

道路下埋設形真空ステーションの開発

大垣 冬季*

Development of Underground Vacuum Station

by Fuyuki OHGAKI

A low-cost and compact underground vacuum station has been developed for use in vacuum sewerage systems. The underground vacuum station uses vacuum pump units capable of reciprocal rotation. Contaminated water becomes discharged by injecting air into the collection tank, thus making it unnecessary to use discharge pumps, such as those equipped in conventional vacuum collection stations. The compactness of the vacuum pumps, which are placed inside small units for enabling easy maintenance, save considerable space and the collection tank can be set underground and accessed by a manhole. Installation is thus low-cost with no need to construct a structure for the vacuum station.

Keywords: Underground vacuum station, Vacuum sewerage system, Vacuum pump, Vacuum pump unit, Collection tank unit, Discharge pump, Check valve, Deodorizer, Motorized shut valve, Gravity system

1. はじめに

真空式下水道収集システムは、対象地域の地形・地質等の条件によっては、自然流下式に比べて経済的な代替汚水収集システムとして、国内で数多く採用されてきた。このシステムは、「真空弁ユニット」「真空管路」「真空ステーション」から構成されている。このうち「真空ステーション」は汚水収集の原動力となる負圧を発生させ、収集した汚水を一時貯留し、下水処理場やそれにつながる自然流下管路まで圧送するための設備である。

今回、小規模システム、つまり管路の総延長が短く、計画汚水量が少ない地域（対象人口600人以下）向けに低コストでコンパクトな「道路下埋設形真空ステーション」を開発したので報告する。

2. 開発背景

従来形の真空ステーションは概略図（図1）に示すように、負圧を発生させる真空ポンプ、収集した汚水を一時貯留する集水タンク、汚水を輸送する圧送ポンプ、これらの機器を運転制御する動力制御盤などにより構成されている。

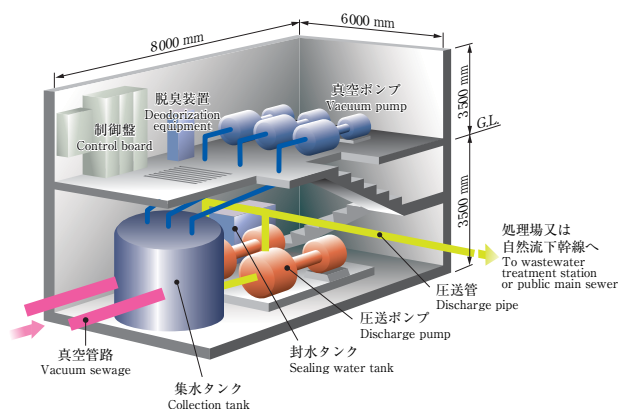


図1 従来形真空ステーション
Fig. 1 Conventional vacuum collection station

図2に示すように従来形の場合には真空ステーション建設費の全体建設費に占める割合は、対象人口1000人以上の場合では約10%であるのに対して、対象人口500人規模の場合、約30%と大きくなり、真空ステーション建設費が全体事業費を押し上げ、真空式下水道収集システムを採用するコストメリットが出にくい傾向があった。

更に、従来形の真空ステーションは、処理場内に併設するか、地上1階及び地下1階の鉄筋コンクリート（RC）構造の建屋内に機器を設置するのが一般的で、その用地取得が困難で真空式下水道収集システムを採用できないケースもあった。

