

都市域の雨水排水管渠システムにおける流出特性と浸水対策シミュレーション

Runoff Characteristics in Urban Storm Sewer System and Simulations
for the Countermeasures against Flooding on Ground Surface

愛媛大学工学部 正 員 豊 国 永 次
愛媛大学工学部 正 員 渡 辺 政 広

1. はじめに

近年、都市およびその周辺地域の開発、整備が急速に進展している各地の都市で、計画規模を下回るような降雨によっても雨水排水管渠システムの容量を越える浸水はらんが頻繁に発生するようになり、都市域における浸水対策が重要な課題のひとつに取り上げられてきている。このような市街地の浸水はらんに対処するには、まず都市域の雨水流出プロセスを精度高く再現でき、しかも各種浸水対策の結果を評価、予測できる流出シミュレーション・モデルが必要となる。こうした立場から、これまで都市域の流域モデリングと、排水管渠システムで発生する開水路流れ、サーチャージ流れ、さらに地表面たん水（浸水現象）をシミュレートできる方法^{1)~3)}を提示し、その適用性について、調査流域を設定して検討を進めている。

本文では、はじめに、本流出シミュレーション法を調査流域に適用して、特にサーチャージを伴う出水を対象に、流出シミュレーション結果を実測結果と対比して、本法の適用性を検討し、合せて流出シミュレーション結果を詳細に吟味し、管渠システムで発生するサーチャージ流れ、ならびに地表面たん水を伴う流出の諸特性を調べた。次に、こうした解析法を用いて、本調査流域を対象とする2、3の浸水対策について流出シミュレーションを行い、市街地の浸水はらんを防止、軽減する方法について検討した。

2. 都市域の流域モデリングと流出シミュレーション³⁾

松山市街地の1幹線排水区域を調査対象流域に選んで、都市流出の観測、調査を進め、これらの結果をもとに、都市流出シミュレーション・モデルを提示し、検討を進めてきている。本シミュレーション・モデルは、図1に示すように、流域モデル、雨水損失モデル、表面流モデルおよび管渠流出モデルの4つのサブ・モデルからなる。

i) 流域モデリング；現地調査結果をもとに、規格化した幾つかの代表流出面と実状に近い管渠システム（幹線、支線、小支線の各管渠）とからなる基準流域モデル（Modular Model）を構成する。さらに、ランピングの方式を異にする2つのモデリング法により、基準流域モデルを単純化した各等価流域モデル（Model III, II, I），ならびに各簡易基準流域モデル（Simplified Modular Model II, I）がそれぞれ構成できる。これらの流域モデルは解析目的に応じて選択される。ii) 雨水損失モデル；流域での雨水損失が、和風屋根を除く不浸透流出面（洋風屋根、道路・駐車場）では凹地貯留、浸透流出面（草地・裸地）では浸透損失と凹地貯留とからなるとして取り扱う。iii) 表面流モデル；上述の流域モデルにおける各流出面上の雨水流は kinematic wave 流れとして取り扱う。iv) 管渠流出モデル；管渠システムで発生する開水路流れと

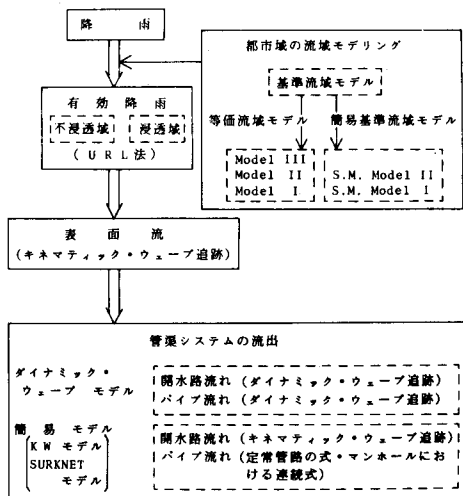


図1 都市流出シミュレーション・モデル

サーチャージ流れを詳細にシミュレートするには、両流れを共に dynamic wave として取り扱う⁴⁾ 詳細な管渠流出モデル (Dynamic Wave モデル) を用いる。これに対し、実用上の立場から簡便にシミュレートするには、開水路流れには kinematic wave 近似を、パイプ流れには定常管路の式を適用する簡易モデル (Kinematic Wave モデル, SURKNET モデル⁵⁾) を用いる。なお、マンホールより地表面上へ溢水した流出水は、実用上、マンホール地点を含む特定面積のたん水域に水平貯留されるものとして取り扱う。

