

(Ⅱ-4) 堰柱背後の渦列と水面変動に関する実験報告

水資源開発公団試験所 佐藤嘉正
 水資源開発公団試験所 正会員 安養寺学
 水資源開発公団試験所 井上 聡
 ○ 水資源開発公団試験所 正会員 荒谷慶太

1. はじめに

一様な流れの中に形状の簡単な物体が置かれると、Re数の値によってさまざまな流況を示す。Re数が5程度を越えると物体の背後に渦列が形成され、この渦列はRe数の値とともに発達してくる。このような現象は橋梁ピアや堰柱の背後にも見受けられ、またその周辺では周期的な水面変動が生じることも報告されている。

本論文は、堰柱背後に発生するカルマン渦と堰柱間に生じる水面変動の発生機構について、水理実験をとおして若干の知見を得たのでここに報告するものである。

2. 実験概要

実験の対象とした堰は、ゲート門数10門より構成されている可動堰であり、左岸側より1号ゲート、2号ゲート…と以下記述する。

模型は縮尺1/15の幾何学的に相似な3次元模型（図-1）で、再現範囲は河川上下流方向に700m区間とした。実験条件は表-1に示すとおりであり、1門当りの放流量、放流門数および下流水位を組合せた合計82ケースで実施した。水面変動は容量式波高計に接続したペンレコーダに記録させ、解析は波形記録より60波程度を取り出しCrest To Crest法によりデジタイザーで読取り実施した。

表-1 実験条件一覧表

1 門 当 放 流 量 (m^3/s)	門 数 (門)	下 流 水 位 (W.L.(m))
45	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10	83.75 ~ 85.00 (7ケース)
60	5	84.25 ~ 85.50 (6ケース)
90	5	85.50 ~ 86.75 (6ケース)

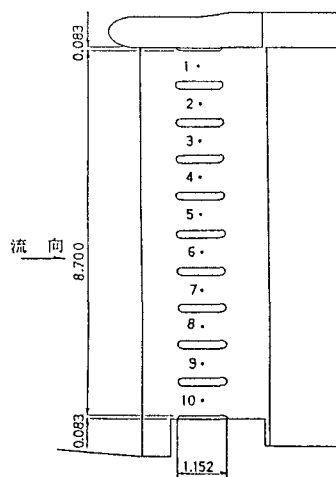


図-1 模型平面図

3. 実験結果とその検討

(1) 水面変動の生起過程：表-1に示した実験条件のなかで、堰の放流門数がある門数以上になり、かつ、下流水位がある水位に達すると、堰柱背後に顕著な渦列の発生と堰柱間に周期的な水面変動が観察された。この現象を特定の水通しに着目して定性的に示せば次のとおりである。即ち、ある瞬間に水通し両側の堰柱背後から内側に回転をもった渦が形成され、水通しを流れる流水が阻害される。このため水面の隆起が生じる。次の瞬間には外側に向かった回転をもつ渦が形成され、水通し内の流れを促すため水面の下降が生じる。この現象が時間的に繰り返されて連続的な水面変動が誘起される。一方、この現象を空間的にみればゲート1門おきに水面変動の山と谷が交互に生じていることが認められ、波形記録からもそれぞれ隣り合ったゲートで位相がおおむね 180° ずれていることが確認された。この水面変動の発生状態を示したものが図-2である。

