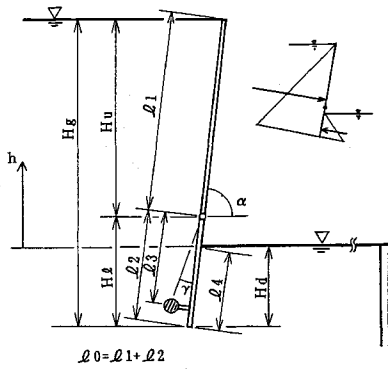


図-2 記号説明図

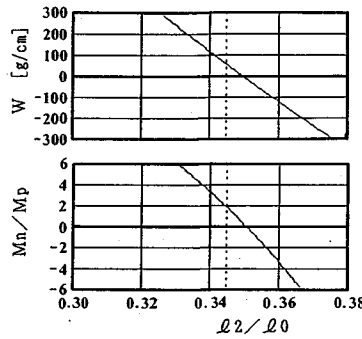


図-3 軸支部位置と重錘，転倒モーメントの関係

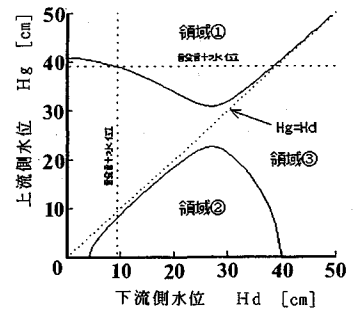


図-4 平衡時の下流側水位と上流側水位

表-1 装置模型設計値

Hg	39.0 cm	R	1.0 g/cm ²
Hd	9.4 cm	R'	0.4 g/cm ²
l1	27.5 cm	W	60 g/cm
l2	13.5 cm	α	85°
l3	8.9 cm	γ	10°
平衡状態の計算値は l1=25.65 cm			

実際の設計においては摩擦の存在や止水板全体としての比重が使用材料により定まることなどの理由により、止水板の軸支部位の長さを平衡状態として計算された $l1$ の 1.1 倍程度とし、また復元力についてはさらに流出水の動水圧の問題があるため、 $Mn \approx 2 Mp$ とした。以上により模型の寸法を表-1 のように定めた。なお R 、 R' については、正確な値を把握することが困難であり、またこれらが式 (1) に与える影響が少ないのでおおよその値として定めた。

(3) 軸支部位置と重錘重量，復起モーメントの検討

上流側水位 Hg ，下流側水位 Hd を与えたとき，軸支部位位置を変化させたときに平衡に必要な重錘の単位幅重量 W ，及び Mn/Mp は図-3 のようになる。図の破線は実際に設計した軸支部位位置を示しておりその値は、

$$l2/l0 = 0.345, W = 60 \text{ [g/cm]}$$

$$Mn/Mp = 1.9$$

である。この図より軸支部位のわずかな変化は W の大きな変化を必要とすると同時に、復起モーメントも大きく変化させることができる。

(4) 下流側水位の検討

設計された本装置模型について、下流側水位を変化させたときに平衡状態となる上流側水位は図-4 の実線で示した曲線ようになる。この図において上下の二つの曲線で隔てられた領域①、②において転倒モーメントが正となり止水板は転倒し、領域③では負となり止水板が転倒しない水位を示している。領域①について考えると、下流側水位が何らかの原因により上昇した場合、転倒するのに必要な上流側水位は減少するが、これは装置の機能に対して大きな悪影響は与えないことになる。また下

流側水位が設計水位より下がった場合には転倒しないおそれがあるが軸支部位の止水板長を若干長く設計することによりその危険性を排除しうる。一方、領域②について考えると上流側水位が下流側水位より低下した場合に止水板が転倒することとなり、したがって、河川流量が非常に少なく、さらに下流側の水位変動の大きい感潮河川等について設計するときには注意を要する。

