

雨天時汚濁負荷量流出モデル

比較検討調査

1. 調査の背景と目的

わが国における雨水の流出解析手法としては、従来より、合理式、単位図法、貯留関数法、タンクモデル法、等価粗度法、準線形貯留モデル、修正RRL法、メッシュ法などがあり、その都度、種々の手法が用いられて来た。最近では、流量計算には修正RRL法あるいは合理式法が、汚濁負荷量計算には土木研究所モデルが多く用いられるようになっている。

一方海外では、近年のコンピュータ技術の進歩とあいまって、様々な新しいモデルが各国で開発され実用化されてきている。特に表面流出モデルや水理モデルには、水理学の知識を幅広く取り込んだ解析手法が用いられており、地表流出や複雑な管きょ流れ等を取り扱えるようになっている。また、汚濁負荷量モデルも水理モデルと組み合わせるなど、種々のものが開発されつつある。

修正RRL法や土木研究所モデルにも長所があり、解析手法としては有用なものであるが、昨今、各国で採用されている汚濁負荷量流出解析モデルにも多くの利点があると見られる。

そのため、これらのモデルの性能を調査・検討・評価することは、今後の我が国の汚濁負荷量解析技術の発展、しいては雨水排除対策、公共水域の汚濁負荷削減対策など、下水道事業の発展に非常に有用であるといえる。

このような背景を踏まえ、本調査は、次の事項を

目的として実施した。

- ① 海外で使用されているソフトウェアの特徴・適用条件などの把握
- ② 評価すべきモデルの選定
- ③ モデルの入手
- ④ モデルの試験運用と性能把握
- ⑤ 日本の流域への適用性検討

本調査は平成6年度～8年度の3ヶ年計画で実施するものであり、初年度は上記のうち、主に①および②について実施した。

なお、本調査は、本機構が建設省土木研究所より受託し、実施したものである。

2. モデルの実態調査

世界の汚濁負荷量流出解析モデルの現状を知り、検討対象モデルを抽出することを目的として、現在、海外で使われているモデルの実態を概略調査した。

調査対象範囲は、都市雨水排除関係ではもっとも情報密度が高いとみられる次の文献とした。

- INTERNATIONAL CONFERENCE
ON URBAN STORM DRAINAGE
PROCEEDING (5th, 6th)

また、この他に次のような出版物も参考にした。

- Design and Construction of
Urban Stormwater Management Systems
Published by the American Society of
Civil Engineers Water Environment Fe-
deration

これらの文献の中から、次の事項を条件に検討対象モデルを抽出した。

- ① 背水影響の水理計算ができること。
- ② ループ状管網の水理計算ができること。
- ③ 汚濁負荷量計算ができること。
- ④ 実用化されており、一般に入手できること。

検討の結果、抽出されたモデルは次の5種である。

HYDROWORKS

Enland ウォーリングフォード水理研究所
MOUSE

Denmark ダニッシュ水理研究所
HYSTEM-EXTRAN

Germany ハノーバー大学
LHU

France LHF
SWMM

U.S.A. EPAなど

この他に、上記の条件には当てはまらないが、調査の過程で興味を引いた特徴的なモデルに次のものがある。

MIKE11-UD (New Zealand: HYDRA SOFTWARE LTD)

このモデルは、洪水時には道路を河川として扱う流出計算ができ、MOUSEの1モジュールとしての機能も有するものである。

3. ソフトウェアの理論

先に記した5ソフトウェアは、それぞれの内部に、1)降雨モデル、2)流出モデル、3)水理モデル、4)リアルタイムコントロール機能をもっている。

そのため以下に雨天時汚濁負荷量流出解析ソフトウェアに使用されている理論もしくは機能を上記1)~4)の分類にしたがって概観する。

3.1 降雨モデル

(1) 合成降雨モデル

合成降雨をシミュレートするため、

- ・降雨の強度 (Intensity),
- ・降雨継続時間 (Duration),
- ・降雨頻度 (Frequency),

に関する関係式 (IDF関係式) を長期の降雨データの統計的分析から導き出し、これらの経験にもとづく関係式から、降雨時間を t 、頻度を F として、平均最大降雨強度 $i_M(t, F)$ の変化が得られるモデルである。

