

都市部における水循環について

研究第一部 主任研究員 松下 潤

研究第一部 主任研究員 犬伏 俊通

はじめに

財団法人リバーフロント整備センターは、昭和63年度の業務として、「練馬区水辺環境保全・創出計画策定調査」を行なった。

この調査では、区内の水辺を、歴史的、文化的、社会的環境として総合的に見直し、練馬区における快適環境創造計画の一つの核として位置づけるとともに、水と緑の回復を目指した水辺環境に関する総合的な計画を策定した。

その中心である区内を流れる石神井川、白子川等は近年の都市河川の例に違わず、周辺の著しい都市化の進展により、平常水量の減少、水質の悪化等の問題が生じてきている。

そこで、以下に挙げる6つの基本施策を提言した。

- ① 広域的な水管理施策の推進
- ② 豊かな水量を回復、確保する施策の推進
- ③ 水辺拠点の空間整備の早期推進
- ④ 残存する自然環境を保全する施策の推進
- ⑤ 水辺地域の活性化を図る施策の推進
- ⑥ 区民参加による水辺再生活動の推進と水辺保全意識の醸成

調査では、①、②の施策を推進するに当たって、雨水流出抑制型下水道や、各戸浸透施設等の雨水の地下浸透促進を図ることが重要であると考え、その効果を把握するため練馬区内の水循環機構について分析を行なった。

本稿では、練馬区の現況および水収支モデルについて述べ、雨水流出抑制型下水道や、各戸浸透施設等を導入したときのシミュレーション結果を報告する。

1. 練馬区の現況

1.1 練馬区の地形

練馬区は、ほとんど高低差のないなだらかな地形を呈している。地盤高で見ると西側は関町北四丁目付近で海拔約54m、東側は羽沢三丁目付近で約26m、平均し30～40m程度の起伏の少ない台地地形となっている。この台地は、武蔵野台地と呼ばれ、青梅市を頂点とする扇状地形洪積台地である。

1.2 練馬区の地質

練馬区の地質は、地質時代からみると、比較的新しい時代に形成された地質で、台地は洪積層、低地は沖積層からなっている。

洪積層は、上部の関東ローム層、中部の粘土層の互層、下部の砂礫層から構成される。この台地の洪積層と低地の沖積層の基盤になっているのが第三紀層である。

武蔵野台地の表面は、ローム層で厚く被われていて水を得ることはできないものの、ローム層の下には粘土と礫の層があり水を含んでいる。そうした地層が谷の底、谷の側壁、段丘崖などに露出して湧水となる。三宝寺池、富士見池はこうした湧水からできた池である。