3. 装置の特性

(1) 実験概要

本装置の知るべき特性は河川流量の大小による転倒止水板の挙動と、貯留開始から放流終了までのサイクルタイムである。実験は、図-5 に示すように全幅 $B = 40$ [cm] の水平勾配水路の上流端より 505 [cm] 下流に転倒止水板幅 $b = 20$ [cm] とした表-1 の通りの寸法の本装置模型を設置して行い、上流側の水位変化と、サイクルタイムを測定した。実験条件は表-2 に示すが、流量がある一定以上となると転倒止水板は転倒したままとなるため、「転倒・起立」を反復する場合を R シリーズ、転倒したままの場合を F シリーズとした。なお水路に流入する流量を流入流量 Qm ，装置を通過し流出する流量を流出流量 $Qout$ ，R シリーズと F シリーズの境界となる流入流量を限界流入流量 Qc とし、下流側堰頂から測った上流側水位を h で示す。

(2) 上流側水位と流出流量の関係

図-6 に F シリーズの上流側水位と $Qout$ の関係を示す。この図において横軸には h をとっている。図-6 に示した実測値より本装置の流出特性を示す水位-流量式を次式のように定めた。

$$Q_{out} = C_1 h^{3/2} + C_2 \dots \dots \dots (3)$$

$$C_1 = 0.366, C_2 = 0.0037 \text{ (m, s 単位)}$$

また、図-6 には下流側堰を全幅セキとみなした場合の全幅セキの流量公式(修正 Rehbock 式)による関係と、止水板幅をセキ幅、下流側堰高をセキ高とした四角セキの流量公式(板谷・手島の式)による関係を比較として

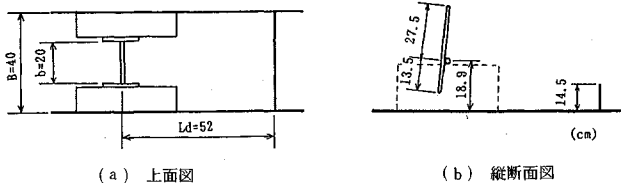


図-5 装置模型設置状況

表-2 実験条件

R Series	Q _{in} [ℓ/sec]	F Series	Q _{in} [ℓ/sec]	h [cm]
R-1	0.00	F-1	10.83	7.41
R-2	2.65	F-2	13.15	8.92
R-3	4.87	F-3	18.44	11.44
R-4	8.14	F-4	24.19	14.55
		F-5	30.90	17.76
		F-6	38.51	20.88
		F-7	47.07	24.14

