

全幅越流型階段式魚道内における横波の発生とその制御

中村俊六¹・和田 清²

¹正会員 工博 豊橋技術科学大学教授 工学部建設工学系 (〒441 豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1)

²正会員 工博 岐阜工業高等専門学校助教授 環境都市工学科 (〒501-04 岐阜県本巣郡真正町上真桑)

全幅越流型の階段式魚道(切り欠き無し, 交互潜孔付き)において最大波高約1mの横波が発生した。その原因,あるいは水理学的メカニズムを調べ,対策を施すための現地調査を実施した。その結果,発生した横波は,魚道がカーブしている区間で顕在化した静振(セイシュ)が,越流形式での伝播中に増幅されるとともに,ビート現象を伴ったものであると判断された。横波防止のために,隔壁中央に非越流部を設け,隔壁をアイスハーバー型化する策を実施して成功した。

Key Words : fishway, seiche, hydraulic instability, Ice Harbor weir

1. 緒 言

1990年4月,紀ノ川(和歌山県)・岩出取水堰右岸に設置された全幅越流型の階段式魚道において横波(写真-1および写真-2)が発生した¹⁾。

切り欠きがなく隔壁天端を全幅越流する階段式魚道においては,流量に応じて流れが落下流状態と表面流状態に変化したり,その中間的流量では,その双方が交互に発生するなどの不安定現象を引き起こすことが知られている²⁾。しかし,今回観測された横波は,流れの不安定性というよりも特殊な不安定な波動現象の発生と言うべきものである。

こうした不安定波動については,米国コロンビア川のマクナリーダム(McNary Dam)に1954年設置された幅の広い全幅越流型階段式魚道における横波の発生が報告されているが^{3),4)},その原因や水理機構についての詳細は公表されていない。

本論文は,この横波について,(1)その発生原因,あるいはその水理機構の解明を目的として行った現地調査の結果と,(2)横波が生じないようにするための対策案の効果について報告するものである。類似事例の存在は認められながらも,その詳細が公表されていないことと,今回の対象魚道が我が国での階段式魚道の標準から特に大きく逸脱したものとは見受けられないことから,本報告を魚道設計や改善のための資料として提供したい。

2. 現地観測

(1) 第1回調査(1990年5月30日)

横波現象の概要を把握し,その発生のメカニズムについて予備的考察をするための予備調査であって,関係者からのヒヤリング,横波発生状況の目視観察,ビデオ撮影などを行った。

対象魚道の概要は図-1のようであり,長さ82m,幅5.1m,上下流最大水位差約7mの水路内に,全幅越流型の潜孔付階段式魚道(全35段)が設置されている。隔壁には切り欠きがなく,潜孔(20cm×20cm)が各隔壁にひとつずつ左右交互に設けられている。ただし,調査時にはほとんどの潜孔が塞がれていた。また,予備調査の段階では,同図(a),(b)に示したように,中・下流プールの一部の中央部に,横波抑制を意図した鋼製の仕切り板が入れられていた。

ビデオによる波動の観察や撮影された写真によれば以下のものであった。

a) 流量が少ない時(最上流部ゲートでの越流水深 $H \approx 10$ cm)

波形:(写真-1)

周期:その振動周期は約1.25秒程度であるが,2~3分ごとにほとんどおさまった状態になる。

波高:下流プールほど波高は大きい,最下流の最盛時でも50cm程度。

位相:プール毎に波形の位相がわずかにずれている。

b) 流量が多い時($H=15\sim 20$ cm)

波形:(写真-2)

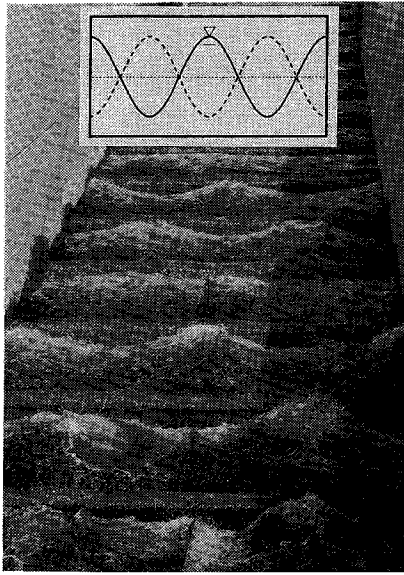


写真-1 小流量時の横波 ($H=10\text{ cm}$)

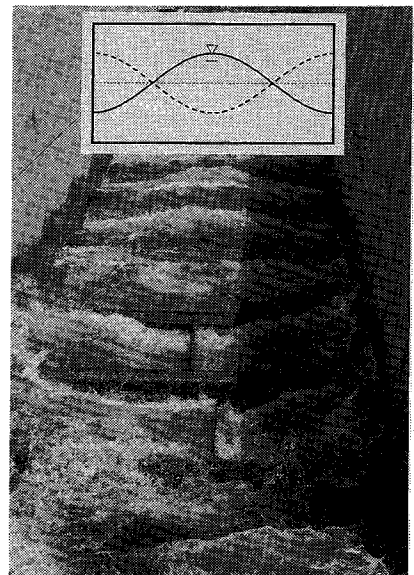


写真-2 大流量時の横波 ($H=20\text{ cm}$)

