

Highly Deformable Sewer Pipe を用いた圧力流れの解析に関する検討

愛媛大学大学院	正員	○山内	武志
愛媛大学工学部	正員	渡辺	政広
復建調査設計(株)	正員	栗原	崇
(株)荒谷建設コンサルト	正員	岡本	晋

都市域の雨水排水システムを構成している各排水管渠には、雨水・汚水排水用の取付管 (laterals, $\phi = 150 \text{ mm}$) が多数接続されている。こうした雨水排水管渠における圧力流れを、その基礎式が開水路流れのそれと同型の圧力流れへと置き換える方法について、本報告では、Highly Deformable Sewer Pipe における圧力流れへの置き換えを取り上げ、こうした方法の適用性について、数値シミュレーションを行なって検討した。

1. 取付管を有する排水管渠における圧力流れの基礎式

図1のように、雨水・汚水排水用の取付管が多数接続されている実流域の排水管渠における圧力流れの運動方程式と連続の式は、それぞれ次式のように表される。

$$(1/g)(\partial V/\partial t) + (V/g)(\partial V/\partial x) + \partial y/\partial x - S_0 + S_f = 0 \quad \cdots \textcircled{1}$$

$$\partial y/\partial t + (c'^2/g)(\partial V/\partial x) = 0 \quad \cdots \textcircled{2}$$

$$; c' = \{ g(\Delta L)(\sin \theta)(D/D_1)^2 \}^{1/2} \quad \cdots \textcircled{3}$$

ここに、 V : 断面平均流速、 y : 管底から測ったピエゾメータ水頭、 S_0 : 管渠底こう配、 S_f : 摩擦損失こう配、 D : 管渠の直径、 ΔL 、 θ および D_1 : 取付管の平均取り付け間隔、平均設置 (水平面からの) 角度および直径、 g : 重力加速度、 x : 距離、 t : 時間。また、摩擦損失こう配は次式、 $S_f = n^2$

$|V|/R^{4/3} \quad \cdots \textcircled{4}$ ここに、 n : Manning の粗度係数、 R : 径深 ($= D/4$)、のように表される。

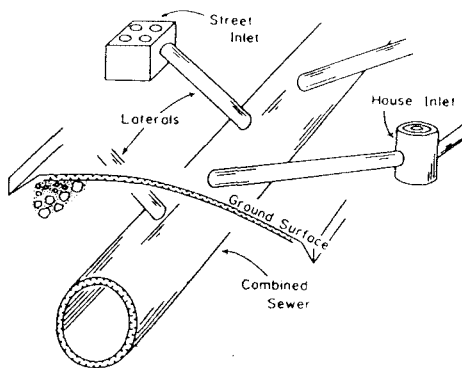


図1 取付管

2. Highly Deformable Sewer Pipe における圧力流れへの置き換え

圧力流れの基礎式 : 上述した取付管による流水の貯留効果を伴う圧力流れが、取付管は接続されていないが管渠自体の流水断面積が増減しえる排水管渠における圧力流れに置き換え得ると仮定する。こうした管渠断面積 (= 流水断面積) の変化の大きい排水管渠 (Highly Deformable Sewer Pipe、以下においてはHD管渠と呼ぶ) における圧力流れの運動方程式および連続の式は、それぞれ次式のように表される。

$$(1/g)(\partial V/\partial t) + (V/g)(\partial V/\partial x) + \partial y/\partial x - S_0 + S_f = 0 \quad \cdots \textcircled{5}$$

$$\partial y/\partial t + V(\partial y/\partial x) + (a^2/g)(\partial V/\partial x) = 0 \quad \cdots \textcircled{6}$$

$$; a = \delta^{1/2} \cdot a_0 \quad \cdots \textcircled{7}$$

$$; \delta = (r_0/r)^2 \cdot [\{ (\beta-2)/\beta \} \cdot (r/r_0)^\beta + 2/\beta] \quad \cdots \textcircled{8}$$

ここに、 r_0 および a_0 : $y = D$ のときのHD管渠の半径および圧力波の伝播速度、 r および a : $y > D$ のときのHD管渠の半径および圧力波の伝播速度、 β : HD管渠壁の非線形弾性変化に関する係数。なお、 y と r との関係は、次式のように表される。

$$(r/r_0)^2 - (2a_0^2)/(gD) / \{ (y/D) - 1 \} \cdot \{ (r/r_0)^\beta - 1 \} / \beta = 0 \quad \cdots \textcircled{9}$$

パラメータ δ および β の取り扱い : ⑧、⑨式から明らかなように、 δ は y 、 a_0 および β の関数であるが、ここでは実用上の立場から、 $1 \leq y/D \leq 9$ なる y の範囲を通じて $\delta \approx 1$ と見なしえるよう、 β および a_0 を選ぶこととする。この近似条件を満たす β と a_0 の関係を⑧および⑨式より求めると、図2 (ここに、 $a_{0*} = a_0/(gD)^{1/2}$) のようになる。ここで、 $1 \leq y/D \leq 9$ での相対誤差 (平均値) は、最も

