

取付管の調圧効果を考慮したサーチャージ流れの水利模型実験

愛媛大学工学部 正 員 渡辺政広
愛媛大学大学院 学生員 ○山内武志
(株)日立製作所 小池英仁

1. はじめに

都市域の下水道管渠網における取付管の調圧効果を考慮したサーチャージ流れ（圧力流れ）の解析モデル¹⁾を提示し、その適用性の検討を進めている。本報告では、このサーチャージ流れの伝播特性（圧力波伝播速度）について、水利模型実験を行なって検討した結果を述べる。

2. サーチャージ流れの基礎式¹⁾

取付管が多数接続されている実流域の排水管渠（マンホール間の管渠部分）におけるサーチャージ流れの運動方程式および連続式は、それぞれ (1) 式および (2) 式のように表わされる。ここで、水は非圧縮性で、かつ管壁は弾性変形しないとして取り扱っている。また、マンホールでの流れの基礎式は、(4) 式のように表わされる。

$$\frac{1}{g} \cdot \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{V}{g} \cdot \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} - S_0 + \frac{n^2 |V| V}{R^{4/3}} = 0 \cdots \cdots (1), \quad \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{c'^2}{g} \cdot \frac{\partial V}{\partial x} = 0 \cdots \cdots (2)$$

$$; \quad c' = \sqrt{g \cdot \frac{L}{N} (\sin \theta) \frac{A}{A_1}} \cdots \cdots (3), \quad F_M \cdot \frac{dh}{dt} = E(Q_{in}) - E(Q_{out}) \cdots \cdots (4)$$

ここに、 V ：断面平均流速、 h ：管渠底から測った圧力水頭、 c' ：微小擾乱（圧力波）の伝播速度、 R ：径深（ $=D/4$ ）、 A 、 S_0 、 L 、 n ：排水管渠の断面積、勾配、長さ、Manning の粗度係数、 N 、 θ 、 A_1 ：取付管の本数（ L 当たり）、傾斜角度、断面積、 F_M ：マンホールの断面積、 $E(Q_{in})$ 、 $E(Q_{out})$ ：流入・流出流量の合計、 g ：重力加速度、 x ：距離、 t ：時間、。

今、非常に緩やかな排水管渠の定常サーチャージ流れを想定し、これに微小な水深（圧力水頭）変化 h' および流速変化 V' が付加されたときの非定常サーチャージ流れを考えると、次の h' に関する流れの基礎式を得る。

$$\partial^2 h' / \partial t^2 = c'^2 \cdot (\partial^2 h' / \partial x^2) \cdots \cdots (5)$$

(5) 式は 2 階線形の波動方程式であり、したがって c' はサーチャージ流れに付加された微小な擾乱の伝播速度を表わしていることが分かる。

ここで、排水管渠網に多数存在するジャンクション・マンホールを、幾つも（数10～数100本）の取付管が集合したものと考える。この取付管の集合体としての上流端マンホールをも含めた排水管渠におけるサーチャージ流れの伝播速度を $(c')'$ とすると、(3) 式をもとに、 $(c')'$ は次式のように表わされる。

$$(c')' = \sqrt{g \cdot L \cdot \frac{A}{F_M + N \cdot (A_1 / \sin \theta)}} \cdots \cdots (6)$$

3. 水利模型実験

水利模型の概要；排水管渠模型（マンホールを設置しているケース）の概要を図 1 に示す。排水管渠は、全長約 10 m、内径 10 cm の透明アクリル・パイプ製で、管渠頂部には取付管に相当する内径 1 cm の透明アクリル・パイプが鉛直に取り付けられている。取付管の接続本数は、0～41 本まで変えることができる。マンホールは内径 15 cm の透明アクリル・パイプで、3ヶ所設置されている。排水管渠内の圧力（水位）変動は、管渠底の 6 地点に設置された圧力測定装置により記録される。

圧力波伝播速度の測定；
 静水状態において、上流（
 下流）端水槽より水位上昇
 変動を与え、これの排水管
 渠システム内への伝播状況
 を記録した例を図 2 に示
 す（図中の「」印は、反射波
 の影響の及ばない範囲を示
 す）。これら水位ハイドロ
 グラフより、最上流（最下
 流）における各水位上昇量
 Δh の下流（上流）方向
 への伝播速度を測定した。

