

II - 152

地下放水路全体の水理挙動に関する実験的研究

建設省土木研究所 正会員 海野 仁
同 上 同上 栗城 稔
同 上 同上 田中 義人

1. はじめに

過密した都市域の洪水対策の一貫として地下放水路を導入するには、地上の放水路では考慮する必要のなかったいくつかの技術的課題を解決する必要がある。特に地下放水路の流れは、管路流れ、開水路流れが混在し、しかも実際の運用では、下流端のポンプ施設の急停止などの事態も予想されることから、その水理挙動を事前に十分把握しておく必要がある。本研究は、地下放水路全体の水理挙動に関する水理模型実験の結果を報告するものである。

2. 実験目的

地下放水路の水理挙動のうち、放水路全体の動水勾配、開水路流れから管路流れへの遷移時における水面および空気の水理挙動、排水機場のポンプが急停止した場合の水理挙動を把握することを目的に、水理模型実験を実施した。

3. 実験方法

実験は、図-1に示すような放水路全体を対象とした模型を用いて行った。模型は、放水路内の流況が観察できるようにアクリル板で作られている。この地下放水路は、上流からA川、B川、C川の洪水を取り込み、下流端でD川に排水する地下放水路で、延長6.3kmの地下トンネル部分と、A川の洪水が流入する第5立坑、B川とC川の洪水が流入する第3立坑、地下放水路を流下した洪水をD川に排水する第1立坑と排水機場、サージタンクとシールド機発進およびマシンメンテナンスに必要な立坑とを兼ねた第2、第4立坑などから構成される。模型では流入量や排水量をインバータ・ポンプで制御し、動水勾配を模型各点に設置したマノメーターで、またサージングの状況を立坑底面に設置した水圧センサーで計測した。表-1に、模型の各諸量の縮尺を示す。

表-1 諸量の縮尺

模 型 縮 尺	実物量	模型量
流下方向縮尺 $X_r=1/80$	6.3 km	78.8 m
鉛直縮尺 $Z_r=1/50$	50.0 m	100 cm
管径縮尺 $D_r=1/50$	10.0 m	20.0 cm
流速縮尺 $U_r=Dr^{1/2}=1/7.07$	2.5 m/s	35.4 cm/s
流量縮尺 $Q_r=Dr^{5/2}=1/17.678$	200.0 m ³ /s	11.3 l/s
粗度縮尺 $nr=Dr^{2/3}X_r^{-1/2}$	0.015	0.010
時間縮尺 $Tr=Dr^{-1/2}X_r=1/11.31$	1.0 hr	5.3 min

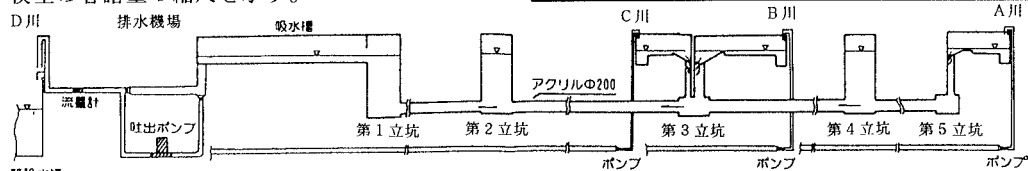


図-1 模型全体図

4. 実験結果

4.1 放水路全体のエネルギーロス

A川から第5立坑への導水路の水位を一定とした条件で、放水路全体の動水勾配線を比較した（図-2）。ここで、ケース1はA川より40m³/s、B川より50m³/s、C川より10m³/s流入し、D川へ100m³/s排水するケース、ケース2はケース1の流入量、排水量を2倍にしたケース、ケース3はケース1の2.5倍にしたケースである。地下放水路の計画流量にほぼ等しいケース2では、排水機場水位がA川流入部水位に比べ約3.8m低下した。また、流れのエネルギーの約半分が立坑への流入、立坑からの排水、途中の合流などで

消費される結果となった。地下放水路の設計にあたっては、トンネル本体部の摩擦損失を低く抑える工夫のみならず、流入、排水、合流などに伴う損失をいかに小さくするのが課題と言える。

