

II-219 段差付きチャンバーによる水頭損失

東京都立大学 正員 宇井 正和  
 東京都立大学 正員 安川 浩

1. はじめに

下水管渠系内の流況を解析する場合、管路部での解析の他に、マンホールや、合流部分での管路接続用柵等(以下チャンバーと呼ぶ)での水理的特性を明確にする必要がある。平常時では差程目だたないこれらの特性が、豪雨時のように、水位が満管に近いか、あるいは完全に被圧状態になった場合にはそこでのエネルギー損失が増大し管路疎通能力の大幅な減少や、チャンバー間での流体振動現象などを発生させる危険性を有している。従来、下水管渠のチャンバーでは管路の補修や力学的強度が重視され、それらの持つ水理的特性については殆ど研究されておらず、そこでのエネルギー損失は通常の管路における急拡、および急縮による損失係数をそのまま用いているのが実状である。

一般に下水管渠チャンバーでは、接続される管路の高さが地形等に対応して、上下流側で異なる場合が多い。ここでは、そのような流入および流出管路の高さに段差のあるチャンバー内でのエネルギー損失を、被圧管内流を想定して、実験的に調べようとするものである。

2. 実験装置

段差付きチャンバーのモデルとして(図-1)に示すような3種類の模型を用いた。TYPE I は管路間に段差の無い場合のものである。TYPE II は両管路の段差を5cmとし、流入出両管の断面の一部が重なり合う場合のものであり、TYPE III は、管路段差が15cmあるため流入した流体の運動量は全て管壁に遮られる場合にあたる。チャンバーは、直径15cm、

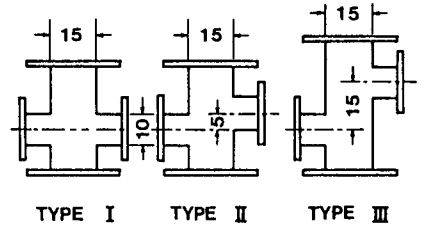


図-1

高さ35~45cmの亚克力製であり、管路も上、下流管とも直径10cmの亚克力製を用いた。管路はチャンバーに対して直線上に接続してある(図-2)。

チャンバーによる損失水頭を測定するために、チャンバー上流側に1箇所、下流側には7箇所測定用マンメーターを付けた。管路上流端は大きな水槽に接続して一定流量が供給出来るようにし、その流量は管路上流部のベンチュリー管より算定すると共に、計量升で計って検定した。チャンバー内の流況を見るために、上流側よりトレーサーを注入して、流跡線を追跡すると共に写真撮影を行った。

3. 結果と検討

実験で用いた流量は2~10 l/sであるが、管路は小流量に対して開水路状態になるので、想定している満管状態をつくるために下流端の整流水槽のゲートを上げて調節した。それ故、管路内を満管にする最小流量が各タイプで異なり、特にTYPE IIIでは5 l以下の実験を行うことが出来なかった。

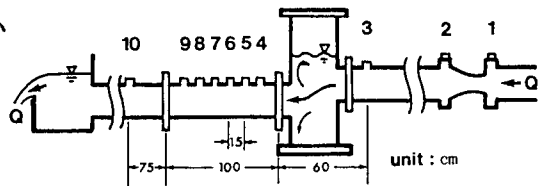
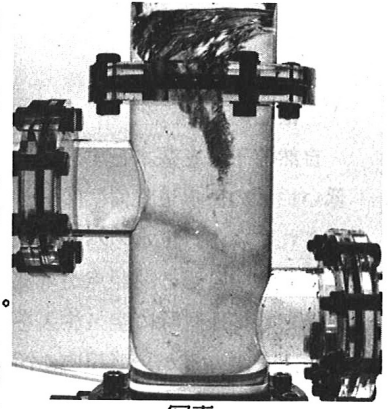


図-2

チャンバー内の流況を以下の様にまとめることが出来る。TYPE Iでは流量が増しても、チャンバー内の水面は比較的安定し、平面を保っていた。管中心部に注入したトレーサーの大部分は真っ直ぐ下流側管路へ流れるが、管頂部および管底部近傍に注入したトレーサーの一部はチャンバーの上(水面)方向あるいは下(底面)方向へと流れ込み、その部分に対流があることを示している。TYPE IIでは上流からの水流の一部がチャンバーの壁に衝突するため、流れの方向を上方に変えて水面を隆起させる。流量が増すと水面の乱れは更に大きくなり、そこで生じた空気の水がチャンバーの内部に引きこまれる現象が見られた。

