

雨天時汚濁負荷量モデル 比較検討調査

1. 調査の背景と目的

近年のコンピューター技術の進展にあいまって、海外では新しい流出解析モデルや汚濁負荷量モデルが実用化されている。しかし、日本ではそれらのモデルについて十分な情報がなく、的確な運用にまで至っていない状況である。

そこで、海外の解析モデルについて、基本式・特性を把握するとともに、日本における実流域でのシミュレーション解析を行い、海外モデルの国内での適用性の有無、およびその用途などを検討するにあたっての、基礎資料の調査・整理を目的として本調査を実施した。

本調査は平成6年度から平成8年度の3ヶ年で実施しており、平成7年度までの調査において、海外で実務に利用されているいくつかの解析モデルの開発経緯、基本式などの特徴を抽出・整理した結果、各モデルは欧州系と米国系に分類されることがわかった。これらのモデルの内、実績や独立性をもとに欧州系の「HYDROWARKA」「MOUSE」、米国系の「XP-SWMM」の3モデルを選定し、理論的背景を調査した。また、実際に2ヶ所の排水区を対象にモデルを用いて、雨水流出量および汚濁負荷流出量のシミュレーションを行った。

平成8年度調査は、①パラメータの感度、②モデルの操作性、③各モデル間の相違、などの観点からシミュレーションを行い、各モデルを評価した。同時

に、修正RRL法や土木研究所モデル等、既存の国内モデルとの流出量・負荷量に関する比較検討を行い、海外モデルに関する3ヶ年の調査の総合評価としてのとりまとめを行った。

なお、本調査は本機構の固有研究および一部は建設省土木研究所より受託し実施したものであるが、ここではまとめて述べるものとする。

2. 調査結果

2.1 調査対象モデルの概要

本調査では、以下の代表的なモデルを調査対象として取りあげた。

1) HYDROWORKS

HYDROWORKSは1975年に英国の水理研究局とウォーリングフォード水理研究所により開発されたシミュレーションモデル「WASSP」とその後の「WALLRUS」、 「SPIDA」の流れをくむシミュレーションソフトである。1994年に発売になっており、Windows環境のもとで動作する対話型のシミュレーションシステムである。

2) MOUSE

MOUSEは、1980年にLyngbyにあるデンマーク大学環境工学研究所が水文学的分野を、デンマーク水理学研究所が水理学的分野を担当し、両者の協力により開発されたものである。MOUSEは、解析の目的毎に論理ユニット・モジュールが構成

されている。また、すべてのモジュールは、MOUSEメニューに組込まれており、ユーザーの目的に応じ、自動的にモジュールを選択するシステムである。

3) XP-SWMM

XP-SWMM は、1969年頃にアメリカEPA、フロリダ大学、WATER RESOURCES ENGINEERINGなどが中心となって開発した雨水管理モデルである「SWMM」をベースに、XPソフトウェア社が使いやすいグラフィック環境を実現させたソフトである。XP-SWMM は、3つの解析ブロックとデータベースの4つから構成されており、目的に応じてブロック選択を行い、処理を実行することが可能である。

2.2 パラメータ感度分析

各モデル (HYDROWORKS, MOUSE, XP-SWMM) は地表面における流出解析手法 (基本式) が異なっている。したがって、実排水区における流出シミュレーションを行う場合、数種類のパラメータを操作したキャリブレーションによって、効果的に高い再現性を見いだすための指標として、パラメータの感度分析調査を行った。

3モデルに対して同じデータを用い、いくつかのパラメータだけを変更した場合のシミュレーション結果について、パラメータ毎に相関図 (図1~3参照) を作成・整理し、モデルのキャリブレーションに対するパラメータ操作の有効性についての検討を

行った。

本調査では、キャリブレーションに対する地表面パラメータの効果 (感度) を再現性の主要要素である「総流出量」、「ピーク流量」、「ピーク発生時刻」の3項目を中心に整理した。なお、解析に用いた降雨データは、シミュレーション結果の変化が判り易いように、総降雨量30mm、ピーク降雨強度60mm/hr、降雨継続時間60分の中央にピークのある三角降雨とした。