3. モデルの適用と流出諸特性

3. 1 流域モデリング³⁾

調査流域に選んだ松山市街地の1幹線排水区域は、流域面積 0.234 km²、幹線管渠 (φ = 500~1,000 mm) 延長 1,250 m の細長い流域で、不浸透域が 84.4% を占めている。排水管渠システムは、図2に示すように、幹線、支線、小支線の計 126本の管渠からなり、この配は全体にかなり急である。図3は検討に用いる等価流域 Model II の管渠システムで、幹線、支線の計 74本の管渠から構成されている。

3. 2 シミュレーション結果と流出の諸特性

調査流域で発生したサーチャージを伴う出水 (昭和54~59年) を対象に、流域モデルとして基準流域モデル、および等価流域 Model II を、管渠流出モデルとしては詳細な結果の得られる DWモデルを用いて流出シミュレーションを行った。こ

れらシミュレーション結果の2例を、図4~7に示す。これらより、サーチャージを伴う流出に対する本法の適用性、特に地表面たん水 (浸水現象) を伴う場合の流出の諸特性、さらに流域モデルの構成と流出シミュレーション結果にみられる流出の諸特性について、次の諸点が指摘される。i) 流出シミュレーション結果を実測結果と対比 (図4, 5) すると、いずれも実測値を良く再現しており、本法の有用性の高いことがうかがえる。

ii) 地表面たん水 (浸水現象) を伴う出水の流出シミュレーション結果 (図5~7) をみると、始めに通水能の小さい各管渠でサーチャージ流

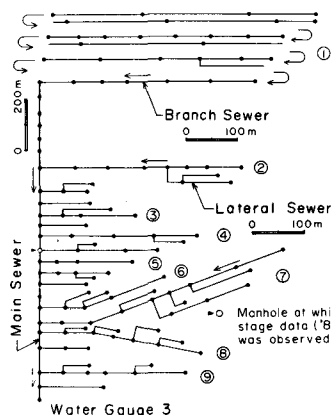


図2 調査流域 (基準流域モデル) の排水管渠システム

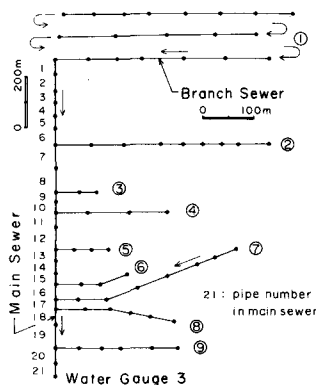
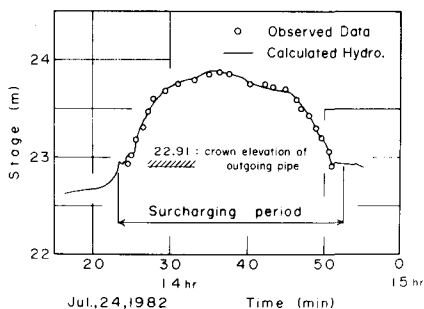
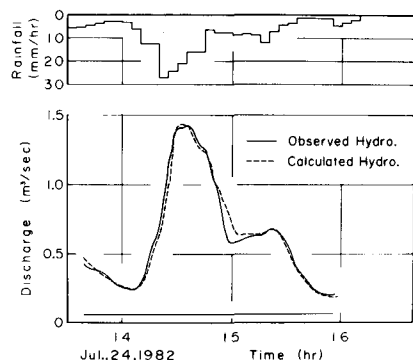


図3 等価流域 Model II の排水管渠システム



(a) 水位ハイドログラフ (幹線中流部)



(b) 流量ハイドログラフ (流域下流端)

図4 昭和57年7月出水の流出シミュレーション結果 (基準流域モデル)

