

管内開水路の slug に関する実験的研究

The experimental study on slug in open channel in the pipe

北海道大学大学院
北海道大学大学院
北海道大学大学院

○学 生 員 板 津 央 佳 (Hisayoshi Itatsu)
正 員 森 明 巨 (Akio Mori)
フェロー会員 板 倉 忠 興 (Tadaoki Itakura)

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、発生直後の流下とともに slug の変化と性質を調べたものである。

2. 実験装置

本研究で用いた装置を図-1に示した。水路はアクリル性の矩形断面で、水路幅 10cm、長さ 2m、高さが 3cm である。空気はエアコンプレッサーで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。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。水面変動についてはビデオで撮影し、パソコンで解析した。図-2 は本実験装置での slug の発生領域を示したもので、空気量 Q_a 、 Q_w の組み合わせによりいくつかのパターンが現れる。slug が発生するのはある一定以上の空気と水を供給したときである。流量が少ないと管内開水路流となり、空気量が少ないとプラグ流となる。本研究の解析に用いた実験状況は表-1に示す。

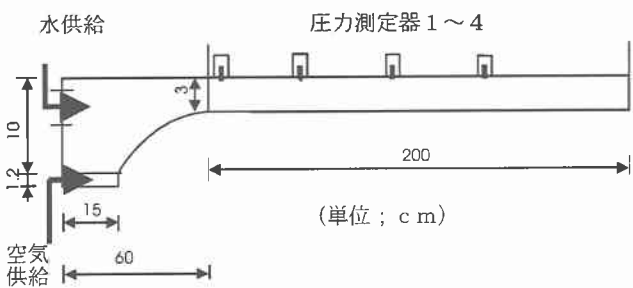


図-1

表-1

	case1	Case2	case3	case4	case5
$Q_a(\ell/s)$	1.16	1.16	1.16	1.00	1.00
$Q_w(\ell/s)$	0.709	0.500	1.26	0.73	0.52
Slug の型	W	W	W	A	A

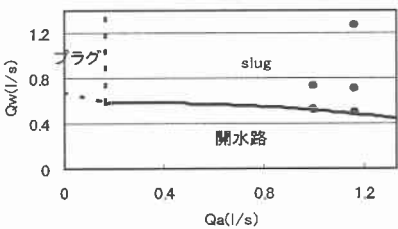


図-2

3. slug の発生と変形、崩壊

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-3 は slug 変化の模式図である。流下とともに slug 長は増大する。しかし、空気量が少ないと、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。流下に伴う slug 長の変化は図-4に示すように2つのパターンがあった。slug 長が一樣に増加するものと上流では増大するが、下流において減少するものがあった。前者をW型、後者をA型とした。図-5に slug 前面の走時を示した。A型では速度が流下に伴い小さくなるため、slug 長が小さくなる。slug 長の変化に伴い、slug 内の空気量も変化していると考えられる。

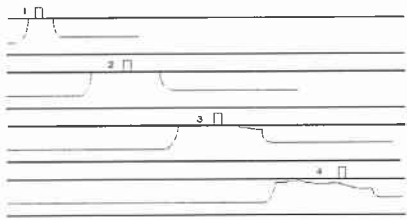


図-3

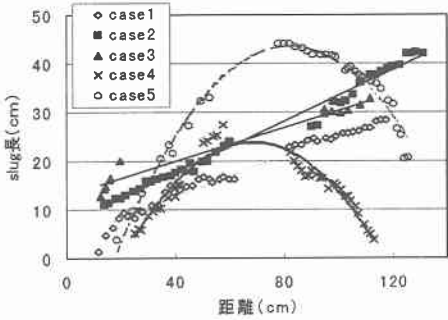


図-4

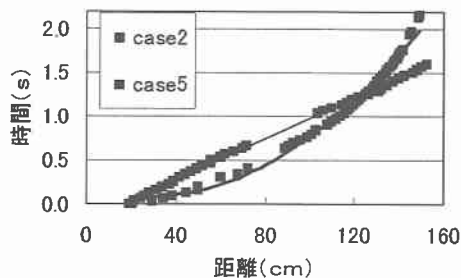


図-5

図-6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。このことはslugが水路を通過するときに水路との摩擦によってエネルギーが減少したことによると考えた。よってslugの崩壊のメカニズムには、水路との摩擦力和空気の間隙比を考慮しなければならないと考えた。

