

II-147 管路・開水路流れ境界面が発生する管路系のサージング解析法について

運輸省 正員 北原 政宏
西松建設技術研究所 正員 多田 彰秀
京都大学工学部 正員 細田 尚
京都大学防災研究所 正員 井上 和也

1. はじめに：本研究は、管路流れと開水路流れの境界面が生じる場合の、管路系のサージング解析法について考察したものである。たとえば、水力、火力発電所放水路において負荷遮断などによって流量が急変すると、サージタンクや立坑が存在する場合、その水位も大きく変動する。水位が減少し放水路天端より低くなると、開水路流れと管路流れが共存する状態が現れる。林 [1] は、このような現象に関して、水面を放水路天端より立坑水位と下流水位を結んだ直線で近似する簡易解析法を提案した。しかし、この方法は、境界面が上流端の立坑近くにあることを前提としており、境界面が複数発生する場合への適用も難しい。そこで本研究では、任意の位置に複数の境界面が発生する管路のサージング現象に、管路・開水路流れ境界面の伝播を考慮した非定常流解析法 [2] を適用し、現象の再現を試みる。

2. 水理実験の概要：本研究で解析の対象とした、立坑を有する管路系のサージングに関する水理実験の概要を説明する。実験は、西松建設技術研究所において図-1に示す管路系を用いて行われた。本研究では、図-2の上流と下流二つの立坑を塞ぎ、管路中央に立坑が一つ存在する状態で、上流水槽下流の手動バルブを急閉することにより流れを遮断し、図-2に示した位置に設置された圧力変換器によって遮断後の水圧を計測した。また、管路中央の立坑水位の変動と境界面が左右に伝播する様子、その後揺れ戻しにより再び立坑水位が急上昇する様子をビデオと写真撮影した。

実験の水理諸量を表-1に示す。遮断後の境界面の伝播過程を図-3に示す。また、図-4(a)~(c)には計測された圧力と時間の関係を示した。図-4(a)、(b)、(c)は各々立坑上流側、立坑位置、下流側の時系列である。図-4(a)を見ると、流量遮断直後に水撃波と考えられる圧力の激しい振動が見られる。図-4(b)、(c)を見ると、立坑位置から下流では水撃波の影響が見られないことがわかる。水撃波は速やかに減衰し、その後立坑付近で境界面の伝播を伴うサージングが生じている。

3. 計算結果と実験結果の比較：管路・開水路流れ境界面の伝播を考慮した非定常流解析法 [2, 3] を用いて上述の現象を再現し、実験結果と比較する。この解析法では流体の非圧縮性が仮定されている。流れ方向の格子間隔 $\Delta x=4(\text{cm})$ 、時間間隔 $\Delta t=0.01(\text{sec})$ として実験条件のもとで計算を行った。そのさい、流量の遮断の時間を0.1(sec)として、上流端流量を初期の流量から0まで線形に減少させた。また、境界

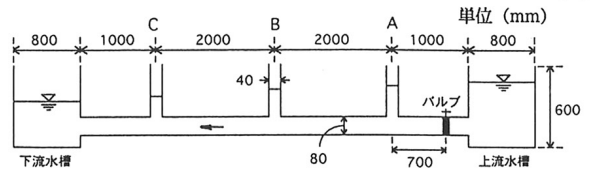


図-1 実験装置の概要

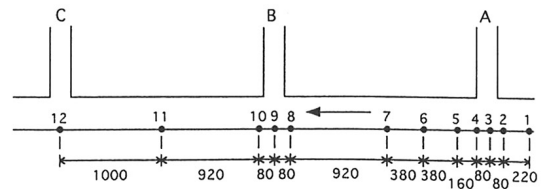


図-2 圧力変換器の位置

表-1 実験の水理諸量

Q (l/s)	u (m/s)	粗度係数	レイノルズ数	立坑 A	立坑 B	立坑 C
1.78	0.36	0.0085	28,800	無	有	無

下流水槽水位 管路天端より5.5 (cm)

