

II-190 円管内の管・開水路境界と不等流

東京都立大学工学部 正員 安川 浩

正員 宇井正和

神奈川県土木部

大橋幸雄

1. はじめに

近年の市街地土地利用の高度化は既成遊水池を減じ、豪雨時の雨水排除における都市下水道への依存度を増大させている。東京都では豪雨時のピークカットを目的とする雨水貯流管が既に運用を開始し、更に大規模な施設も計画中と聞く。他方、既設下水処理施設の高効率・省人化の趨勢は必然的により正確な下水管渠内水流の流況把握を要するであろう。この観点から管渠内の管・開水路混成流の挙動を考察するとき、開水路非定常流解析のため初期及び境界条件を設定せねばならず、開水路区間の確定を要する。開水路不等流の基礎式によれば、マンニング粗度係数 n が水深に関して一定である場合には、対応する管頂に至る水面形を追跡することができるが、実験により再現することは筆者等にはできなかった。他方、Chow⁽¹⁾に示されているように、粗度係数が水深により28%も変化するものであるならば、筆者等の実験で再現できなかったことはそれに起因するものであったのであろうか。この点を明らかにし、また管・開水路境界の設定条件を得る目的で2種類の内径(10cmと16cm)に応じた長さ1mの亚克力管をフランジで繋ぎ、ステンレス金網による人工粗度の有無による不等流水面と管・開水路境界を発生させ検討した結果を報告する。

2. 不等流水面形と最適粗度係数

内径10cm 測定区間長17m、及び内径16cm 区間長10mの2種の亚克力管路に各々1/500及び1/80の理想勾配を与え、人工粗度にはそれぞれ12および10メッシュのステンレス金網を用いた。水位測定は管頂に50cm間隔で設けた1/8インチ径のコック開口部に測針を通して行った。一方、管路勾配は長さ1mの管路要素毎に測定し、Keifer & Chu⁽²⁾の方法に従い粗度係数const.の条件下で基礎式を積分し実測の水面形と比較した。流量範囲は管径10cm水路では毎秒0.6~3.2リットル範囲の14ケース、また16cm水路では0.3~23.1リットル範囲の26ケースで、せき上げ背水曲線区間では管頂に達するまで、また低下背水区間では管頂から管・開水路境界を形成する部分を含む水面形について粗度係数の水深による変化に注目して、せき上げ背水では水路上流端の水深を下流端に移しながら1ケースとしての水面形を追跡した。流量増加に伴う管路流入部での実測値の計算値からのズレが拡大する傾向が見られる点を留意すれば、水深による粗度係数の変化はさほど顕著ではない。緩勾配(1/500)の粗・滑面に対する管頂へ接近する水面形の一例ずつを図-1及び図-2に示す。

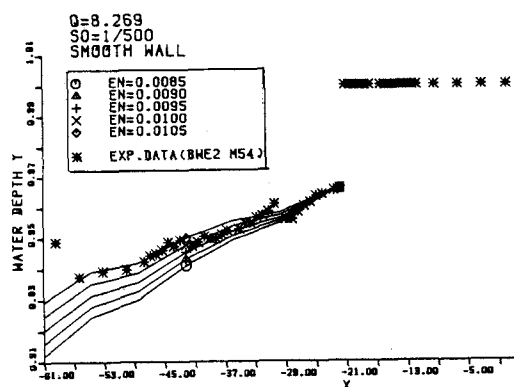


図-1

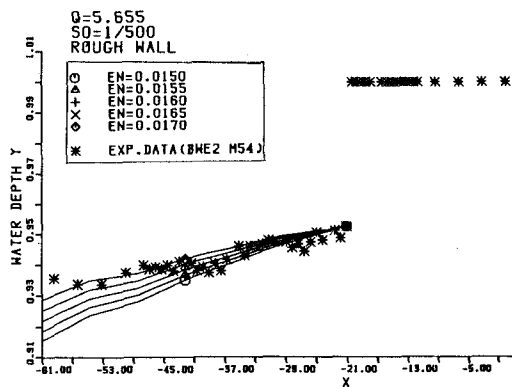


図-2

3. 管・開水路境界の設定法

図-1及び図-2は管径 d で無次元化された水深 y と管軸に沿い下流に向かう距離 x により表された上流側の不等流水面が不連続的に管頂に向かう「水面上昇 (rising up)」の例であるが、この不連続な管・開水路境界をあいだに挟む鉛直な2検査面に関して運動量方程式を適用すれば次式が得られる。但し添え字(1)は管路側を、また添え字(2)は開水路側断面に対応するものとする。