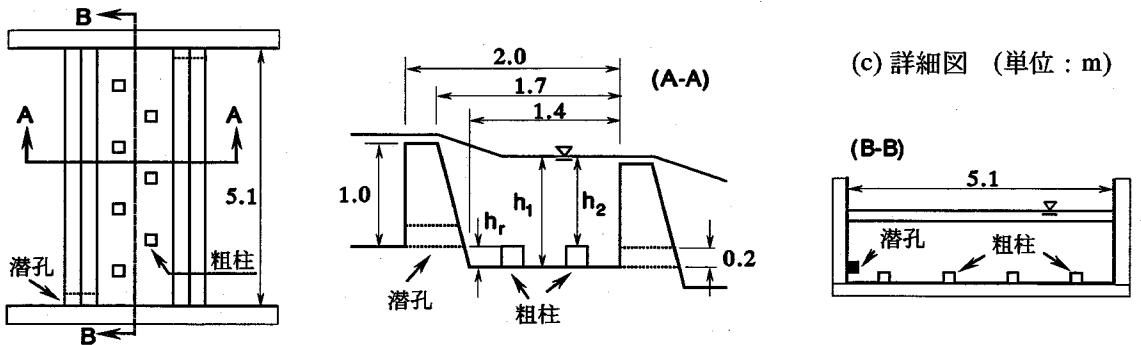
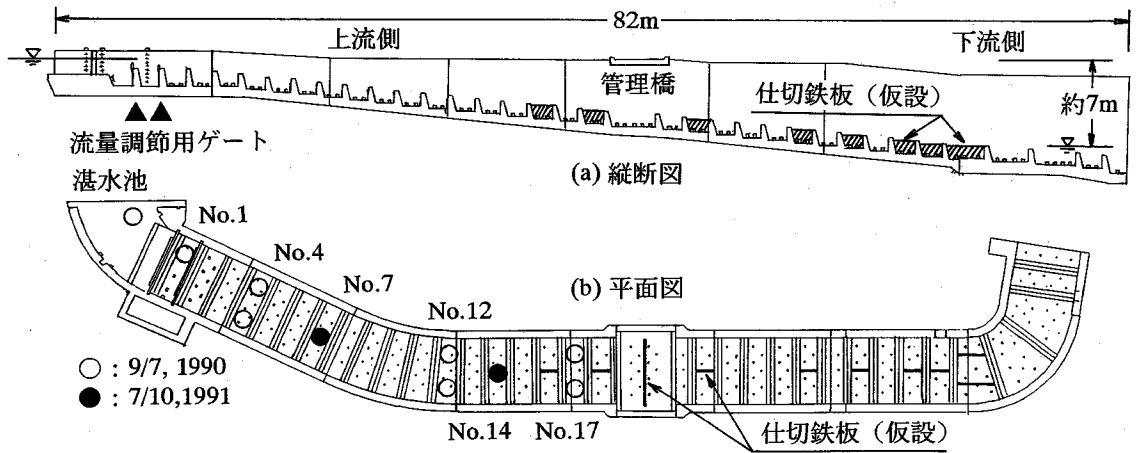
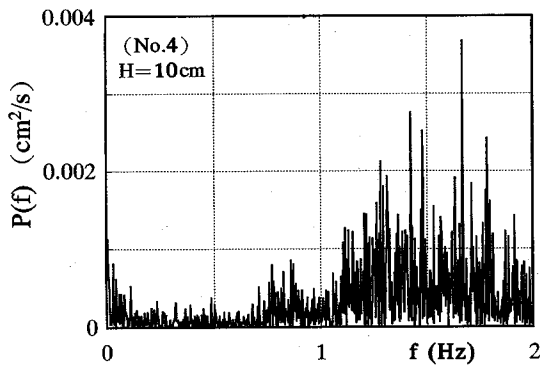
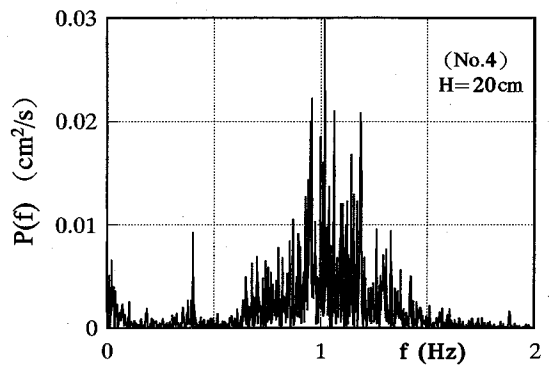


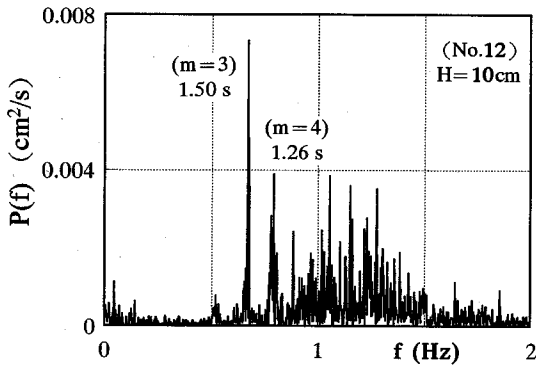
図-1 調査対象魚道(全幅越流型階段式)の構造



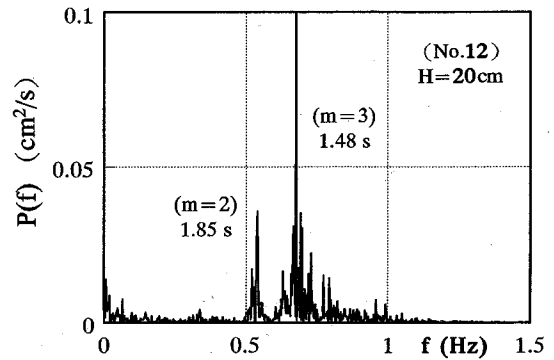
(a) 4段目プール (H=10 cm)