最大降雨強度の位置により、中央集中型、後

方集中型などと呼ばれる。

IDF関係式には次のようなものがある。

・Talbot 式

$$i_M(t, F) = a(F) / [t + b(F)]^{n(F)} \dots\dots(1)$$

・Montana式

$$i_M(t, F) = a(F) * t^{b(F)} \dots\dots\dots(2)$$

パラメータ a, b, n は、降雨が測定される地域によって異なる。

(2) 空間降雨モデル

降雨は、時間および空間によって変化し、二つの効果が相互に関係しあっている。降雨は通常、点雨量が測定されるが、その流域全体の空間的分布は均質ではありえない。次のような平滑化を行う。

・平滑化(1)

異なる雨量計間を補間する。
(たとえば、ティーセン法)

・平滑化(2)

降雨中心からの距離の面積低減係数を与える。例えば、イギリスの場合、面積低減係数ARFは次式で与えられる。

$$ARF = 1.0 - f_1 D - f_2 \dots\dots\dots(3)$$

D : 雨量

f_1, f_2 : 流域面積によって異なる定数
点雨量と面雨量は、下記の式により面積低減係数 (ARF) を介して結びつけられる。

$$H_p(\delta t) = ARF \cdot H_{Mp}(\delta t) \dots\dots(4)$$

H_{Mp} : 最大雨量を受けると仮定したある地点における雨量

H_p : 流域の雨量

ARF (< 1) は、 d (中心からの距離) の増加と共に減少する流域の雨量

3.2 流出モデル

降雨流出モデルは、下記の二つの同時進行過程をモデル化したものである。

- ・流出係数を決定するための降雨損失
 - ・ハイドログラフを得るための地表の流量追跡
- 流出モデルには多くの種類があるが、大きくは次の2種類に大別される。

(1) 降雨損失モデル

(2) 純流出追跡モデル

以下にそれぞれのモデルについて説明する。

(1) 降雨損失モデル

降雨損失シミュレーションのためのモデルは、経験に基づいたモデルで、様々な降雨損失要素があり、そのため降雨損失モデルは国によって

非常に異なる場合がある。

【降雨損失の種類】

代表的な降雨損失には、次のようなものである。

- 凹地貯留損失
- 植生による損失
- 蒸発散損失
- 浸透損失

例えばホートン (Horton) 式

$$f = f_c + (f_0 - f_c) e^{-kt} \dots\dots\dots(5)$$

- f : 浸透損失
- f₀ : 初期浸透能
- f_c : 最終浸透能
- k : 定数
- t : 時間

- 融雪
- 地下流出等

降雨損失モデルは以上のような種々の降雨損失を流域の特徴に応じて使い分けるが、代表的なものを挙げれば次のようである。

1) 流出係数モデル

流出係数により損失を表す簡便な方法である。

$$\text{有効降雨量} = \text{総降雨量} \cdot \text{流出係数}$$

2) 改良降雨損失モデル

過去の降雨損失モデルのすべてを統合するものである。これらのモデルは、経験式から構成されるため、基本的にこれらが作成された国でしか使用することができない。

④ 米国土壌保全局式：SCSモデル

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \dots\dots\dots(6)$$

- Q : 総流出高 (mm)
- S : 最大遅滞貯留 (mm)
- P : 降雨合計 (mm)
- I_a : 初期降雨損失 (mm)
- I_a = k · S
- k : 初期損失を決定するのに使用される凹地による貯留

SCSモデルはアメリカで観測されたデータに基づき作成された歴史のあるモデルである。

⑤ イギリス流出率モデル

$$C = 0.83IMP + 0.25IS + 7.8 \cdot 10^{-4} IAP(F) - 0.21 \dots\dots(7)$$

- C : 流出係数
- IMP : 不透水性表面
- IS : 透水性地表パラメータ

IAP (F) : 集水域の先行湿潤度

⑥ 水循環モデル

水循環モデルは、単純化することなく、多数のパラメータ (停滞貯留, 蒸発, 融雪, 浸透等) をシミュレートする方法である。

(2) 流出追跡モデル

流出追跡モデルは、各小流域で得られる有効降雨を管きょ網の各結節部で流入ハイドログラフに変換するもので、以下に記す方法がある。

1) 時間・面積法

流域の流達時間を基準に降雨波形の単位時間間隔を決め、各ブロックからの流出ハイドログラフを算出、加算する方法である。

本方法は次の仮定のもとで適用する。

- 降雨は流域全体で均一である。ただし、その強度は可変である。
- 雨量は有効雨量 (降雨損失を引いたもの) とする。

2) 単位図法

単位図法は次の仮定のもとに、流出ハイドログラフを求める方法である。

- 継続時間の等しい有効雨量によるピーク流量の出現時刻と直接流出期間は降雨強度の大小にかかわらず一定である。
- 同一の流域では、ハイドログラフの高さは降雨強度の大小に比例する。
- 長い継続時間の有効降雨による流出は、短時間に分割した降雨のそれぞれに対する流出を算術的に加えたものに等しい。

