

真空式下水道のリフト部で発生する瞬間流速について

東京理科大学

柏谷 衛

○新村 崇

(株)日立プラント建設

国井 光男

佐藤 昌之

1. はじめに

真空式下水道システムは真空弁の開閉による汚水と共に吸込む空気 Driving Force を利用して、汚水を真空ステーションまで搬送するシステムである。管内での汚水は下り勾配ではほぼ二層流で下流していくが、真空弁の開閉頻度によって管内を通過する単位時間あたりの流量は変化する。上流部から空気が送り込まれない状態では、汚水は数多くのリフト直前の低部に滞留しており、いったん、真空弁が開放されるとリフト直前の汚水は強力な Driving Force によってリフトを越えて大きな流速をもって下流へと搬送されていく(図-1 参照)。筆者らは真空弁1個を有し管の内径が100mmのパイロットプラントを用いて、リフト部で発生する瞬間流速を実測し、この瞬間流速が気液比、平均搬送流速とどのような関係を有するのかを検討してきた。なお、気液比とは真空弁が1回の開放時に吸込む、空気と汚水の比率である。平均搬送流速とは真空弁から吸込まれた汚水が真空ステーションの集水タンクに到達するまでに要した時間から求めた流速である。この瞬間流速は真空弁から約25.7m離れた位置(これを上流側の瞬間流速という)、114.6mの位置(これを中流側の瞬間流速という)および集水タンクから上流18.4m離れた位置で測定した(これを下流側の瞬間流速という)でそれぞれ長さ4~5mの区間測定した。真空弁には「気液分離吸引型」と「気液同時吸引型」とがある。気液同時吸引型では、吸気管の内径13, 25, 30mmの3種類について検討した。

2. 実験装置, 実験方法

本実験に用いたパイロットプラントの管路延長は249mでリフト数17、リフト高さの総和は6.8mである。図-2に、これら管路のプロフィールを示す。図-2の矢印は瞬間流速の測定位置を示している。真空弁の開閉時間制御はパソコンと内蔵タイマーを用いている。半導体圧力センサが所定水位(HWL)に達したことを検知すると真空弁開放動作が始まり、水または水と空気の複合物が吸込まれる。そして、所定水位(LWL)まで低下してから、パソコン制御により0~5秒(この間は空気のみ吸込む)たった後に真空弁の閉止動作を開始させた。集水タンクの設定圧力は-6.0, -7.0, -8.0mHg、真空弁ユニットへの流入水量は40, 80, および120ℓ/分とした。瞬間流速の測定および平均搬送流速の算定のための経過時間の測定は5枚の布切れを管内に投入することで行っている。

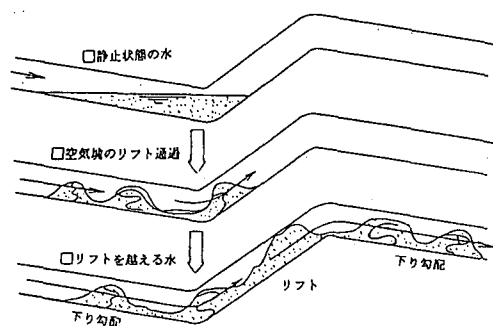


図-1 真空下水管のリフトでの水の流れ

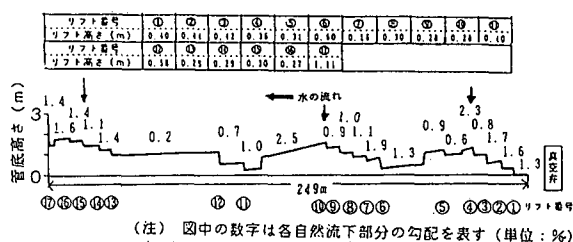


図-2 実験に使用した真空下水管のプロフィール

3. 考察

(1) 搬送水量による相違

図-3、図-4に、搬送水量40ℓ/分および120ℓ/分について、上流側と下流側の平均搬送流速と瞬間流速との関係を示した。これらの図では、気液分離型真空弁のほか、3種類の管径の異なる吸気管をもつ同時吸引型真空弁について実験結果を示している。

図-3、図-4ともに、平均搬送流速と瞬間流速との関係は、それぞれの搬送水量毎に右上がりの直線で回帰できることが示された。搬送水量毎の回帰直線は、気液比0.9以下のほぼ満流の場合を含めて、実験を行った全ての気液比の範囲について示すことができた。瞬間流速は搬送水量が大きいほど、また上流側の位置では下流側の位置に比べて相当に大きくなっていた。