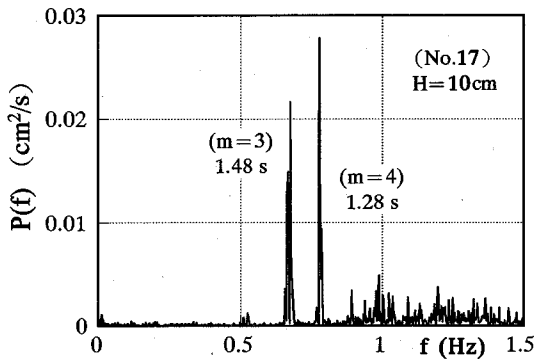
(a) 4段目プール (H=20 cm)



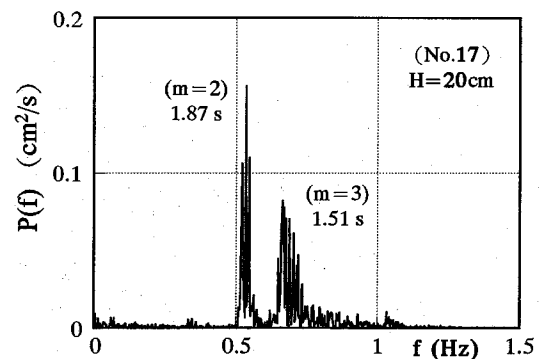
(b) 12段目プール (H=10 cm)



(b) 12段目プール (H=20 cm)



(c) 17段目プール (H=10 cm)



(c) 17段目プール (H=20 cm)

図-2 水面振動のパワースペクトル (小流量時)

図-3 水面振動のパワースペクトル (大流量時)

周期: 約2秒弱であるが、約1~2分間隔で波動がおさまった状態となる。

波高: 下流プールほど大きく、最下流の最盛時に1mを越えている。

位相: a)と同様、波形の位相がずれて伝播。

ただし、目視観察によれば、流量がきわめて少ない場合 ($H=2\sim 3$ cm) には、横波現象は発生していないように見受けられた。なお、図-1中の○、●は後述する波動計測位置を示す。

(2) 第2回調査 (1990年9月7日)

水面振動を正確に測定するとともに、スペクトル解析から卓越周期や波動エネルギーの空間分布等を把握することを目的として、2回目の調査を実施した。すなわち、図-1中の○印の位置 (両岸から内側に約1m) にサーボ式水位計を2台設置し、測定場所 (上流湛水池, 1, 4, 12, 17段目プール内) および越流水深 ($H=10, 15, 20$ cm) を変化させて水面振動の波形計測 (約10分間) を行った。また、それらの記録をペン書きおよびカセット

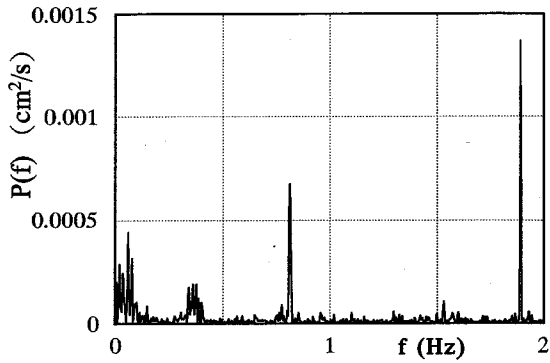


図-4 水面振動のパワースペクトル (湛水池内)

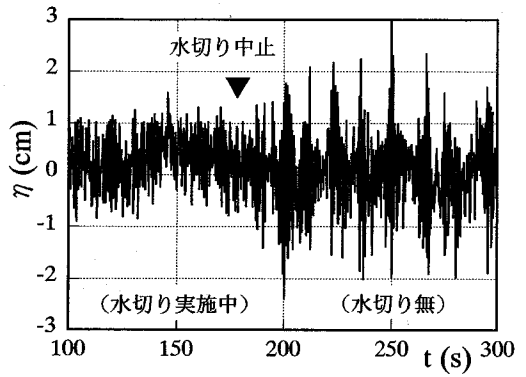


図-6 水切りの有無による水面振動波形 (1段目プール)

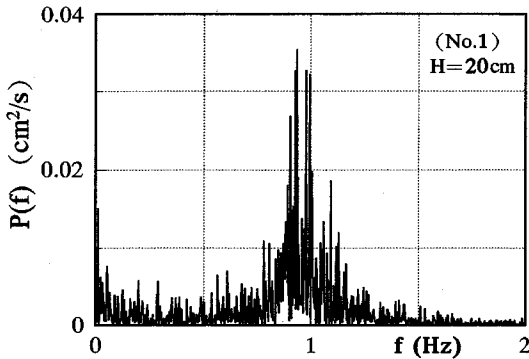


図-5 水面振動のパワースペクトル (1段目プール)