単位図とは、単位時間の単位有効降雨による単位流出ハイドログラフを指すが、この形は主にピーク流量、ピーク到達時間および減衰定数で規定される。

3) 地表面貯留モデル

地表面貯留モデルにはマスキングムモデル、単一線形貯留池モデル、二重線形貯水池モデル、非線形貯水池モデルがある。これらのモデルは、地表面貯留式と連続の式の組み合わせである。

④ マスキングム・モデル

本モデルでは、貯留量S (t) を次式で表す。

$$S(t) = K \cdot [i_n(t) + (1-x) \cdot Q(t)] \dots\dots(8)$$

- K : 均等係数
- x : つりあい係数
- i_n(t) : 有効雨量
- Q : 流出量

連続の式を用いると、次の関係式が得ら

れる。

$$Q + K * (1 - x) \frac{dQ}{dt} = i_n - Kx \frac{di_n}{dt} \dots (9)$$

マスキンガム・モデルはパラメータkおよびxで調整する。

⑥ 単一線形貯留池モデル

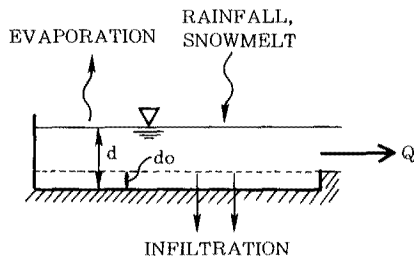
貯留式は、 $S = kQ$ である。

連続の式との組み合わせにより、次の式が得られる。

$$K \frac{dQ}{dt} + Q = i_n \dots (10)$$

Kは流域もしくは降雨の特徴と関連するパラメータである。

単一の線形貯留池流出モデルは、狭い流域に用いる場合にはかなりよく現実を表すことができる。



⑦ 二重線形貯留池モデル

貯留式は次の通りである。

$$S = kQ \dots (11)$$

kを与える式は、モデルによって異なる可能性がある。この貯留式を2段で用い、連続の式と組み合わせる。

⑧ 非線形貯水池モデル

貯留と流出量 $Q(t)$ との関係式を、次のような非線形方程式で与える。

$$S(t) = K * Q^m(t) \dots (12)$$

これと連続の式を組み合わせ、次のモデル式を得る。

$$m * K * Q^{m-1} * (dQ/dt) + Q - i_n = 0 \dots (13)$$

これらの非線形モデルは、さらに一つ、較正すべきパラメータmが加わることから、複雑である。ほとんどの場合、一つのパラメータ(kまたはm)が経験に基づいて設定され、次に他方を較正する。

3.3 水理モデル

水理モデルには、水路、管網などの雨水排除システムにおける流出を完全に表現するサンヴナン式モデル、およびこれを単純化したモデル、がある。

(1) 完全サンヴナン (Saint-Venant) 式モデル

【基本式】

自由表面管路流を表現するモデル式は、次に示す1組の質量保存式および運動量保存式で表される。

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \dots (14)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial x} + g \frac{\partial y}{\partial x} = g(I - J) + (\epsilon - 1)q \frac{V}{S} \dots (15)$$

- Q : 流量 (m³/秒)
- S : 断面積 (m²)
- x : 管軸方向位置座標
- y : 水深 (m)
- g : 重力による加速度 (m²/秒)
- I : 管路勾配
- J : 損失水頭勾配
- V : 区間内の平均速度 (=Q/S)