4.2 流れの遷移と水面および空気挙動

地下放水路を平常時に空の状態で管理した場合、洪水時には空の状態から開水路、そして管路へと流れの状態が変化することになる。流れの遷移時における水面と空気挙動を把握するため、モデルに計画流量を急激に流入させ、流況を観察した。

地下放水路には、排気を円滑化するために、洪水が流入する第5立坑、第3立坑には排気口が配置されている他、第1、第2、第4立坑からも排気が行われる。管がほぼ満管となった状態では、管内の空気がまず第4立坑から排気された。その後第3立坑の排気口からの排気も見られるが、この時点では本管内に流れがほとんどないので、本管頂部に空気塊が残される。その後、立坑上部にまで水位が達し、下流部の排水機場からの排水が始まると、管内に流れが生じる。管頂部に残存していた空気塊も下流に流下し始め、各立坑から排気される。これらの排気現象はモデルで観察する限りでは滑らかで、立坑部での噴き上げや管体に決定的なダメージを与えるような空気塊の圧潰はみられなかった。

4.3 ポンプ急停止によるサージング

排水機場のポンプは故障や停電などの理由により突然運転が停止してしまうことが有り得る。ポンプ急停止に伴うサージングを、実験により再現することを試みた。

実験条件は、計画流量流下時に排水機場のポンプが突然半数停止し、排水量が半減するものとした。このとき、実際の河川では流入部の水位が上昇し、それに伴って流入する量が徐々に減少して半数のポンプによる排水量に対応する定常状態に移行するものと考えられるが、実験ではサージング現象が明確に現れるように、ポンプ半数停止と同時に河川からの流入量を50%に調節した。

各立坑水位の経時変化を、図-3に示す。ここで、時刻0分にポンプが停止した後、第1立坑では水位が上昇し、第2～5立坑では水位が下降した。また、各立坑水位とも周期12分程度の上下運動を繰り返し、時刻60分にはほぼ一定値に安定した。安定後の水位はポンプ半数停止以前に比べ、第1、2立坑で上昇、第4、5立坑で下降した。これは、放水路の全区間で流量が半減し、動水勾配が緩くなったためである。各立坑の振幅は、上流に行くほど大きくなる傾向が見られ、第1立坑では最大振幅が1.2mであるのに対し、第5立坑では6.0mに達した。なお、第5立坑の水位の最高値は、ポンプ停止前に比べ0.6m、安定後水位に対し3.4m高くなった。これらのデータは、立坑の高さの決定や流入部の水門の操作規則の策定に必要とされる。

5. おわりに

本稿は、地下放水路全体の水理挙動に関する実験結果をまとめたものである。実験は放水路全体を一つの模型としたため小縮尺となり、計測精度が不十分な点もある。これについては大縮尺の抽出模型実験や数値解析の結果などを見比べながら、地下放水路設計に必要となるデータを蓄積していく予定である。

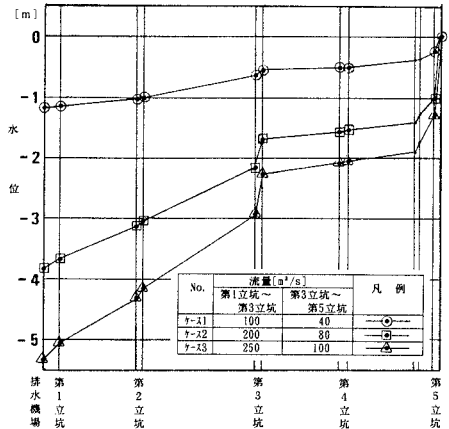


図-2 放水路の動水勾配

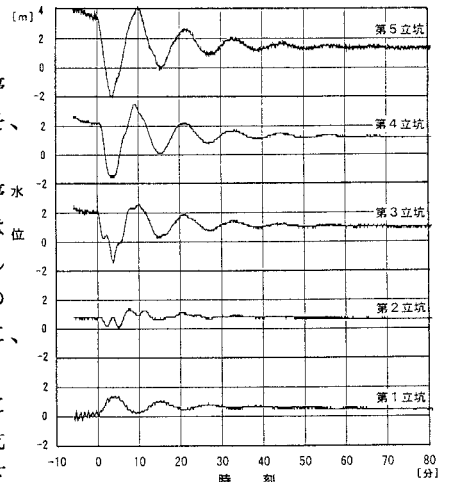


図-3 立坑水位の経時変化