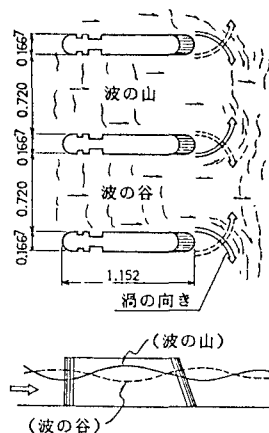


図-2 水面変動の発生状況

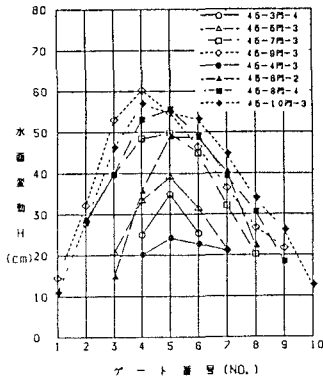


図-3 放流門数をパラメータとした平均水面変動

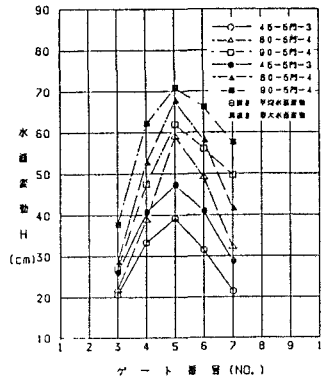


図-4 放流量をパラメータとした水面変動

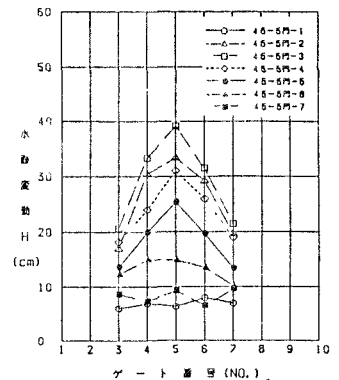


図-5 下流水位をパラメータとした平均水面変動

(2) 水面変動の発生する条件：前項で記述したとおり堰柱背後に形成される渦列と堰柱間に発生する水面変動については密接な関連があると推測される。従って、ここではまず、カルマン渦によって誘発される水面変動が水理条件あるいは放流形態の違いによってどのように変わってくるかを調べる。図-3,4,5は1門当りの放流量、放流門数および下流水位を種々変化させ、これによって発生してくる水面変動を堰軸方向で整理したものである。これらの図より水面変動は放流門数および放流流量の増加に伴って大きくなり、かつ水面変動が最大となる特定の下水水位が存在する。また、堰軸方向の場所的な変化についてみれば堰中央部で大きく両岸付近で小さくなる。このことは堰中央部においては渦の相互干渉が十分行われるのに対し両岸付近では左右岸堤防の拘束があるために十分な干渉が行われないためだと考えられる。

次に、カルマン渦に着目して渦特性について検討する。カルマン渦の発生特性はストローハル数(S 数)で代表され、 Re 数と物体形状の関数となることが知られているが、実際上の問題となると Re 数 $>10^4$ では S 数は物体形状のみに規定されて一定値を示す。図-6は放流門数を5門と固定して、1門当りの放流量を変化させた場合の S 数とそのときの Re 数の関係を示したものである。この図より最も卓越した水面変動が誘発される水理条件としては S 数が0.27程度であることが分かる。

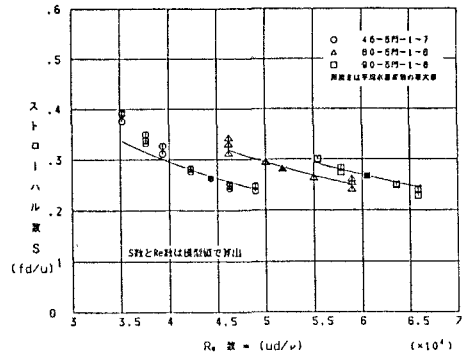


図-6 ストローハル数と Re の関係

(3) 水面変動特性：不規則な風波の特性量としては $1/n$ 最大波高がよく用いられ、このときの波高の統計的分布としてはReileigh分布に従うことが知られている。そこで堰周辺に発生する水面変動特性を調べるため、波高比をもってReileigh分布と比較を行った。その結果を図-7に示している。この図によれば堰周辺に発生する水面変動の波高比は全体的に理論値より小さく堰中央部でこの傾向が強い。このことから堰周辺に発生する水面変動は不規則なものではなくカルマン渦によって誘発される規則的な現象であることが理解できる。

4. おわりに

以上、概要を現象に着目して記述してきた。紙面の都合上不備な点も多いと思われるが本文が関係者各位の今後の参考になれば幸いである。

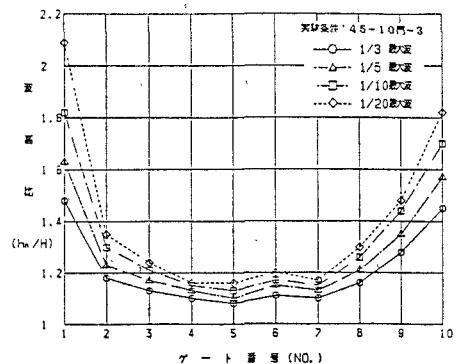


図-7 堰軸方向の波高比