- ただし、横吐出がない場合、 q = 0
- 横吐出qが流入の場合、 ε = 0
- 横吐出qが流出の場合、 ε = 1

式(15)の各項の意味は次のとおりである。

左辺第1項、第2項は慣性項、第3項は圧力項

右辺第1項は重力項および摩擦を伴う損失水頭を含む項

第2項は慣性横吐出項

完全サンヴナンモデルは、1871年、パール・ド・サンヴナンにより以下の仮定の基で導き出されたものである。

- a) 流れの経路は、一次元の流れとし、横断面での高さの違いは無視する。
 - b) 鉛直線上の圧力分布は静水圧分布とする。
 - c) 横断面での速度分布は不変とする。
 - d) 非定常流における摩擦損失は、定常流における損失水頭と同じとし、パラメータJで表す。
 - e) 平均河床勾配は、 $\sin \alpha \doteq \alpha$ を満たす程度に充分小さい。
 - f) 流体は質量一定かつ非圧縮である。
- d)の仮定から、Jは定常流におけるものと同じ

なので、JはVとy間の法則によって決定することができる。都市雨水排除問題では、この関係式として Manning・ストリックラーの法則が用いられている。

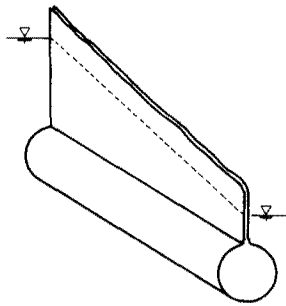
$$J = V^2 / (K^2 R_h^{2/3}) \dots\dots\dots(16)$$

R_h : 径深

K : ストリックラー係数(下水道管きょ粗度)

【被圧状態の流量計算】

サンブナン式は、自由水面流について成り立つ式である。そのため、被圧状態の管内流量問題を解く場合、下水道管きょ天端にその部分を通る流量を無視できる程度の幅のスロット(プライスマン・スロット)を設ける。



(2) マスキング・モデル

流出モデルの項で述べたものと同様である。このモデルは、管路流水面の計算もおこなうことができる。マスキング・モデルは、運動・拡散波モデルの一種である。

(3) 単純化したサンブナン式モデル

1) 拡散波モデル

サンブナン式による左辺第1項、第2項の慣性項が無視できる場合、すなわち、次の条件のときに適用される。

- ・ 流れの非定常性が小さい場合
- ・ 流れの非一様性が小さい場合

横吐出が0のとき、連続方程式、運動方程式は次のようになる。

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \dots\dots\dots(17)$$

$$\frac{\partial y}{\partial x} = (I - J) \dots\dots\dots(18)$$

拡散波式は、上記体系の変形によって得られる。

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + V \frac{\partial Q}{\partial x} = D \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} \dots\dots\dots(19)$$

D : 拡散波係数

2) 運動波モデル

サンブナン式による左辺第1項、第2項の

慣性項および第3項の圧力項が無視できる場合、すなわち、以下の条件が満足されるときに適用される。

- ・ 流れの非定常性が小さい場合
- ・ 流れの非一様性が小さい場合
- ・ 非一様流の深さ変化に起因する圧力変化が小さい場合

横吐出が0のとき、連続方程式、運動方程式は次のようになる。

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \dots\dots\dots(20)$$

$$I = J \dots\dots\dots(21)$$

実際に、定常流と同様に運動方程式がI=Jであることから、波の運動は連続の式のみから説明される。

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + V \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \dots\dots\dots(22)$$

V : 運動波の速度

3.4 汚濁負荷量モデル

汚濁負荷量モデルについては今後さらに詳細な調査が必要であるが、次の二つのサブモデルの組み合わせからなる場合が多い。

- ① 流域の表面流出汚濁負荷量モデル
管きょ網に流入するポリュームグラフを作成するもの。
- ② 管きょ内汚濁負荷量輸送モデル
管きょ内汚濁負荷量輸送モデルは、さらに、管きょ内堆積輸送モデルと溶解性物質移送・分散・反応モデルに分けられる。

以下に、現状調査の範囲内で明らかになった事項について記す。

- (1) 流域からの表面流出汚濁負荷量モデル
流域からの汚濁負荷流出過程は、堆積物、堆積物に付着した溶解性物質、遊離した溶解性物質の輸送を含み、次の3段階でモデル化される。
 - ① 流域凹地における汚濁物質の堆積
 - ② 降雨および浸食による汚濁物質粒子の剥離および流出
 - ③ 汚濁物質粒子および溶解性汚濁物質の流出追跡

ただし、③については今回調査では詳細が明らかではないので、ここでは説明は省略した。

- 1) 流域凹地に蓄積される汚濁粒子モデル
以下のモデルはすべて実験から導かれたものである。
 - (イ) 線形発生モデル

$$M_d = f_{ac} \cdot T \dots\dots\dots(23)$$

M_d : 降雨時の汚濁負荷堆積量 (kg/ha)
 f_{ac} : 汚濁物質堆積速度 (kg/ha/day)
 T : 晴天時継続期間 (day)

