

マンホールポンプ下流の流量予測

中日本建設コンサルタント（株） 水工技術本部 ○西尾 賢志
中根 進

1. はじめに

自然流下とマンホールポンプを併用した汚水の収集では、マンホールポンプが自然流下管を介して直列に配置されることも多い。複数のポンプが同時稼動した場合、下流側のマンホールポンプにおいて、ポンプ槽容量や揚水量不足による高水位警報が頻発し、現場への呼び出し回数の増加など、維持管理に支障をきたす事例が生じている。

警報などを回避するためには、設計時に、ポンプ同時稼動による水量増加に対応しておくことが重要である。しかし、計画汚水量が著しく小さい区域では、ポンプ揚水量が計画汚水量に比べ非常に大きくなるため、上下流のポンプ能力のバランスが崩れる事例が多い。また、ポンプは夾雑物による閉塞を考慮して、最小口径を 65mm 程度に設定するため、揚水量が計画値に比べて過大となっている。

小規模な下水道計画区域では、住民の生活パターンが類似するので、汚水も同じ時間帯に排出される傾向にある。その結果、ポンプも同じ時間帯で一斉に稼動し、下流側にあるポンプ槽を満水させることになる。

上記の問題を解決するために、ポンプ吐出による下流側管路の流量を予想する方法を提案する。

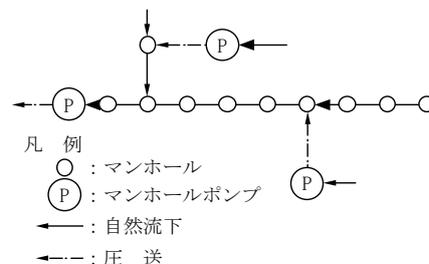


図-1 直列的なマンホールポンプの配置例

2. マンホールポンプ下流の簡便な流量予測手法の提案

(1) マンホールポンプの吐出量

ポンプの吐出量は汚水ポンプの特性曲線と管路の抵抗曲線（図-2）から算出する。

(2) 自然流下管の流下特性

マンホールポンプで揚水した汚水は、数分で送水され、自然流下管を流下する。その際、自然流下管内の流れは、非定常で、下流に行くにしたがい、流れの山がくずれて、定常的な流れとなる。

下水道指針には、小口径管の水理特性として宅内排水管（口径 100mm）に 90 リットルの水を流し、勾配 $i = 3\text{‰}$ 、 5‰ 、 7‰ の 3 ケースについて時間経過と瞬時最大流量の減衰を示している。図-3 にその一例を示す。

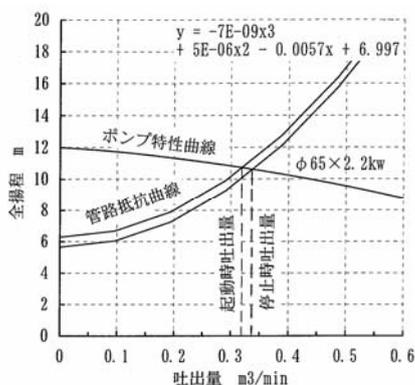


図-2 マンホールポンプの吐出量

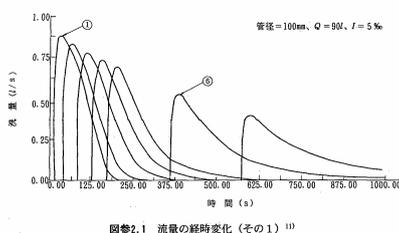


図-3 小口径管の水理特性一例 (5‰の場合)