TYPE IIIではTYPE IIでの特徴が拡大され、特に、流量増加に伴いチャンバー内水面上の、管軸に対して左右両側に縦渦が交互に発生する。さらに流量が増すと、どちらか一方の渦が卓越し、大きなロート状渦となり、流出管内部へ大量の空気を吸込んで行く（写真参照）。渦の回転の方向は必ずしも一定ではなく、人為的にその方向を変えることもできる。回転を抑えても、再び回転を始めるから、渦の存在が一つの安定状態を作っていると考えられる。しかし、流量が8ℓ以上になると、それまで存在していた渦が消滅し、水面も安定してくる。しかも、人為的な操作を加えても渦が発生しないことから、渦の存在する流量範囲があることを示している。トレーサーによる観察で全タイプに共通することは、トレーサーがチャンバーの上部と底部に多く集まることである。管頂部に注入したトレーサーがチャンバーの底部に、そして逆に管底に注入したトレーサーが水面近傍にも集ることから、チャンバー内の底部と水面の間で大きな対流が存在していることが分かる。さらに、管路中央部から注入されたトレーサーは、乱れの少ない形で流出管へと流れ込み、チャンバー壁による攪乱の影響が少なかった。この事は、チャンバー内に対流が存在していても、中央部を通過する流れは生じないことを示すものである。



写真

マンメータからの圧力を用い、管路内のそれぞれの場所での全エネルギーを次式によって求める。

$$H_T = \frac{V^2}{2g} + \frac{P}{\rho g} + Z$$

ここに、 $H_T$ : 全水頭、 $z$ : 管路の高さ、 $p$ : 圧力、 $v$ : 流速である。各場所での全水頭を比較することにより、管路に沿ったエネルギー勾配が求まる。この勾配に従ってチャンバーの位置での全水頭を外挿すれば、測点NO.3での全水頭との差から、チャンバー内で生じたエネルギー損失水頭(H)が計算される。

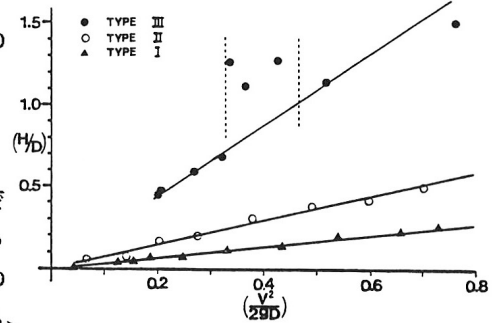


図 - 3

この損失水頭を運動エネルギーと比較したものを図-3に示す。しかし、図中の損失はチャンバー内の全損失ではなく、管路の段差を差し引いたものを図示している。図中の実測値は全てのタイプにおいて、直線上に分布し、エネルギー損失が流体の運動エネルギーと比例関係にあることを示す。それ故、チャンバーによるエネルギー損失係数はこれらの直線の勾配 ( $f = H / (v^2 / 2g)$ ) として求められ、ここでは、 $f_I = 0.35$ 、 $f_{II} = 0.72$ 、 $f_{III} = 2.18$  が得られた。ただ、TYPE IIおよびTYPE IIIでは管路段差を差し引いてあるため、実際の損失係数では段差分を加えてやる必要がある。

注目すべき事は、TYPE IIIの実測データの中で大きく外れた点が数個集っているが、これらの領域は、前述の渦の発生する流量範囲と一致することである。即ち、管内流量には、渦を発生させてチャンバー内のエネルギー損失係数を急激に増大させる範囲があり、流量がこの範囲に到達すると管路の疎通能力は極端に減じ、結局チャンバーによる閉塞効果が生じる事を示している。

以上のように、チャンバーには損失水頭を急増させる可能性があることを示したが、さらに、渦の発生が、チャンバーのサイズや形状や流量とどのように関連しているか明らかにする必要がある。

実験、およびデータ整理において学生であった、浜田 信、藤原秀一郎、大橋 幸雄、各氏の協力を得たことを記し、感謝の意を表す。

#### 4. 参考文献

- (1) J.Marsalek, Head Losses at Sewer Junction Manholes, ASCE Vol.110 No.8 1984
- (2) M.B.Abbott, J.A.Cunge, Engineering Application of Computational Hydraulics, Vol.5, Pitman