(ロ) 指数関数的発生モデル

$$\frac{\delta M_d}{\delta t} = f_{ac} - K \cdot T \dots\dots\dots(24)$$

K : 減衰速度 (1/day)

(ハ) Michalis-Mentenモデル

$$M_d = \frac{f_{ac} \cdot T}{T_0 + T} \dots\dots\dots(25)$$

2) 汚濁物質の剥離と表面輸送

流域における汚濁物質の流出は、流域内における汚濁物質粒子の剥離と管きょ入り口までの輸送の2過程に分けられる。

例えば次のようなモデルがある。

(イ) MOUSE-TRAPモデル

このモデルでは、汚濁負荷の降雨毎の粒子の剥離とその輸送に分けられ、各々次のように表される。

・雨による汚濁の剥離モデル

$$V_s = D_r \cdot \frac{i_r}{i_d} \cdot L \cdot W \cdot (1 - \epsilon) \cdot A_g \dots\dots\dots(26)$$

V_s : 雨により剥離する沈殿物の体積 (m³/h)

D_r : 降雨量に対する剥離係数 (m/h)

i_r : 降雨強度 (m/h)

i_d : 基準降雨強度 (=25mm/h)

L : 流域の長さ (m)

W : 流域の気孔率 (m)

ϵ : 沈殿物の気孔率

A_g : 沈殿物で覆われた地表の割合

・輸送

全限界輸送力は次式で与えられる。

$$q_t = q_b + q_s \dots\dots\dots(27)$$

q_t : 全沈殿輸送

q_b : 沈着負荷輸送

q_s : 懸濁負荷輸送

このうち付着負荷輸送はVan Rijn方程式で計算する。また、懸濁負荷輸送は懸濁負荷に関するVan Rinjn方程式で計算される。

(ロ) その他

この他にはマルコフ過程に基づくものや統計的法則に基づくものがある。

(2) 管きょ内汚濁負荷輸送モデル

管きょ内汚濁負荷輸送モデルには種々のものがある。そのうちの数例を以下に記す。

1) Shieldsの基準

流動特性の因子である限界掃流粒径Dを計算し、これより大きい粒子は沈降、小さい粒子は流出とするモデルである。

$$\frac{\tau}{(\rho_s - \rho) g D_c} = f(u^* D_c / \nu) \dots\dots\dots(28)$$

τ : 底層堆積層のせん断応力

ρ : 水の単位体積質量

ρ_s : 粒子の単位体積質量

$f(x)$: Shieldsの実験的関数

u^* : 底層堆積層のせん断応力速度

ν : 動粘性度

2) Velikanovのモデル

流れのエネルギーの一部が懸濁粒子を支えるために使われる、と言う考えのモデルである。

$$C = \frac{\rho_s \rho U_m}{(\rho_s - \rho) W} J \dots\dots\dots(29)$$

C : 懸濁粒子の密度

η : Velikanov数

U_m : 平均流速

W : 粒子の沈降速度

3) Ackers-White公式

非粘着性堆積物に対して適用される準実験公式であり、この公式は全堆積物輸送を直接決定する。

4) 陽関数堆積物輸送モデル

シミュレーション実行中は底層堆積物の上面位置を変えないモデルである。堆積物輸送計算の、水理モデルへのフィードバック機能がある。堆積物輸送能力は水理パラメータに対応する関数により計算される。

5) 管路施設における沈殿物輸送

管きょ内の他にマンホール、堰、Basin、ポンプなどの管路施設箇所でも沈殿が起こるが、これらの箇所での取り扱いソフトウェア毎に多様である。

例えば、マンホールでは、沈殿を考慮しない場合が多いが、堰では減衰係数を考えたりあるいは無視しているケースもある。

(3) 下水道管きょ内溶解性物質輸送モデル

下水道管きょ内の溶解性物質発生源には以下のようなものが考えられる。

・地表面流出水中に含まれる雨水中の溶解性物質、地表からの流出性溶解物質。

- ・街きよます中での集積
- ・地下水、不飽和帯から下水管への浸入水
- ・住宅地区、商業地区、工業地区などからの排水下水

これらの溶解性物質の拡散・輸送をシミュレートするモデルに次の移流・分散モデルがある。

このモデルは、平均流速による移送輸送と流体内部の濃度勾配による分散型輸送からなる。基礎式は次のとおりである。

$$\frac{\partial (AC)}{\partial t} + \frac{\partial T}{\partial x} = -AKC + C_s q \dots \dots (30)$$