$$\rho Q (u_1 - u_2) = P_2 - P_1 - p_0 A_1 \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに Q は流量、 $u_i (i=1,2)$ は流速、 $P_i (i=1,2)$ は水圧による力、 p_0 は断面(1)の管頂における圧力、 $A_i (i=1,2)$ は流水断面積である。

前報(3,4)では、不連続断面および断面(1)の管頂と交わる2点間にベルヌーイの定理を適用し、 $p_0 = \rho u_1^2 / 2$ の関係を用いたが、管壁に対する相対速度を無視できない本報告における現象に対しては実験定数 α を導入し、 $p_0 / \rho g = \alpha u_1^2 / 2g$ を用いる。なお、水面上昇の場合を念頭に式(1)を導いたが、管路流れから開水路への「水面降下 (falling down)」の場合も形式上全く同一である。連続式を考慮し、式(1)を変形すれば、開水路側水深 y_2 がみとすべき条件は次式で表される。

$$Q_*^2 \{ (1 - \alpha / 2) - A_1 / A_2 \} - A_1 \cdot P_1 \cdot (P_2 / P_1 - 1) = 0 \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに無次元流量 $Q_*^2 = Q^2 / g d^5$ 、 $A_1 = A_1 / d^2$ 、 $P_1 = P_1 / \rho g d^3$ 、 d は管径である。

パラメタ α による無次元流量と無次元水深の関係を壁面の粗滑、常流射流、水面の上昇下降等…実験条件毎の測定結果と共に図-3に示す。水深の測定が実際の管・開水路境界に最も近い測深用コック開口部からなされた事を考慮すると、実験定数 α の最適値は0.2程度と見なされる。

3. 結論、及び今後の課題

実験室内小規模実験の枠内で、管頂に至る管内不等流水面は式(2)で与えられる最大水深 y_2 において管路流れへ不連続的に移行する事が明らかになった。今後より多くの実験・実測により信頼性を高めると共に、非定常な境界への適用性も検討されねばならない。

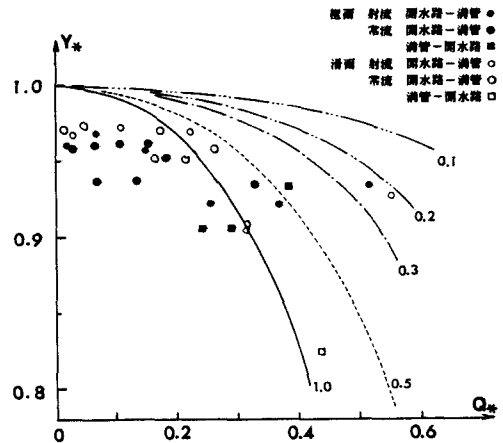


図-3 無次元流量 Q_* と無次元開水路側水深 y_2^*

参考文献

- (1) Chow, V.T., "Open Channel Hydraulics", Mac Graw Hill, 1959.
- (2) Keifer, C.J. and Chu, H.H., "Backwater functions by numerical integration", Trans. ASCE, Vol.120, 1955.
- (3) Yasukawa, H., Ui, M. & Yamaguchi, I., "On the behaviour of an interface separating full/partially-full flow region in a horizontal circular conduit", Proc. 6th APD-IAHR Cong., Vol.II-1.
- (4) Kawaguchi, S., Yasukawa, H. & Ui, M., "On the characteristics of the flow generated by a sudden removal of a vertical barrier separating full/partially-full flow region in a horizontal circular conduit", Proc. 3rd International Symposium for Refined Flow Modelling & Turbulence measurements.