

段波の伝播速度に関する実験的研究

日本大学工学部 正員 藤田 豊
日本大学工学部 正員 安田 禎輔

まづがき 段波現象を解明することは、河川工学や砂防工学における治水に極めて重要な課題である。この種の研究は19世紀末の Ritter による Dam break wave に関する理論的研究に始まり今日まで数多くの研究者によって行われてきたが、発生条件などによって現象が相違することや非線形による解析的取扱いはも限界があるなど現象の解明は未だ充分にはなされていないようであり、今後さらにも多くの研究が行われる必要があると考えられる。本報では、理想化（モデル化）された段波に対する理論式が実際の段波に対してどの程度適用できるのかを実験的に確かめ、また、適用の際の問題点（ $\bar{h}_2$ の定め方、補正係数の導入）などについて検討した。

1. 実験装置および測定方法

水路本体は幅0.2m、高さ0.3m、長さ10.5mの水路部と幅0.2m、高さ0.52m長さ2mの貯水槽部から構成される透明アクリル樹脂製の長方形一様断面水路($\lambda=0$)であり、片側面には2cm×1cmに細かくメッシュを刻んである。また、下流端には取りはずし可能なワレスト(6種類)を設けた。段波発生装置は水路と貯水槽間に設けた鉄板製の引揚げ式ゲートである。段波はゲートと滑車を通して連結した重りを自由落下させることによって発生させる。測定装置は台のドライヴカメラ(同時撮影用としてパルス発信器使用)と16ミリカメラを用いた。実験は貯水槽水深を50cmに定め、初期水深 h_1 を7種類に変えて行った。段波の水深等の測定はネギより読み取った。

2. 発生条件

本研究では、上流側ゲートの急開放操作による正段波の問題に焦点を絞り、上述のよう貯水槽水深を50cmに固定し、下流水深 h_1 を7種類に変えて実験を行った。表-1はゲートの平均引揚げ速度など段波の発生条件を示しており、開放操作はほぼ一様であった。図-1は $Q_1=403\text{ cm}^3/\text{sec}$ 、 $h_1=2.60\text{ cm}$ の場合の段波発生時の流況を図示したものであり、時間経過に伴って進行する液面形状を示している。このより、初期水深 h_1 が大きい場合は特に液面形状の乱れも顕著であったが流下とともにほぼ安定した形状に移行した。

ゲート平均引揚げ速度	1.357~1.500m/s
ゲートが水面と離れるまでの引揚げ距離	36~40 cm
ゲートが水面と離れるまでの所要時間	0.281~0.298 sec
水 深 差	39.1~49.3 cm
貯 留 量	0.2 m ³

表-1 段波の発生条件

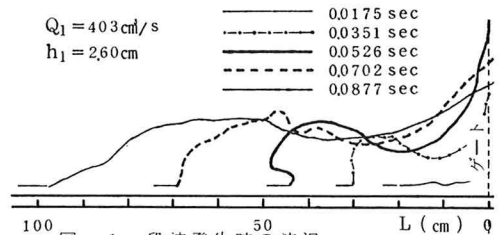


図-1 段波発生時の流況

3. $\bar{h}_{max}$, $\bar{h}_2$, L_0

図-2に示したような $\bar{h}_{max}$ は撮影したフィルムより先端部の巻き込み気泡の状態や連続液面形状の曲率等を考慮して決める。 L_0 は各コマ毎に先端部から $\bar{h}_{max}$ の点まで区分的に最大のものを選び他のコマからも等面積を先端部から除去了後のゲートからの距離であり、これを中樞部先端(仮定)とした。また L_0 点の速度を中樞部伝播速度 W とした。 $\bar{h}_2$ は L_0 点より背面を10cm, 20cm...でそれぞれ平均水深を求め、その値がほぼ一定になった点で $\bar{h}_2$ と決めた。

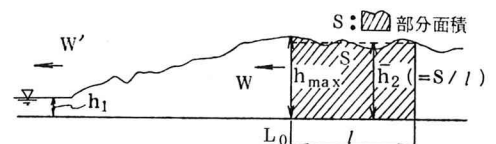


図-2 h_{max} , h_2 , L_0 の説明図

4. 結果および考察

写真-1は初期条件 $h_1=10.9\text{ cm}$, $Q_1=138\text{ cm}^3/\text{sec}$ による

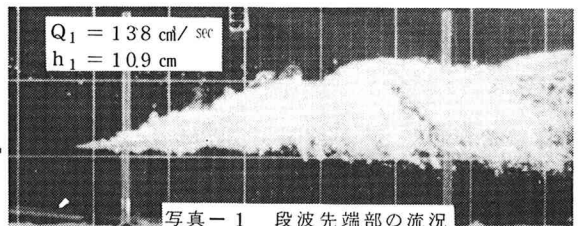


写真-1 段波先端部の流況

ける段波先端部の9.0m地点を通過した直後の形状をとらえた写真であり、急変非定常流である。本研究では、理想段波式(1)により伝播速度を予測する場合に式中の $\bar{h}_2$ の定め方や補正係数の導入などを検討するため、上述のように $\bar{h}_{max}$ および $\bar{h}_2$ を決定し、これらと実測伝播速度より逆算して得られた $\bar{h}_2$ と $\bar{h}_2$ の比をそれぞれ $k_1 = \bar{h}_2 / \bar{h}_{max}$ 、 $k_2 = \bar{h}_2 / \bar{h}_2$ として求めた。

$$W = \sqrt{g \bar{h}_1} \left\{ \frac{1}{2} \frac{\bar{h}_2}{\bar{h}_1} \left(\frac{\bar{h}_2}{\bar{h}_1} + 1 \right) \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