シミュレーションに用いるパラメータは、モデルによって名称や種類等が異なっている。ここでは、3モデルに共通している主要なパラメータについて表-1に整理し、あわせて、本調査で設定した使用値および再現性に係わる主要要素に対する効果の度合を示している。

以下には、主な事柄のみを述べているが、3モデルとも表面流出モデルは流出量に関するものと、汚濁負荷量に関するものに分かれており、多種類のパラメータが使用されている。特に、MOUSEについては、2つの表面流出モデルが用意されているため、パラメータの種類はさらに多くなっている。

表-1のパラメータのシミュレーションに対する主な効果は以下のとおりであった。

- ・初期損失：流出開始時刻が初期損失に比例して遅くなる。(図-1)
- ・不浸透域率：ピーク流量、総流出量は不浸透域率に比例して大きくなる。
- ・地表勾配：勾配が大きくなるとピーク流量は増大

表-1 パラメータ機能総括表

パラメータ名	機能概要	使用値	効果		
			総流出量	ピーク流量	ピーク発生時刻
流出量関連					
初期損失(mm)	貯留等の時間に関わらない損失量の合計値	0~7	○	—	—
不浸透域率(%)	流域面積に対する不浸透域の割合	10~100	○	○	—
地表勾配(%)	流域内の平均地表勾配	1~50	—	○	○
初期浸透能(mm/hr)	ホートン方程式における初期の浸透能力	0~100	○	○	—
最終浸透能(mm/hr)	ホートン方程式における最終の浸透能力	0~20	○	○	—
管渠粗度係数	管渠内面の粗度。管材により自動選定される	0.01~0.02	—	—	○
汚濁負荷量関連			総負荷量	ピーク負荷量	ピーク発生時刻
堆積速度(kg/ha/day)	地表面に堆積する1日1ha当たりの汚濁物量	6~50	○	○	—
最大堆積量(kg/ha)	1ha当たりの汚濁物の地表面最大堆積量	100~500	—	—	—
晴天日数(日)	先行降雨からの日数	0~10	○	○	—
カリーホット容量(l)	雨水ます1個当たりの容量	500~1500	○	○	—
カリーホット蓄積速度(mg/l/day)	雨水ます内蓄積される速度	0~10	○	○	—
降雨強度(mm/hr)	—	0.5~5	○	○	—

○印：パラメータの効果があった項目

し、発生時刻は早くなる。(図-2)

- ・初期浸透能：初期浸透能の増加に伴い、ピーク流量が減少し、流出開始時刻は遅くなる。
- ・最終浸透能：最終浸透能が増加するとピーク流量、総流量は減少し、流出終了時刻が早まる。
- ・管渠粗度係数：粗度係数が大きくなると、ピーク発生時刻が若干遅れる。