写真-3 水切り実施中の状況

ト式データレコーダーに収録し、サンプリングタイム $\Delta T=0.05\sim 0.1$ s で離散化した後、FFT 解析を行った。FFT 解析によって得られた水面変動のパワースペクトルの例を、図-2, 3, 4 および 5 に示す。ただし、越流水深 $H=10$ cm および 20 cm の場合であり、2 台の水位計の内、右岸側のものによるデータのみである。なお、図中の ($m=3$) などは後述する計算との対比の便宜上記したものである。

また、写真-3 は、第 1 プール上流側越流頂 (流量調

節用ゲート上) において、数本の棒状角材による越流水面の水切りを行い、越流背面への空気の出入りが自由に行われるようにしたものであり、図-6 は、その前後における水面振動波形の時系列変化を示すものである ($H=20$ cm)。同図から、水切りを行うことによって、プール内の波動が著しく弱くなり、水切りを中止すると、間欠的 (約 $10\sim 20$ s 間隔ごと) に大きな振幅が現れる特異な波動に変化することがわかる。

3. 考 察

(1) 静 振

第 1 回の調査結果から、横波は静振 (セイシュ) の一種と考えられる。そこで、第 1 回および第 2 回の調査結果を静振理論によって説明すれば以下のようである。

一般に、湖沼や内湾などにおける水面振動を考える場合、長波近似が成立するので、波速を \sqrt{gh} (g : 重力加速度, h : 水深) とすることが多い⁵⁾。しかし今の場合、振動波形モード $m=2$ あるいは 4 から、波長 $L=B$ あるいは $B/2$ ($B=5.1$ m: 水路幅) に対して、水深は約 1 m である。水深波長比 h/L は、 $1/2\sim 1/6$ の範囲となり、長波 ($h/L < 1/20$) ではなく、浅海波として取り扱わねばならない。そこで、固有振動周期を与える関係式⁵⁾:

$$T_m = 2B / (m\sqrt{gh}) \quad (1)$$

m : 波形モード ($m=1, 2, \dots$),

において、微小振幅波の分散関係式から求まる波速 C :

$$C = \sqrt{(g/k) \cdot \tanh(kh)} \quad (2)$$

k : ($=2\pi/L$): 波数,

を用いて周期を計算すると表-1 を得る。また、プール内の水深としては、粗柱の存在を無視した全水深 h_1 (図-1 (c)) を用いた。

同表から、 $m=2, 4$ の場合における式 (2) を用いた計算周期は、第 1 回調査におけるビデオ観察結果とほ

表—1 固有振動周期

水深 h(m)	越流水深 H(cm)	周期 Tm (s)			
		m=1	m=2	m=3	m=4
1.10	10	3.33	1.93	1.50	1.28
1.15	15	3.28	1.92	1.50	1.28
1.20	20	3.23	1.91	1.49	1.28

ば一致していることがわかる。

また、第2回調査結果(図—2, 3)を上記の計算と対応させれば、以下のように説明できよう。

a) 4段目プール：流量が少ない場合(図—2(a))、1~2 Hzの比較的広い高周波数の領域に波動のエネルギー密度が分布しているのに対して、流量が多くなると(図—3(a))、その中心周波数は1 Hz周辺に集中し、流量増加によってスペクトル形状が狭帯域化し、中心周波数が若干低周波数側にシフトする傾向がみられる。

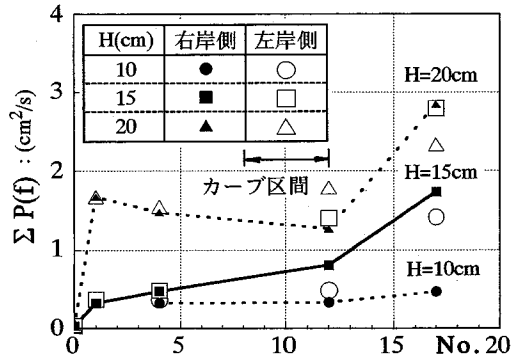
b) カーブ区間を通過した直後の12段目プール：流量が少ない図—2(b)の場合、線スペクトル化(m=3および4に対応)と1 Hz前後を中心とする広帯域スペクトルの領域が混在している。流量が多い場合(図—3(b))には、スペクトル形状はますます先鋭化して線スペクトルに近い分布となり、その周波数がより低周波数側に移行している(m=2および3)。

c) 17段目プール：流量が小さいとき(図—2(c))も、大きいときも(図—3(c))、卓越した線スペクトルが形成されて、エネルギーが大きい複数の波動成分が顕在化している(越流水深H=10 cmの場合、m=3および4、H=20 cmでは、m=2および3)。しかも、図中に併記されているように、これらの卓越周期は、プール幅や水深によって支配される静振の固有振動周期(表—1)とほぼ一致している。

以上のことから、以下の推定が許されよう。

- ①カーブ区間よりも上流においても、流量が多いときにはすでに静振が生じている。
- ②カーブ区間において、流量が多いときにはm=2および3のモードの静振による波動が増幅・先鋭化し、流量が少ないときには、m=3および4のモードの静振が成長・顕在化する。なお、上述のb)における線スペクトル化と広帯域スペクトル領域の混在は、横波が成長する過程の過渡的な段階を示すものと思われる。
- ③中・下流部では、流量の大小にかかわらず、静振波動が顕在化する。

