

II-149

急勾配管路内移動跳水における圧力分布

東京都立大学 正会員 宇井 正和

東京都立大学 正会員 安川 浩

東京都立大学 学生員 金 学秀

1. はじめに

筆者らは、急勾配管路における定常的管内跳水中での圧力分布は、そこでの流量を満管で流すに必要な動水勾配線として与えられ、下流端水位高を与えることによって、その高さを通る動水勾配線と管頂との交点が跳水の管頂に接する場所として決定できることを報告した。

ここでは、管内跳水が生じている時に、流入量が一様に増加した場合と、セルフ・プライミングが発生している場合での管内圧力変動を実験的に調べ、それらの特性を定性的に検討する事を目的としている。本研究では管内流れの物理的特性の把握を主眼としているため、流速は断面平均流を用い、又跳水を扱ってはいないがボイド値等は考慮していない。

2. 実験装置

図-1 に示すように、可傾台に載った直径 10 cm、長さ 14 m のアクリル製管路を用いた。実験では下流端ゲートの開度によって管内に跳水を生じさせた状態で、上流側からの流

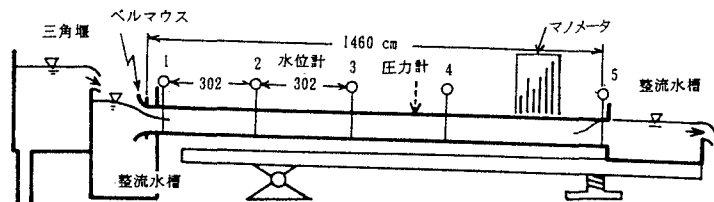


図-1 実験管路

入量を変化させ、管内の動的な水位及び圧力変化を調べた。上流から 8.6 m の場所には空気圧を計測するための圧力計を、また管路底部からは 1 m おきにビニールチューブで引いた 15 本のマンノメータを作り、そこの水位変動を写真撮影によって記録した。

3. 実験結果と考察

3-1. 流入量が増加する場合

図-2 は 1/50 勾配の管路下流端より 4 m 余の長さの管内跳水を生じさせたところへ、上流より流入量を一様に増加させた場合の圧力変化を写真から読み直してプロットしたものである。横軸は管路に沿った計測点で、図中破線は管底と管頂の高さを示している。一番下の曲線は定常的管内跳水時の水深記録である。第 2 の曲線からは、流入量の増加に伴い流入口が満管になって管路内が閉塞され、ピエゾ水頭が上昇する様を示している。これらピエゾ水頭は、管内水深と空気圧の和として表されるが、後者の方が卓越

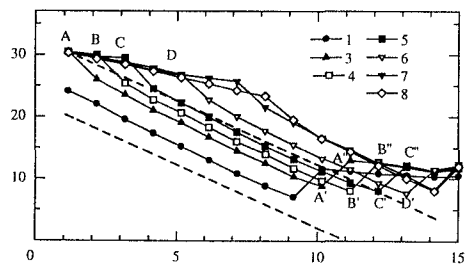


図-2 管内圧力（流入量増加時）

している。流入口からの満管流れが伸長するにつれて下流側の跳水は後退するが、その跳水が管路下流端を抜けると空気圧は一定となり開水路部以下のピエゾ水頭は変化しないため、それらの曲線は重なってくる。上流側満管流れでの動水勾配線は管路頂より上部に分布し、下流側へ伸長するにつれて動水勾配は急になっていく。特徴的なのは、下流側跳水部での動水勾配がほとんど変わらず、空気圧の影響を受けていないことである。