* 風水力機械カンパニー 風水力建設システム社 エンジニアリング室

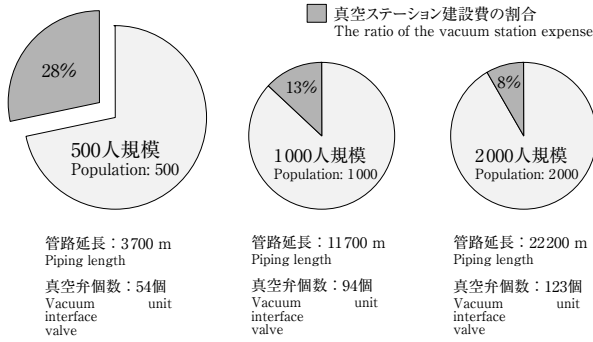


図2 規模別真空ステーション建設費の割合
Fig. 2 Vacuum station expense by population

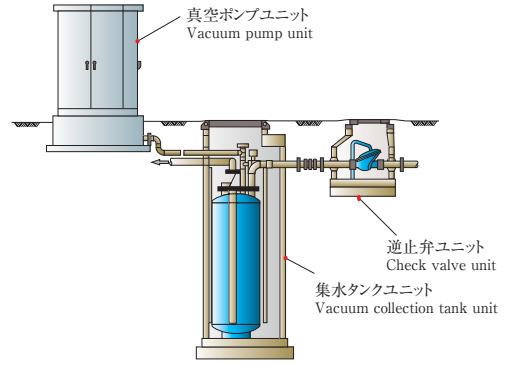


図3 道路下埋設形真空ステーション構成図
Fig. 3 Configuration of underground vacuum station

今回開発した道路下埋設形真空ステーションでは、従来の設計思想の転換を図り、小形のユニットに収納した真空ポンプを逆回転させることによって、圧送ポンプの機能を付加し、更に、小形ユニット化した集水タンクを道路下へ埋設することによって設備の大幅な小形化を実現した。その結果、真空ステーション設置用地を従来に比べ約1/10以下に抑えることが可能になり、また機器構成をシンプルにしたことにより建設コストも1/2以下に抑えることができた。

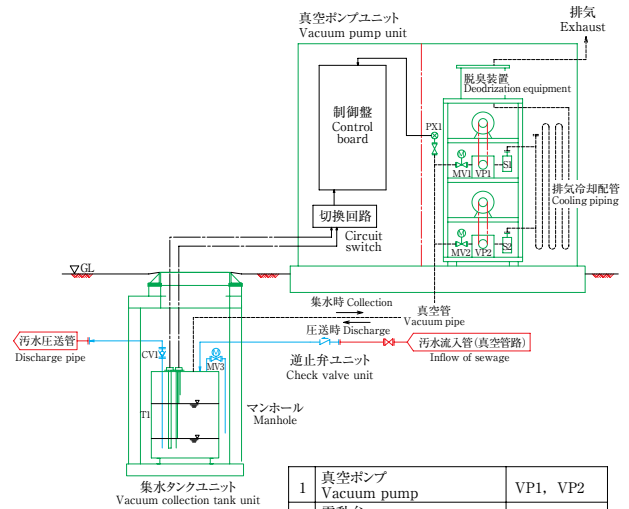
3. 新製品の詳細説明

道路下埋設形真空ステーションは地上に設置する「真空ポンプユニット」、地下に設置し道路下にも設置可能な「集水タンクユニット」「逆止弁ユニット」から構成される。また、運転は、真空ポンプを正回転して汚水を収集する「汚水集水モード」と真空ポンプを逆回転して汚水を排水する「汚水排水モード」の繰り返しによって行う。構成図及びフローシートは図3、4に示す。それぞれの構成要素と運転方法についての詳細は以下のとおりである。

3-1 真空ポンプユニット

真空ポンプユニットは、制御盤一体形のキャビネット内に、正逆回転可能な真空ポンプ、電動弁、脱臭装置等を取めたものである。図5に外観を示す。各機器の制御にはプログラマブルコントローラ（PLC）を使用し、運転状態の確認や各種設定はタッチパネル付液晶表示器で簡単に行うことが可能である。PLC故障時にはリレーでバックアップ回路を組んでいるため手動で各機器の運転が可能である。

また、真空ポンプユニットは地上に設置され、民家の近くに設置されることもあるため、ユニットを防音構造とし、真空ポンプ運転時の騒音値を機側1mで55 dB (A)