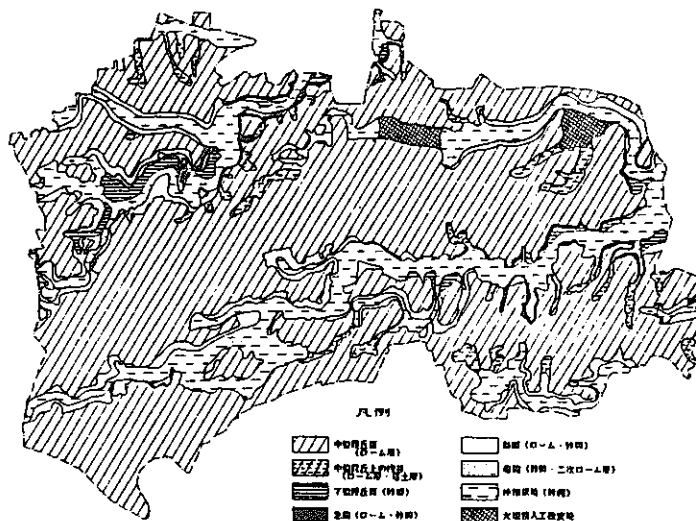


図-1 練馬区の土地条件図

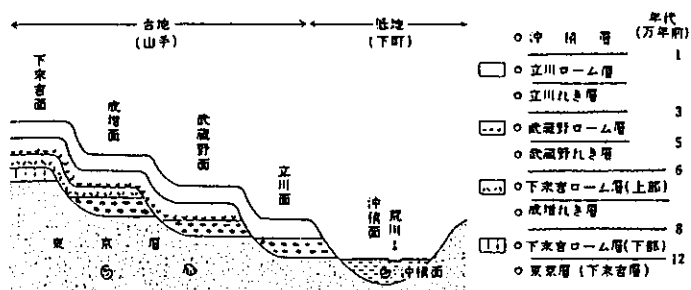


図-2 武蔵野地域の段丘とローム層

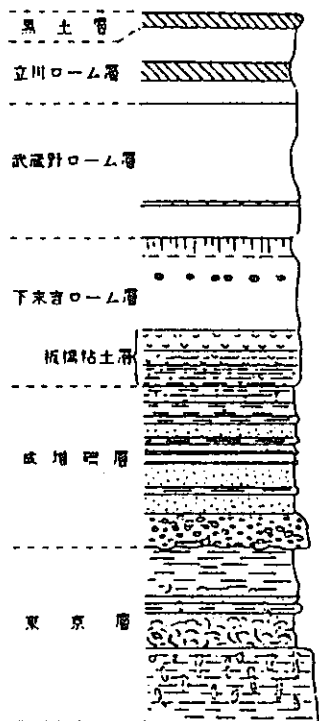


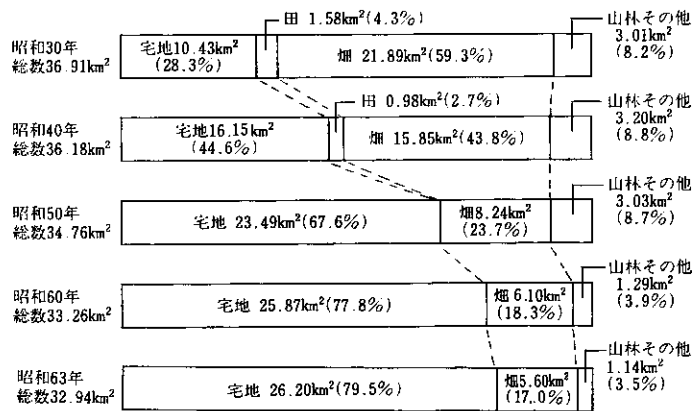
図-3 成増付近の地層

1.3 練馬区の土地利用現況

戦後の高度経済成長による東京都心部の都市化はその周辺までおよび、練馬区を典型的な都市住宅地へと変貌させた。練馬区の昭和63年の人口は605,548人世帯数は238,562世帯であり、高度経済成長のはじまる直前の昭和30年に比べ人口で約3倍、世帯数で約5倍にもなっており、特に西部で著しい人口増加を示している。

このような人口の急激な伸びに道路、下水道、公園等の都市基盤整備が追いつかず、スプロール化とも相まって無秩序な市街地化が行なわれてきた。また、区内の一部既成市街地では商店街と集合住宅、建売住宅群と工場が隣接・混在しており、さらに近年では低層住宅群に中高層住宅の侵入も見られる。

地目別土地面積率の現況（昭和63年度）は、宅地が79.5%、畑地が17.0%、山林等が3.5%となっており、この30年間で山林等は約3分の1、畑地は約4分の1に減少、逆に住宅地は2.5倍に増加している。



資料：練馬都税事務所

図-4 地目別土地面積の推移

2. 水収支モデル

地下水の挙動について、現時点では解明されていない事が多い。しかし、雨水を地下に浸透させることは、都市化される以前の状態に近づけ、地下水の涵養、しいては、湧水、河川低水流出量の増加に寄与するであろうことが予想される。

そこで、ある仮定の下で水収支モデルを構築し、シミュレーションにより定量的に雨水浸透の評価を試みた。

地下水流域は、地表面流域とは必ずしも一致せず、まして行政区域で考えることは無理がある。しかし、本調査の性格から敢えて練馬区という行政区単位で水収支モデルを考えた。

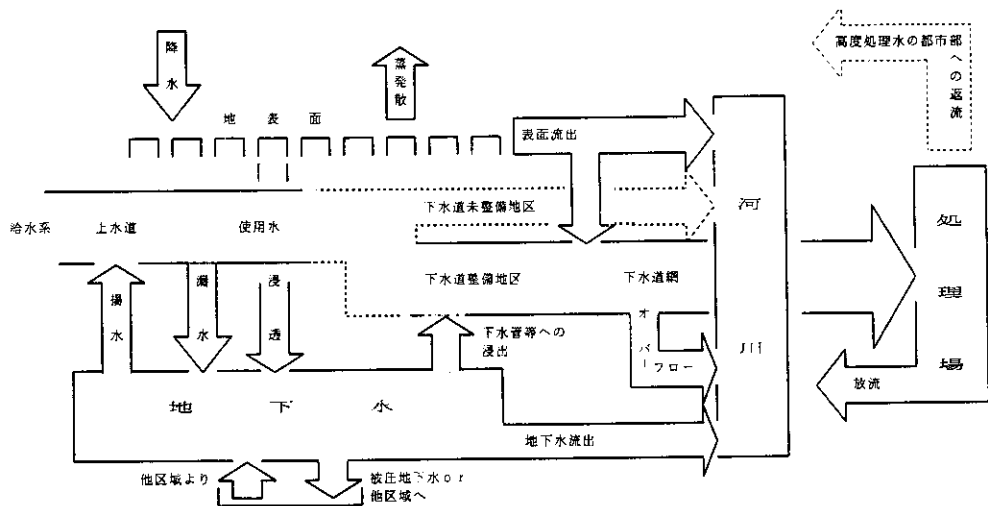


図-5 水収支モデル

2.1 水収支モデルに用いる数値

(1) 年降水量

年降水量として1,500mm/年を用いた。

(「'89水資源便覧」山海堂 関東平水年降水量1,491mm/年を参照)

(2) 上水給水量

練馬区内の上水道の年間使用量54,000千m³と、都内の無効水量率15%から上水給水量を計算した。

$$54,000 \text{千m}^3 \div 0.85 \div 47 \text{km}^3 \approx 1,350 \text{mm/年}$$

(「事業年報」東京都水道局 昭和61年度より)

