

東京都立大学工学部 正会員 宇井正和
 東京都立大学工学部 正会員 安川 浩

1. まえがき

セルフ・プライミングについての研究は非常に少なく、数編の論文を数えるのみであるが、Kalinskeら⁽¹⁾やLiら⁽²⁾、および荻原ら⁽³⁾の論文が代表的なものといえよう。Kalinskeらは管内跳水を利用して管路内空気を除去することを目的とし、フルード数と空気連行量との関係を求めている。しかし、定常的な状態を作るために、管路上流より一定量の空気を供給しており、通常考えられるセルフ・プライミングとは異なるものといえる。Liらはカルバート内でのセルフ・プライミングを検討し、その発生の原因を3つのタイプに分類している。即ち、貯水槽底より流入する流れはナップをもって流れ込み、カルバート底部に衝突して跳水となるか、あるいは流下と共に定常波を発達させ、その水面がカルバート頂部に接触した時にセルフ・プライミングが発生するとしている。荻原らはLiらのモデルを用い、現象の解説をつけると共に、理論的解析も試みているが広範な現象への適合性の検討が必要といえる。

筆者ら⁽⁴⁾は管路内の不等流を追跡しているときにセルフ・プライミングに遭遇した。実験は、管径10cm、管長9mの亚克力製管路にベルマウスを通して、貯水槽から自然流下させたもので、管内水深が十分大きくなると上流側から満管流れと開水路流れが交互に流下する現象を得た。この現象は上記論文におけるセルフ・プライミングとは多少異なる面を持っているが、最も基本的な管内現象の1つとして取り扱う必要があろう。ここでは、このようなセルフ・プライミングの発生機構、およびその特性を実験的に調べることを目的とするものである。

2. 実験装置とセルフ・プライミング

2-1. 実験装置を図-1に示す。管路は直径10cm、長さ1mの亚克力管を、可変勾配架台上で連結したものである。管路上流端にはベルマウスを付け、整流水槽からの滑らかな流入を期待した。整流水槽には、その上流側の三角堰から既知の流量を供給した。また管路下流端にもゲート付き整流水槽を付け、下流端水位が常に管頂高を保つようにした。

実験は管路長が9mと、2倍の長さの18mの2種類の場合について行なった。図-1は後者の実験装置を示しているが、前者の場合には上流側の

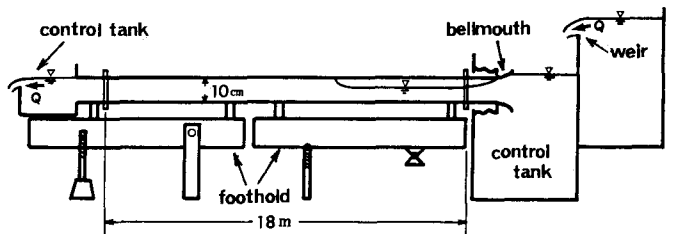


図-1 実験装置

架台のみを用い、管路勾配をも変えて、セルフ・プライミングの特性や管路勾配による影響を検討した。

2-2. セルフ・プライミングの発生と特徴 管内開水路の水深がある程度以上になるとベルマウスへの流入水位はその管頂を越え、整流水槽側と管路内は分離された状態となる。しかし、空気は流入水面およびベルマウス側端での流入渦によって管内に連行され、開水路状態は保たれる。さらに流量が増すとベルマウス直下の管内水面に定常波が重なり、その水面が管頂に接触した時に満管部が発生し、下流へと伸びていく。この時、整流水槽の水位はゆっくりと増していく。水位がある程度上がるとベルマウスからの空気の連行が急激に増大し、管内にエア・ポケットができ、開水路部へと急速に発達する。その後整流水槽の水位は再び下降を始め満管部を作る方向へと移っていく。開水路部の先端は跳水と考えられ、Kalinske等も運動量の式を適用しているが、多くの場合は下に凸の水面形を取る。また満管部の先端、即ちフロントの速度も流速とは等しくなく、流量補給のあるダム・ブレイクのような運動をする。

