

## II-13

## 発生直後の slug の変形に関する実験的研究

北海道大学工学部	○学生員	佐野 秀和
北海道大学大学院	学生員	板津 央佳
北海道大学大学院	正会員	森 明巨
北海道大学大学院	フェロー会員	板倉 忠興

## 1. はじめに

水力発電所の余水路や地下河川において鉛直管から空気とともに減勢工に落下した水流は底部に衝突し、空気と激しく混合して水平管内に流入する。この流れは気液混相流であるが、slug と呼ばれる波動が発生する場合がある。slug は大きな圧力変動を持つため、構造物に影響をもたらす心配がある。特に slug が発生した直後は安定しておらず圧力変動が大きい。本研究は実験的に slug を発生させ、流下とともに変化を調べたものである。

## 2. 実験概要

図-1 は本研究で用いた実験装置である。模型水路は透明アクリル性であり、水路幅は 10cm である。水と空気の供給の位置は図に示した通りで、空気は多孔板を通して気泡として供給する。供給された空気は水に比べてはるかに密度が低いので、上昇して水と交換され上流貯水槽内の圧力が上昇する。このため、水流は下方に曲げられて、水路への流入が抑制される。この高压の空気が slug を形成する。模型に供給する空気はエアーコンプレッサーで一定に保ち、水の流量  $Q_w$  (以下、単に流量という) は模型下流端で計測した。流量が大きいと、空気と水が混合して、満管状態の管路流になる。一方、流量を小さくすると、開水路となる。両者の中間で、slug が発生する。本研究は実験に適した slug の間隔が 10~20(s) である  $Q_w=0.38l/s$  を対象とした。また、図のように約 40cm 間隔で圧力測定器を取りつけて、水路天端での圧力を測定した。水面変動をビデオで撮影し、パソコンで解析した。

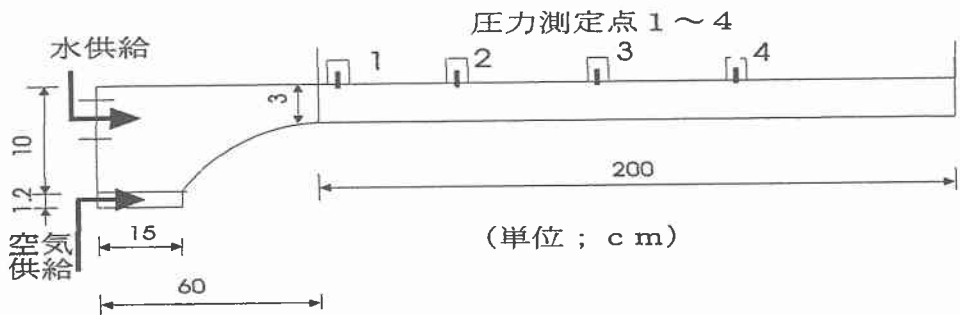


図-1 実験概要図

## 3. slug の変形

写真1は流下とともに slug の変形の一例を示したものである。slug は満管になっている部分で、slug 内の水面付近には気泡がある。黒い部分が水で、白い部分が気泡である。写真から分かるように slug は下流へと移動するのしたがって流下方向の長さは増大する。写真上部に傍線で示した範囲が slug である。

Experimental study on the immediate transformations of produced slug

By Hidekazu Sano, Hisayoshi Itatsu, Akio Mori, Tadaaki Itakura.

slugの幅



写真1

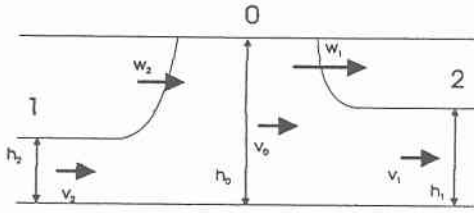


図-2

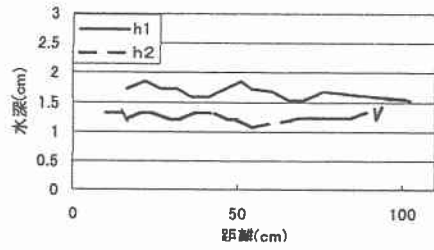


図-4

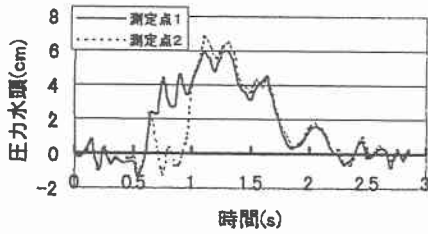
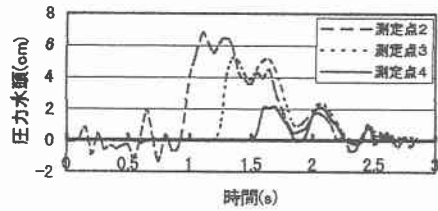