3-2. セルフ・プライミング時の圧力分布

ここでセルフ・ブライミングとは管路流れと開水路流れが交互に発生する現象を指す。1/90 勾配管路で、この現象が生じている中での管内圧力変化を示したのが図-3、4 で、満管部が上流側にある時と下流側に進んだ時に分けて表示してある。図中の圧力分布よりセルフ・ブライミング時での満管部も、管径を水深とする等流ではなく、動水勾配をもって流れていることがわかる。特に、動水勾配線は、流入量増加の場合とは異なり、満管部先端で被圧、後端に近づくると負圧に変わる直線で、満管部伸長に伴い平行移動しながら進む。被圧の大きさは下流側跳水の長さ（あるいは水槽水位）と関係しているものと思われる。一方下流側跳水部での動水勾配線は上流側満管部動水勾配と等しく、下流端水位の変動に伴い僅かな変化はあるものの、ほとんど一定と見なすことができる。このことは、下流に押し出される跳水あるいは満管部それ自身が元の動水勾配線に沿って移動していくことを示している。管路下流端に近づく、流入量が増加する場合と同様の移動特性を有することは、それが下流端水槽水位と関係していることを暗示している。

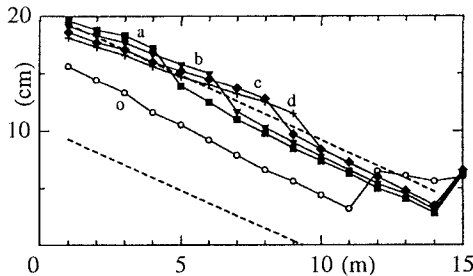


図-3 S.P.時の圧力分布（上流部）

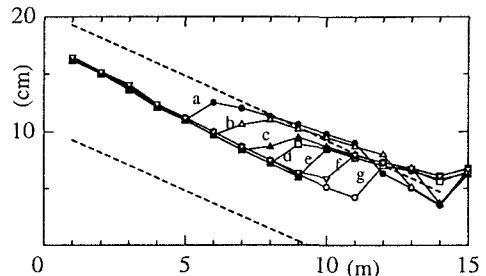


図-4 S.P.時の圧力分布（下流部）

4. 理論的考察

満管の伸長に伴って押し出される下流側跳水の特性を考察する。跳水運動に関しては、運動量の式が適用されるが、図-5において跳水を挟む断面I、IIの領域対し、以下の式が導かれる。

$$P_1 + p_1 A - P_2 - p_2 A + M \sin \theta - F_f = \rho Q (v_2 - v_1)$$

$$v_1 A_1 = v_2 A_2 = Q$$

第2式は連続の式であるが、ここに P_i は水圧の合力であり、 M は跳水部分の重量、 F_f は跳水部分に働く壁面からの摩擦力、 v_i は各断面での平均流速、 A_i は流水断面積である。 p_1 、 p_2 は断面IおよびIIでの空気圧と管頂圧である。空気圧 p は全断面に作用するので、同じ動水勾配線に沿うときは、 p_1 の変化は p_2 の同じ量の変化をもたらす必要がある。したがって動水勾配線も同じ量だけ平行移動したものになるが、下流端水槽水位が変化しない場合には水槽水位と動水勾配線にギャップが生じることになり、矛盾する。したがって、跳水自身が元の動水勾配線に沿って管頂圧が同じになるまで下流側に移動することになる。図の変化はこの事を示している。

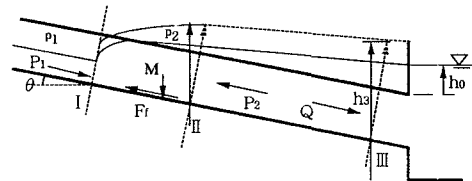


図-5 管内跳水

5. まとめ

流量が一様に増加する場合、流入口から満管流れが伸長し、そこでの動水勾配線は被圧状態を示し又傾きも急になる。一方跳水は下流へと押し出されていくが、跳水それ自身は元の動水勾配線に沿って移動する。セルフ・ブライミング時での圧力特性に関しては、伸長する満管部での動水勾配線は先端で被圧、後端で負圧状態を呈す。被圧部での水頭高は跳水長さに関係し、跳水が無い場合には管頂までしか上がらない。

6. 参考文献

宇井正和、安川 浩、急勾配管路における跳水の発生条件と管内圧力 土木学会水工学論文集, Vol.40, 1996

7. 謝辞 実験に際し、前年度卒業の藤橋誠一君の協力を得ました。ここに記して謝とします。