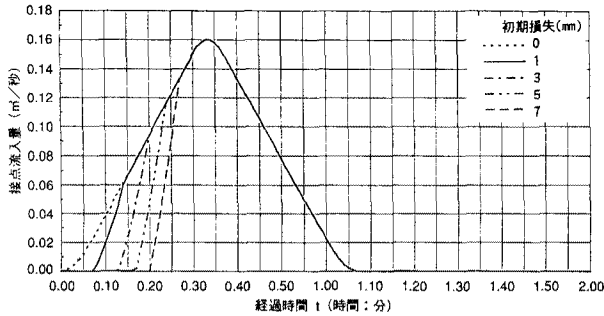


図-1 初期損失の感度分析結果

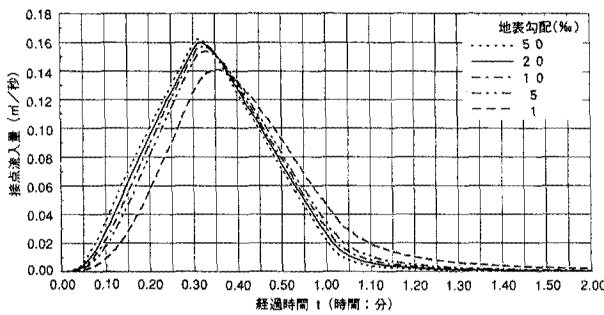


図-2 地表勾配の感度分析結果

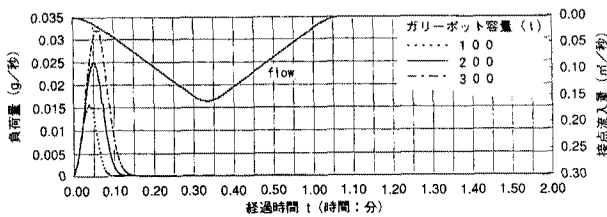


図-3 ガリーボット容量の感度分析結果

- ・堆積速度：堆積速度が増加するほど負荷量、濃度は増加する。
- ・最大堆積量：本使用値の範囲内では、顕著な差は見られない。
- ・晴天日数：晴天日数の長さにもなって、負荷量および濃度は増加する。
- ・ガリーボット容量：容量に比例して、負荷量が増減し、流出継続時間が長くなる。(図-3)
- ・ガリーボット蓄積速度：蓄積速度に比例して負荷量が増減する。
- ・降雨強度：降雨強度の大きさにしたがって負荷量の

流出速度は速くなる。

2.3 実排水区における流量・汚濁負荷量に関するシミュレーション

シミュレーション対象排水区は表-2に示すように、5~250ha程度の排水面積であり、降雨、流量および水質に関する実測データを有している6排水区を全国から抽出した。そこで、これらの排水区を対象としてシミュレーションを行い、シミュレーション結果を実測値と比較し、実排水区への適応性の検討を行った。

表-2 6排水区の概要

対象流域	排水方式	排水面積 (ha)	シミュレーション対象項目	降雨規模	排水方式
A排水区	合流	251.50	流量	大	ポンプ排水
B排水区	分流	5.26	流量, SS, BOD, COD	小	自然排水
C排水区	分流	15.88	"	小	自然排水
D排水区	分流	67.00	"	小	自然排水
E排水区	分流	66.00	"	小	自然排水
F排水区	合流	100.00	"	小	自然排水

ここでは、A排水区における大降雨時の流量に関する解析結果、およびB排水区における雨天時の流量、SS、BOD、CODに関する解析結果について述べるものとする。

A排水区におけるシミュレーションに用いた降雨日の総雨量は237mm、時間最大雨量が33.0mm/hr、降雨継続時間は18.5時間である。

A排水区ポンプ場からの吐出量のシミュレーション結果の概要を表-3に示す。この表からわかるように、実測値に比べて総吐出量はHYDROWORKSが若干多くなっており、ピーク吐出量については3モデルとも大きめの傾向を示している。これは、各モデルの流出係数およびキャリブレーション過程の違いによるものと考えられる。また図-4はA排水区ポンプ場からの吐出量を示したグラフであるが、3モデルともピーク流量、ピーク発生時刻等の流出パターンは実測値とよく一致している。これらのことから、3モデルともポンプを組み込んだ排水区の場合でも、流量解析は問題なく行えると考えられる。

表-3 A排水区シミュレーション結果概要

	HYDROWORKS	MOUSE	XP-SWMM	実測値
総吐出量(m³)	321,938	303,236	284,134	292,500
ピーク吐出量(m³/sec)	12.203	11.207	12.815	11.167
ピーク発生時刻	13:29	13:01	12:30	-
浸水状況	なし	なし	なし	なし

