

準三次元地下水流動モデルを用いた都市化域における水循環分析（その2） (一級河川坂川の場合)

Analysis of water circulation in an urbanized area using a quasi-three-dimensional groundwater flow model (Part II)

研究第三部 主任研究員 片 田 雅 文
研究第一部 次 長 田 中 長 光

水循環解析モデルは、地下水流動機構をも詳細に反映でき、自然系と人工系の要素を流域の特性として詳細に表現できるモデルといえる。平成8年度までに、千葉県松戸市を流下する江戸川左岸支川の一級河川坂川を対象に、雨水浸透施設が低水流量の復元と洪水流量の低減に効果的であることを検証するため、この水循環解析モデルの構築を図ってきた。¹¹⁾

平成10年度は雨水浸透施設などの流域対策等に関して、地元自治体や大規模開発者へのヒアリングや地元住民への意向意識調査により、その実現可能性を確認するとともに、坂川流域全般における水循環解析モデルを用いての将来の流域水管理計画を検討し、その対策工法等について提案した。

キーワード：地下水、都市開発、水循環解析モデル、浸透度、河川水量、流出抑制施設、雨水浸透施設、雨水貯留施設、河道改修、調節池

The water circulation analysis model is highly consistent with the actual mechanism of groundwater flow and accurately describes natural and artificial systems in terms of the characteristics of river basins. The water circulation analysis model was developed for use in studies carried out through to FY1996 on rainwater penetration facilities on the Saka-gawa river (a Type 1 river taken from the left bank of the larger Edo-gawa river, which runs into the city of Matsudo in Chiba prefecture). The facilities were found to be effective in improving flow during low periods and reducing flow during flooding (see Report 8, *Technology Research Institute for Riverfront Development*).

Interviews with local governments and major developers and an opinion survey of local residents, carried out in FY1998, confirmed the feasibility of a program for the river basin including rainwater penetration facilities. The water circulation analysis model for the entire Saka-gawa river basin was used to prepare a plan of water management in the basin area. Improvement techniques were also studied.

Key words : Groundwater, urban development, water circulation analysis model, degree of permeability, river flow volume, outflow regulation facilities, rainwater penetration facilities, rainwater storage facilities, river channel improvement, overflow pond.

1. はじめに

千葉県の東端に位置する松戸市を流下する江戸川左支川の坂川は、急激な都市開発により、内水被害の増加、低水流量の減少、水質悪化等が進んだ。今後は、常磐新線の開通に伴い沿川地域がさらに開発されることとなり、このままでは、洪水対策も含め坂川の河川環境は低下する一方であることが容易に想定できる。そこで、図-1に見られるように、自然系と人工系の要素が複雑に干渉しあう都市化域の現象を物理的に扱うことが可能な分布型の水循環解析モデルを用い、平成8年度までに坂川流域において雨水浸透施設が低水流量の復元と洪水流量の低減に効果的であるこ

とを検証し、同流域に関して基本的な水循環モデルを構築してきた。^{注)}

本報告では、これまでに構築した水循環モデルについて新たな洪水データを用いて精度向上を図るとともに、これに基づき得られた流域基本高水流量を基に、既往の坂川流域における各種計画との整合、流域の開発動向、施設規模の妥当性、地元自治体や流域住民の意向等を踏まえたうえで、洪水時のみならず湧水の保全・再生や平常時流量の確保などの水循環に配慮した新たな水管理計画を検討し、これに関わる対策工法を提案したのでここに概要を報告する。

