管内開水路における slug の構造に関する研究

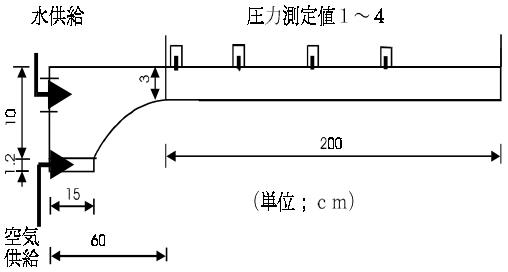
北海道大学大学院　学生員　佐野秀和
北海道大学大学院　学生員　板津央佳
北海道大学大学院　正員　森　明巨
北海道大学大学院　フェロー会員　板倉忠興

1. はじめに

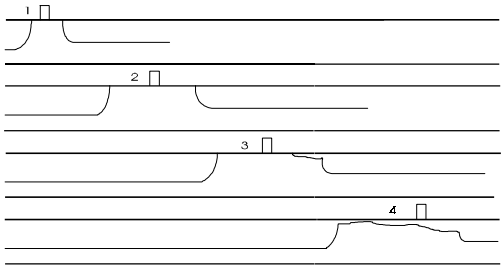
水力発電所の余水路や地下河川において鉛直管から空気とともに減勢工に落下した水流は底部に衝突し、空気と激しく混合して水平管内に流入する。この流れは気液混相流で、slug が発生する場合がある。slug は大きな圧力変動を持つため、構造物に悪影響をもたらす心配がある。本研究は実験的に slug を発生させ、発生直後からの流下にともなう slug の変化を調べたものである。

2. 実験概要

本研究で用いた装置を図－１に示した。アクリル性で水路幅は 10cm である。空気は多孔板を通して気泡として供給した。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。流量が大きいと混相流の管路流になり、少なくすると管内開水路流となり、両者の中間で slug が発生する。本実験で用いた流量はQ_W＝0.50ℓ/ｓ、0.70ℓ/ｓの２つで、slug の間隔は 4～10(s)であった。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。

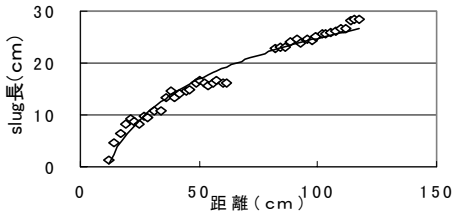


図－１

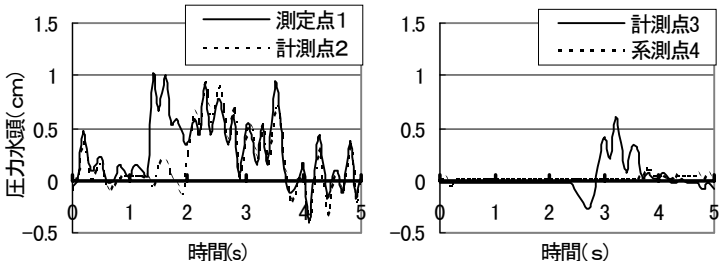


図－２

供給された空気は水に比べてはるかに密度が低いために上流貯水槽の上方に貯溜され、水流は下方に押し曲げられる。空気がある程度貯溜すると水を瞬間的に押し出してslugを形成する。図－２は slug 変化の模式図である。流下とともに slug 長は増大する。slug 前面上部から空気が入り込み、slug 後面に達すると slug は崩壊する。図－３に slug 長の流下に伴う変化を示した。slug 長の増加は slug 前面において空気と水を取り込むためと考えられる。図－４は圧力変動値である。slug の通過時に圧力は急激に増大し、直ちにピークに達する。このピーク値は流下に伴って急減する。以上のことより、空気の間隙比εと摩擦係数ｆに着目し解析する。