大きい場合 ($a_{0*} = 5$) でも 0.5 % 以内である。

c' と a_{0*} の関係： 取付管を有する排水管路での取付管内貯留量 V_{c*} と、これに対応するHD管路における管路断面増加量 V_{a*} との関係 (管路の単位長さ当たり) は、上述した $1 \leq y/D \leq 9$ の範囲において、図3に示すようになる。ここに、貯留量および増加量は、 $y = D$ のときの管路断面面積に対する比率 (%) で表されている。これより、任意の y/D に対し、取付管内貯留量と管路断面増加量とがほぼ等しくなるときの、すなわち $V_{c*} \approx V_{a*}$ が成り立つときの c' と a_{0*} との関係を求めると、図4 (ここに、 $c'_* = c' / (gd)^{1/2}$) に示すようになる。図4より、(c'_* / a_{0*}) は 0.95 ~ 1.0 の範囲にあり、実用上からは、 $a_{0*} \approx c'_*$ として取り扱って良いことが分かる。

運動方程式の補正： HD管路における圧力流れは、本来的に、摩擦損失水頭が過小評価

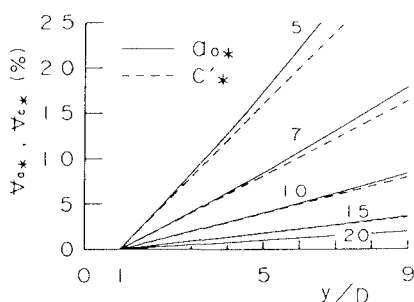


図3 取付管内貯留量と管路断面増加量

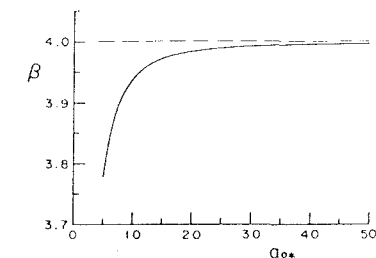


図2 β と a_{0*} の関係

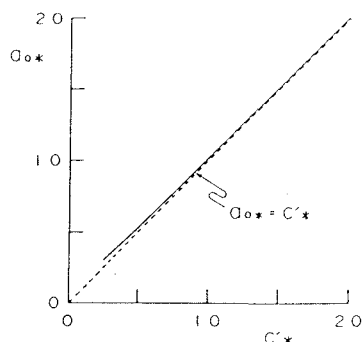


図4 a_{0*} と c'_* との関係

される特性を内在している。また、この過小評価の割合は、管路断面面積の増加に伴って次第に大きくなってゆく。このため、取付管を有する排水管路の圧力流れと対比すると、一般に、水面勾配あるいは水位が小さくシミュレートされ、特に水位ハイドログラフの適合度が低下してくる傾向を示す。こうした点を改善するため、ここでは、定常流れ時におけるHD管路の圧力流れの基礎式が取付管を有する排水管路のそれと一致するよう、HD管路の運動方程式⑤式の摩擦こう配項 S_f に次の補正係数 γ を付加することとした。

$$S_f = \gamma \cdot (n^2 |V| V / R^{4/3}) \quad ; \quad \gamma = (r/r_0)^{4/3} \cdot [\pm (V_{f,11}/a_{0*})^2 + (r/r_0)^4 \{1 - (V/a_{0*})^2\}]$$

$$, V_{f,11} = (D/4)^{2/3} S_0^{1/2} / n \quad \dots\dots ⑩$$

3. 適用性の検討

上述したHD管路における圧力流れについて、実流域で見られる規模の管路諸量を有する幾つかの簡単な雨水排水システムを対象に流出シミュレーションを行ない、本圧力流れの基本的な流出諸特性を検討した。

流出シミュレーション結果の1例 (長さ 25m の10本の排水管路と、水面積 0.70m² の10個のマンホールとからなる管路システムにおいて、各マンホールに sine 型の流量ハイドロを与えた場合) を図5に示す。これらより、今後さらに詳細な検討を進める必要があるが、実用上有用なHD管路の実流域への適用の見通しが得られた。

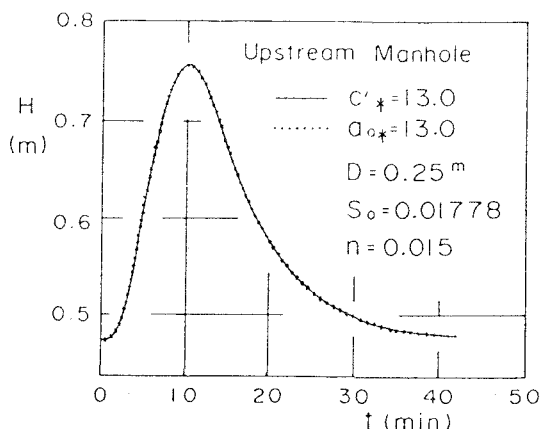


図5 流出シミュレーション結果