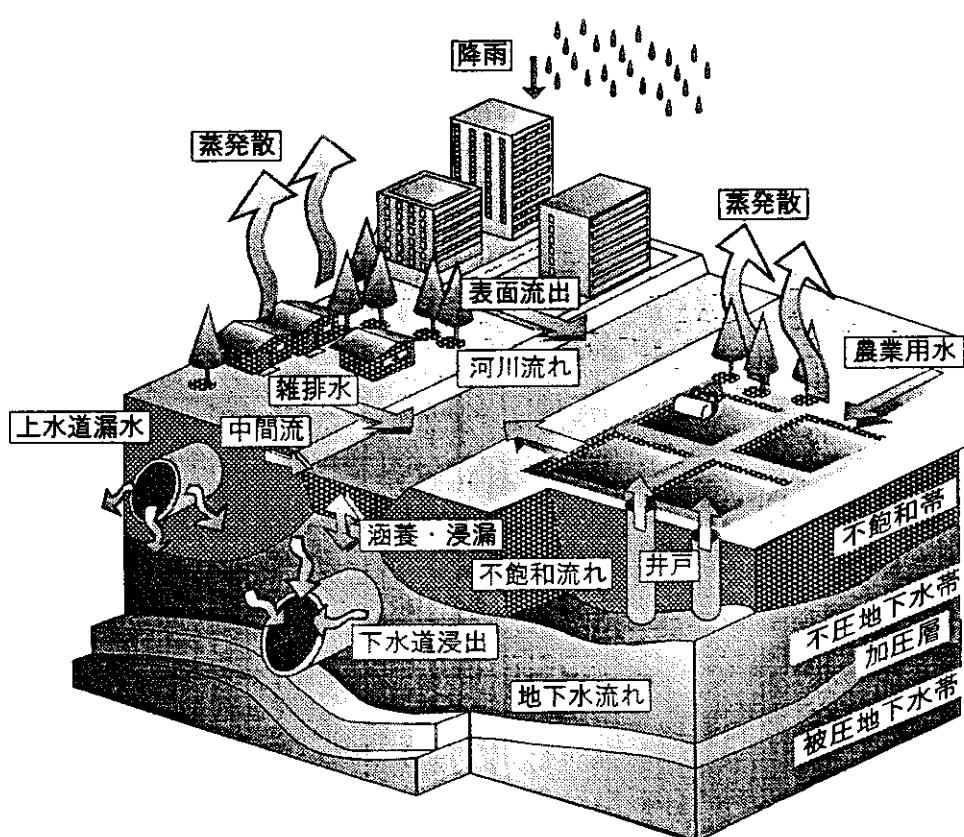


図-1 都市化域の水循環概念図
Fig. 1 General Diagram of Water Circulation in an Urbanized Area

注) リバーフロント研究所報告第8号参照

2. 水循環モデルの構築

2-1 既往水循環モデル改良の必要性

当初作成した水循環解析モデルでは、洪水等の再現計算を実施すると、流域の氾濫量や無害湛水量を表現できないため、充分な再現ができない。したがって、このモデルに適切な氾濫モデルを組み込み、排水機場のポンプ稼動までを含む計算モデルへと改良する必要がある。さらに、これまでの検討では、表層地質を高位段丘面、中位段丘面、緩斜面、低地の4つに区分し、それぞれの浸透度を計算に組み込んでいたが、実際の表層地質はさらに細分化されており、現状により近づける必要性がある。そこで、今回の検討では土地利用毎の浸透度の変化を考慮し、より客観的に損失雨量（特に浸透する雨量）の算定が行えるよう改良を試みた。

2-2 改良水循環モデルによる検証

(1) モデルの改良

① 土地被覆状況による浸透度変化の検討

当該流域の表層地質は高位段丘面、中

位段丘面、緩斜面、そして低地の4つに分けられる。これまでのモデルでは、これら4種類の土質を区別することとし、各メッシュ毎に一種類の土質を対応させていた。

今回は、表-1に示すように、土地利用地目と村井らの被覆状況区分とを対応させ、畠地の倍率を1として、各地被覆状況毎に浸透度倍率を与えることとした。なお、水田については浸透度の変化を示す研究に該当する地目がないために、ここでは畠地と同じとした。貯留関数などによる洪水解析では水田の流出率を1.0として、浸透による損失を全く考慮しないのが常であるが、水田が分布しているのは透水係数が非常に小さい低地あるいは緩斜面地域であることから、ここではある程度の浸透を見込むこととした。

表-1 土地利用区分の対応と浸透度倍率

Table 1 Correspondence Between Land-Usage Segmentation and the Penetration Ratio

細密数値情報	村井らによる土地被覆区分	浸透度倍率
密集低層住宅地	歩道 (最終浸透度 : 12.7mm/hr)	0.142
中・高層住宅地		
商業用地		
一般低層住宅地		
工業用地		
その他の公共、公益施設		
空き地	露度攪乱 (最終浸透度 : 49.6mm/hr)	0.555
その他		
公園、緑地等		
造成中地		
河川、湖沼等		
山林、荒地	林地 (最終浸透度 : 258.2mm/hr)	2.891
農地(畠、その他)	畠地 (最終浸透度 : 89.3mm/hr)	1.000
農地(田)	該当無し	1.000
道路用地	該当無し (最終浸透度 : 0.0mm/hr)	0

② 土壤の透水係数の検討

土地被覆の違いによる浸透度の違いを考慮した結果、透水係数についても見直しを行う必要が生じた。

現地浸透試験は、高水位と低水位の2種類の水位で行われたが、試験の手続き上高水位を先に実施した後低水位の試験を実施している。したがって、低水位の

試験を行うときには、高水位の場合よりもより多くの浸透水量を注入したあとに行われているため、低水位の場合の方が、より飽和条件に近づいていると考えられる。そこで、今回の改良では低水位の試験結果を採用し、計算に用いる土壤の飽和透水係数としては表-2を用いた。

表-2 土壤の飽和飽和透水係数（ハイドロ再現の調整結果）

Table 2 Soil Saturation and Permeability Coefficients
(hydro reproduction/simulation adjustment results)

土質の分類	飽和透水係数[cm/s]	備考
高位段丘	1.01×10^{-3}	現地浸透試験試験結果から
高位段丘（富士川中流）	7.01×10^{-4}	再現性の評価から
高位段丘（長津川）	1.31×10^{-3}	〃
中位段丘（野々下中流）	4.57×10^{-4}	〃
緩斜面	3.03×10^{-5}	現地浸透試験試験結果から
緩斜面（長津川）	3.94×10^{-5}	再現性の評価から
低地	2.30×10^{-6}	現地浸透試験試験結果から
低地（長津川）	3.94×10^{-5}	再現性の評価から