- A : 断面積
- C : 濃度
- t : 時間
- T : 輸送
- x : 位置
- K : 線形減衰定数
- C_s : 発生濃度と吸着場所濃度比率 (1 / s)
- q : 横方向流入

(4) アリアルタイムコントロール (RTC) 機能

RTCは、貯留施設や排水ポンプ、可動堰、水門などの補助構造物を管路システム中に配備し、これらをより効果的に操作して、浸水防止や水域汚濁の削減を行おうとする手法である。

そのため、この戦略的なシュミレートを目標とするRTCモジュールは、当然、個々の補助構造物の操作をシミュレート出来る機能を有するが、その他に、複雑な調整機能を備えることが必要である。

4. 各ソフトウェアの機能と概要

収集した各々のソフトウェアに関する資料から、その開発経緯、モデルの基本式と備えている機能、適用範囲、操作性などの特徴を抽出・整理して、表-1に示した。

これにより各ソフトウェアの特徴を外観できる。この他の雨水流出負荷量モデルに特徴的な事項をまとめると、以下の点が挙げられる。

- ・歴史の古いソフトウェアでもまだ、開発から10年程度しか経っていない。
- ・汚濁負荷量解析モデルの開発はまだ歴史が浅く、モデルの妥当性の指標となる実証データが少ない。
- ・最近では流出モデル、水理モデル、汚濁負荷量モデルなどの個々のモデルの使用を側面から援助し、ヒューマンエラーを極力排除するような、

統合環境の構築を目指している。

5. 重要モデルの選定

4章に記した調査ソフトウェアは、大きく次の2系統に分類される。

米国系	SWMM, OTTHYMO, HYSTEM-EXTRAN
ヨーロッパ系	HYDROWORKS, LHU MOUSE

これらのソフトウェアにはモデル別に次の傾向が見られる。

1) 降雨モデル

降雨は統計現象であり、モデルの開発された国や場所の降雨現象を反映しており、モデル毎に異なる。

2) 地表面流出モデル

モデルに使用している基本的理論や考え方は類似している。しかし、流出係数など水文定数は当然のことながらモデル開発国の水文研究の歴史を反映しており、その国特有の部分が多い。ただし、他国の成果（例えばSCSモデルなど）を取り入れているものもある。

3) 水理モデル

すべてサンブナン式を解いている点では変わりがないが、その時間微分の解法は、陰解法と陽解法に分かれる。陰解法は数学的には必ず解が集束する利点がある。一方、陽解法は必ずしも解が収束するとは限らないが、条件によっては計算時間が短くなる。

また、背水の影響などを解く方法に違いがある。この点からみると、米国系はすべてSWMM中のEXTRANモジュールを流用している、と言える。ドイツのHYSTEM-EXTRANはSWMMのEXTRANを流用し改良しているため、米国系に含めた。

一方、ヨーロッパ系はすべて独自に開発されたものであり、検討の価値がある。

4) 汚濁負荷量モデル

汚濁負荷量モデルは流出モデルや水理モデルのような広く使われている基礎理論がまだない。

以上に記したことから、現時点で各ソフトウェアの違いを特徴づけているのは水理モデルの解法にあることが判る。これに、LHUが汚濁負荷量モデルをまだ開発中であること、まだ一般に販売されていないことを考慮し、

最終的に次の3モデルが詳細検討に値すると判断した。

HYDROWORKS

MOUSE

SWMM (XP-SWMM)

なお、実際のソフトウェアの使用に際しては、その操作性も重要な要素であるため、SWMMについてはEPAのバージョンではなく、他のソフトウェアと同様な入出力環境を実現しているXP-SWMMとした。

6. HYDROWORKSの試運転と今後の予定

選定結果に基づきHYDROWORKSの流出および水理解析モジュールを入手し、その水理学的な厳密性を作意的な管路網モデルを作成してチェックした。

平成7年度は、汚濁負荷量解析モデルに関する情報をさらに収集するとともに、汚濁負荷量解析モジュールを含めた前記選定3モデルを入手し、水文学的の事項および水理学的な基本性能のチェックを行い、日本の実流域に適用し、その適用性を評価する予定である。