取付管により規定される伝
 播速度 c' の測定結果を図 3 に、取付管と
 マンホールとの両者によるその結果を図 4
 に、それぞれ (3) 式および (6) 式による算
 定結果（理論値）と対比して示す。これらよ
 り、水位上昇の初期においては、取付管ある
 いはマンホール内の水塊の加速度の影響によ
 り、測定値が理論値を上回っているが、これ
 を過ぎると、理論値によく一致してきている
 ことが分かる。以上より、既に提示している
 (1)～(3) 式、ならびにマンホールを取付管
 の集合体とする実用的な取り扱いの妥当性が
 明らかとなる。

1) 渡辺・
 竹内・川裾：取付管の調圧効果を考慮した下
 水道管渠網の雨水流出モデル、第 33 回水理
 講演会論文集、pp. 157～162、1989。

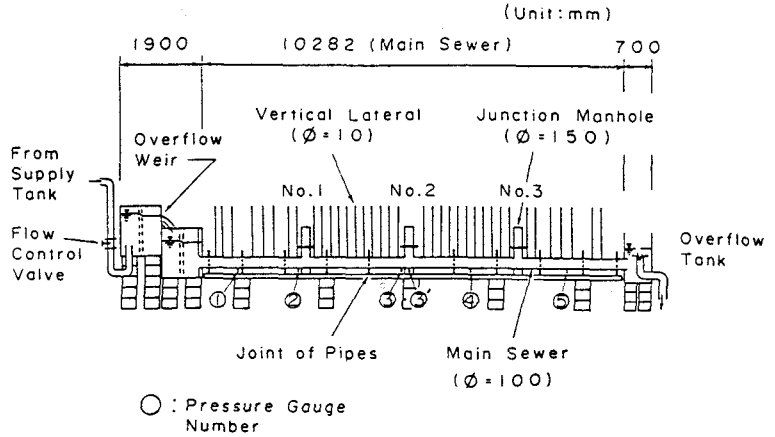


図1 排水管路模型

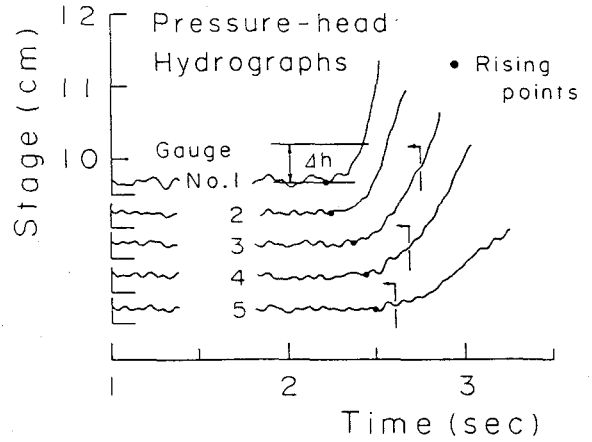


図2 水位ハイドログラフ

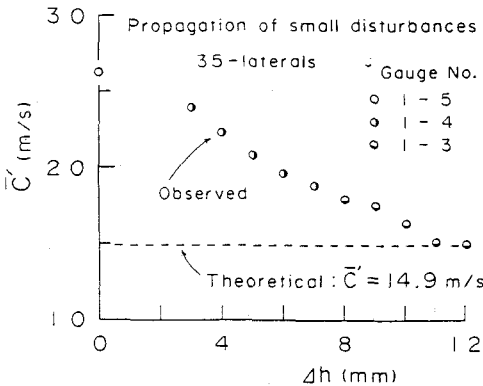


図3 c' の測定・算定結果

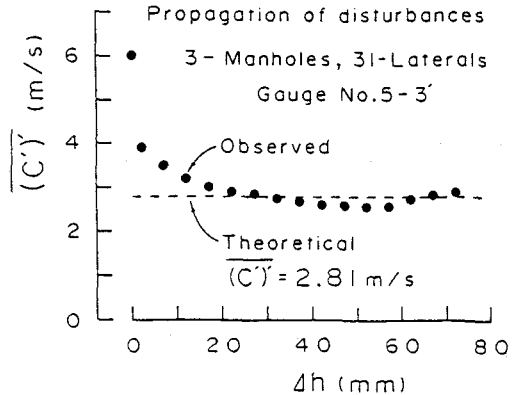


図4 $(c')'$ の測定・算定結果