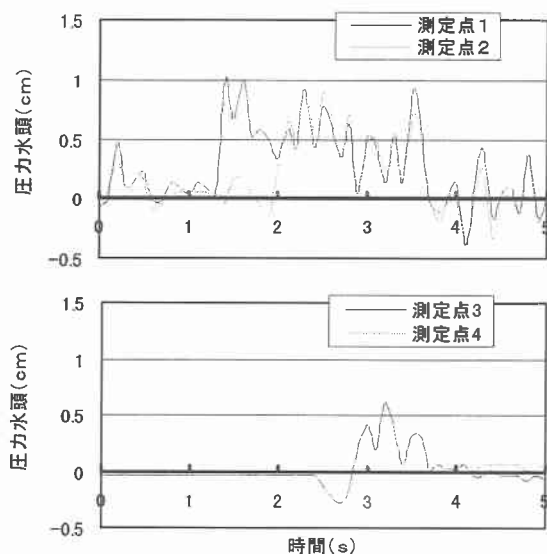


図-6

4. slugの解析

摩擦力和間隙比に着目してslugを解析する。1次元の連続条件を式(1)、運動方程式を式(2)、(3)で与える。slugの模式図を図-7で示すようにslugの3つの断面0、1、2での水深と速度をそれぞれ $h_{0\sim 2}$ 、 $v_{0\sim 2}$ 、slug前面、後面の移動速度をそれぞれ w_1 、 w_2 とする。 $w_{1,2}$ 、 $v_{0,2}$ は走時から、 $h_{0\sim 2}$ は実測値から求めた。これらを代入して、3つの未知量 ε と f と v_1 を求めた。

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

$$\rho \{ h_0 (1 - \varepsilon) (w_1 - v_0) v_0 + h_1 (v_1 - w_1) v_1 \} = \frac{1}{2} P h_0 + \rho g h_{g0} h_0 - \rho g h_{g1} h_1 - \frac{f v_0^2 \left(\frac{L}{2} \right)}{8} \quad (2)$$

$$\rho \{ h_0 (1 - \varepsilon) (v_0 - w_2) v_0 + h_2 (w_2 - v_2) v_2 \} = \frac{1}{2} P h_0 + \rho g h_{g2} h_2 - \rho g h_{g0} h_0 - \frac{f v_0^2 \left(\frac{L}{2} \right)}{8} \quad (3)$$

P: 圧力、 ρ : 水の密度、 f : 摩擦損失係数、 L : slug長、 ε : 空気の間隙比、 v_B : slug長の速度

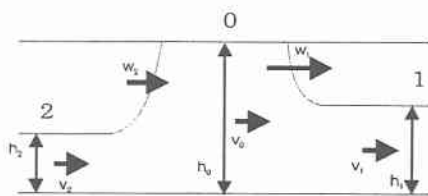


図-7

5. 結果

図8, 9は得られた ε と f を示す。このとき、 v_1 は二つの解X、Yが得られ、より合理的な ε と f が得ることができる解を採用した。結果として、slug長が増大するときはX、減少するときはYを用いた。W型は前者、A型は両者から計算した。 f 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倍程度のオーダーをとる。このことからslugが形成されるときにおけ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。また、slug崩壊は、流下とともにslug自体のエネルギーが減少し、空気を放出することにより起こるものと考えられる。

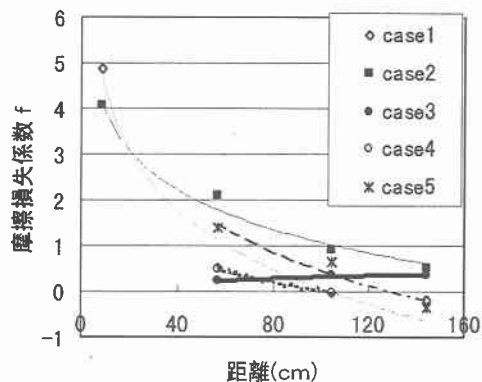


図-8

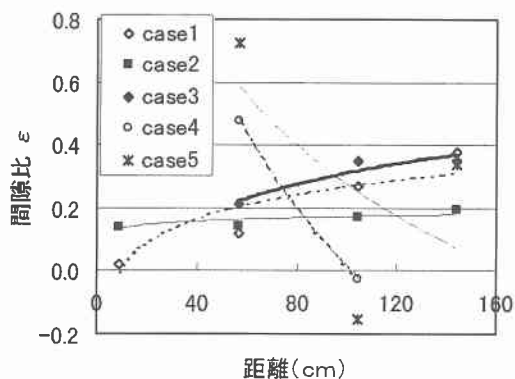


図-9