表-1 ソフトウェア別機能比較表

用途	HYDROWORKS	HYSTEM-EXTRAN	MOUSE	SWMM	LHU
開発者	Wallingford Hydraulic Institute	University of Hannover	Danish Hydraulic Institute	EPA他	Laboratoire d'Hydraulic d' France
モデルの開発経緯	1975年 研究開発着手 1987年 流出モデル ~1988年 SPIDA開発 1993年 汚濁負荷モデル MOSQUITO開発 1994年 統合モデル HYDROWORKS 開発	1982年 ルーバ大学で 開発に着手 1985年 解析モデル 利用	1980年代 研究開発に 着手 1986年 初期モデル ~1987年 発表 1987年 商品化	1969年 E.P.Aにて ~1971年 開発 1976年 EXTRAN 開発 1994年 Ver.4.2 発表	1970年代半ば CAREIDAS開発 1993年 CAREIDAS CEDRE統合 1995年 LHU開発
基本事項	1)流出機構	・改良降雨損失モデル	・降雨損失モデル ・時間面積法 ・非線形貯留法 ・水文学的モデル	・降雨損失モデル ・非線形貯留法	・水文学的モデル ・マスキングモデル ・貯留法 ・単位図法
	2)水理モデルと解法	・サンヴナン式 ブライスマン4点法 陰解法	・サンヴナン式 修正オ일러法 陽解法	・サンヴナン式 アボット6点法 陰解法 ・拡散波モデル ・運動波モデル	・サンヴナン式 修正オ일러法 陽解法 ・運動波モデル ・線形貯留法
	3)汚濁負荷量モデル	・地表面流出モデル ・堆積物輸送モデル ・水質5項目 +ユーザー定義項目	・詳細は不明	・地表面流出モデル ・堆積物輸送モデル ・水質7項目 +ユーザー定義項目	・地表面流出モデル ・堆積物輸送モデル ・水質10項目
	4)リアルタイムコントロール機能	有り	有り	有り	有り
データ項目	・流域データ ・降雨データ ・流出データ ・管渠データ ・堰等の制御データ ・結節部データ				
出力項目	・テキスト報告 結果のまとめ、 浸水の確率解析等 ・グラフ表示 管渠平面表示、水深 水深、流量、流速等 結果の表示 ・AutoCADへの接続	・テキスト報告 結果のまとめ ・グラフ表示 管渠平面表示、水深 流量等結果の表示 ・AutoCADへの接続	・テキスト報告 結果のまとめ、 浸水の報告、水位等 結果表 ・グラフ表示 管渠表示、水深流量 等結果の表示 ・外部・内部装置 ・AutoCAD、GISとの接続	・テキスト報告 結果のまとめ、 浸水の確率解析等 ・グラフ表示 管渠平面、縦断表示 水深、流量、流速等 結果の表示 ・AutoCADへの接続	・テキスト報告 ・グラフ表示 管渠平面、縦断表示 結果の表示 ・AutoCAD、GISへの接続
適用範囲	・管渠ネットワークの 調査・管理 ・リアルタイム制御 ・負荷量計算	・管渠ネットワークの 調査・管理 ・リアルタイム制御	・管渠ネットワークの 調査・管理 ・リアルタイム制御 ・負荷量計算	・管渠ネットワークの 調査・管理 ・リアルタイム制御 ・負荷量計算	・管渠ネットワークの 調査・管理
仕様	1)使い易さ	・ウィンドウ環境 ・データ入力時の編集 機能 ・グラフ機能 ・時間経過の表示 ・再生画像が可能	・ウィンドウ環境 ・データ入力機能 ・グラフ機能 ・時間経過の表示	・ウィンドウ環境 ・データ入力機能 ・エラーチェックあり ・グラフ機能 ・時間経過の表示 ・再生画像が可能	XP-SWMMの場合 ・X-Platformあり ・グラフ機能 ・時間経過の表示 ・再生画像が可能
	2)支援	・オンライン支援 ・教育モジュール	・オンライン支援 ・教育モジュール	・オンライン支援	・XP-SWMMの オンライン支援

● 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

主任研究員 榊原 隆

(財)下水道新技術推進機構

研究第二部長 藤田 昌一

研究第二部主任研究員 田中 一朗

技術部研究員 古北 克