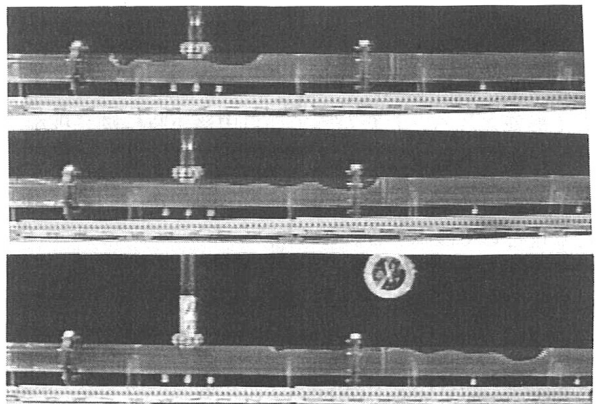


図-3 流量遮断後の流れ

面近傍のよどみ点圧力処理 [3] は行っていない。図-4に対応する位置の圧力と時間の関係を図-5に示した。解析では非圧縮性を仮定しているため、遮断直後の水撃波は再現できないが、水撃波減衰後のサージングは実験結果とほぼ適合している。図-6は遮断後0.7秒と2.1秒の水深分布である。境界面近傍の水面形が実験結果と適合しておらず、境界面の圧力処理および圧力分布に鉛直加速度を考慮する必要性 [3] が示唆される。また、図-6(b)のように空気泡が閉じ込められる場合には、空気圧の変化もモデル中に考慮する必要があるだろう。

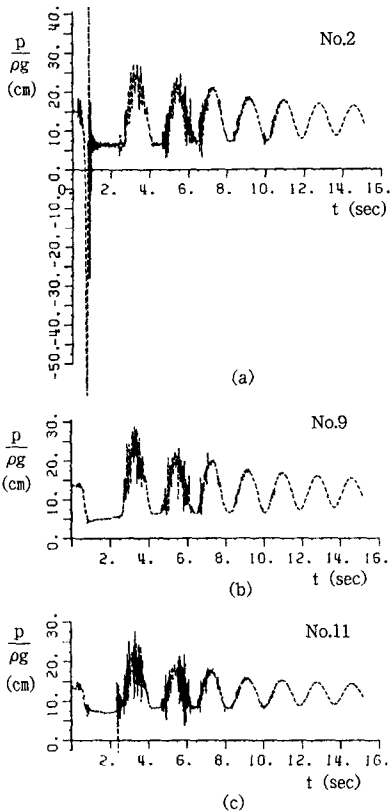


図-4 圧力と時間の関係 (実験結果)

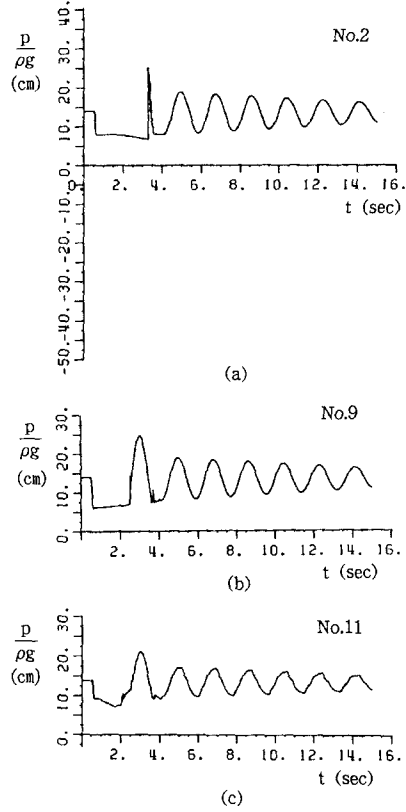
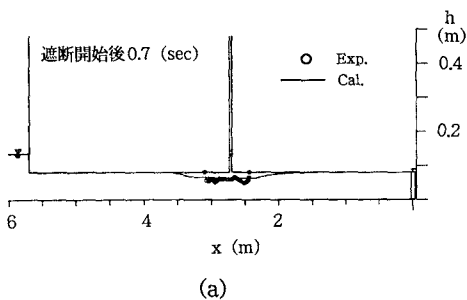
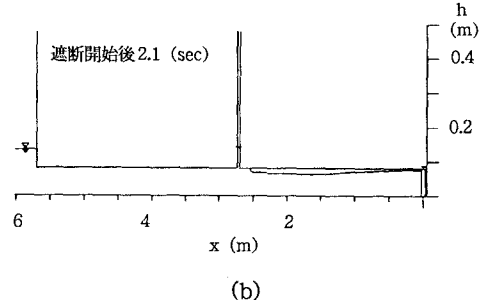


図-5 圧力と時間の関係 (計算結果)



(a)



(b)

図-6 境界面の伝播過程

4. おわりに：今後、水面形の再現性について検討するとともに、実験条件を変化させた場合の解析法の適用性について検討したい。

参考文献 [1] Hayashi, T.: 土木学会論文集, 第71号, pp.1-6, 1960, [2] 細田・井上・多田: 京都大学防災研究所年報 第36号B-2, pp.593-605, 1993, [3] 細田・多田・井上・北原: 第7回数値流体力学シンポジウム, pp.371-374, 1993.