1	真空ポンプ Vacuum pump	VP1, VP2
2	電動弁 Motorized shut off valve	MV1, MV2
3	排気サイレンサ Exhaust silencer	S1, S2
4	真空破壊弁 Motorized shut off valve	MV3
5	圧送逆止弁 Check valve	CV1
6	集水タンク Vacuum collection tank	T1
7	圧力伝送器 Pressure transmitter	PX1

図4 道路下埋設形真空ステーションフローシート
Fig. 4 Flowsheet of underground vacuum station

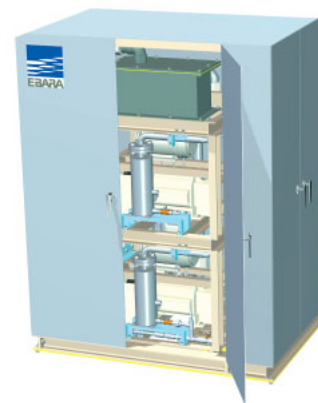


図5 真空ポンプユニット外観図
Fig. 5 General view of the vacuum pump unit



06-106 01/213

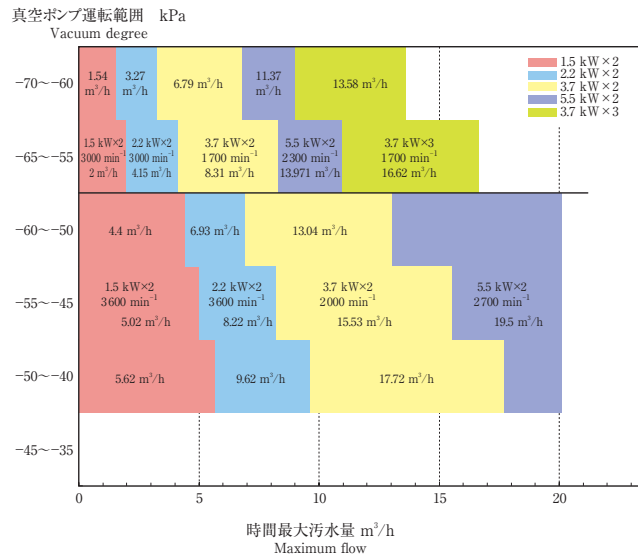
写真1 真空ポンプユニットからフレームを引き出した状態
Photo 1 Vacuum pump with pulled out from frame

以下に抑えるよう設計した。

真空ポンプユニットは道路下埋設形真空ステーションの構成機器のうち唯一地上に設置され、用地取得の対象となるため、できる限り設置面積を小さくする必要があり、小形化が最も重要な開発要素の一つであった。また、真空ポンプユニット内に収納される機器の真空ポンプはベルトの調整、オイル交換、オーバホールなどのメンテナンスが必要であり、メンテナンススペースを確保することも必要である。そこで本問題を解決するために、写真1のように真空ポンプやその他の機器を一体形のフレーム構造とし、フレームごとユニットから引き出せる構造とした。

真空ポンプユニットのラインナップを表1に、選定表を表2に示す。表2において縦軸は「汚水集水モード」時の真空ポンプ運転範囲を、横軸は対象となる時間最大汚水量を示す。真空ポンプの吸込風量は吸込側の真空度

表2 真空ポンプユニット選定表
Table 2 Selection table of vacuum pump units



が高い（圧力が低い）ほど小さくなるため、低い真空度で運転した方が風量を大きくすることが可能である。従来形の真空ステーションでは、真空ポンプを -70 kPa ~ -60 kPa の間で運転し、真空管路の許容圧力損失を 35 kPa [真空ステーション最低真空度 (-60 kPa) - 真空弁作動最低真空度 (-25 kPa)] としていた（ここで、真空弁作動最低真空度とは真空管路に接続された真空弁を作動させ、真空弁ユニットに貯まった汚水を吸引するのに必要な真空度をいう）。しかし、本真空ステーションは小規模な地域に設置することを目的としているため、真空管路の管路長が短く圧力損失が小さくなる場合が想定される。その場合、真空管路の長さや、形状により決まる許容圧力損失に応じて真空ポンプは低真空度運転が可能となり、低出力の真空ポンプでの採用が可能になる。

