

(Ⅱ-2) 真空式下水道の適用規模の検討

東京理科大学 ○ 学生員 池田 圭介, 正員 柏谷 衛

1. はじめに わが国の下水道普及率は昭和62年度末現在 39%であり, 欧米諸国と比較しても非常に低い状態にある。特に, これから下水道事業を推進していかなければならない地方の市町村においては住居密度が低いため, 従来の自然流下式下水道では管渠埋設に多額の費用が必要となる。このような状況のもとで, 下水道整備の低コスト化, 効率化を図るために, 欧米諸国で普及している代替下水道システムが注目されてきた。今回はその代替下水道システムの一つである真空式下水道を取り上げ, 適用規模の検討を行った。

2. システムの概略 真空式下水道システムはシステム中央の真空発生源によって小口径の下水集水本管の真空状態を380mm-Hgないし635mm-Hgに保持しておりシステムは〈真空弁付汚水ます〉, 〈真空下水管〉, 〈真空ポンプ場〉の3部分から構成されている(図1)。

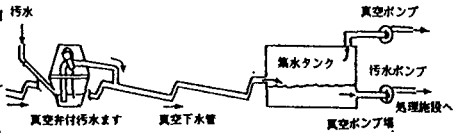


図1. 一般的な真空式下水道システム

このシステムの利点は下水道の建設費と下水処理費の大幅な減少が期待できることである。

3. 集水可能面積の計算 真空式下水道では, 送水に使用可能な圧力が約4mでしかないために摩擦損失水頭(Hf)と揚水損失水頭(HI)の合計が4mを越えると送水不能になる。そのため1ヶ所の真空ポンプ場で賄える集水面積にも限界がある。真空式下水道におけるHfは式1で求められる。

$$Hf = \phi^2 \times [Q / (42.15 D^{2.63})]^{1.85} \times L \quad \cdots \text{式1}$$

Hf=摩擦損失水頭(ft), ϕ^2 =補正係数(無次元)

Q=汚水流量(gpm), D=真空下水管内径(in), L=管長(ft)

この式はC=151.52でのHazen-Williamsの式に補正係数 ϕ^2 を乗じたものである。さらに平坦な地形においても管路長150mに1ヶ所のリフト(30cm)が必要とされるため, これによってHIが増加する。従来は管径に関係なくこのHIを一律に1ヶ所当り15cmに見積っていたが, 本研究では管径100mmでHIは20cm, 150mmで15cm, 200mmで10cm, 250mmで5cmというように管径に応じてHIを変化させた。

本研究では, 図2のように真空ポンプ場を平坦な方形地域の中央に1ヶ所設置し, 地域の1辺長さを100m 刻みで6000mまで, 計画人口密度を2のべき乗で256 まで変化させて, 1ヶ所の真空ポンプ場で賄える集水面積を計算した。計算に用いる1人当り瞬間最大汚水量は次のように定めた。のべ72軒において, 30分間隔で1日の汚水量を調査したデータから1人平均汚水量は284ℓ/day(0.197ℓ/min)であり, 最大汚水量と平均汚水量の間には式2の関係があることが明らかになった。

$$Q_{max} / Q_{ave} = (20 + P^{1/2}) / (4 + P^{1/2}) \quad \cdots \text{式2}$$

Q_{max} / Q_{ave} =ピークファクター, Q_{max} =最大汚水量,

Q_{ave} =平均汚水量, P=人口/1000

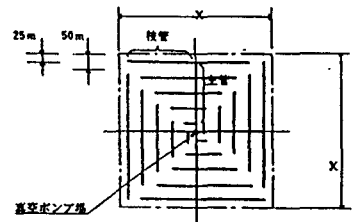
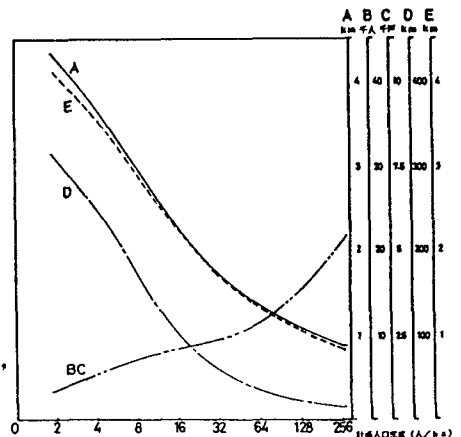


図2. 配管図



- A. 方形地域の一边長
- B. Aに対応する人口
- C. Aに対応する戸数
- D. Aに対応する真空下水管総長
- E. Aに対応する最長真空下水管長

図3. 損失水頭からみた集水可能距離

そこで、限界状態の集水可能面積を求めるに当たり、ピークファクターを最大の4.97とし、1人瞬間最大汚水量を0.974 l/minと定めた。また空気液体比については1:1, 2:1, 3:1, 4:1の4通りに変化させた。