図-3



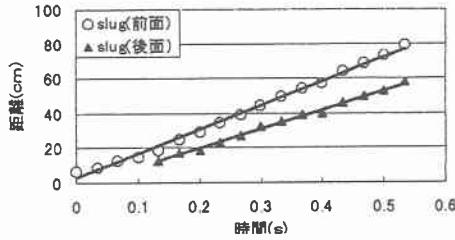


図-5

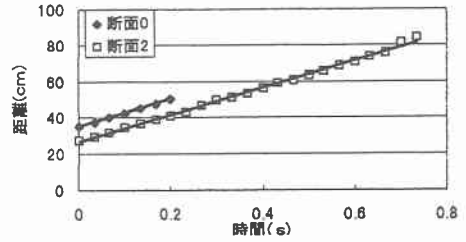


図-6

図-2は slug の模式図である。slug の3つの断面0、1、2での水深や速度をそれぞれ  $h_{0\sim 3}$ 、 $v_{0\sim 3}$  とする。また、slug 前面、後面の移動速度をそれぞれ  $w_1$ 、 $w_2$  とする。

図-3は4つの測定点における圧力変動の測定例である。slug がそれぞれの圧力測定点を通過するとき圧力変動が急激に増大し、直ちにピークに達する。これは slug の大きな特徴であり、

段波のように不連続であることを示している。圧力のピーク値は下流側に行くほど減少する。ただし、測定点1では、slug の立ち上がりのあとに、0.5秒程度の間にゆっくりと圧力が上昇する。この slug 直上流の圧力も流下とともに減少し、slug の中央付近に谷をもっている。

図-4は slug 前部平均水深  $h_1$  と slug 後部平均水深  $h_2$  の変化を示したものである。slug の前後で水深が異なる。 $h_1$  と  $h_2$  の流下に伴う変化はあまりない。

図-5は1つの slug の前面と後面の走時を示したものである。図-6は断面0と断面1の走時を示したものである。図-5、図-6から  $w_1$  が最も大きな値を取り、 $w_2$  はそれよりも小さく、これらの値に比べると  $v_0$ 、 $v_2$  の値がさらに小さいことが分かる。図-7は slug の流下に伴う slug の広がり示したものである。下流に進むにつれて slug が長くなる。

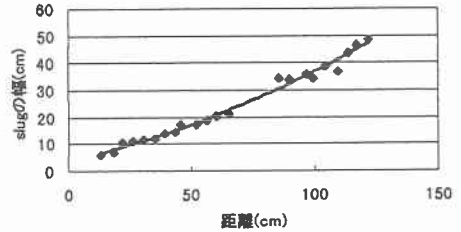


図-7

#### 4. slug の解析

断面0と1、0と2において、図-3から分かるように、slug 前面の圧力は段波のように不連続的に変化するから、運動量保存をたて、slug の流下に伴う構造の変化を調べる。

$$\rho\{h_0(1-\varepsilon)(w_1 - v_0)v_0 + h_1(v_1 - w_1)v_1\} = Ph_0 - \rho gh_1 h_1 - F \quad (1)$$

$$\rho\{h_0(1-\varepsilon)(v_0 - w_2)v_0 + h_2(w_2 - v_2)v_2\} = \rho gh_2 h_2 - Ph_0 - F \quad (2)$$

$$F = \frac{fv_0^2 \left(\frac{L}{2}\right)}{8} \quad (3)$$

断面1と2で連続式を立てると、

$$v_1 h_1 = v_2 h_2 - v_B(1 - \varepsilon)h_0 \quad (4)$$

ここで  $P$  : 圧力、 $\rho$  : 水の密度、 $F$  : 摩擦力、 $f$  : 摩擦損失係数、 $L$  : slug の幅、 $\varepsilon$  : 空気の間隙比  
 $v_B$  : 幅の広がる速度。

式 (1)+(2)に式(4)を代入することにより、 $f$  が与えられると ( $v_1$ 、 $\varepsilon$ ) が定まる。図-8 は  $0 < \varepsilon < 1$  を満たすときの  $f$  の値を求めたものである。図-9 はそのときの  $\varepsilon$  である。下流側にいくほど、 $f$  は小さくなり、 $\varepsilon$  は大きくなる。

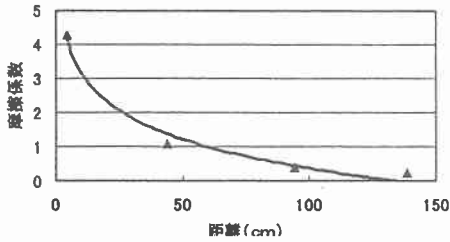


図-8

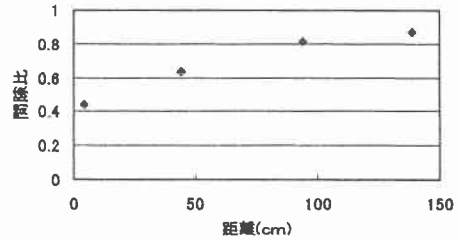


図-9

## 5. 考察

$f$  は流下とともに大きく減少している。1 つには、 $\varepsilon$  が増加することによると考えられるが、これだけでは説明できない。

発生直後の slug 内部は乱流強度が激しく、運動量が拡散されている。このため底部流速がそれほど大きくならず、 $f$  が増大するものと考えられる。流下とともに乱れエネルギーが衰退し、これにともなって  $f$  も減少すると思われる。圧力のピーク値は流下とともに減少しているこれは圧力による仕事が乱流生成に配分されているためと思われる。

以上の本実験結果によれば、立杭から水平管に移行するときに形成される slug は流下とともに  $\varepsilon$  が増加し、強度が急激に減少するものと予想される。