(2) 再現計算結果

前記に基づき、これまでの水循環解析モデルに改良を加え、再現計算を行った結果（地下水位及び坂川放水路水位）を図-2及び図-3に示す。

図からも明らかなように、地下水位、河川

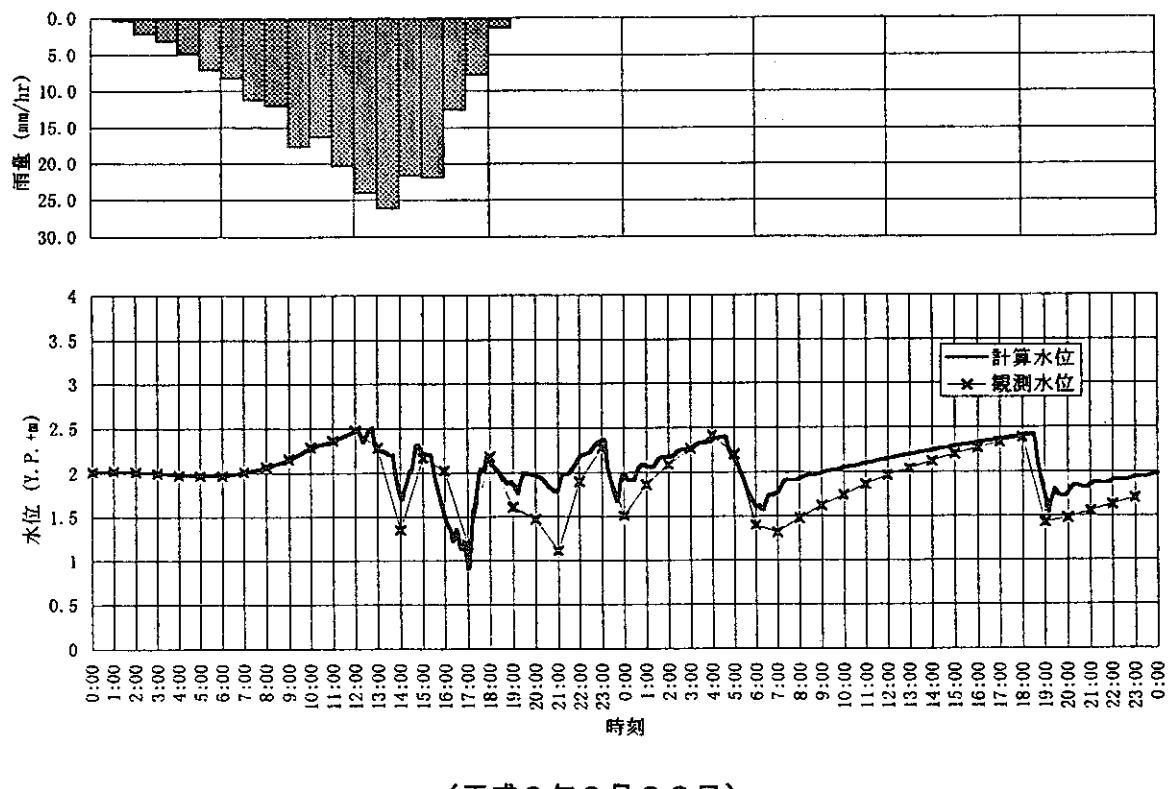
水位ともに再現性は良好といえる。

さらに、誤差関数による再現性の評価を行ったところ表-3のように、改良モデルでは明らかに再現性が改善されていることがわかる。

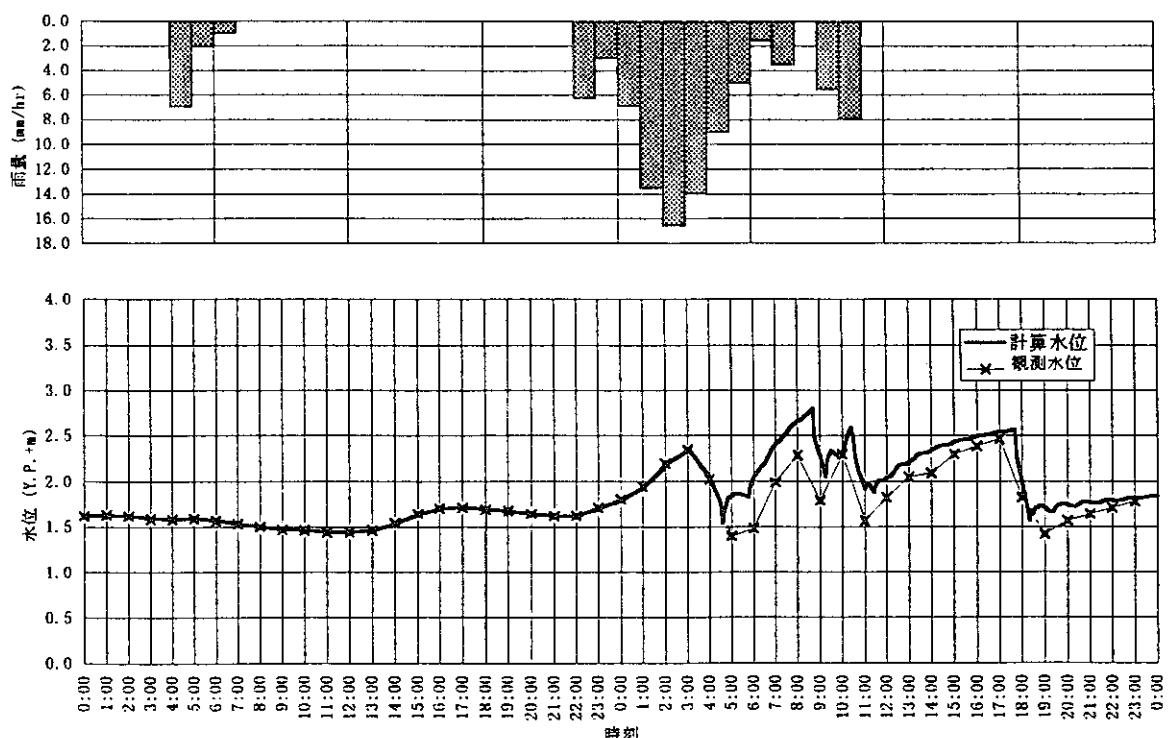
表-3 誤差関数による再現性の評価

Table 4 Evaluation of Reproductivity by Tolerance Function

	パラメータ調整前	パラメータ調整後	
		平成8年9月22日 洪水	平成10年9月16日 洪水
野々下中・下流	0.1104	0.0147	0.0312
富士川中流	0.0154	0.0076	0.0298
長津川下流	0.0134	0.0104	0.0204