次に、静振によって励起された波動のエネルギーが、流下方向にどのように変化しているかを見るために、図—2, 3の水面変動のパワースペクトルの値を0.1~2 Hzのバンド周波数領域で合計し、波動の総エネルギーを求



図—7 波動エネルギーの縦断方向変化

めれば図—7を得る。ただし、同図には、水位計2台から得られた値を両方とも記載した。

同図を見ると、以下のようである。

- i) 第1~4段目プール：波動のエネルギーにほとんど変化はなく、上流側直線区間内では流量毎にほぼ一定。
- ii) カーブ部分：エネルギー変化はわずかである。
- iii) カーブ部分を通過した直後の中下流側直線区間(第12~17段目)：スペクトル形状が先鋭化する(上述)とともに、波動エネルギーの急激な増加が生じている。

これらは、

- ④静振波動の増幅は、主として下流部の直線区間において生じている、ことを示唆していると言えよう。

(2) ナップの付着に伴う不安定波動の発生

写真—3および図—6に示した水切り効果は、水切りによってナップを安定させることがプール内の波動の抑制にきわめて効果的であることを示すものと言えよう。

図—4を見るといくつかの卓越周期が見られるが、波動エネルギー自体(縦軸の値)がきわめて小さい。一方、図—5を見ると、1 Hz周辺に中心周波数を持つ狭帯域スペクトル形状となっている。以上のことから、上流側湛水池においては魚道内に静振を励起するような波動が無くても、第1段目プールにおいてはすでに静振波動が生じていることがわかる。この原因は、越流頂に生じるナップの不安定性であると思われる。

すなわち、よく知られているように、越流頂においては流線の曲がりの影響から圧力の鉛直分布はいわゆる静水圧分布とはならない。すなわち、圧力は水深の増加に伴って一旦は増加するものの、天端付近において急激に低下し、流量が大きいときなどは負圧になることもある。ナップ下面への空気の流通経路がない場合には、附着

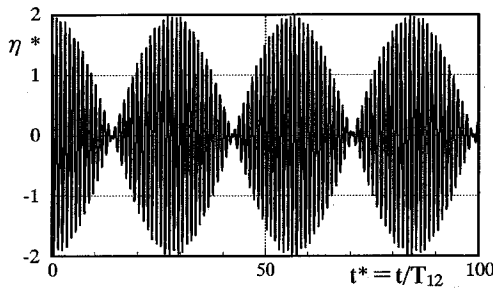


図-8 2成分波によるビート現象の発生

ナップとなり、さらに、圧力低下が続けば、ついには水脈の最も薄い部分から瞬間的に外気を吸入して圧力の一時的開放を行うようになる⁶⁾。この結果、ナップ下面においては、圧力低下と圧力開放を間欠的に繰り返すことになる。図-6において見られる大きな水面変動はこうした現象の結果をとらえたものと考えてよいであろう。

なお、本魚道のように隔壁の全幅にわたって越流する形式の階段式魚道においては、すべての隔壁において同様の間欠的水面変動が生じることになるものと考えられ、このことも静振波動の顕在化や増幅に寄与しているものと考えられる。

(3) ビート現象

第1回の調査結果によれば、横波の波高増大と減少が数分間隔で繰り返されており、これはビート現象と考えられる。このことを試算によって確認すれば以下のようである。

いま、基本となる波動成分からわずかに周期がずれた新たな波動の発生原因を、プールの水深の違い（計算上は有効水深の設定の差異）に基づくものと仮定し、全水深 (h_1) を用いて計算される周期の波動 (η_1^*) と、全水深から粗柱高 (h_r) を差し引いた水深 $h_2 (= h_1 - h_r)$ を用いて計算される周期の波動 (η_2^*) とが重なってビートが生じた場合を想定すれば、例えば、越流水深 20 cm の場合、 $m=2$, $T_{12}=1.91$ s (表-1 参照), $T_{22}=1.98$ s における合成波 $\eta^* = \eta_1^* + \eta_2^*$ の時間波形は図-8 のようである。図からわかるように、この場合におけるビートの周期 T_b は 107.5 秒 ($t^*=56.4$) であり、これは前述したビデオ観察におけるビートの周期と概ね一致している。なお、流量が少ない場合についても同様である。

また、第2回の調査結果については以下のように説明できよう。

前述したように、第17段目プールでは、越流水深 $H=10$ cm の場合、波形モード数は $m=3$ および 4、 $H=20$ cm では、 $m=2$ および 3 のモードが卓越しているの、表-1 からそれぞれの周期を用いてビートの周期

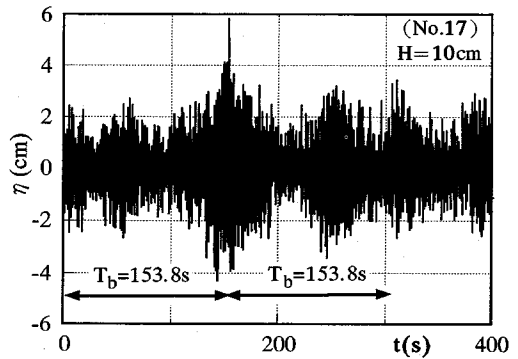


図-9 (a) ビート発生時の水面振動波形 ($H=10$ cm)

