

II-135

管内開水路気液二層流の実験的研究

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
北海道電力株式会社 正 員 平 井 裕次郎
北海道大学大学院 フェロー員 板 倉 忠 興

1.はじめに

水力発電所余水路の鉛直管から減勢工に落下した余水は大量の空気を含み、大きく乱れている。通常、余水路は通気断面を確保するように設計されている。この結果、鉛直管に接続する水平管内ではこれらの空気は流下間もなくこの流れから分離して一見して開水路のようになる。しかし、両層とも非常に乱流成分が強く、相互干渉して両層界面は波状になるため、実際には上層が空気流、下層が水流の二層流として扱うべきである。このような相互干渉が構造の振動を引き起こして、構造に影響をもたらす心配がある。本研究はこのような管内開水路の波状流の性質を実験的に調べたものである。

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。なお図中のA点より下流側は管路、または開水路とすることより水路天端を取り外し可能にした。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。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、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った。水面変動は流況が落ち着いた下流側をビデオ撮影し、パソコンで解析した。

3.流況パターンの分類

写真1、2、3は管路で流量が4.64、3.23、0.87ℓ/sの流況を側面から撮影したものである。写真1、2の白い部分は気泡、黒い部分は水で、両者とも満管状態の管路流である。 $Q_w=4.64ℓ/s$ のときは全断面にわたって気泡が分布しているが、 $Q_w=3.23ℓ/s$ では水面付近に多く分布するようになる。 $Q_w=0.87ℓ/s$ のときは開水路となり、水面形はいくつかの波状パターンを呈する。

本研究では、余水路の設計指針に従って管内開水路となる $Q_w=0.87ℓ/s$ を対象とする。比較のために同じ条件で水路天端をはずした完全開水路の実験を行った。

図-2は管路のときの波状パターンを示したものである。波高が大きく満管になる段波状の波がみられる。この前方の波を前駆波、後方のものを後続波と呼ぶことにする。後続波の後と前駆波の間に

キーワード 段波、孤立波、二層流

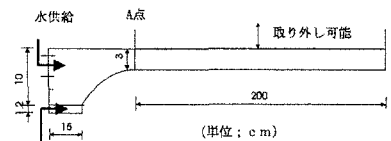


図-1



写真-1



写真-2



写真-3

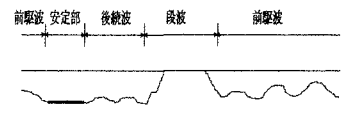


図-2

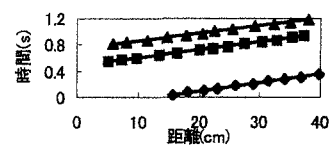


図-3

波のない安定した部分（図中の太い実線部）がある。

4. 波状パターンの走時

完全開水路では孤立波的なほぼ上下流対象の波が存在する。図－3はこれらの水面波の峰の走時である。この波は単独伝播し、波高は水深の5割近くあるので、有限振幅波と考えられる。そこで、この波を平均流に乗った孤立波として計算すると、

$$c = c_0 + v, \quad c_0 = \sqrt{gh_0 \left(1 + \frac{1}{2} \frac{H}{h_0} \right)}, \quad v = \frac{Q_w}{Bh_0}$$

ここに、 c ；波の移動速度(cm/s)、 c_0 ；波速(cm/s)、 v ；平均流速(cm/s)、 h_0 ；平均水深(cm)、 H ；波高(cm)、 B ；水路幅(cm)。

図－4は c_0 の理論値と実測値の比較した図である。実験値は理論値より小さい。

図－5は管路内開水路での水面波の峰の走時である。図中の太線が段波状の波で、その前後に前駆波と後続波がある。段波状の波の移動速度は大きく、これにやや小さい後続波が続く。これらと比べて前駆波は速度は小さく、段波状の波に飲み込まれていく。段波状の波を段波として計算すると、

$$w = v_0 + \sqrt{gh_0 \frac{1}{2} \frac{h_1}{h_0} \left(\frac{h_1}{h_0} + 1 \right)}$$

ここに、 w ；段波の移動速度(cm/s)、 h_1 ； $h_0 + H$ (cm)。

図－6はこれらの比較であるが、段波は実験値の方が理論値より大きい。図－7は前駆波、後続波を孤立波として計算し、比較したものである。理論値に比べて前駆波は実験値が小さく、後続波は大きい。

5. 考察

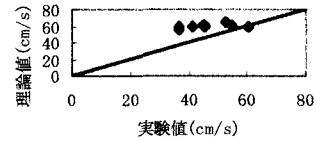
実験装置の水と空気供給される地点上部において空気が蓄積し間欠的に水を押し出す。このため管路内開水路では圧力擾乱が大きく、段波状の波の上流側断面には空気圧が加わって開水路には現れなかった波速の大きい段波状の波が現れると考えられる。

後続波は段波状の波の後続が変形したものであると考えられ、それらとは独立した波であると考えられる。

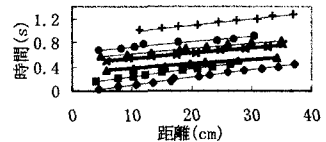
また、図－7は水路天端をはずした開水路での実測の波形と孤立波の波形である。孤立波の波形は次式より求めた。

$$\eta(x) = H \operatorname{sech}^2 \left[\left(\frac{3H}{4h_0^3} \right)^{\frac{1}{2}} x \right]$$

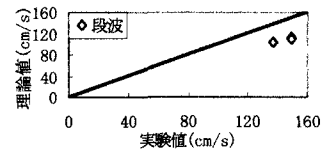
上流側はほぼ等しいが、下流側では実測の波形は孤立波の波形より水深が高くなり、多少波形が異なる。そのため孤立波の波速とは異なると考えられる。



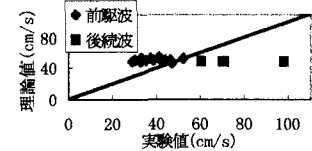
図－4



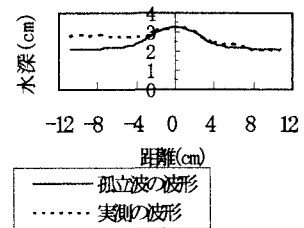
図－5



図－6



図－7



図－8