従来形の真空ステーションを単独設置した場合、建屋設置面積は小さいもので約 6 m × 8 m 必要であり、維持

表1 真空ポンプユニットラインナップ
Table 1 Lineup of a vacuum pump units

真空ポンプ Vacuum pump			収集可能汚水量 The collectable amount of sewage		真空ポンプユニット寸法 (mm) Vacuum pump unit size
出力 Output	台数 Number	運転方法 Operation method	汚水量 (m³/h) Inflow	人口換算 Population	
1.5 kW	2台	単独交互運転 Independent mutual operation	1.54 ~ 5.62	47 ~ 174人	1350 (W) × 900 (D) × 2000 (H)
2.2 kW			3.27 ~ 9.62	100 ~ 296人	1350 (W) × 900 (D) × 2000 (H)
3.7 kW			6.79 ~ 17.72	208 ~ 545人	1600 (W) × 1200 (D) × 2000 (H)
5.5 kW			11.37 ~ 19.5	349 ~ 600人	1600 (W) × 1200 (D) × 2000 (H)
3.7 kW	3台	並列運転 Parallel operation	13.58 ~ 19.5	416 ~ 600人	2800 (W) × 1200 (D) × 2000 (H)

管理用の駐車場等の必要用地を含めると最低約 10 m × 10 m の用地取得が必要であった。それに対し道路下埋設形真空ステーションは設置スペースとして 1.5 kW の真空ポンプ 2 台設置の小さいタイプで約 2 m × 2 m、3.7 kW の真空ポンプ 3 台設置の大きいタイプでも約 3 m × 3 m の用地取得で真空ステーションの設置が可能である。また、従来形の真空ステーションで必要だった建築確認申請が不要である。

3-2 集水タンクユニット

集水タンクユニットは、マンホール内に集水タンクと附属品を収納したもので、マンホールはプレキャストコンクリート製の 2 号又は 3 号マンホールを使用する。

設置場所は地下（道路下）になるが、真空式を採用する地域は地下水位が高いなどの理由で深く掘削することが困難な地域が多い。したがって、集水タンクユニットの設置においてもできる限り、掘削深さ、掘削断面を小さくする必要があり、集水タンクの大きさをできる限り小さくなるよう設計した。

従来形の真空ステーションでは、集水タンクの運転容量を圧送ポンプの起動頻度が 15 分以上となる容量とし、その容量を 3 倍したものを集水タンクの容量としてきた。本真空ステーションでは、圧送ポンプを使用しないため圧送ポンプの起動頻度を考慮する必要がなく、真空ポンプはソフトスタートするため、真空ポンプの起動頻度も考慮する必要がない。したがって、本真空ステーションでは次のように新たに集水タンクの容量計算方法を考案した。

運転容量は時間最大汚水量の 5 分間分とし、集水タンクの形状、容量は運転容量に加え、次の点を考慮し集水タンクの上部に高さ 500 mm 下部に高さ 80 mm の余裕容量を確保することとした（図 6）。