これらが急速に上流へと伝播してゆく特性、ならびに、全体的に通水能の小さい区間および水位上昇が大きいそれらの上流部（幹線の中・上流部、No. 1, 2 支線）で、地表面たん水が早く、かつ広い範囲にわたって現われる特性がみられる。iii) 基準流域モデルとこれを実用上簡易化した等価流域 Model II によるシミュレーション結果（図5～7）を対比すると、管渠システムの各主要地

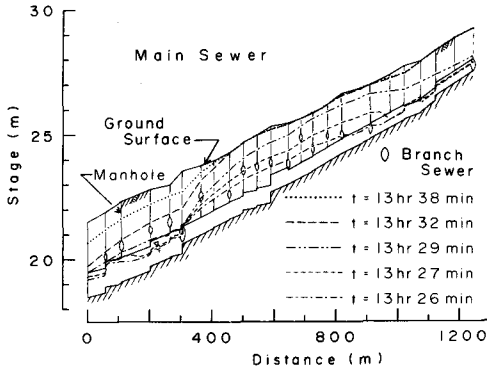


図6 幹線管渠における水面変動（基準流域モデル）

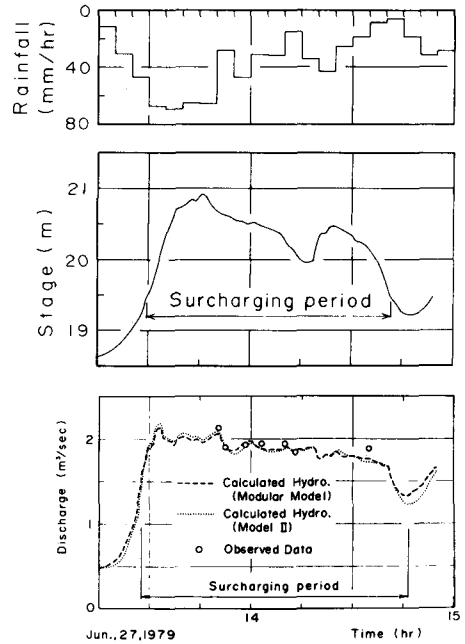


図5 昭和54年梅雨前線豪雨の流出シミュレーション結果（流域下流端）

点における水位、流量の特性、さらに主要たん水管所の時間的、場所的变化の特性など、両流域モデルでよく近似している。したがって簡便な等価流域 Model II を用いて、サーチャージを伴う出水の流出特性を実用上十分の精度でシミュレートしうることが分る。

4. 浸水対策シミュレーション

上述の地表面たん水を伴う流出の諸特性をふまえ、調査流域において既往最大級の浸水をもたらした昭和54年梅雨前線豪雨時の出水

を対象に、排水管渠システムにおける溢水はんらん（浸水）の防止、軽減をはかるため、ここでは幹線管渠システムの改良に着目した2, 3の検討結果について述べる。ここに、流域モデルには等価流域 Model II を、管渠流出モデルにはDWモデルを用いている。

4. 1 管渠の増径による浸水はんらんの検討

幹線管渠システムにおける地表面たん水（図5～7）を軽減するため、通水能の過小な中流部の各管渠（No.11～16）を主体に、表1に示すように幹線管渠を増径した4つのCaseについて検討を行った。これらのシミュレーション結果（図8～11）を増径前の管渠システムのそれらと対比して検討を加えた結果、管渠