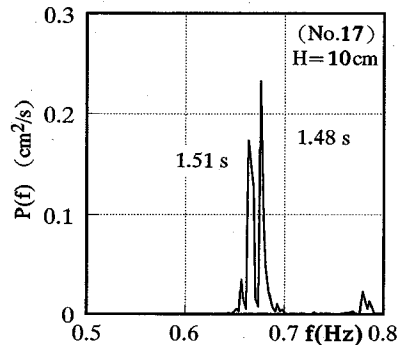


図-9 (b) 水面振動のパワースペクトル ($H=10$ cm)

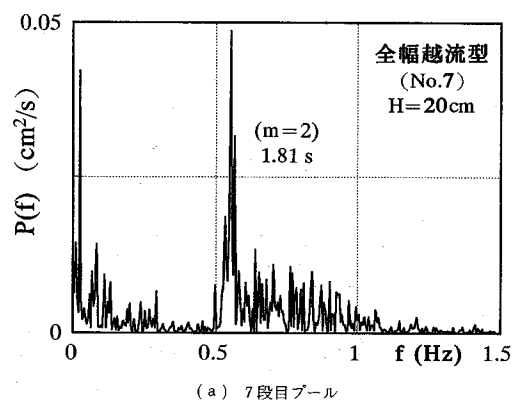
(T_b) を計算すれば、 $H=10$ cm の場合 $T_b=17.7$ s、 $H=20$ cm の場合 $T_b=13.8$ s となる。一方、第1回調査で見られたビートの周期は2分前後の比較的長いものであるからこの計算では説明できない。そこで、図-3 (c) をもう一度詳細にみると、卓越した波形モードに対応する周波数帯に、大きなエネルギーをもつ複数の波動成分が隣接して集中している。したがって、長周期ビートの原因は、このような近接した波動の重複が原因と考えた方が妥当であろう。

ビート現象が顕著に計測された時間波形の一例（越流水深 10 cm、17 段目プール左岸側のデータ）を示せば、図-9 (a) のようである。また、この場合のパワースペクトルを部分的に拡大して示せば図-9 (b) のようである。図-9 (b) 中の2つの卓越周期を用いて計算されるビートの周期 T_b は 153.8 秒であり、これは図-9 (a) の下部に矢印で併記したように、計測されたビートの周期に概ね一致している。

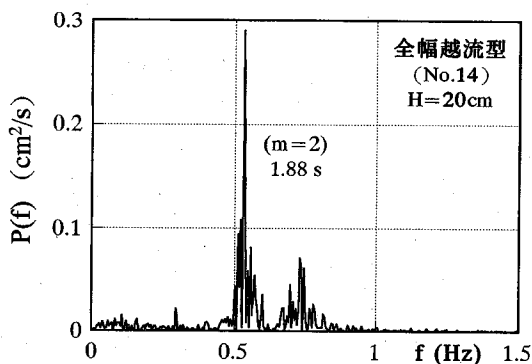
4. 横波抑制実験（非越流壁の設置）

(1) 方法

以上の調査結果から、本魚道に生じた横波は、全幅越

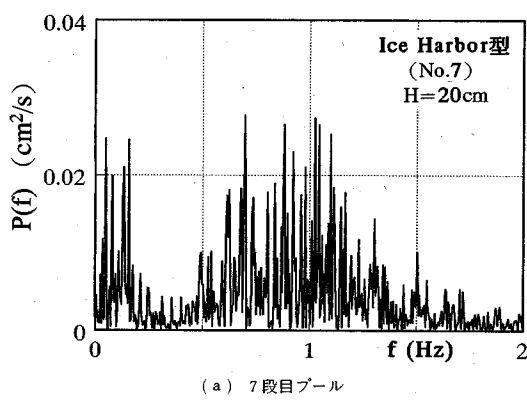


(a) 7段目プール

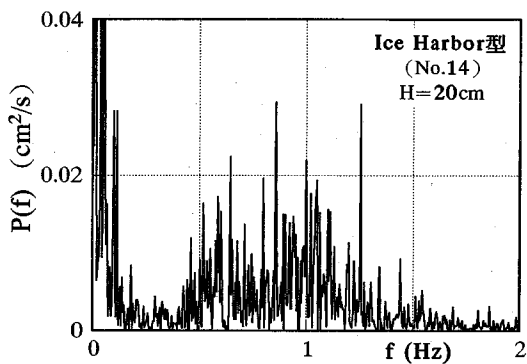


(b) 14段目プール

図-10 改善前の水面振動のパワースペクトル (全幅越流型)



(a) 7段目プール



(b) 14段目プール

図-11 改善後の水面振動のパワースペクトル (アイスハーバー型化)

流部における不安定かつ間欠的な圧力開放に伴う水面振動と、カーブ部分における多重反射によって、その横断方向成分発生を駆動力とした静振が、越流を繰り返すごとに増幅され、ビート現象を伴ったものであると推察される。したがって、こうした横波が生じないようにするには、①静振の腹の部分における水粒子の鉛直運動を抑制するか、または、②静振の節の部分における水粒子の水平運動を抑制すればよいものと考えられる。

第1回調査時において設けられていた仮設の仕切鉄板は、図-1に示したように、波形の腹の部分に設置されており、このために抑制効果が得られなかったものと考えられる。このことを確認するため、その仕切鉄板を節の部分に移動させて水を流したところ、横波の発生が見られず、上記の②の方法の妥当性が検証された。