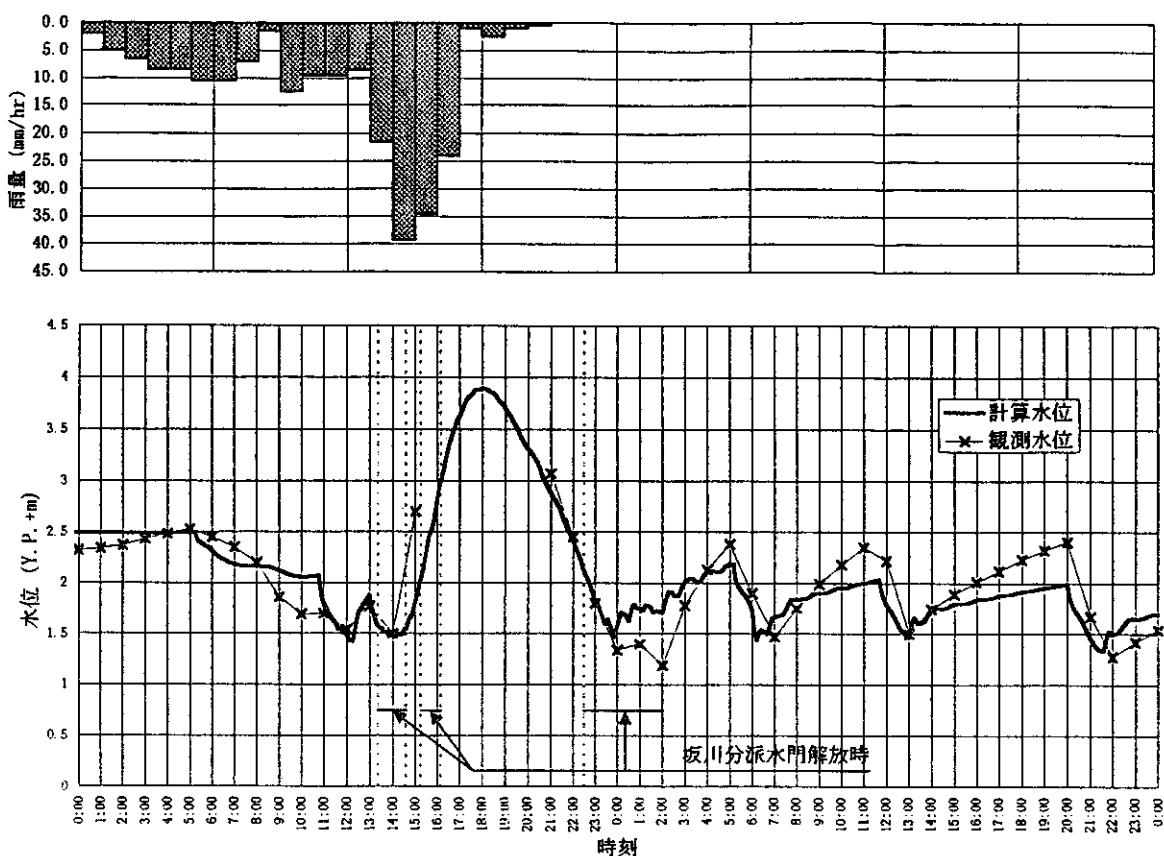


(平成 8 年 9 月 22 日)



(平成 10 年 9 月 16 日)

図-2-1 坂川放水路水位再現計算結果
Fig. 2-1 Sakagawa River Drainage Canal Water-Level
Reproduction/Simulation Calculation Results



(平成3年9月19日)

図-2-2 坂川放水路水位再現計算結果
Fig. 2-2 Sakagawa River Drainage Canal Water-Level
Reproduction/Simulation Calculation Results

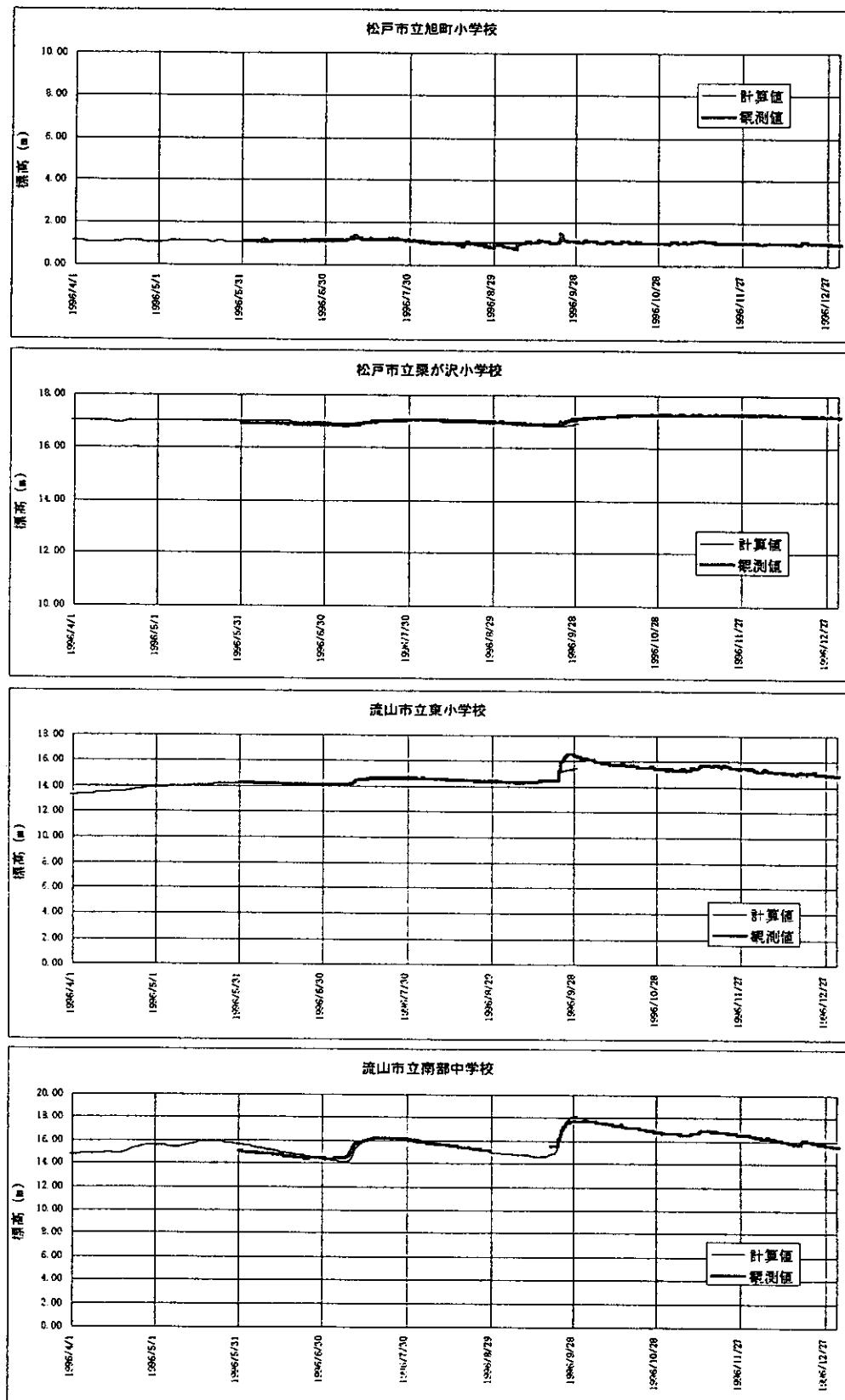


図-3 地下水位再現計算結果
Fig.3 Groundwater Level Reproduction/Simulation Calculation Results