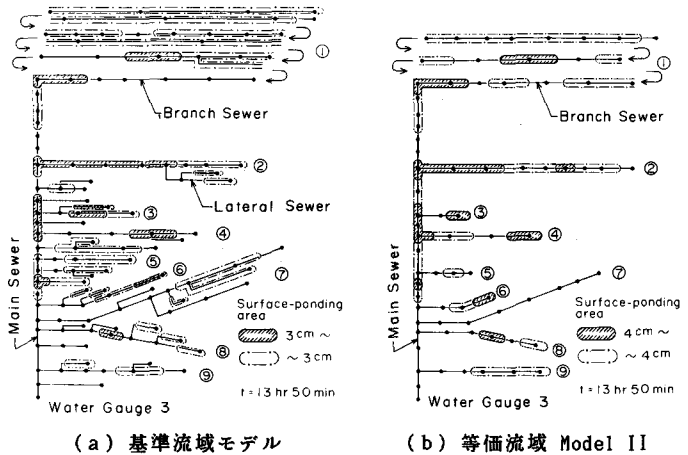


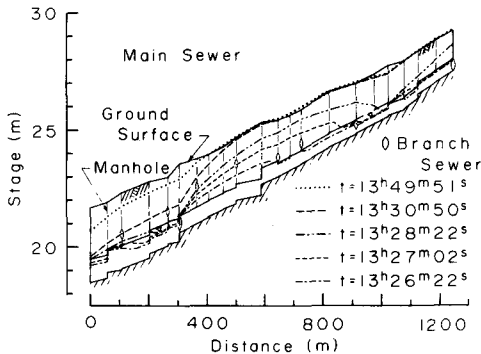
図7 地表面たん水の場所的分布（たん水が最大規模となる時刻）

システムの改良に伴う地表面たん水ならびに流出諸特性の変化について、次の諸点が指摘される。

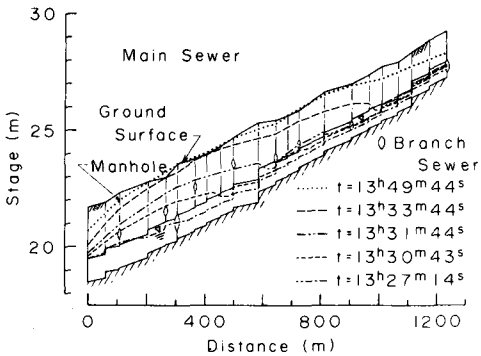
i) 水面形 (各マンホール水位) の変動特性について (図 8) ; 中・上流部の管渠の増径 (Case 1, 2) に伴い、サーチャージ期間におけるこれらの区間の水面こう配は全体に緩やかとなり、これにより中・上流部の各マンホール水位は全般に低下してくる傾向がみられる。しかし、下流部では逆に、上流管渠の増径に伴う流下流量の増大により、水面こう配は急に、かつマンホール水位は全体に上昇する傾向がみられる。次に、増径の対象をさらに下流部へと広げてゆく (Case 3, 4) につれ、幹線の全体にわたって水面こう配は一層緩やかとなり、各マンホール水位も次第に低下して、これらが地表面に達する箇所は僅小となる。ii) 地表面たん水の変動特性について (図 10, 11) ; 図10から明らかなように、増径の対象を中流、上流、下流部へと順次広げてゆくにつれ、幹線管渠システムにおける地表面たん水は、その発生箇所、たん水量、継続時間の

表 1 幹線管渠の増径 (単位: mm)

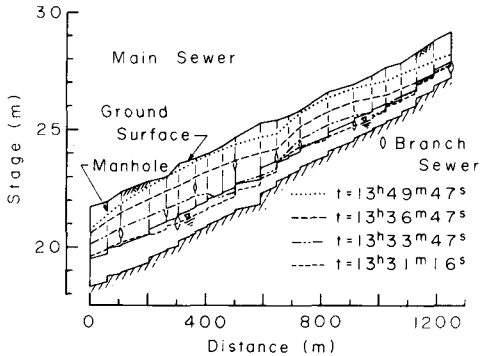
幹線管渠 番号	現状	増 径			
		Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
1 ~ 4	500	500	700	700	700
5 ~ 10	600	600	800	800	800
11 ~ 16	700	800	1000	1000	1100
17 ~ 21	1000	1000	1000	1200	1200