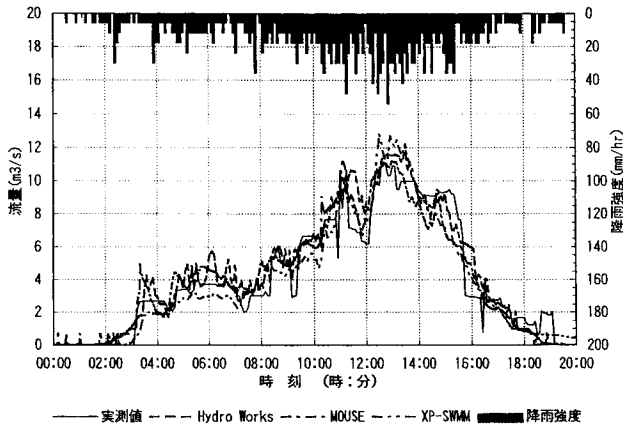


図-4 A排水区シミュレーション結果

次にB排水区のシミュレーション結果を図-5に示す。流量については、3モデルともピーク流量・発生時刻を含め、流出パターンは実測値とよく一致している。水質については、MOUSEが他のモデルよりも早くピークが出ている。これはガリーポットからの汚濁物流出時間の違いによるものと考えられるが、この時刻はまだ実測開始前であり、実際の初期の水質は不明であり、特定化はできなかった。また、3モデルのピーク負荷量に差がみられるが、これは地表面へのSSの堆積モデル等の相違が影響していると推測される。なお、実測開始後（AM9:00以降）の水質については、負荷量流出パターンは実測値とよく一致している。

以上の2排水区を含めた6排水区は、パラメータの感度分析結果を勘案し、ソフトメカが準備している標準パラメータ等の値を使用してシミュレーションを行った結果である。また、前述の表-1に示したパラメータはごく一部であり、シミュレーションに必要なパラメータはこれ以外にも非常に多い。特に汚濁解析の場合、観測データのないパラメータが多く、標準パラメータを操作して数回シミュレーションを繰り返すことによって結果を実測値に近づけている。

以上の結果より、流量解析については、感度分析結果から得られた知見により、キャリブレーションにおける簡易な手法を用いた実測値の再現が容易となった。しかし、水質解析については、ガリーポット内の汚濁物堆積状況などの観測データがなく、また各モデルで用意している標準パラメータについても不明な点があり、容易な再現性があるとはいえない。この点に関しては今後、データの蓄積手法等について検討する必要がある。

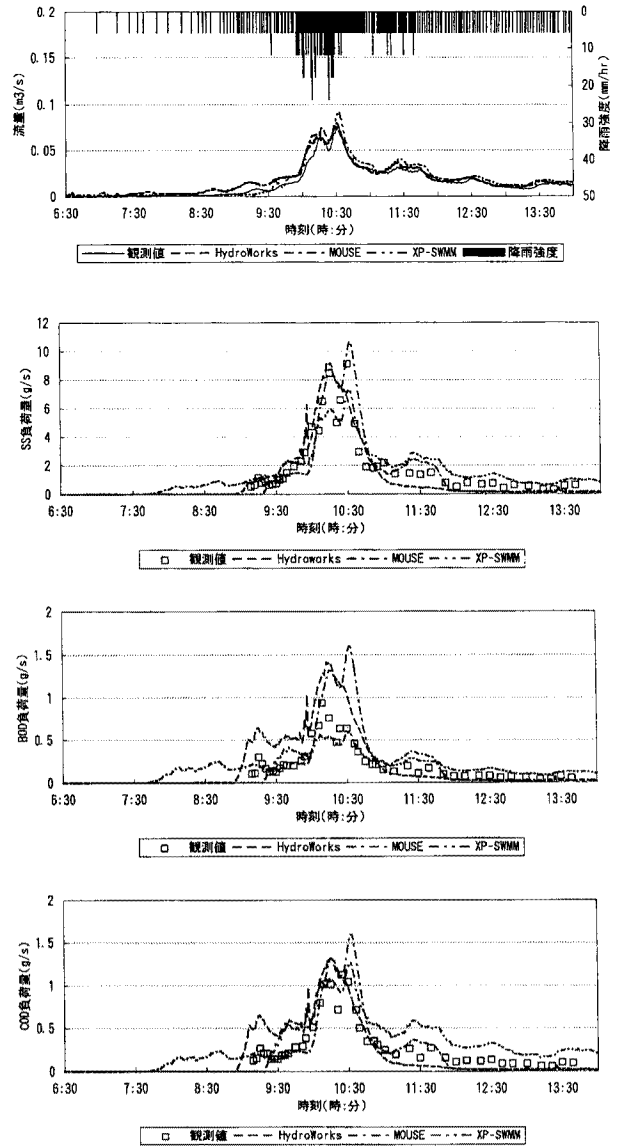


図-5 B排水区シミュレーション結果

3. モデルの性能

平成6年度から海外モデルに関する特性を主体に調査を行ってきた。その結果、3モデルの日本の下水道事業への適用可能性という観点から、モデルの性能を整理すると、以下ようになる。