3. 流域対策及び治水整備の方向性

3-1 既存諸計画等からみた流域対策の方 向性

坂川流域においては、

- ・ 治水計画（坂川全体計画、坂川放水路治水計画）
- ・ 北千葉導水事業計画
- ・ 清流ルネッサンス 21 計画
- ・ 常磐新線沿線開発計画
- ・ 県・市の開発指導要綱

といった既存の計画がある。

これらの計画は完了しているものが少なく、坂川流域の治水整備はまだ完了していない。

（現実的には、河道改修を中心とした対応では困難な状況）また、常磐新線沿線開発に見られるような大規模開発が今後もあることより、流域対策の強化を含めたより効果的な流域全体の計画を策定する必要がある。なお、参考までに諸計画の概要を以下に示す。

（1）治水計画

坂川の治水計画は将来計画 1/50 で策定されており、坂川放水路流域以外の河川（坂川、新坂川、六間川、横六間川）は将来計画で河道改修済みである。

このうち、直轄河川である坂川放水路の治水計画は、坂川全体計画の中でも、別途貯留閑数モデルで計画（将来 1/50、暫定 1/10）されており、暫定改修については完了している。なお、坂川放水路流域の内水排除対策として、江戸川合流点に松戸排水機場（排水量 100m³/s）が設けられている。

（2）北千葉導水事業計画

流況調整河川事業の一つとして、利根川と江戸川両河川を水路で結び、両河川の流況を調整し、周辺地域の洪水処理、内水排除を行うとともに水資源の効率的広域利用を図ることを目的とした事業である。この導水路は、坂川の上流部を一部共用しており、現在、既に導水路工事は完了し、試験通水を実施している。

（3）清流ルネッサンス 21 計画

坂川における良好な水環境の確保を図るため、平成 12 年における目標を定め、これを達成するための河川や下水道などの事業を立案したものである。

なお、清流ルネッサンス 21 による施策を表一 4 に示す。

表一 4 清流ルネッサンス 21 による施策

Table 5 Measures Under Clear Streams Renaissance 21

目的	対策
流量の確保	浄化用水、環境用水の導入
	新開発市街化地区において、雨水浸透施設を設置し、自流量の増加を計る
	その他（下水処理水の還元、合併浄化槽の普及など）
負荷の削減	下水道整備
	合併浄化槽の促進（補助金の交付により普及促進）
	河川直接浄化槽施設対策（新規に浄化槽を 6ヶ所設置）
	雑排水対策（ろ紙袋など家庭ができる浄化対策）
	その他（浚渫、事業所排水など）
安全でおいしい水の確保	流水保全水路整備

（4）常磐新線沿線開発計画

平成 17 年の開通を目指し、坂川放水路流域内で、常磐線の混雑緩和等を目的とした常磐

新線計画がある。常磐新線の開通にあわせて、沿線地区の宅地開発等（開発地区の殆どが市街化調整区域）が進められており、坂川への

影響としては、平常時の流量の減少、洪水時の流出量の増加が考えられる。

県の治水計画では、開発予定区域において、 $1340\text{m}^3/\text{ha}$ （調節地 1300 + オンサイト貯留 $40\text{m}^3/\text{ha}$ ）の洪水調節施設を設置することになっている。

(5) 県・市の開発指導要綱

坂川流域内には、松戸市、柏市、流山市があり、それぞれの自治体で開発規模に応じて流出抑制施設の設置を義務付けている。（1ha以上は県の指導基準）また、一般の戸建住宅についても、新築、建替え時の建主に対し浸透施設の設置依頼を行っている。

3-2 関連自治体及び流域住民の流域対策等への意向

坂川流域全体について、雨水貯留浸透施設などの流域対策や河川整備の実態や今後の整備方針及び実行可能性等、流域全体の今後の整備のあり方に関する各々の意向を、聞き取り調査により把握した。

聞き取り調査は、坂川流域に関連する自治体（千葉県、松戸市、柏市、流山市）の河川及び下水道担当と、住宅都市整備公団や千葉県住宅供給公社など流域の大規模開発者に対して実施した。

聞き取り調査の主な項目は、

- ① 新規及び既開発地における流出抑制施設の設置指導について
- ② 開発に伴う流出抑制施設計画
- ③ 河川・調節池整備計画について

があげられる。

結果としては、

- ① 開発行為に対しては流出抑制施設は100%設置することが見込め、その方法も、貯留型と浸透型の併用が促進される可能性が高い。
- ② 一般の戸建て住宅についても、昭和 61 年から流出抑制の指導を行っている松戸市の新增改築の場合、約 50%の設置率（松戸市実績）となっており、柏市や流山市においても今後は同等の普及率が期待される。
- ③ 学校等の公共施設においても、流域貯留浸透事業の活用により整備は見込める。
- ④ 常磐新線開発区域では、流出抑制量としては $1340\text{m}^3/\text{ha}$ であり、その全てが調整地で対応することとなっているが、事業者によっては浸透施設による対応を検討している地区もある。