(a) 現状の幹線管渠システム



(b) Case 2 の幹線管渠システム



(c) Case 4 の幹線管渠システム

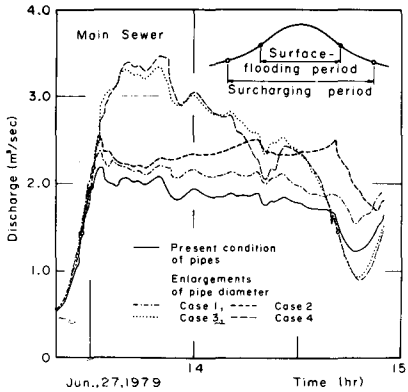


図 9 流域下流端の流量ハイドログラフ

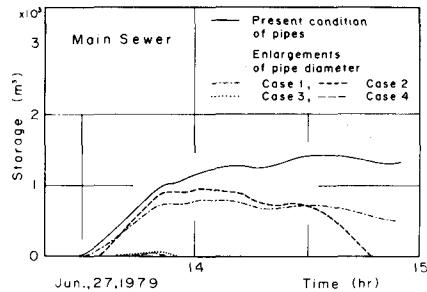


図10 幹線における地表面たん水量の時間的变化

図 8 幹線管渠における水面変動

いずれとも、減少してゆく傾向がみられ、特に下流部の増径（Case 3, 4）を行うとき、こうした傾向が顕著に現われてくる。いま、これらについて詳細にみると、中、上流部の管渠を増径すると、流出流量の増大によって、幹線全体としての地表面たん水は小規模のものとなるが、下流部では、新たにたん水が発生している。そこで、さらに下流部の増径を行うと、これらのたん水は僅かなものとなる。iii) 流量ハイドログラフについて（図9）；流域下流端の流量ハイドログラフをみると、幹線管渠の増径を進めるにつれて流出量が増大してゆく性状がみられる。特に下流部まで増径を進めるとき、この傾向は顕著に現われてくる。このように、管渠を増径することによって水位をかなり低下させることはできるが、これに伴いその下流部における管渠流出量が増大するので、この点については、十分に注意をはらう必要がある。

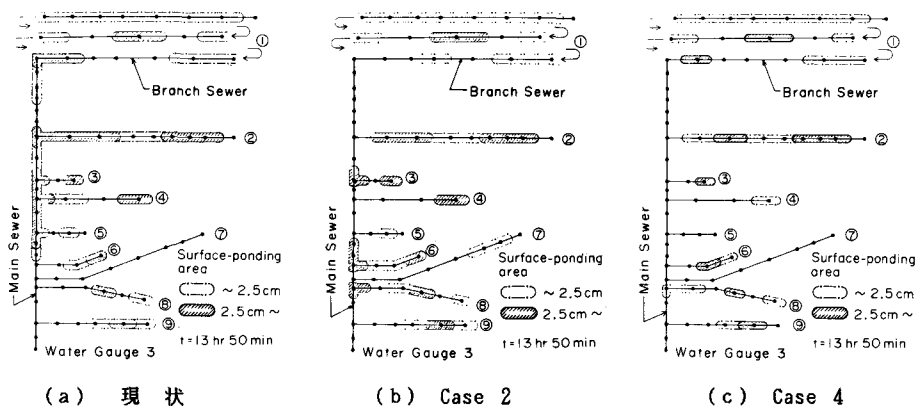


図11 地表面たん水の場合的分布（たん水が最大規模となる時刻）

4. 2 排水系統の変更による浸水はんらの検討

調査流域内の幾つかの支線区域を増管して付け替え、幹線管渠システムにおける地表面たん水の軽減をはかる4つのCaseについて検討した。4つのCaseは、図14に示すように、幹線の下流部に位置する第8、9支線（Case I）、第6～9支線（Case II）、および中・上流部に位置する第2支線（Case III）、第2～5支線（Case IV）の付け替えが行われる。これら各Caseの流出シミュレーション結果を付け替え前のそれらと対比（図12～14）して検討を加えた結果、管渠システムにおける流出諸特性ならびに地表面たん水の変化について、次の諸点が指摘される。