- 1) 管渠ネットワークの水理モデルが充実している。
 - ・管渠ネットワーク内の任意の地点での流量、流速、汚濁負荷量等が把握できるとともに、逆勾配、排水、ループ等でも解析が可能である。
- 2) 管渠ネットワーク内に水理構造物を組み込んだ解析ができる。
 - ・管渠に加えて、ポンプ施設、分水施設、貯留施設などの水理構造物が組み込めるため、実際の管渠

ネットワークに近いモデルを再現できる。

- 3) 降雨データ、排水区データ、管渠データ等の作成・変更が容易であるとともに、解析速度が速い。
 - ・降雨条件、排水区内の土地利用状況、排水系統の変更、施設の追加など条件を変えた繰り返しシミュレーションが短時間で処理できるため、各種条件下での結果の比較が容易である。
- 4) 1つのモデルの中で、雨水流出量と汚濁負荷量の2つの解析を同時に行うことができる。
 - ・ファーストフラッシュの解析、合流改善施設の評価ができる。
- 5) シミュレーション結果の表現が豊富である。(平面図、断面図、アニメーション表示)
 - ・解析結果がビジュアルに表現されるため、設計者が結果を理解しやすく、説明に説得力が増す。

4. 今後考えられる適用事例

以上の結果をふまえて、今後3モデルを国内の下水道計画や維持管理等の業務に適用する場合の、具体的な事例(案)を以下に示す。

- 1) 既設管渠や新規設計管渠の能力評価
 - 計画降雨強度以上の条件下での、管渠潜在流下能力の評価や各管渠での流下状況の推定(過大・過小流速のチェックなど)。
- 2) 浸水対策計画
 - 実降雨での浸水状況の再現が可能であり、浸水箇所に対する原因の想定や浸水解消のための施設改善計画(管径変更、バイパス管の追加、貯留池計画、ポンプ施設の増強・追加)の提案。
- 3) 合流改善計画
 - 吐口から放流される汚濁負荷量および任意地点における改善施設による汚濁負荷量削減効果の推

定、および雨天時の処理場流入汚濁負荷量の推定。

- 4) ポンプ施設の運転ルールの改善
 - RTC (リアルタイムコントロール) 機能を用いた、ポンプ施設などの様々な運転モードのシミュレーションと、それによる最適運転ルールの提案。

5. まとめと今後の課題

3ヶ年の調査の結果、各モデルのシミュレーション機能、効率性、操作性等の評価によって、水量については各モデルの特性をほぼ把握できた。しかし、水質については、実測値に対するシミュレーションの再現性は概ね問題ないが、設定したパラメータの評価までは至っていないため、他の排水区でも容易に使用できるかという点に疑問が残る。

また、本調査で各モデルのシミュレーションに用いた実排水区は7事例程度であり、国内での調査実績としては不十分な面もあったが、国内の下水道事業の中のサポート業務には、十分利用できると思われる。ただし、各モデル/ソフトの操作性・効率性等に関しては、

- ① ソフトを操作するための言語およびマニュアル等が全て英語である。
- ② モデルによって技術用語の解釈が異なる。
- ③ パラメータの仮定値の設定に時間を要する。等の課題がある。今後は、実際の業務の中で各モデルの使用実績を重ね、標準パラメータの評価やモデルに使用されている技術用語の統一など、日本の下水道事業や利用者の視点からモデルを評価し、モデル/ソフトを改良していくことが必要と考える。

●この調査に関する問い合わせは	建設省土木研究所下水道部下水道研究室長	田中	修司
	建設省土木研究所下水道部下水道研究室主任研究員	榊原	隆
	研究第二部長	前田	正博
	研究第二部主任研究員	千葉	恭人
	技術部主任研究員	百崎	和博
	研究第二部研究員	木内	悟