といったことが把握でき、同流域での流域対策には雨水貯留施設だけでなく浸透施設も活用される可能性が高いことがわかった。

4. 水管理計画の検討

4-1 流域基本高水流量の設定

坂川流域の開発動向や河川整備事業の効果発現時期を考慮し、計画の目標年次や市街化について表-5のとおり想定した。

想定したフレームに基づき坂川放水路流域の暫定計画及び将来計画の流域基本高水流量を、水循環解析モデルと貯留関数モデルにて算定した結果を表-6に示す。

表-5 暫定計画及び将来計画の目標年次と流域の想定

Table 6 Provisional and Future Plan Target Dates and Hypothetical Basin Conditions

	目標年次	市街地想定	備考
暫定計画	21世紀初頭 (概ね 10 年後)	既成市街地 + 常磐新線沿線区域 + 市街化区域内の未開発地	常磐新線沿線の開発がほぼ完了
将来計画	21世紀中頃 (概ね 30 年後)		一般的な河川整備事業の効果発現期間

表-6 貯留関数と水循環モデルによる基本高水流量

Table 7 Basic High-Water Discharge for Storage-Coefficient and Water Circulation Models

	貯留関数モデル			水循環解析モデル		
	ピーク流量 m ³ /s	総流出量 m ³ /s	流出率	ピーク流量 m ³ /s	総流出量 m ³ /s	流出率
暫定 (1/10)	300	6,085,086	0.92	291	4,985,786	0.754
将来 (1/50)	469	9,997,898	0.947	463	8,329,688	0.789

表からも明らかなように、貯留関数モデルも水循環解析モデルもピーク流量は殆ど変わらない。しかしながら、総流出量については、水循環解析モデルが地下への浸透量を地質特性に合わせて計算しているため大きな相違が

生じている。

この結果に基づき、坂川放水路流域の流域基本高水の流量配分図を作成すると、図-4 になる。

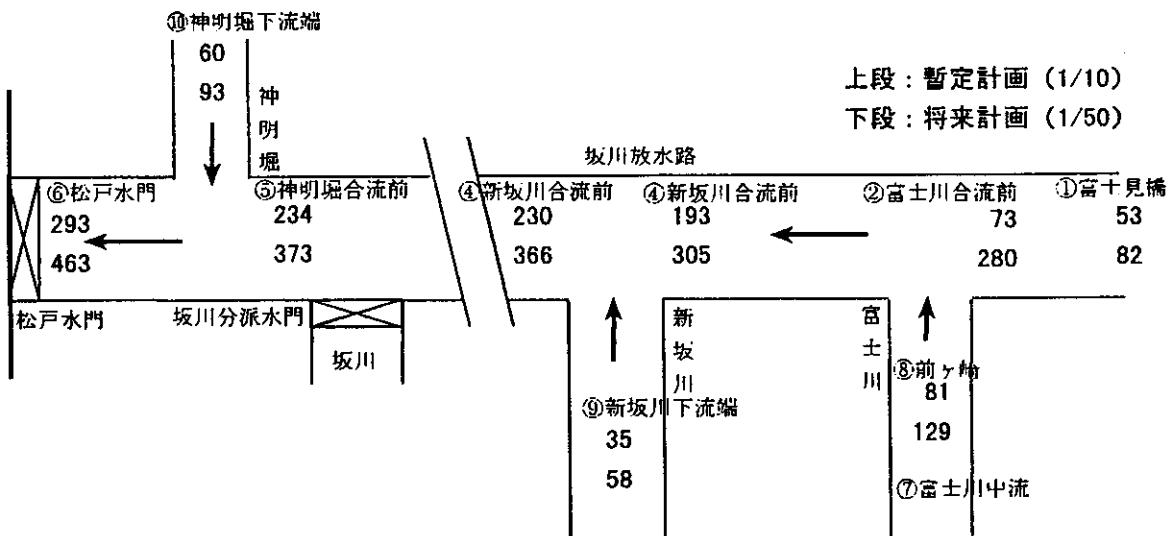


図-4 坂川放水路流域基本高水流量配分図

Fig.4 Basic High-Water Discharge Distribution Diagram for the Sakagawa River Drainage Canal Basin

4-2 流域対策規模の検討

流域対策として考えられる施設は、大きく雨水浸透施設と雨水貯留施設が考えられる。これらの施設は、開発時に設置されるものや、既存住宅の増改築時に設置できるもの、学校や公園などの公共施設に設置できるものがあ

る。本報告では、これらの事業者及び自治体の指導担当への聞き取り調査や市民への意識調査結果、これまでの実績等から流域内における各流域対策の実施方針を表-7 に示すとおり想定した。

表－7 流域対策の実施方針
Table 7 Basin Measures Implementation Policy

対象地域		流域対策の内容
新規開発地	常磐新線沿線開発区域 (全域を対象)	浸透適地：時間当たり 20mm/hr の浸透施設 + 1005m ³ /ha の貯留施設 浸透不適地：1340m ³ /ha の貯留施設
	その他開発区域 (全域を対象)	浸透適地：時間当たり 20mm/hr の浸透施設 + 各市で定められている必要貯留量の 75% 浸透不適地：各市で定められている必要貯留量
一般住宅 (新・増改築の 50%を目標)		新・増改築の住宅に対して 100m ² 当たり 2 個の浸透マスを設置
学校 (全ての学校を対象)		浸透適地：時間当たり 10mm/hr の浸透施設 + 校庭貯留 浸透不適地：校庭貯留

4-3 河川管理施設分担の検討

当流域で考えられる河川管理施設による洪水処理分担方法としては、河道改修、調節池の設置、新たな放水路（地下河川）の建設が考えられる。これらのうち、河道改修は現況の河川用地内で対応する（護岸の形状、形質を変えることで対応）ことを基本として考え、調節池は、流域内の適地を考慮し設置場所を選定し（坂川放水路と富士川合流点付近、図-5 参照）、さらに放水路は、河道改修や調節