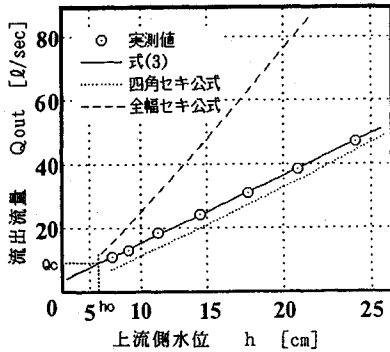


図-6 上流側水位と流出流量の関係

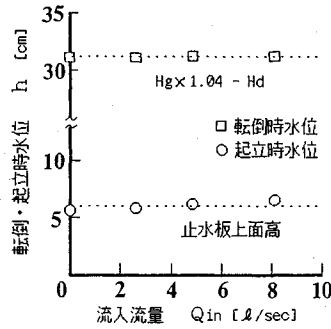


図-7 転倒・起立時の上流側水位

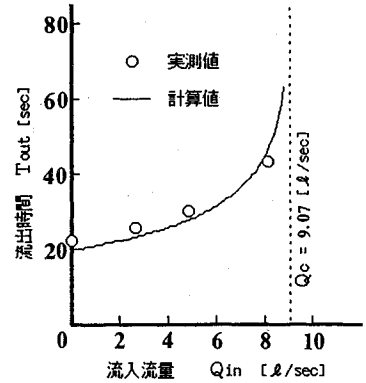


図-8 流入流量と流出時間の関係

示した。ただし、この寸法はこれらの式の適用範囲外である。ここで、水路全幅を B として流出係数 C_0 を

$$C_0 = Q_{out} / (Bh^{3/2}) \dots\dots\dots (4)$$

と定義するならば、この装置の流出係数 C_0 は四角セキと考えた場合のものに近く、また全幅セキのおおよそ半分 (b/B) であることがわかった。

(3) 転倒開始・起立時の上流側水位

転倒開始、および起立時の上流側水位を図-7に示す。転倒開始時の上流側水位は Q_{in} に関わらずほぼ一定であり、設計水位 Hg と比較するとその 1.04 倍である。したがって、実際に転倒を開始する水位は理想状態の平衡時の Hg の数%から 1 割増し程度を見込めばよいと思われる。一方、止水板が起立するときの上流側水位は Q_{in} の増加にともなって上昇する傾向があるが、この装置ではおよそ転倒している止水板上面の高さに等しい。

(4) 限界流入流量 Q_c

止水板が起立するときの h を h_0 とすると式 (3) において $h=h_0$ としたときの Q_{out} を限界流入流量 Q_c と考えることができる。 h_0 については 3.(3) で述べた通りであり、止水板上面に等しいとし、この値を h_0 として、
 $h_0 = 600$ [cm], $Q_{out} = 8.87$ [ℓ/sec]

となる。この流量は R シリーズと F シリーズの境界の Q_{in} におよそ相当しており Q_c が求められたといえる。

(5) 転倒サイクルについて

「転倒・起立」の一周期の時間は、流出に要する時間、すなわち止水板が転倒している時間を T_{out} 、総貯留量を S_{total} とすると

$$(1 \text{ サイクル}) = \frac{S_{total}}{Q_{in}} + T_{out} \dots\dots\dots (5)$$

で求められる。S シリーズの結果より、 Q_{in} と T_{out} の関係は図-8 のようになった。図-8 の破線は式 (3) より求めた Q_c であり、また実線は後述の式 (6) より求めたものである。実測の T_{out} は計算値と比較すると変化が小さいが、これは起立時の h が、図-7 からわかるように実際では Q_{in} の増加にともなって上昇する傾向を持つためである。これより、 $Q_{in}-T_{out}$ 曲線は $Q_{in}=Q_c$ に対し漸近傾向を持ち、 Q_{in} が Q_c に近づくとき急激に T_{out} が増加することがわかる。したがって、本装置を機能させる Q_{in} の範囲は Q_c の 7~8 割程度と考えるのが安全であろう。

次に、流出過程における Q_{out} を考え、流出時間 t と上流側水位 h の関係を求めた。まず、 Q_{out} は h の減少量から求めたが、この h と Q_{out} の関係は F シリーズの h と $Q_{out}(=Q_{in})$ の関係とはほぼ一致したので、R シリーズの流出過程を表すために定常状態である F シリーズの結果を適用してよいと考え、流出過程におけるある h に対し、そのときの Q_{out} を求めるために式 (3) を用いることとする。流出過程においては、貯留面積を $A(h)$ とすると、

$$dh = \frac{Q_{out} - Q_{in}}{A(h)} dt \dots\dots\dots (6)$$

となり、これにしたがって上流側水位変化を計算した。ここで転倒開始時 ($t=0$ [sec]) の h は 3.(3) で述べたとおりであり、 $h = Hg \times 1.04 - Hd$ とし、これより求めた t と h の関係を図-9 の実線で示す。また、 h (計算

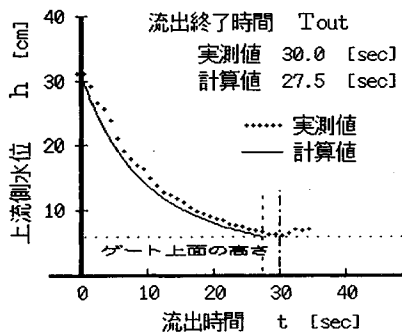


図-9 式(3)による水位変化及び流出時間の計算結果 (Case R-3)

