

松山市街地域と調査流域に選んで都市流出に関する観測調査を進めてきているが、本報告では、暴雨時下水路システムでの満管、マンホールからの吹き上げ、地表面湛水などが発生するいわゆる surcharge を伴う流出について、はじめに観測調査の結果を述べ、次にこれら surcharge を伴う流出をシミュレートするモデルについて検討した結果について述べる。

1. 都市流出の観測調査

昭和54年6月下旬梅雨前線暴雨があり、松山市街地域では下水路システム各所でマンホールからの溢水とこれに伴う泥濁水による被害が発生した。これらの溢水に至る状況を調べると、一般に幹線下水路の合流部、屈曲部あるいは限界部等の地奥、また管路勾配が急に緩む地奥で流出量が通水能を上回ると、下水路流れからパイプ流れへと遷移し、さらに流量が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。こうした surcharge の進行により、各 manhole 水位は上昇を続け、やがて地表に達すると manhole よりも溢水泥濁が起る。今回の暴雨では市街地域の全域にわたって大小多数ヶ所に及び溢水泥濁区域が発生した。これらの中特に顕著なものを図1に示す。No. 1, 2, 5, 6, 7, 9, 11の区域では、凡そ100m~400mにわたる区間の manhole から吹き上げが起り、湛水は車道全面(0.1~0.2m深)に及び。幹線下水路沿いのNo. 3, 4, 8, 10, 12では、更に規模が大きくなり、特にNo. 3, 4, 8の区域の吹き上げ区間は800m~1000mに及び、湛水深も一般的に0.1~0.4mに達している。特に低平地のNo. 4, 5の区域の海水量はかなりの規模となり、多数の家屋が浸水した。

都市流出の流量観測精度を一層向上させる為、54年4月にP.B. flumeをmanhole内に設置してその適用性を調べているが、適用範囲(0~1.1 m³/s)の全体にわたって5%以内の精度に納まっている。この種の flume は既設管路への設置も比較的容易なだけに実用性が高い。

上記の surcharge を伴う流出の水位・流量観測記録の2例を図2(water gauge 地奥)に示す。昭和54年6月暴雨時の水位 hydro. をみると、13時30分過ぎの70mm/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分まで継続しており、昭和51年17号台風時では14時35分~15時5分にわたって surcharging が発生している。流量 hydro. をみると、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。

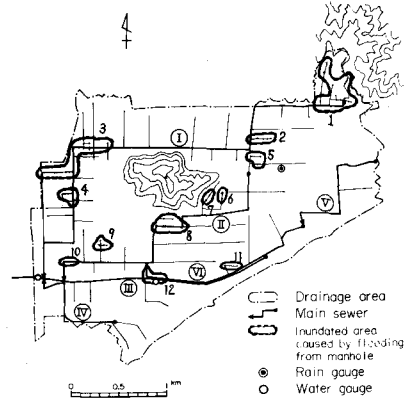
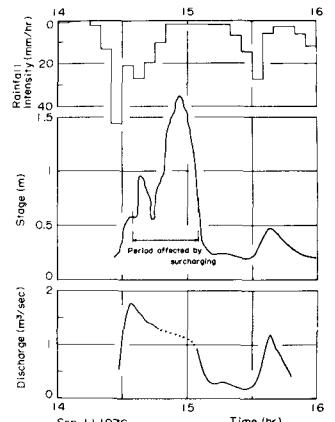
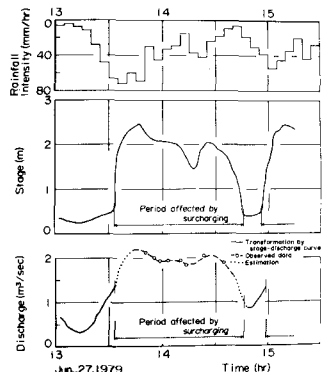


図1. 松山市街地域の溢水・泥濁調査(昭和54年梅雨)



(a) 昭和51年17号台風時



(b) 昭和54年6月暴雨時

図2. surchargeを伴う流出の観測記録

2. Surcharge を伴う流出に関する検討

流出モデル. 都市域の下水路システムにおける暴雨時の雨水流出は時間的・場所的に変動する surcharge を伴う複雑な現象で、これを実用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実用上 kinematic wave 近似と適用し、surcharge の状態では通常の管路方程式およびマンホールごとの連続式を用いる。

$$Q = \gamma (H_u - H_d)^{3/2}, \quad \gamma = AR^3/nL^{5/2}, \quad F \frac{dH}{dt} = \sum Q_i(t) + Q_e(t) - Q_o(t)$$