表-1は搬送流量毎に平均搬送流速と上流側、中流側および下流側の瞬間流速の最大値と最小値及びそれらが生じた気液比を回帰直線の勾配、相関係数と共に示している。上流側の最大瞬間流速は搬送水量40ℓ/分の場合で約7m/秒、搬送水量80ℓ/分と120ℓ/分で約4～5m/秒に達していた。搬送水量40ℓ/分では搬送水量80ℓ/分、120ℓ/分に比べて平均搬送流速が最も小さく、瞬間流速が最も大きくなるという結果が得られた。このときの気液比は余り大きな差はない。いずれの搬送水量の場合も、瞬間流速は上流側が大きく、中流側と下流側はほぼ同じとなっている。回帰直線の傾きは各実験で得られた平均的な瞬間流速と平均搬送流速との比率を示している。搬送水量40ℓ/分では平均搬送流速が小さかったこともあって、瞬間流速は平均搬送流速の9倍以上（上流側）4倍程度（中・下流側）となっていた。搬送水量80ℓ/分および120ℓ/分ではほぼ同じであり、上流側で約6倍、中・下流側で2倍以上となった。

(2) 集水タンクの設定圧力の相違

図-5は搬送水量120ℓ/分を例として気液比と瞬間流速との関係を上流側と下流側について示している。同図のように、気液比と

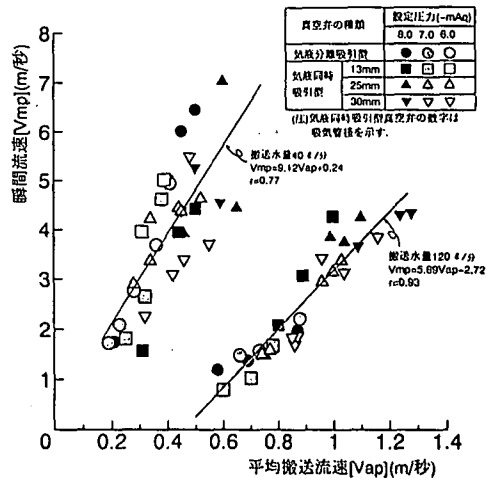


図-3 平均搬送流速と瞬間流速の関係
(搬送水量40および120ℓ/分で下流側の瞬間流速)

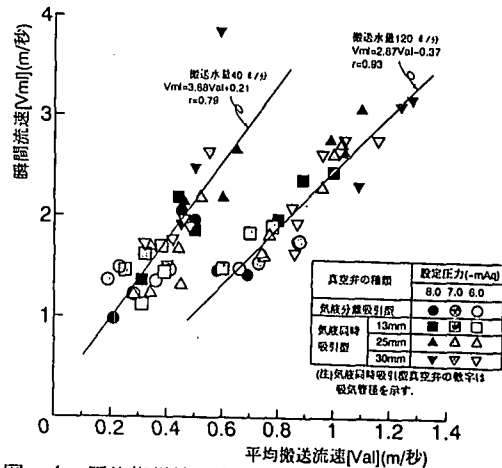


図-4 平均搬送流速と瞬間流速の関係
(搬送水量40および120ℓ/分で下流側の瞬間流速)

表-1 流入水量別の平均搬送流速と瞬間流速の関係

流入水量 (ℓ/分)	平均搬送流速の範囲 最大-最小(m/秒)	位置	瞬間流速の範囲 最大-最小(m/秒)	回帰直線の 傾き	相関係数
40	(4.5-0.8)	上流側	7.0-1.6 (3.9-1.7)	9.12	0.77
		中流側	3.9-0.9 (6.1-0.8)	4.47	0.77
		下流側	3.4-1.0 (6.1-0.8)	3.88	0.79
80	(4.9-0.5)	上流側	5.5-1.2 (2.2-0.9)	5.83	0.81
		中流側	3.3-0.9 (4.9-0.5)	2.24	0.82
		下流側	3.7-1.2 (6.1-0.8)	2.72	0.88
120	(3.5-0.6)	上流側	4.4-0.8 (3.5-1.0)	5.89	0.93
		中流側	3.0-1.1 (3.7-0.6)	2.38	0.86
		下流側	3.1-1.4 (3.5-0.6)	2.87	0.93