一つの真空ポンプ場で集水できる範囲は空気液体比1:1の場合、40坪団地（人口密度 約250人/ha）で1050m四方、農村（人口密度 6人/ha）で 3600m四方である。また空気液体比を4:1まで変化させると、40坪団地で900m、農村で3150mとなる。空気液体比を大きくすると集水可能面積は小さくなる。荏原製作所の行ったプラント実験では、システム運転中の平均的な空気液体比は3:1程度である。図3に空気液体比3:1の時の結果を示した。図中のAが1ヶ所の真空ポンプ場で賄える方形地域の1辺長さをあらわしている。

4. 真空ポンプ場の規模 真空ポンプ場は<真空ポンプ>、<集水タンク>、<汚水ポンプ>の3部分から構成されている。ポンプ場が地域の中央に建設された場合の真空ポンプ場内機器の容量をまとめると、図4のように全ての容量は、総流量が小さくなるにしたがって小さくなる。また空気液体比を変化させると特に真空ポンプ容量が大きく影響を受ける。例として、真空ポンプ容量16m³/minの線の空気液体比による変化を図5に示す。真空ポンプ容量は、空気液体比が大きくなるにしたがって大きくなる。純粹に容量だけを考えるならば線①がポンプ容量を表すのであるが、運転頻度を考えて実際は運転サイクルによって定まる線②と交わる部分で屈曲させる。図5ではポンプの1回の運転時間が6分を越えないという条件で計算しているが、設定する運転時間によって線②は上下する。この事は、空気液体比だけでなく、運転時間の設定によっても真空ポンプ容量が変化することを示している。

5. 自然流下式下水道との経済比較

今までの結果をもとに、従来の自然流下式下水道との経済比較を行った。H町の人口密度56人/haを図3に照らし合わせ、まず計画地域の1辺長を1400mとしその1/4面積をモデルに設定した。モデルの面積は(1400×1400/10000)/4=49ha、計画人口は56人/ha×49ha=2744人、戸数は2744人/4人=686戸である。地域は平坦な地形とし、自然流下式下水道の設計は小規模下水道計画・設計指針（案）に準じて行った。真空式下水道の規模は同じ地形で真空弁数172個（4軒に1台）、真空下水管路総長9800m、真空ポンプ場1ヶ所であった。両者の建設費の見積りは、自然流下式下水道3億8千万円に対して、真空式下水道2億5千万円であった。管路敷設にかかる費用の違いから真空式下水道の方が約35%安くなった。真空弁数に比べて管路長が長くなる人口密度が小さい地域では真空式は更に優位になる。

6. 謝辞 本研究についてデータの提供をいただくと共に、ご指導をいただいた荏原製作所プロジェクト開発部、保科久夫、長良寛両氏に感謝いたします。

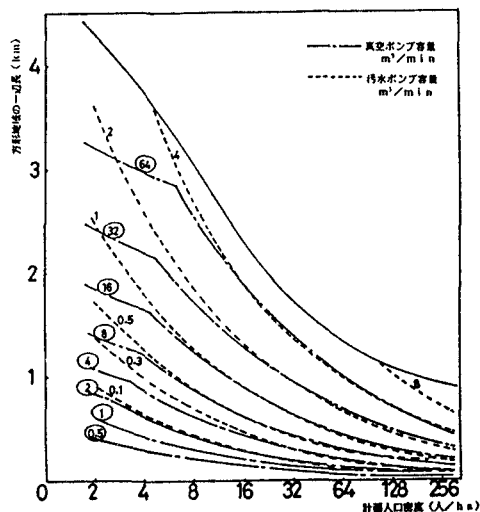


図4. 真空ポンプ容量および汚水ポンプ容量

(空気液体比3:1)

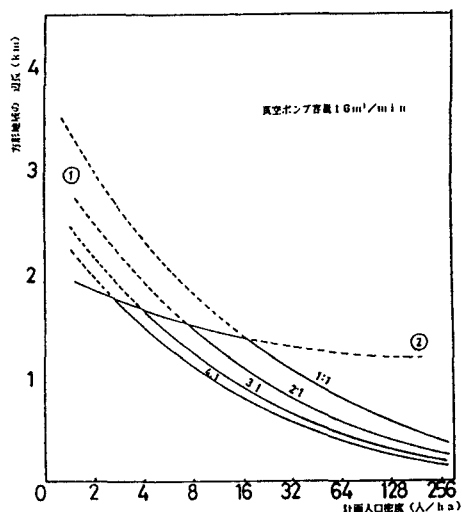


図5. 真空ポンプ容量への空気液体比の影響