池でも洪水処理できない場合に建設するという前提のもとに、経済性を考慮して検討した。

その結果、暫定計画においては、表-8 に示す規模の調節地を設置することで対応でき、将来計画については、表-8 に示す調節池の設置と河道の一部を改修（現況の高水敷きを掘削し、2割勾配の断面とする）することにより対応可能であることが確認できた。（なお、新規放水路を建設しなくても対応可能）

表－8 調節地規模
Table 9 Regulating Reservoir Scale

	貯水容量	面積	計画水深	ピークカット量	
				調節地地点	松戸水門地点
暫定計画	260,000m ³	7.4ha	4.1m	50m ³ /sec	37m ³ /sec
将来計画	390,000m ³	11.0ha	4.1m	86m ³ /sec	60m ³ /sec

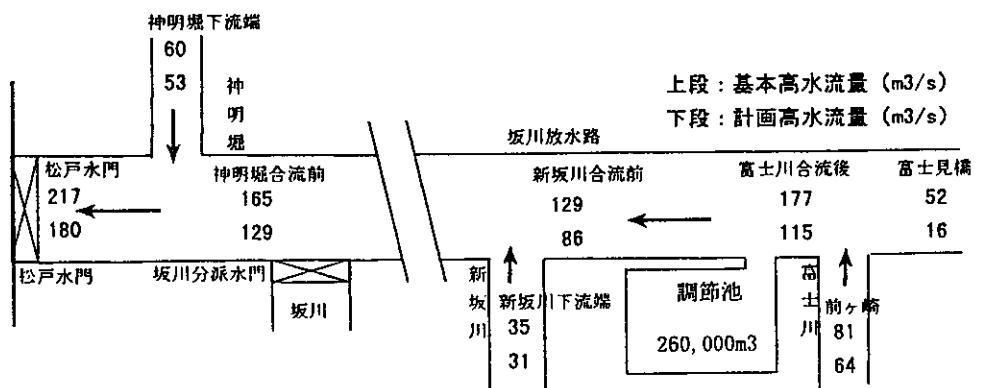
4-4 水管理計画の検討

これらの検討に基づいて坂川放水路流域の基本高水と計画高水を図-5 のとおり設定した。

考え方としては、図-4 に示した流域基本高水流量のうち、表-7 に掲げた流域対策に

より基本高水流量までを分担し、さらに調節地の設置により計画高水流量まで低減させ、残りを河道分担に委ねることになる。なお、このときの松戸水門地点におけるハイドログラフと洪水処理分担計画の概念を図-6 に示す。

【暫定計画】



【将来計画】

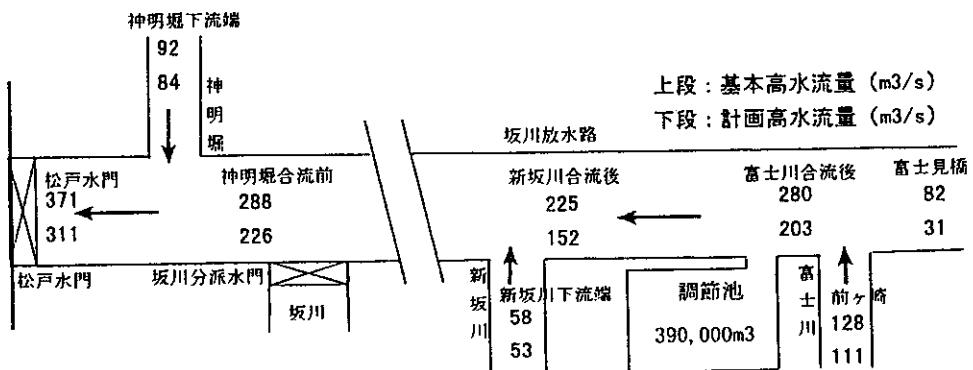


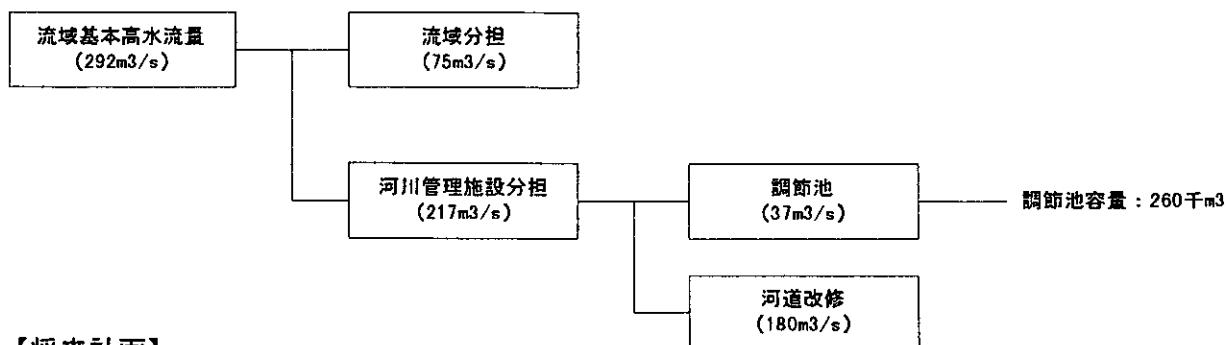
図-5 基本高水流量と計画高水流量

Fig.5 Basic High-Water Discharge and Projected High-Water Discharge

洪水処理計画の流域対策は、可能な限り雨水浸透施設を設置する方針で設定した。雨水浸透施設は洪水流出抑制のみならず、雨水の地下水涵養量の増加に伴い、平常時の河川流量を増加させたり、地下水位を回復させる効果が期待される。暫定計画及び将来計画での対策を実施しない場合と洪水処理計画で設定した流域対策を実施した場合の河川流況、地下水位の比較を表-10 に示すが、坂川流域全

体の渇水流量は約 0.05m³/sec の増加、地下水位は約 1.2m の上昇となり、流域水循環の再生・保全に大きく寄与していることが分かる。また、参考に下水道への地下水侵入水対策と地下水揚水規制による効果をあわせて示しているが、これらの対策の効果も大きく、水循環の再生・保全のためには、雨水浸透に加え、地下水の保全をターゲットにする事が重要といえる。