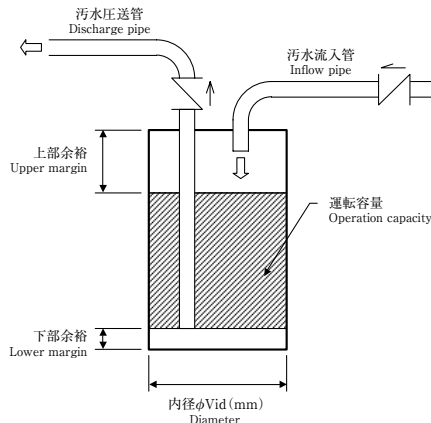


図 6 集水タンク
Fig. 6 Collection tank

- (1) 真空ポンプへの汚水の浸入防止
- (2) 一時的な大水量の流入に対する予備容量確保
- (3) 圧送管端部の異物の詰まり防止

本真空ステーションは、汚水排水モード時、真空ポンプを逆回転することにより、集水タンクに空気を送り、たまった汚水を排出する。このとき集水タンク内を正圧にするため真空ステーションは一時的に汚水を収集できない状態となる。しかし集水タンクと真空管路の間に設置する逆止弁ユニットの働きにより真空管路内には正圧は伝わることがなく、負圧が保たれるため、しばらくの間真空管路に汚水を収集する役割の真空弁ユニットを動作し、真空管路内に汚水を取り込むことが可能である。汚水排水モード中は、集水タンク中は、集水タンクに汚水の収集ができないためその時間はできるだけ短くする必要がある。

汚水排水モードの時間は主に、集水タンクの運転容量と真空ポンプ逆回転時の風量により決まるが、運転容量は時間最大汚水量の 5 分間分としたので、排水時間は 30 秒から 1 分程度におさまる、この間に真空ユニットに流入した汚水は真空弁の作業により真空管路に吸引される。真空管路に流入した汚水は、それに続く「汚水収集モード」で併せて収集するものとし、このとき真空ポンプの能力は 5 分間分の汚水量を 4 分から 4 分 30 秒で収集可能な機種を選定する。

従来形と新たに考案した道路下埋設形の容量計算結果を比べると、図 7 のようになる。道路下埋設形の集水タンク容量は、従来形の約 1/2 である。これにより、設置面積とコストを大幅に削減することが可能である。

また、設置個所の地盤状況などから、深く掘削できない場合は、集水タンクの内径を大きくし、高さを低くすることによって設置時の掘削深を浅くすることも可能である。

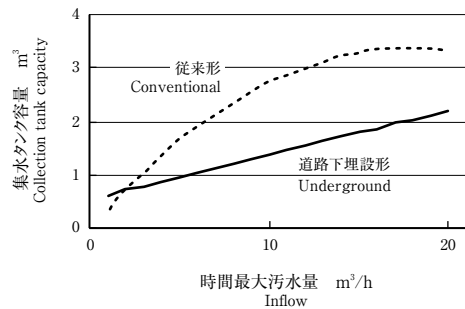


図 7 集水タンク容量の比較
Fig. 7 Comparison in collection tank capacity

3-3 逆止弁ユニット

逆止弁ユニットは1号マンホール内に汚水対応形逆止弁を設置したもので、真空管路と集水タンクの間を設置し、汚水排水モードの時に集水タンク内の中に送り込んだ空気が、真空管路に流れ込むことを防止する。

3-4 運転方法

本真空ステーションの運転は集水タンク内の真空度、水位によって制御され、図8、9に示す運転チャートと運転パターン図のように「汚水集水モード」と「汚水排水モード」の繰り返しによって行う。

3-4-1 汚水集水モード

汚水集水モード時は、集水タンク内の真空度を設定された圧力範囲内に保つよう真空ポンプを正回転で運転する。

真空ポンプ停止時には真空ポンプと集水タンクの間を設置した電動弁を閉じる。集水タンクの水位が設定された水位に達すると、「汚水排水モード」に切り替わる。

3-4-2 汚水排水モード

集水タンク内の水位が設定値に達すると「汚水排水モー

ド」に入り、集水タンクに取り付けられた真空破壊弁を「開」にし、集水タンクを大気開放する。次に、真空破壊弁を「閉」にし真空ポンプを逆回転で起動させ、集水タンク内を正圧にし、その圧力によって集水タンク内の汚水を排水する。集水タンク内の水位が設定値より低くなると真空ポンプを停止し、「汚水集水モード」に戻る。