上記の、①の抑制法としては、側壁に水平板を設置するなどが考えられるが、全幅越流による流れが横波を引き起こさないように、越流流れを側壁近傍に集中させながら、強い鉛直流れを生じさせてもよいように思われる。

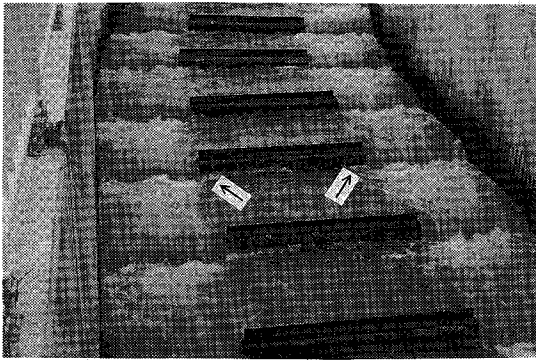
そこで、第3回目の調査時(1991年7月10日)には、すべての隔壁天端中央部に直径約20cmの丸太と鋼製アングルを取り付けて非越流部を設け(写真-4)、側壁

部だけに越流を集中させることを試み、流況観察と水面振動計測(水位計3台の設置位置はプールのほぼ中央、図-1中の●印の地点)を行った。なお、このように中央部が非越流壁となっている形式の階段式魚道は、今日「アイスハーバー型」と呼ばれているので、上記の改善はいわば一種の「アイスハーバー型化」ということができる。

(2) 結果

アイスハーバー型化する前(全幅越流型)に計測された水面変動のパワースペクトルの一例を図-10に示す。前回の計測とは水位計の設置位置が異なるけれども、カーブ区間を通過する前(同図(a))において、すでに $m=2$ の静振が顕在化している。前回見られた $m=3$ の波動の卓越が見られないのは、いまの場合、プール幅の約半分の位置($B/2$)、すなわち m が奇数の振動波形の節に相当する位置に水位計を設置したため、 $m=3$ の振動が検出されなかったためと思われる。

一方、アイスハーバー型化後のパワースペクトルを、図-10と同様に示せば図-11のようである。それぞれ特定の周期での波動エネルギーの増幅は見られず、比較



写真—4 非越流壁の設置 (アイスハーバー型化)

的広い周波数帯域にエネルギーが分散していること、全幅越流型に比べてパワースペクトルの最大値がきわめて小さくなっていることなどがわかる。さらに、カーブ区間を挟んで波動エネルギーがほとんど変化しておらず、同じスペクトル形状をしていることから、アイスハーバー型化は、波動エネルギーを上流から下流側に増幅させにくくする効果も有することがわかる。

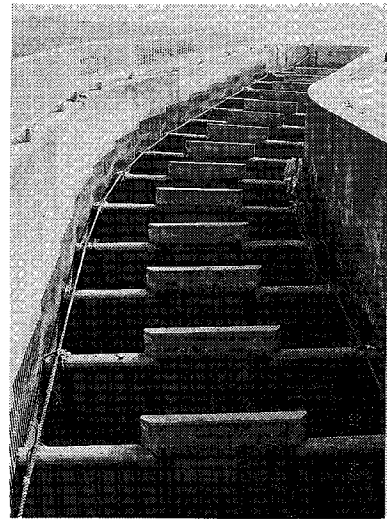
これらのことから、非越流壁の設置によって、①越流流れを側壁両側近傍に集中させ、流れが横波を発生させるメカニズムに影響を与えた結果、側壁における水粒子の自由な上下運動が抑制され、②横波波形の越流に伴うエネルギー伝達の経路幅を狭めて、下流への波動エネルギー伝達量を減少させ、③さらに、非越流壁背面の静穏域が一種のスタビライザーとして機能する結果、横波が発生しなくなったものと考えられる。

(3) アユの遡上状況

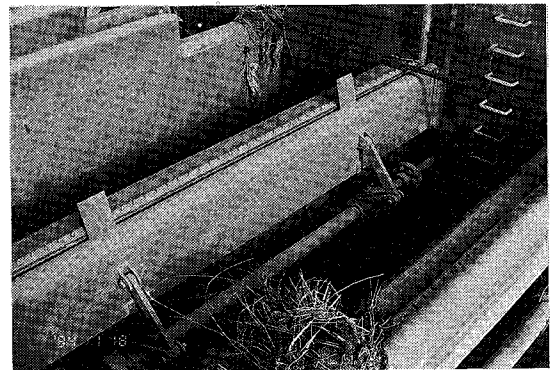
第3回調査時には非越流壁を設置した状態でアユの群れの遡上が見られた。すなわち、①まず、写真—4中の矢印の部分にアユの群れが浮上し、②非越流部の隅から上段プールへ遡上して、③一旦静穏域に潜伏した後に再び浮上して、④さらに上流側へと遡上する行動を繰り返しながら、次第に上流側へと移動、という状況が観察された。こうした観察結果から、非越流部の設置は上述の横波抑制の効果のみでなく、アユ等の魚類に対して、(i) 休息場所を与える、(ii) 越流部における(表面付近の)比較的流速の遅い部分を通過経路として提供する、という効果もあるように思われた。