【暫定計画】



【将来計画】

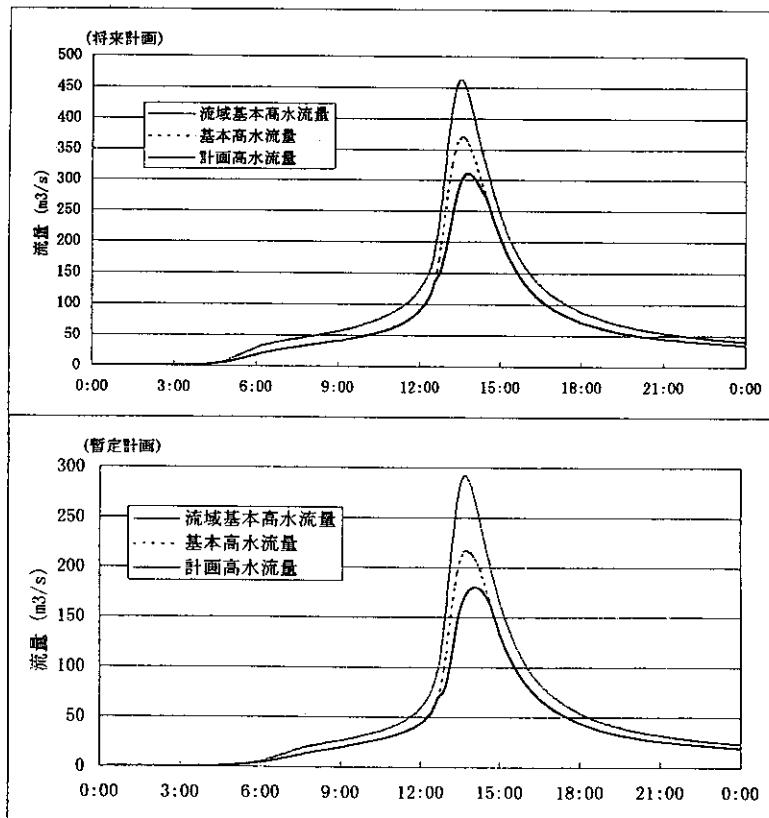
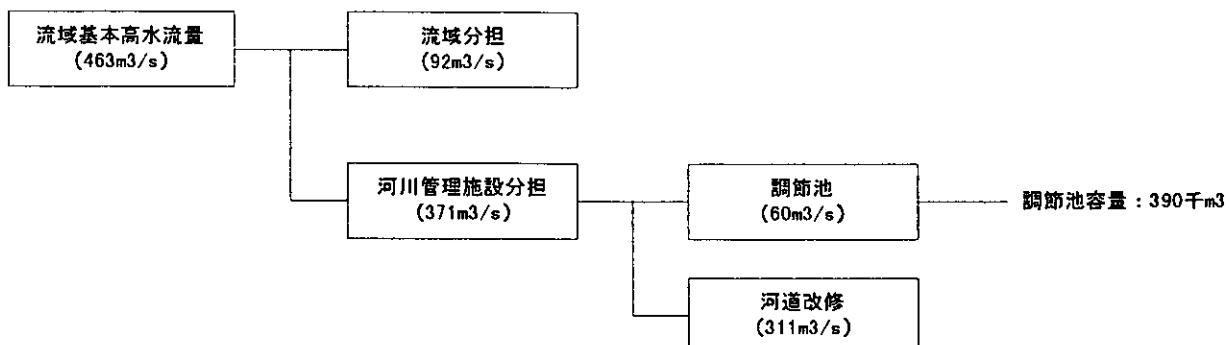


図-6 洪水処理分担計画(案)と松戸水門地点ハイドログラフ

Fig. 6 Flood Management Partitioning Plan (draft) and Hydrograph at the Matsudo Floodgate

表-9 全流域の水循環への影響量
Table 9 Volume of Impact on Basin-wide Water Circulation

		最大 [m ³ /s]	豊水(95日) [m ³ /s]	平水(185日) [m ³ /s]	低水(275日) [m ³ /s]	渇水(355日) [m ³ /s]	平均地下水位 [m]
	現況	82.33	1.52	1.19	1.05	0.90	10.136
将来 (暫定計画)	流域対策無し	103.97	0.68	0.34	0.22	0.15	7.103
	流域対策有り	89.92	-14.04	0.65	-0.03	0.41	0.08
	流域対策+農水以外 の地下水揚水無し	90.01	-13.96	0.71	0.03	0.48	0.14
	流域対策+下水管 浸出水対策	90.18	-13.78	0.82	0.13	0.59	0.25
将来 (将来計画)	流域対策無し	103.97	0.68	0.34	0.22	0.15	7.103
	流域対策有り	89.84	-14.12	0.63	-0.06	0.41	0.08
	流域対策+農水以外 の地下水揚水無し	89.92	-14.04	0.70	0.01	0.48	0.14
	流域対策+下水管 浸出水対策	90.10	-13.86	0.81	0.12	0.59	0.25

5. おわりに

このように、坂川放水路の洪水処理計画には、流域対策の役割が大きいことがわかる。特に、常磐新線沿線開発や市街化区域内の新規開発地に対する洪水流出抑制施設や一般住宅の雨水浸透施設の普及が重要といえる。これらは、検討の中にもあるように、洪水処理のみならず、今日的課題である“都市内河川の平常流量をいかに確保するか”といったことに対しても効果がある。このように、雨水

浸透施設等の流域対策に対する考え方やその評価手法等については確立されつつあり、今後は、雨水浸透施設等の流域対策を推進させるような方策の展開が重要な課題となると考えられる。

なお、調査にあたりご協力をいただいた建設省江戸川工事事務所、千葉県、松戸市、流山市、柏市（河川・下水道および都市関係）、住宅都市整備公団の方々および流域内市民に対し謝意を表します。