3-4-3 電動弁の運転方法

電動弁は、真空ポンプ停止時に真空ポンプが集水タンクの残圧により、自然回転し、集水タンク内の圧力が漏れることを防ぐために設置する。従来形の真空ステーションではこの位置に、逆止弁を設置していた。本真空ステーションでは、汚水集水モードと汚水排水モードで空気の流れが逆になるため、逆止弁に替え、電動弁を設置した。当社工場の基本運転の実験を行った際、この電動弁の開閉と真空ポンプの停止・運転のタイミングが適切でない電動弁が開から閉に切り替わる途中で圧力が漏れることが予見されたため、条件を変えながら実験を行った結果、電動弁の開度が20%の時に真空ポンプの起動・停止を行えば、集水タンク内の圧力は漏れることがないことが確認でき、この運転方法を採用した。

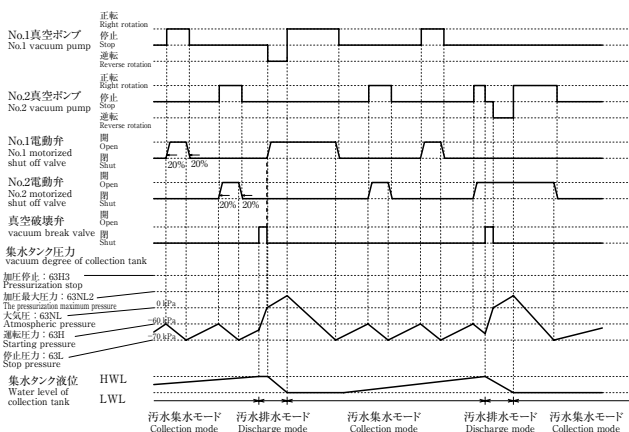


図8 運転チャート図

Fig. 8 Operation chart of underground vacuum station

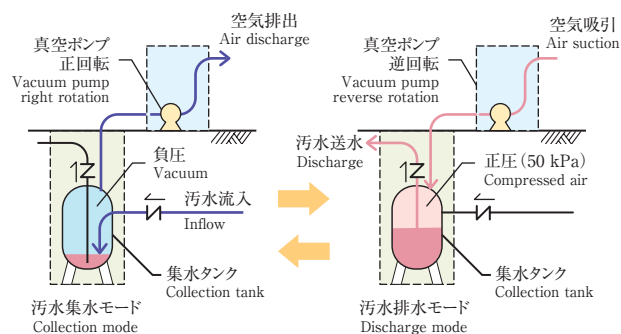


図9 真空ポンプの運転パターン
Fig. 9 Operation pattern of under



写真2 実機1号機
Photo 2 System No.1

06-106 02/213



06-106 03/213

写真3 実機1号機の内部
Photo 3 The inside of system No.1

脱臭剤交換等が容易であり、フレームを引き出した状態での運転も可能である。本機の概略仕様を表3に示す。

4. おわりに

我が国の下水道普及率は2004年度末で68.1%であるが、人口5万人未満の市町村では36.3%と小さな市町村ほど下水道普及率が低くなっている。このことから、今後、小規模な下水道計画が増加すると予想される。また、下水道が未設置の地域には自然流下式での適用が困難な地域が多くある。このような地域を経済的に下水道整備

表3 佐賀県江北町道路下埋設形真空ステーション概略仕様
Table 3 Specifications of plant equipment

地区名 Location	佐賀県江北町上惣地区
計画時間最大汚水量 Design flow	11.83 m ³ /h
真空下水管延長 Pipe length	1756.8 m
真空ポンプ Vacuum pump	3.7 kW × 3台 (交互運転) (Independent mutual operation)
供用開始 Start of services	2006年4月

するために真空式下水道収集システム並びに道路下埋設形真空ステーションが活用できると考えている。

道路下埋設形真空ステーションの特長をまとめると次のようになる。

- (1) コンパクト
- (2) 圧送ポンプが不要
- (3) メンテナンスが容易
- (4) 低コスト

最後に、試作機の設計、製作、騒音試験にあたり、御指導、御協力いただいた関係各位に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 清水ほか1名, エバラ時報, No.181, P.82~92 (1998).
- 2) 真空式下水道収集システム技術マニュアル, 2002年度版, (財)下水道新技術推進機構.