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。この関係は surcharge した各パイプで成立する。

Surcharge の発生は流量 Q がパイプの通水能力を超えると、 $H = \left(\frac{nQ}{AR^3}\right)L + H_d$ において、 $H \geq 0$ となり、パイプ流れに遷移する。

流出シミュレーション結果. 上述の流出モデルを、図3に示す諸元をもつ下水路システムについて、数値実験的に検討した。図5は図中に示す Inlet hydro. が交差し各マンホールに流入するとき幹線各マンホール地裏における流出 hydro. で、一般に surcharge すると貯留効果のみみられる流出特性を示し、幹線の downstream

このような特性が強く現われる。また流量、水位ピークとも各地裏で殆んど同一時刻に出現しており、surcharge するとシステム全体が一体となった変動を示すことが分る。なお、こうした貯留流出特性はそれぞれ流出地裏における Inlet hydro. あるいは開水路流れとしたシミュレーション結果と比較することにより一層明らかとなる。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示す。

以上の結果は 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。両解析結果をみると、流量 hydro. に現われる差は数%以内にとどまるが、水位 hydro. では downstream で 20% を超える所も出てくる。従ってマンホールからの溢水、泥濘を解析するときには、言うまでもなく $dH/dt \neq 0$ とした取扱いが必要となる。

上述の解析法は実流域のシステムに適用するためにあつては、実流域の水路システムは large system で、ここで検討した流出モデルによつても、計算に要する時間コストはかなり膨大となる。従つて詳細な数値実験結果をもとに、lumped system として簡便に取扱う解析法の改良が望まれる。

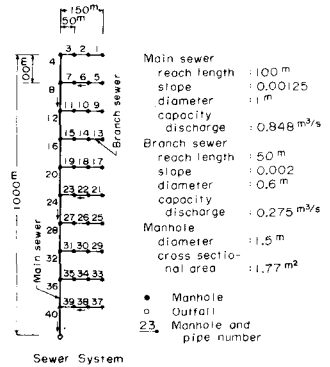


図3 数値実験に用いる下水路システム

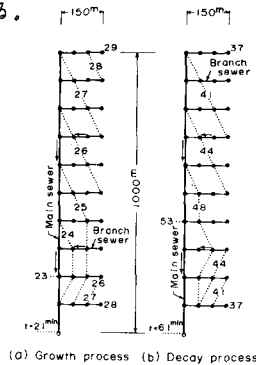


図4 Surcharge の発達・減衰過程

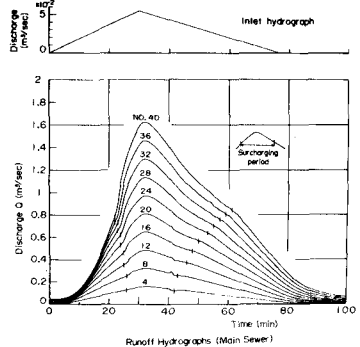


図5 幹線各マンホール地裏の流量 hydro.

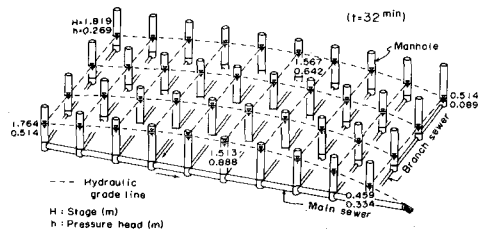


図6 Surcharge が最大となる時刻の各マンホール水位

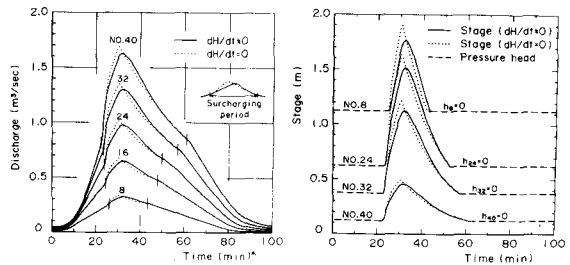


図7 マンホール貯留効果に関する流出シミュレーション結果