図－3



図－４

3. slug の解析

図－５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

キーワード　slug　間隙比ε　摩擦係数ｆ
連絡先　札幌市北区北８条西５丁目　北海道大学　工学部　河川・水資源工学分野

れ $h_{0\sim3}$、$v_{0\sim3}$、slug 前面、後面の移動速度をそれぞれ w_1、w_2 とかく。slug の前後で水深は異なっており、$h_2<h_1$ であった。　図－６に 1 つの slug の前、後面、断面 0、1 の走時を示した。slug 長は流下とともに増大するので、$w_1>w_2$ である。v_0 は slug 内を通過する気泡の走時をとって求まり、v_0、v_2 の値はこれらより小さかった。

これらのパラメータ中の３つの未知量εとｆと v_1 に対して以下の 3 式を立てる。断面 0 と 1、0 と 2 において、slug 前面の圧力は段波のように不連続的に変化するから、運動量保存より式(1)、(2)を、また断面 1 と 2 で連続条件より式(3)を導く。これらの式に実験で得られる実測値を用いて v_1、ε、ｆが求まる。

$$\rho\{h_0(1-\varepsilon)(w_1-v_0)v_0+h_1(v_1-w_1)v_1\}=Ph_0-\rho g h_{g1}h_1-\frac{fv_0^2(L/2)}{8} \quad (1)$$

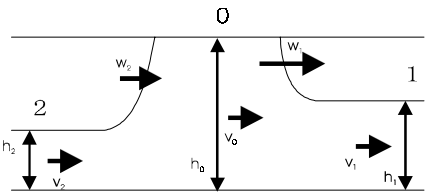
$$\rho\{h_0(1-\varepsilon)(v_0-w_2)v_0+h_2(w_2-v_2)v_2\}=\rho g h_{g2}h_2-Ph_0-\frac{fv_0^2(L/2)}{8} \quad (2)$$

$$v_1h_1=v_2h_2-v_B(1-\varepsilon)h_0 \quad (3)$$

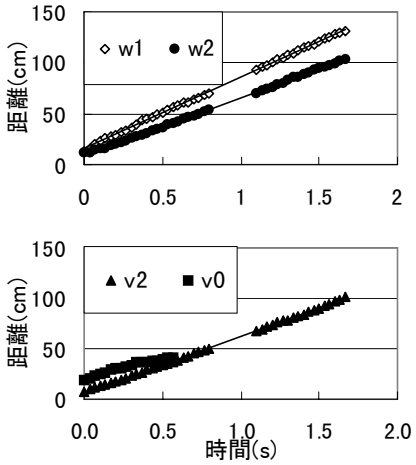
ここで　P：圧力、ρ：水の密度、F：摩擦力、ｆ：摩擦損失係数、L：slug 長、ε：空気の間隙比、v_B：幅の広がる速度。

４．結果と考察

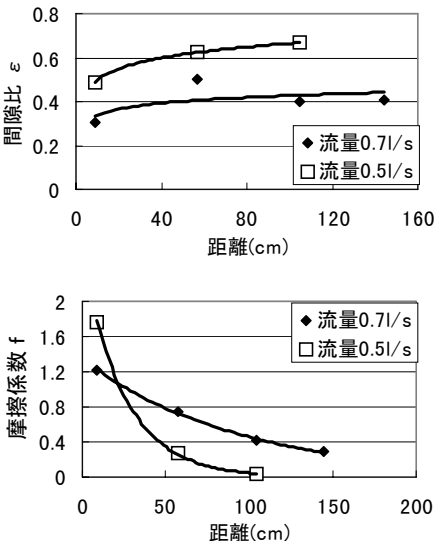
図－７に得られたεとｆを示した。流下に伴ってεは増加しているが、ほぼ一定であった。ｆ値は、平滑な余水路の 0.03～0.005 程度に対して、slug 発生直後では 100 倍程度のオーダーとなっているのが分かる。この事から、立杭から水平管へと移行するときに形成される流れの摩擦力が大きいため圧力が急減し、slug が崩壊するものと考えられる。図中の 2 つのデータは供給空気量が等しいが、空気量の割合の大きい方が早く崩壊している。以上から、空気量の割合が大きいほど空気の乱れが大きくなって、ｆ値が大きくなり slug が早く崩壊したものと考えられる。



図－５



図－６



図－７