著者らは、瞬時の流量が流下時間とともに減少していくことに着目し、瞬時最大流量のみをとりだして、流下時間と瞬時最大流量の関係を導いた。（図-4）

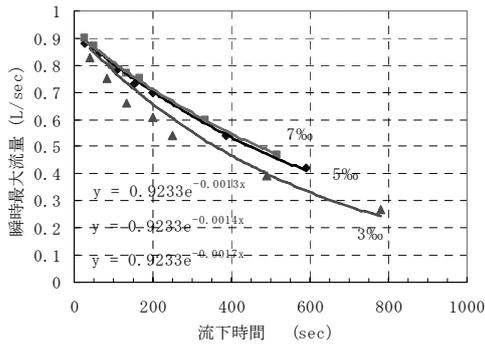


図-4 流下時間と瞬時最大流量の関係

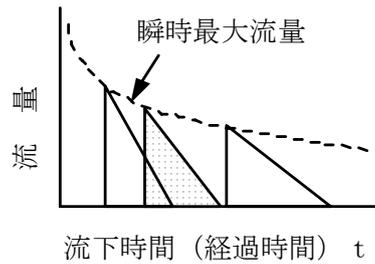


図-5 小口径管の水理特性のモデル化

流下時間 t - 瞬時最大流量 q_p の式は、管勾配 i やポンプ槽容量 V_m で補正できる簡便な式とした。また、水理特性の形状は、図-5 のような三角形と仮定した。

$$q_p = k \cdot e^{b \cdot t}$$

ここで、 q_p : 瞬時最大流量 (リットル/sec)

t : 流下時間 (sec)

安全側にマンホールポンプ吐出量から実流速を算出し、経過時間を算定する。

k : ポンプ槽容量 V_m に関わる補正係数 (-)

$$k = (0.923 \text{ L/sec} / 195 \text{ sec} \times q_{in} \times t_{in})^{0.5} \text{ L/sec} \quad \text{添字 } in: \text{左図参照}$$

i : 管勾配 (%)

b : 管勾配に関わる係数 (-)

$$b = 0.0005 \ln(i) - 0.0022$$

上式は、瞬時最大流量 q_p (水理特性の山) を数学的に解いたものではないので、管勾配が大きくなると、 q_p がポンプ吐出量より多くなることがある。その場合、瞬時最大流量 q_p をポンプ吐出量とする。

検討する管路にマンホールポンプが複数ある場合は、各々のポンプからの水理特性の山 (図-5) を流下時間の差分ずらして、合成する。今回の報告では現場調査と比較するため、上流側ポンプの吐出量を用いて簡便式で算定する。

3. 現地調査

簡便な予測式と後述する流出解析モデル式の結果を検証するために、現地調査を行った。

流量測定は、実際のポンプ揚水により上流側マンホールへ注水し、下流側のマンホールにおける水位観測により行った。

調査は、昼間で汚水発生が最も少ない午前 11 時に 2 回行った。

調査結果は、簡便式や流出解析モデルによる結果と共に図-9 に示す。調査では、上流ポンプの吐出量と同量以上が瞬時最大水量として観測された。これは、調査したポンプ吐出量が極めて少量であったことや、調査地がすでに汚水の供用されている地域であることから、以下の原因により生じたものと推測される。

i : ポンプ運転時間や流量観測の測定誤差

ii : 調査時間中の発生汚水の流入

4. 流出解析モデルを用いた予測

管きょ内の任意地点における雨水流出量及び汚濁負荷量を時系列

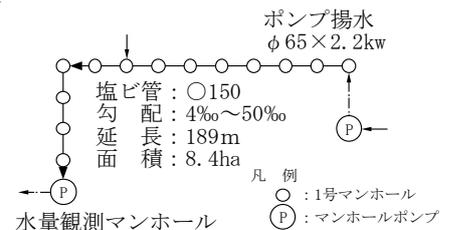


図-6 現地調査図

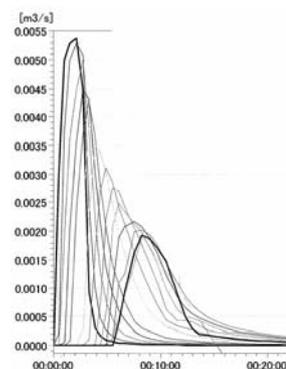


図-7 マンホール間の流下流量

的に解析できる流出解析モデルがあるのは周知のとおりである。

流出解析モデルの1つで、市販されている MOUSE（マウス）を使い、マンホールポンプで揚水した汚水が下流に流下するにしたがって、どのような水理特性を示すかシミュレーションし、簡便式と比較した。

