

東京都立大学工学部 正員 宇井 正和
東京都立大学工学部 正員 安川 浩

1. まえがき

河道上の急変不定流に関しては多くの研究がなされている。DAM-BREAK による段波の流下や、豪雨時の下水管渠内流れは、その代表的なものである。しかし、我が国の河川では河道の安定のための床固め工や、上水用あるいは灌漑用取水のダムや堰が随所に設けられ、又下水管渠ではマンホール、段落ちあるいは分水人孔等の構造物が付帯され、連続的な流れを遮断している。このため河道上の流れの解析は、これら河川構造物間の区間に制限され、長区間の解析の制約として作用している。特に急変不定流の解析をより下流まで進めるためには、これら構造物の急変不定流に対する水理的特性を明確にし、解析上での境界条件として適切に与える必要があるが、その解明はほとんどなされていない。

ここでは、構造物として堰を想定し、急変不定流が堰に到達した直後の流況を近似的に段波の反射として扱い、その適応性も、円形断面を有する管路での模型実験結果と比較検討しにわたる。

2. 解析

通常扱われている段波の解析では、一定水深の領域へ一定水深の段波が進入する場合であり、DAM-BREAK 波のような不定流ではない。しかし、流体を非粘性と仮定しうる場合には、波の先端近傍は *constant-state* 領域となり、その範囲内に於ては、一様水深の段波としての扱いが可能と考えられる。

図-1 a, b のように、水深 y_1 の段波が、水深 y_2 の領域へ波速 ξ で進み、堰へ衝突した後水深 y_2 となって、下流へは流量 Q 、上流へは ξ' で反射する場合を考える。ここで、 A_i, V_i は各々の領域における流水断面積および断面平均速度である。図 a における領域 1 と領域 0、図 b における領域 1 と領域 2 の各流体粒子と共に移動する検査面内において質量保存式と運動量方程式をたてると次式のようになる。

$$\rho A_1 (V_1 - \xi)(v_2 - v_1) = \rho g (A_1 \bar{y}_1 - A_2 \bar{y}_2) \quad (1)$$

$$\rho A_1 (V_1 - \xi) = \rho A_2 (v_2 - \xi') \quad (2)$$

添字 i は、図 a に関しては 0 を、図 b では 2 を与える。又 $\bar{y}_1$ と $\bar{y}_2$ は、各々の流水断面積の図心の高さを示したものである。段波が十分高い堰で反射する場合は、 $v_2 = 0$ とはるが、水位 y_2 が堰高 H より高くなる場合、越流量 Q が生じ、それを補うため v_2 が値をとる。即ち、次式が成立する。

$$Q = A_2 v_2 \quad (3)$$

反射後の状況を示す図 b における 1) ~ 3) 式では、 V_1, y_1 は既知となっているから、 y_2, v_2, ξ', Q が未知数となる。しかし、式が 3 本のため、どれか一つの変数を与えるか又は他の従属変数とすれば解くことができる。ここでは越流量 Q に対して堰の越流式を応用し、 y_2 の関数であると仮定した。それ故次式が導かれる。

$$\xi' = \frac{A_2 v_2 - A_1 V_1}{A_2 - A_1} = \frac{Q - A_1 V_1}{A_2 - A_1} \quad (4)$$

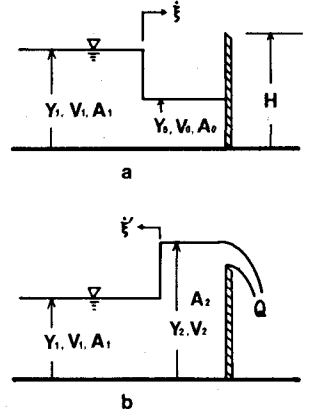


図-1 段波の反射

$$\{A_2 V_1 - Q\}^2 = \frac{A_2(A_2 - A_1)}{A_1} (A_2 \bar{y}_2 - A_1 \bar{y}_1) g \quad (5)$$

