

Surcharge を伴う都市流出に関する考察

愛媛大学工学部 正員 豊国永次
同 正員 〇渡辺政広

松山市街地域を調査流域に選んで、これまで都市流出に関する水文観測・調査を推進してきているが、本報告では、はじめにフリームによる都市流出の観測結果について述べ、次に豪雨時、下水路システムで溢管、マンホールからの吹き上げ、地表面湛水などの発生するいわゆる Surcharge を伴う流出について検討した結果を述べる。

1. 都市流出の観測

現地における都市流出の流量観測精度を一層向上させるため、限界流と発生させるフリームの中でも特に円形断面流路に適した Palmer-Bowrus Flume (写真1) を作製し、マンホール内に水位観測装置と共に設置してその適用性を調べた。出水時の水位観測記録とともに Flume の流量公式より算定した流量と実測流量と対比して示すと図1のようである。流量の少ない $0.2 \text{ m}^3/\text{sec}$ 以下では若干過大な結果を与えているが、絶対誤差は $0.01 \text{ m}^3/\text{sec}$ 程度と小さく、また $0.9 \text{ m}^3/\text{sec}$ を越える範囲ではやや過小な結果となっているが、相対誤差は5%程度以内に納まっており、適用範囲 ($0 \sim 1.1 \text{ m}^3/\text{sec}$) の全体にわたって精度の高い測定結果が得られる。この種の Flume は既設水路への設置も比較的容易なだけに実用性が高い。



写真1. P-Bフリーム

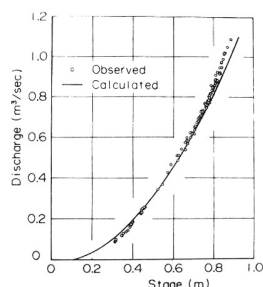


図1. フリームによる現地観測結果

2. Surcharge を伴う流出に関する検討

(1) Surcharge を伴う流出の現地観測

昭和54年6月の梅雨前線豪雨により松山市街地域では、流路システムの各所でマンホールより溢水とこれに伴う氾濫水による被害が発生した(図2)。溢水に至る状況を調べると、一般に幹線下水路の合流部、屈曲部あるいは狭径部等の地奥で流出量が通水能を上回ると、開水路流れからパイプ流れへと遷移し、さらに流量の増大につれてこのような Surcharge を伴う流出区間が急速に上流へと拡大してゆく。このような Surcharge の進行により、各マンホール水位は上昇を続け、やがて水位が地表に達するとマンホールより溢水が発生する。今回の豪雨では10ヶ所を越える溢水の区域が生じており、特に松地域における溢水量はかなり規模が大きかった。

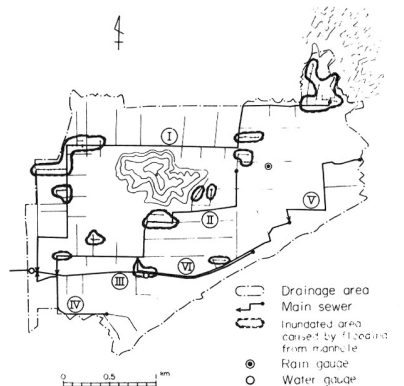


図2. 松山市街地における溢水・氾濫調査(昭和54年豪雨)

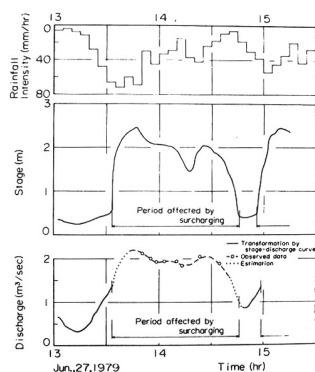


図3. Surcharge を伴う流出の観測記録

上記の Surcharge を伴う流出の水位・流量観測記録の1例を図3 (Water gauge地奥) に示す。この水位 hydro. とみると、13時30分過ぎの 70 mm/hr (5分間強度) 前後の強雨に伴って Surcharging 現象が現われ、14時45分まで継続している。流量 hydro. とみると、この期間の流出は貯留効果を受けた流出特性が見受けられる。また Surcharging 時間内での水位変化は急激で、その伝播の速いことが伺える。

(2) Surchargeを伴う流出モデルの検討

Surchargeを伴う流出モデル；時間的・場所的に変動する Surcharge を伴う管路システムの流出を数値的にシミュレートするため、開水路流れとパイプ流れを組合せて取扱う。開水路流れに対しては数値上 kinematic wave 近似と適用することとし、Surcharge の状態では通常、管路の式およびマンホールでの連続の式を用いる。

$$\left. \begin{aligned} Q &= \sigma (H_u - H_d)^{\frac{1}{2}}, \quad \sigma = AR^{\frac{3}{2}}/nL^{\frac{1}{2}} \\ F \frac{dH}{dt} &= \sum Q_i(t) + Q_e(t) - Q_o(t) \end{aligned} \right\} \dots (1)$$