5. 結 言

以上、全幅越流型の階段式魚道に発生した横波について、その水理機構と対策案の効果について報告した。その結果得られた主要な知見を整理すれば以下のようなものである。



写真—5 非越流壁の設置 (現況)



写真—6 流量調節ゲートの改良 (現況)

①各プール内には、上流の隔壁天端を越流・落下してきた水流によって、常時縦断方向(流れ方向)の波(一種のスタンディングウェーブ)が生じている。

②カーブ区間では、流れ方向の主軸が偏向しているために、この縦方向の波動が伝わる際に、多重反射によってその波動エネルギーの一部が横方向の波を発生させる。換言すれば、カーブ部分では横方向の波を起こすエネルギーが上流から常時供給されている。

③この横波は、一般に種々の波長から構成されるが、プールの幅に対応した固有の周期をもつ波動が卓越している。なお、上流の直線区間においても、プール内の縦波は横断方向に完全に一様ではなく、弱い横波は常時生じており、上記の固有振動周期近傍の波動が生じている。しかし、これを増幅させるための横波エネルギーの追加がないので、摩擦などによる抑止力とバランスして増幅されることはない。

④したがって、カーブ区間では、下流ほど上記の卓越

周期をもつ横波が増幅され、やがて目に見える形での単純波形にまで発達し、静振が顕在化する。

⑤この際、粗柱の存在やカーブ区間のプール平面形状が直線区間とは若干異なることなどから、上記の固有振動周期とはわずかに周期のずれた波動も重なって下流に伝達され、いわゆるビート現象も併せて発生する。

⑥隔壁天端を全面越流している場合には、こうして生じた横波がその波形を保持しながら越流し、下流プールに横波を伝達する。この場合、越流時の落下エネルギーが付加されるので、横波を抑制する力が弱い場合には、下流プールでさらに増幅される。したがって、中・下流の直線区間に入っても横波は減衰せず、むしろ増幅されることになる。

いまの場合、最上流の流量調節用ゲートをはじめとして、すべての隔壁に切り欠きが無く、越流ナップの側面から空気が自由に出入りできない形状となっているために、越流に伴って振幅の大きな、周期の比較的長い縦波が発生しやすい状況となっている。すなわち、越流の流れが不完全ナップになったり、隔壁から離れたりすることを繰り返すことによって、上記①とは別途の比較的大きな波動が間欠的に生じる。また、この波動は、越流水深によって周期や振幅が異なり、風の有無や堰上流温水池内に生じた波動の影響を受けやすい。こうした比較的大きな縦波の発生は、上記のメカニズムによって生じた横波をさらに大きな振幅の、より複雑な波動にする働きをする。

なお、この報告をまとめている現時点では、丸太とアングルで構成されていた非越流壁は、写真—5のように、コンクリートで嵩上げされ、最上流端の流量調節用ゲートにも2箇所の水切り部（スポイラー：写真—6）が設置されている。さらに、モクズガニなどの移動にも配慮して、両側の側壁にロープが固定されている。

アユ遡上時の目視観察によれば、魚類の遡上の状況は

良好であり、さらに、興味深い点として、

- (i) ロープと魚道側壁の隙間（約10 cm）にできた、一種の境界層としての弱流部を遡上するアユが比較的多く見られたり、
- (ii) 非越流壁天端をモクズガニなどの甲殻類が移動して利用している。

人間が勝手に想定した経路を守ってくれぬ面白さを感じずにはおれない。

謝辞：本調査を遂行するに際して、この特異な現象の現地調査の機会を与えて下さった石原安雄先生（当時、豊橋技術科学大学教授）、角屋 睦先生（当時、京都大学防災研究所教授）、ならびに農林水産省近畿農政局に厚く御礼を申し上げますと共に、現地調査・実験において惜みない御協力を頂いた当時の豊橋技術科学大学建設工学系水工学研究室の学生諸氏に、末尾ながら感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 中村俊六, 和田 清：階段式魚道内における横波の発生とその制御に関する現地観測, 平成5年度日本水産工学会学術講演会講演論文集, pp. 79~82, 1993.
- 2) 広瀬利雄, 中村中六：魚道の設計, pp. 240-245, 山海堂, 1991.
- 3) Clay, C.H. : *Design of Fishways and Other Fish Facilities*, The Department of Fisheries of Canada, 240 p., 1961.
- 4) Bell, M.C. : *Fisheries Handbook of Engineering Requirements and Biological Criteria*, Army Corps of Engineers, Portland, OR.(USA), North Pacific Div., 304 p., 1986.
- 5) たとえば, 土木学会編：水理公式集（昭和60年版）, pp. 563-564, 技報堂出版, 1988.
- 6) 中村俊六：魚道の設計, 土木学会水理委員会編, 水工学シリーズ, pp. A-6-1~A-6-24, 1991.

(1994. 3. 25 受付)

FIELD OBSERVATION OF WATER SURFACE OSCILLATION IN A POOL-WEIR FISHWAY

Shunroku NAKAMURA and Kiyoshi WADA

Water surface oscillation was found in a typical pool and weir fishway installed on a diversion weir in the Kinokawa River, Wakayama Prefecture. It was clarified through field observations that the transverse waves consisted of one-meter-high seiches with beats across the fishway. Non-overflowing baffles, installed in the center sections of weirs in the fishway, effectively reduced the transverse waves, providing good resting areas for migrating fishes.