i) 幹線下流部の支線を対象として付け替えを行うCase I, IIについてみる。現状の幹線管渠システムで地表面たん水が集中して発生している中・上流

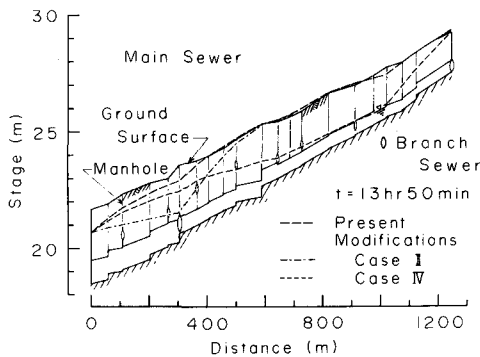


図12 幹線管渠における水面変動

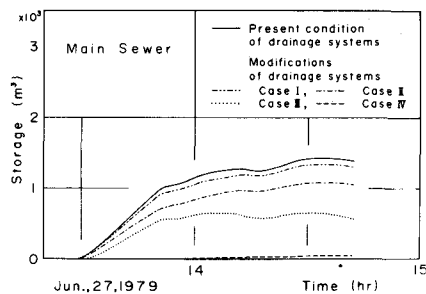


図13 幹線における地表面たん水量の時間的变化

部における水面形（各マンホール水位）ならびに地表面たん水の変動は、図12～14からも明らかなように、現状のそれらと比べて大きくは変わらない。これは、現状の管渠システムでネックとなっている幹線中流部における流出が、こうした付け替えによっても殆んど変わらないことによるためと考えられる。ii) これに対し、中・上流部に位置する支線を対象とする Case III, IV では、図からも明らかなように、幹線管渠システムの中・上流部におけるマンホール水位がかなり低下してくる傾向がみられ、これに伴って地表面たん水（発生箇所、たん水量、たん水継続時間）も相当軽減される。

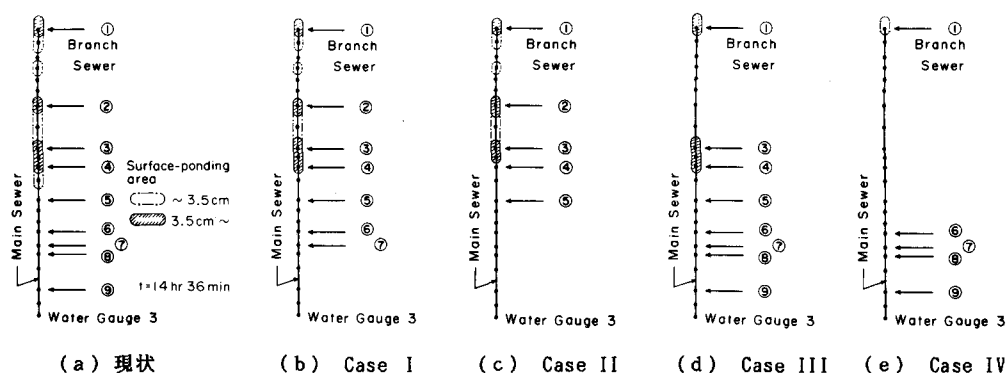


図14 検討した各 Case の幹線管渠における地表面たん水の場所的分布（たん水が最大規模となる時刻）

5. おわりに

本報告では、はじめに、検討を進めている都市流出シミュレーション・モデルを調査流域に適用し、サーチャージを伴う出水を対象に、流出シミュレーション結果を実測結果と対比して、その適用性、ならびに流域モデルの構成と流出シミュレーション結果の関係、さらに地表面たん水を伴う出水の流出諸特性を明らかにした。次に、こうした解析手法を用いて、調査流域の排水管渠システムにおける浸水はらんとを軽減する2, 3の対策について検討を進め、都市域の浸水対策に関する有用な指針を得た。今後、流出モデルの簡易化の問題、ならびに浸水はらんとを防止、軽減するための他の対策についても検討を行ってゆきたい。なお、本研究は文部省科学研究費による成果の一部であることを付記する。

参考文献

- 1) Toyokuni, E. and Watanabe, M. : Adaptabilities of Urban Catchment Models to Stormwater Run-off Simulation, Proceedings of the 19th Congress of IAHR, Cagliari, Italy, pp. 263-270, 1979.
- 2) Toyokuni, E. and Watanabe, M. : Application of Stormwater Runoff Simulation Model to Matsuyama City Drainage Basin, Proceedings of the Third International Conference on Urban Storm Drainage, Göteborg, Sweden, pp. 555-564, 1984.
- 3) 豊国永次・渡辺政広 : 都市流出シミュレーションモデルとその調査流域への適用, 第29回水理講演会論文集, pp. 43-48, 1985.
- 4) Chaudhry, M. H. : Applied Hydraulic Transients, Van Nostrand Reinhold, pp. 426-431, 1979.
- 5) Yen, B.C. and Pansic, N. : Surge of Sewer Systems, WRC Report No.149, University of Illinois, USA, 1980.