値 $= h_0$ になったとき $t = T_{out}$ (計算値) とし、流出に要する時間を求めた。 T_{out} は曲線の形状からわかるように h_0 に大きく依存しているため計算値と実測値に相違を生じているが、おおむね良好に再現できている。

4. 現地実験結果

神田川(杉並区久我山)において現地実験装置(以下、単に装置と呼ぶ)を実際に取付け、現地実験を行った。実河川の断面は、図-10の通りであり、この低水路部に装置を設置した。設計条件は、上流側水深を 50 [cm] とし、転倒止水板幅を 70 [cm] とした。実験時の流量は設計当初に想定した流量より多く、転倒起立サイクル時間が図-11に示すように長く、転倒止水板を起立させるためには流量を制限する必要があったが、設計水位に対しての止水板の転倒・復起が確認できた。

下流側の水路床は固定床のため、河床変化はなかったが、水路床に堆積していたヘドロ及び生えていた藻に付着していたドロ等が流され、フラッシュ効果のあることが確認された。また、河川を流れるゴミが止水板の動きを妨げる場合もあり流下物に対する対策が必要なことがわかった。他に、この河川には鯉等の魚が生息しており、本装置の作動によって魚が逃げる様子はなかった。

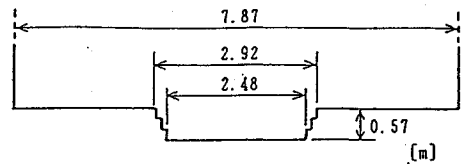


図-10 実験河川断面図

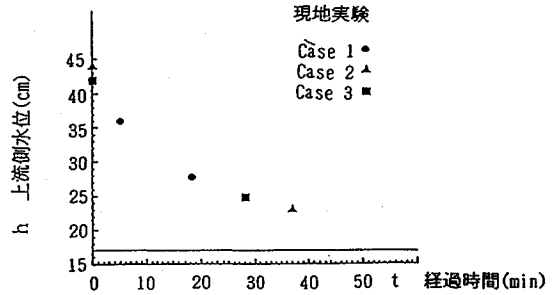


図-11 現地実験における上流側水位と流出時間

5. おわりに

本装置の実用化にあたっての問題点は、本装置が流れを妨げることにある。洪水時には転倒止水板自体は倒れているわけであるが、全体としては大きな抵抗になることが予想されるので、軸支部より下の部分を計画河床高以下に設置するなどの十分な考慮を要する。本装置の特性については、本文を参考として概略設計ができるが、さらに詳細についてはスケールモデルにより、 $Q-h$ の関係、 Q_c , h_0 等を実験的に求め、式(3)に相当する関係式を求める必要がある。また実河川では上流側に貯留される水量は非常に多く一周が長時間に及ぶため、サイクルタイムを見積もっておく必要がある。

また、実河川においては、転倒起立を繰り返すことによる振動や騒音の問題が考えられるが、今回の実験が短期間であったため結果が得られず、これから行う現地実験の追跡調査により明らかにする予定である。

(1992.3.14 受付)

DESIGN OF SELF-REGULATING FLASH-BOARD AND ITS HYDRAULIC CHARACTERISTICS

Kiyoshi IZUMI, Hideo KIKKAWA, Takeharu SATO and Rokuzou SASAKI

This device is used as a purifier for urban small rivers of which the flows are scarce and the water is polluted. It dams up the river flow and discharged water flashes down the river course automatically. The flash-board overturns due to the hydrostatic pressure by storage water. In this paper, a method of determining dimensions of this device is illustrated for practical use. The hydraulic characteristics of the device such as flash discharge and the equilibrium water levels are made clear by the model tests in a laboratory and a field. The cycle of the performance and the variation of water level can be simulated.