備考1) カッコ内は気液比(・)を示す。

備考2) 回帰直線は平均搬送流速をX、瞬間流速をYとして、その傾きを求めた。

瞬間流速との関係は集水タンクの設定圧力によって明らかに差異を生じている。瞬間流速は設定圧力が小さいほど大きく、設定圧力-6.0mAqないし-8.0mAqについて、設定圧力差-1.0mAqにつき、瞬間流速は上流側では約1m/秒の増加、下流側では約0.5m/秒の増加となった。

(3) 真空弁の種類による相違

図-5に示した気液比と瞬間流速の関係では、同一搬送水量、同一集水タンク設定圧力において気液分離吸引型真空弁は気液比も瞬間流速も最も小さく、続いて吸気管径13mm、25mm、30mmの吸気同時吸引型真空弁の順であった。これは貯水タンクがLWLに達したときを基準として安定した運転ができる真空弁のタイマー設定時間を選定して実験を行ったためである。しかしこれでは真空弁の種類別の瞬間流速の差異が余りよくわからないことから、集水タンクの設定圧力と搬送水量を同一にして、真空弁の開放時間がほぼ同じになる条件下で、平均搬送流速と上流側、中流側および下流側の瞬間流速の関係を求めた。この実験結果の一例は表-2に示すとおりである。すなわち、平均搬送流速と瞬間流速との関係は気液比にやや差があっても、真空弁の種類別にほとんど変わらないことが見いだされた。

4. まとめ

リフト部を上昇する水の瞬間流速は、搬送水量が小さいほど大きく、搬送水量40ℓ/分では7m/秒に達していた。この瞬間流速は平均搬送流速の9倍以上であった。しかし、このような高い瞬間流速は真空弁に近い位置にのみ生ずる。瞬間流速は集水タンクの設定圧力によって差を生じていたが、真空弁の種類による差は見いだされていない。

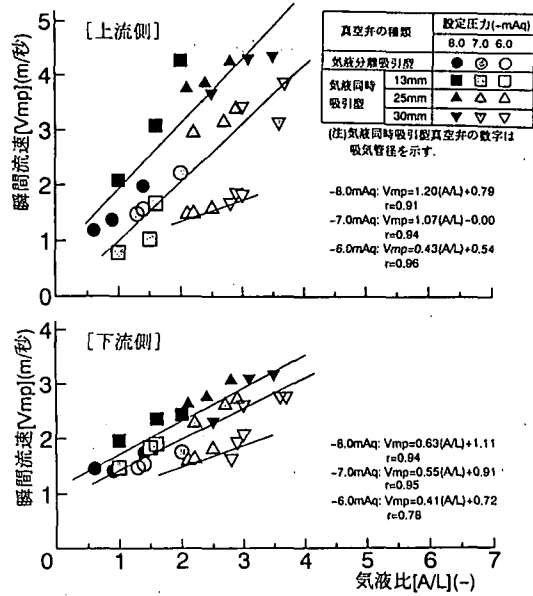


図-5 気液比と瞬間流速の関係
(搬送水量120ℓ/分の場合)

表-2 開放時間、搬送水量、開放時間を一定にしたときの平均搬送流速と瞬間流速 (設定圧力-8.0mAq)

搬送水量	真空弁の種類	気液比 (-)	平均搬送流速 (m/秒)	瞬間流速		
				上流側 (m/秒)	中流側 (m/秒)	下流側 (m/秒)
40ℓ/分 (5~6)	分離型	2.6	0.5	6.5	1.6	2.0
	同時型	1.3	0.5	4.4	1.7	1.9
		2.5	0.5	4.0	1.5	2.1
		3.0	0.5	4.4	2.2	1.9
80ℓ/分 (5.5~6.5)	分離型	2.8	0.4	4.9	1.5	1.5
	同時型	1.3	0.4	4.6	1.6	1.7
		2.5	0.3	4.2	1.3	1.7
		3.0	0.4	5.0	1.4	1.5
120ℓ/分 (6.5~7.5)	分離型	3.5	0.4	3.7	1.4	1.4
	同時型	1.3	0.4	5.1	1.7	1.4
		2.5	0.3	3.4	1.3	1.2
		3.0	0.3	2.3	1.2	1.7

(注) カッコ内は真空弁の開放時間(秒)を示す。
真空弁の種類で分離型は気液分離吸引型、同時型は気液同時吸引型を示し、数字は吸気管の管径(mm)である。