流出解析モデルの入力データは、塩ビ管φ150、延長、勾配、粗度係数0.010、マンホール径とポンプ揚水量である。

マンホール間での流下流量の結果は、図-7に示す通りである。

ただし、マンホールポンプのような極めて少ない吐出量（流量）でシミュレーションを行う場合、マンホール条件などを正確に入力しないと解析結果に大きな差が生じるので、下記の注意が必要である。

1) マンホール径

マンホールでは、貯留のような現象が発生する。

図-8は、同一条件でマンホール径1500mm（3号組立）、900mm（1号組立）を入力した場合の、最下端マンホールへの流入量である。

2) 区間延長

流出解析モデルでは、管路延長の短いデータがあると、管きょ内の水位変動を計算する関係で計算ピッチ（時間）を自動的に短くするため、簡単な路線でも膨大な計算時間を要する。したがって、マンホール

区間延長が短い路線は、上下流の区間を統合するなどの配慮が実用的である。

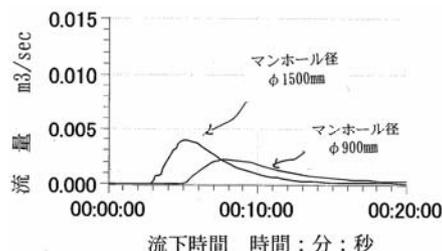


図-8 マンホール径による流下流量変化

5. まとめ

流出解析モデルでのシミュレーション結果は、観測マンホール位置で瞬時最大流量 0.0019m³/secとなり、簡便式による計算値 0.0017m³/secとほぼ一致する。ピーク時間においては、約4.7分ずれる結果となった。これは、ピーク流量と流入時間の傾向が類似することから、用途として、下流側ポンプの能力確認を行う場合、問題ない。

以上のことから、入力条件が煩雑な流出解析モデルを用いなくても、簡便的な手法で、直列につながった最終端ポンプへの流入水量の予測が可能となった。

この手法は、以下の用途に利用できる。

1) 自然流下管内の非定常な水理特性を考慮し、下流側マンホールポンプ能力の適正さや高水位警報の頻発の要因が上流側マンホールポンプの揚水にあるかを推定できる。

2) 新規マンホールポンプ計画において、下流側ポンプの適正規模が判断できる。

今回報告の課題として、現地実測流量との比較においては、簡便式、流出解析モデルともに、3倍程度の差が生じた。この理由は前述した観測誤差が汚水の流入と思われるが、現地での流量測定のを機会を設けて、測定の精度向上を図り、報告内容の妥当性を確認していきたい。

（参考文献）下水道施設計画・設計指針と解説 前編 2001年版（社）日本下水道協会 pp.330～332

問合わせ先：中日本建設コンサルタント（株）水工技術本部（三重事務所）西尾 賢志

TEL 059-224-7491 E-mail s_nishio@nakanihon.co.jp

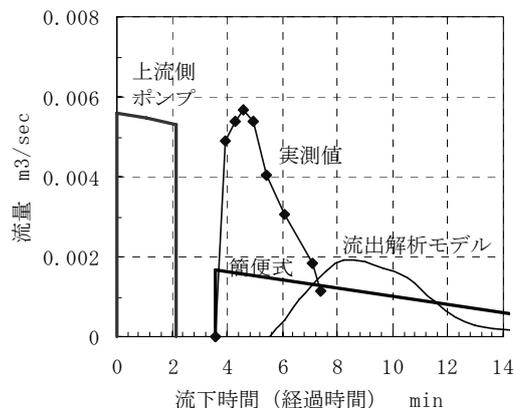


図-9 実測値と簡便式および流出解析モデルの結果