ここに、 Q 、 A 、 R 、 L 、 n はパイプの流量、断面積、径深、長さ、粗度係数、 H_u 、 H_d は上流・下流のマンホール水位、 F 、 H はマンホールの水面積、水位、 $\sum Q_i(t)$ は流入流量の合計、 $Q_e(t)$ はマンホールへの直接流入流量、 $Q_o(t)$ は流出流量。

(1)式は Surcharge した各パイプについて成立し、そうした管路システムは一連の常微分方程式群で書き表わされる。これらは Runge-Kutta Algorithm により容易に解が求められる。なお、Surcharge の発生は流量 Q がパイプの通水能を超えると、 $H = \left(\frac{nQ}{AR^{\frac{3}{2}}}\right)^2 L + H_d$ において、 $H \geq 0$ となり、パイプ流れ (Surcharge を伴う流れ) に遷移する。

流出モデルの検討；上述の流出モデルを図4に示す排水路システムについて数値実験的に検討した。図5に示す Inlet hydro. が交差の各マンホールに流入するときの流出シミュレーション結果と図4～6に示す。図4は時間的・場所的に変動する Surcharge の発達・減衰過程を、図6は Surcharge が最大となる時刻の各マンホール水位を、図5は Surcharge を伴う場合の幹線各マンホール地奥の流出 hydro. を示す。

これらの結果は Surcharge を伴う流出の特性をよく再現しており、こうした流出モデルの有用性が明らかとなる。次に Surcharge におけるマンホール貯留の効果について調べた結果を図7に示す。両解析結果とみると、流量 hydro. に現われる差は数%以内にとどまるが、水位 hydro. では下流部で20%を超える所もでてくる。従ってマンホールからの海水、氾濫と解析するときには、言うまでもなく $dH/dt \neq 0$ として取扱ひが必要となる。

上述の解析法と実流域のシステムに適用するにあつては、実流域の排水路システムは large system で、ここで検討した流出モデルによっても、計算に要する時間とコストはかなり膨大なものとなる。従って詳細な数値実験結果とともに、lumped system として簡便に取扱う解析法の改良が望まれる。

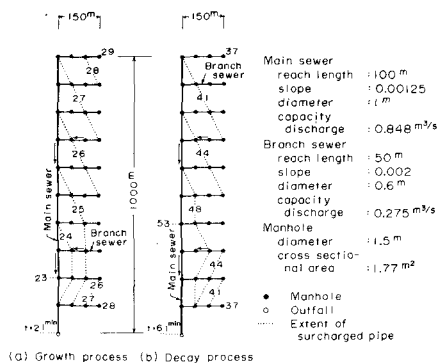


図4. 数値実験に用いたシステムと Surcharging

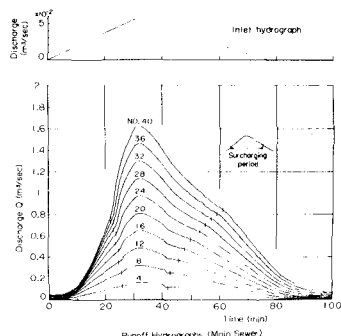


図5. 幹線各地奥の流量 hydrograph.

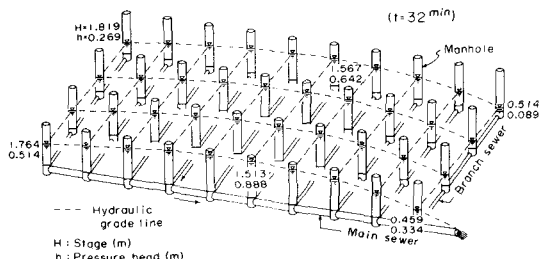


図6. Surcharge が最大となる時刻の各マンホール水位

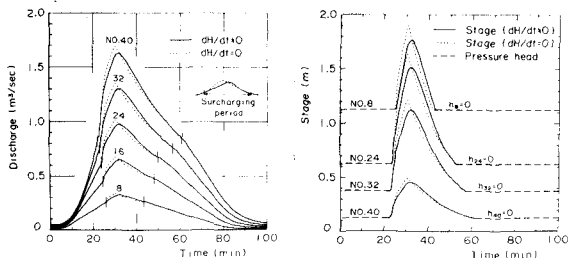


図7. マンホール貯留効果に関する流出シミュレーション結果