5)式において、水路断面形が既知であれば、 A_2 、 $\bar{y}_2$ も y の関数として表わされるから、反復計算によって水深 y_2 を求めることができる。それを用いて、 Q 、 V_2 、 ξ' の全ての変数が決定される。

3. 実験結果と考察

急変不定流のフロントが堰に衝突した時の条件式として5)式を適用した場合の有効性を検討するために、図-2に示すような管路によって実験を行った。管路内径は10 cmで、試験区間は、下流端に設置した高さ3 cmの堰の上流約7 mの範囲である。さらに管路には、伏越をばらんで流量測定用ゲートとバルブ(B)を付けてあり、その上流端は大型水槽と接続し安定した流量を供給できるようにしてある。実験は、適当な初期水深を与えてから、流量測定用ゲートあるいはバルブを操作して段波を作り、衝突前後の水深を区間内5ヶ所に取り付けに水位計を用いて計測した。ゲートとバルブの操作により、直ちに段波を作ったり、徐々に流量を増すこともできるが、後者の場合でも区

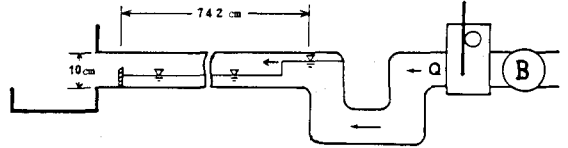


図-2 管路模型

間中頃で段波を形成するよう調節した。図-3は、入射波水深 y_1 と反射波水深 y_2 との関係を図示したものである。黒丸は入射波水深 y_1 を与えて5)式から求めた反射波水深 y_2 を表したものである。この時の越流量 Q は、越流水深 $(y_2 - H)$ のみによって算定し、接近流速は考慮せず、又弦型堰の流量係数 C の値が確立していないので $C=1$ とした。図からわかるように、入射波水深 y_1 が増加するに伴い、反射波水深 y_2 はほぼながら勾配を増しつつ増加して行く傾向が見られる。図中○印は実測値をプロットしたものであるが、計算値の近傍に分布していることがわかる。この事は5)式による境界条件の与え方が適当であったことを示しているといえよう。たゞ、入射波水深が7 cmの場合には反射波水深が計算値より多少小さな値となっている。これは越流量 Q の流量係数が水深によって変動することを示すものともいえる。

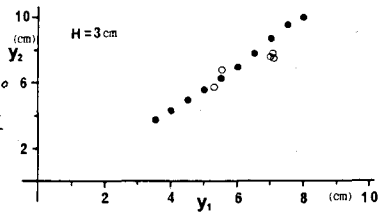


図-3 入射水深と反射水深

矩形断面水路での段波が完全反射する場合についてStokerは、 y_1 と y_2 の関係を表し、曲線の傾きが異なっているが、図-3と極めて類似した傾向を示している。そして、 $y_1 - y_2$ があまり大きくない範囲で反射波水深が、 $y_2 - y_1 \approx 2(y_1 - y_2)$ の関係にあることを導いたが、本計算によっても、又実測値からみれば程大きな反射波は得られず、直線の勾配としては1.3~1.4であった。水路条件の違いのため、Stokerの結果と比較すること自身無謀ではあるが、このような差異の存在は、堰の越流量によるものと考えている。

4. まとめ

- 1 急変不定流のフロントが堰に衝突した時の条件式で段波の反射と堰の越流量によって算定した。
- 2 任意断面水路の例として、円管水路を用いて計測した入射波水深 y_1 と反射波水深 y_2 の関係を計算値と比較し、満足しうる結果が得られた。
- 3 任意断面水路における堰越流量の正確な算定法が望まれる。

5. 参考文献

Water Waves : J. J. STOKER, Intersciens 1957
OPEN-CHANNEL HYDRAULICS; VEN TE CHOW, McGRAW-HILL 1959