図-3, 4はそれぞれ $\bar{h}_{max}$ と k_1 の関係、 $\bar{h}_2$ と k_2 の関係であり、実線は最小自乗法によって導いた実験式(2),(3)である。これらの図より、 k_1 、 k_2 とそれぞれ $\bar{h}_{max}$ 、 $\bar{h}_2$ にかかわらずほぼ一定値を示すことが認められる。しかし、両者を比較すると k_1 が k_2 よりバラツキが顕著である。これは $\bar{h}_{max}$ や先端部 W の変動が大きいことによる影響と考えられる。図-5は時間 T と伝播速度 W との関係であり、細線と太線はそれぞれ先端部の W と中核部の W であり、このより先端部は進行に伴って周期的なき込みや送り現象などを繰り返すために変動幅がかなり大きいことが分る。一方、中核部 W は先端部波面の乱れの影響を除去した地点のゲートからの距離 L_0 の速度であるので比較的安定している。したがって、以降の伝播速度の実測値としては中核部の W を用いることとする。図-6は理想段波式(1)の $\bar{h}_2$ としてそれぞれ $\bar{h}_{max}$ 、 $\bar{h}_2$ 、 $k_1 \bar{h}_{max}$ 、 $k_2 \bar{h}_2$ を用いて計算した W と実測値とを比較した図である。これより、 $k_2 \bar{h}_2$ を用いて計算した W が実測値に比較的良く一致することがわかる。

図-7は波高 h_0 と流下距離 L との関係であり、破線は $h_0 = \bar{h}_{max} - \bar{h}_1$ 、実線は $h_0 = \bar{h}_2 - \bar{h}_1$ で表わした波高である。両者とも時間経過に伴って波高が減衰する傾向を示し、特に $\bar{h}_{max}$ についてはその傾向が顕著であり、徐々に波形、波高とも安定した状態に移行するものと考えられる。

5. まとめ

本研究において得られた結果をまとめると次のとおりである。

- (1) 段波発生時の波形の乱れなどは初期水深 $\bar{h}_1$ の大きさによっていくらか相違するもののある程度流下するとほぼ一定形状に移行するものと考えられる。
- (2) 実測値 $\bar{h}_{max}$ ならびに $\bar{h}_2$ は伝播速度 W 、 W' から逆算された $\bar{h}_2$ と相関係数が認められる。
- (3) k_1 および k_2 はほぼ一定となり実験式は次のとおりである。

$$k_1 = 0.9297 + 0.00085 \bar{h}_{max} \quad (2)$$

$$k_2 = 0.9490 + 0.00090 \bar{h}_2 \quad (3)$$

- (4) 理想段波式(1)の $\bar{h}_2$ として $k_2 \bar{h}_2$ ならびに $k_1 \bar{h}_{max}$ を用いれば伝播速度を比較的正確に予測できるものと考えられる。

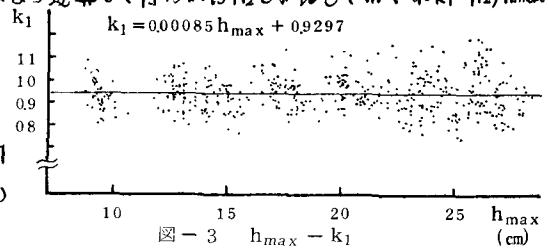


図-3 $h_{max} - k_1$

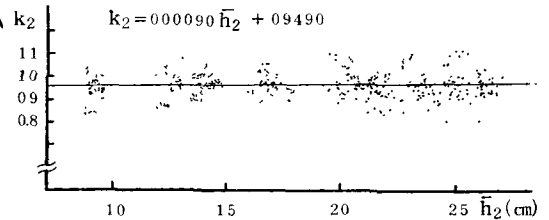


図-4 $\bar{h}_2 - k_2$

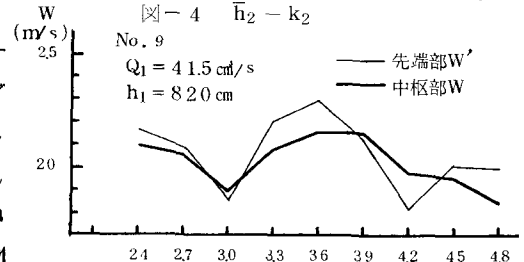


図-5 時間 T -実測値 $W \cdot W'$

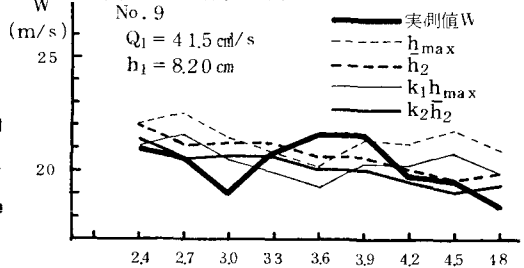


図-6 時間 T -実測値・計算値 W

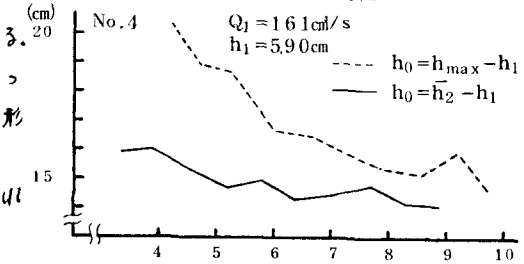


図-7 流下距離 L -波高 h_0