図-2は管路長9mの実験における、満管部(あるいは開水路部)の流下を追跡したものである。横軸は管口からの距離であり、縦軸は時間(秒)を表わしている。図中の(O)は開水路部を、(F)は満管部を意味している。図から、満管部が管路下流端から出て行く頃に次の満管部が発生するように見える。満管部のフロントは管路下流端に近づくと速度を増すが、後端である跳水部は減速している。図の右側の折れ線グラフは整流水槽内の水位変化を示したものである。満管部の移動と照らして見ると、ベルマウス直下にエア・ポケットが出来る頃に最大水位を、また開水路部が管路長の7割以上を占めた頃に最低水位を取っている。このことは満管時の流量が最大流量ではないことを示している。

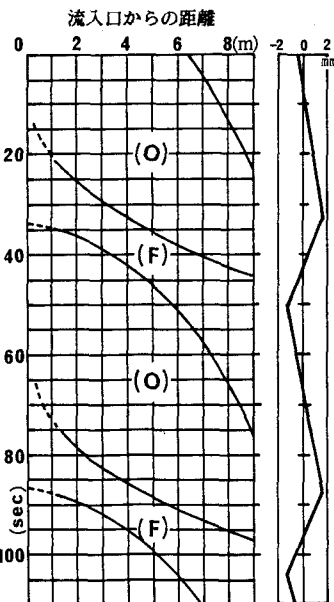


図-2

図-3は管路長が18mでの実験結果である。管路勾配は1/80に固定し、流量変化のみによる影響を調べた。セルフ・プライミングは6.3l～6.9lの範囲で生じた。○印は流量が6.4l、●印は6.6lの場合である。

ここでの満管部の移動は9mの場合と比較して、全体的に直線的で等速度で進んでいる。流量の少ない方が開水路部が長くなるが、この現象の周期は約130秒で、流量との関係は見られなかった。図-4はセルフ・プライミングが発生するための管路勾配と流量との関係を示している。この現象が限界勾配以上の管路で、さらに管勾配と流量とのある範囲内で生じていることがわかる。しかし、セルフ・プライミングの発生がベルマウス直下の定常波の発達に依存するならば、流入の仕方によってはかなり押えられる可能性を持つのであり、実際、18m管路の場合には、微小な流量範囲でしか発生しなかったことを考えると、この発生領域も確定的なものとはいえない。

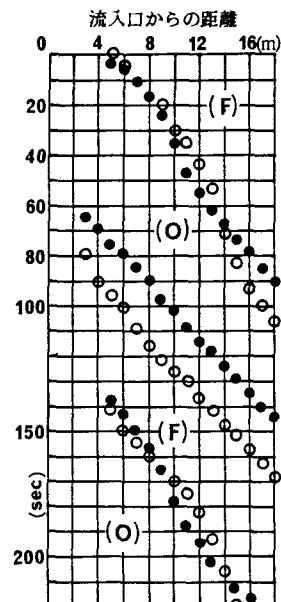


図-3

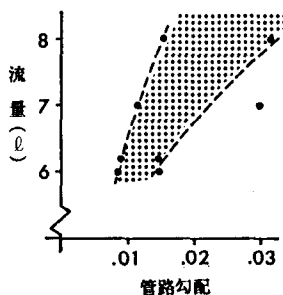


図-4 発生領域

3. 結 論

急勾配管路内でのセルフ・プライミングの発生と、その性質を実験的に検討した。現象の発生は管口部での流況に依存することが分かったが、未だ確定的ではない。ベルマウスを外すと現象が生じなかったが、これも重要な意味を持つものであろう。セルフ・プライミングが発生した後の管内での運動は、実際の下水管渠等でも重要であり、理論的解析を進めている段階である。

セルフ・プライミングの実験では、昭和63年度卒業の斉藤寛君、笹木賢君から多大な助力を得た。又昭和52年度卒業の高橋貞雄氏には貴重な実験データを引用させて頂いた。ここに記して謝意を表します。

4. 参考文献

- (1) A.A.Kalinske and J.M.Robertson, Entrainment of Air in Flowing Water, ASCE, Vol.108, 1943
- (2) Wen-Hsiung Li and C.C.Patterson, Free Outlets and Self-Priming Action of Culverts, ASCE, Vol.82, HY3 June 1956
- (3) 加藤、萩原、佐々木；セルフ・プライミングについて、第23回土木学会年講、昭和43年
- (4) 安川 浩；管内非圧縮性流体振動に関する研究、昭和58年2月 学位論文、東京大学工学部