(3) 上水道漏水率

上記事業年報により15%とした。

$$1,350 \text{mm/年} \times 0.15 \approx 200 \text{mm/年}$$

(4) 地下水揚水量

練馬区の地下水揚水量データが入手できなかったため、東京都の1日あたりの揚水量から面積比により算出した。

$$475 \text{千m}^3/\text{日} \times (47 \text{km}^3 \div 2,154 \text{km}^3) \times 365 \text{日} \div 47 \text{km}^3 \approx 80 \text{mm/年}$$

(1978年水道統計より)

(5) 下水道への地下水浸出

練馬区の汚水は、新河岸処理場で処理されるが、その実績から、下水道への地下水浸出量は、昭和61年度汚水発生量の16%とした。

$$181,921 \text{千m}^3/\text{年} \times \frac{584,299 \times 0.79 \text{ (練馬区の普及人口)}}{1,422,300 \text{ (新河岸処理区の普及人口)}} \div 47 \text{km}^3 \\ \times 0.16 \approx 200 \text{mm/年}$$

(「事業年報」東京都下水道局 昭和61年度より)

(6) 土地利用区分・流出率・蒸発散量・浸透能

土地利用は、「東京の土地利用」東京都都市計画局、昭和61年度を参考に決めた。また、それぞれの土地利用区分の流出率、蒸発散量、浸透能は参考文献によりほぼ妥当であろうと思われる値を用いた。

練馬区内宅地の平均建蔽率は49.9%であるが、駐車場等の不浸透面があることを考慮し、宅地内の不浸透域の割合を70%とした。宅地内の不浸透域では隣接する浸透面（庭など）へ流れ浸透するものもあり、その割合を20%とした。

不浸透域の蒸発散量は、降雨時に約2mm程度の保水能力があると仮定し、一方、1mm以上の降雨日数が年間約100日あることから200mm/年とした。

表-1 土地利用区分

		22.8%	15.5%	61.7%	
地形区分	台地面	浸透域 農地・公園等 ③	不浸透域 道路など ④	宅 18.5%	地 43.2%
	80%			宅地内浸透域 (庭など) ⑤	宅地内不浸透域 12.3%
	低地・崖地			宅地内不浸透域 のうち屋根部分 30.9%	宅地内不浸透域 のうち屋根以外の部分 ⑦
	20%			⑥	

表-2 シミュレーションに用いた指標値

		指 標 値				備 考
		面積率 (区面積比率)	流出率	蒸発散量	浸透能	
地 形 区 分	①低地・崖地	20%				各戸浸透施設は設置しないものとして計算
	②台地面	80%				各戸浸透施設設置
土 地 利 用 区 分	③浸透域 (農地・公園等)	22.8%	20%	600mm/年		
	④不浸透域 (道路など)	15.5%	100%	200mm/年		
	⑤宅地内浸透域 (庭など)	18.5%	20%	600mm/年		
	⑥宅地内不浸透域 のうち、屋根以外 の部分	12.3%	80%	200mm/年		
	⑦宅地内不浸透域 のうち、屋根部 分(各戸浸透の 対象となる面積)	30.9%			80%	

(7) 下水道普及状況

東京都下水道局昭和61年度「事業年報」より下水道普及状況を把握した。

下水道普及率 79%	合 流 式 67%
	雨水流出抑制式 12%

2.2 水収支モデル計算方法

P : 年降水量 (1,500mm/年)

E_i : 各土地利用区分の蒸発散量 (mm/年)

S_i : 各土地利用区分の面積率

θ : 下水道普及率

α : 雨水流出抑制型下水道および各戸浸透施設の浸透能 (0.8)

β : 雨水流出抑制型下水道普及率

r_i : 各土地利用区分の流出率

(1) 蒸発散量 (E)

$$E = \sum E_i \times S_i$$

(2) 表面流出量 (P_s)

$$P_s = (1 - \alpha \times \beta) \sum (P - E_i) \times S_i \times r_i$$

上記の内下水道への流出量 = $P_s \times \theta$

上記の内河川への流出量 = $P_s \times (1 - \theta)$

(3) 浸透量

$$(\text{浸透量}) = P - E - P_s$$

(4) 使用水量

$$(\text{使用水量}) = (\text{上水給水量}) + (\text{地下水揚水量}) - (\text{上水漏水量})$$

(5) 給水系から排水系への流出量

<下水道整備地区>

$$(\text{下水道網流量}) = (\text{使用水量}) \times \theta + (\text{下水道への地下水浸出量}) \\ + P_s \times \theta$$

<下水道未整備地区>

$$(\text{河川への流出量}) = (\text{使用水量}) \times (1 - \theta)$$

(6) 下水道網から河川へのオーバーフロー量

$$(\text{オーバーフロー量}) = 0.25 \times P_s \times \theta$$

(7) 下水処理量

$$(\text{下水処理量}) = (\text{下水道網流量}) - (\text{オーバーフロー量})$$

(8) 地下水流出量

地下水流出量は、以下の式で求めた。

$$(\text{地下水流出量}) = (\text{河川低水流出量}) - (\text{使用水量}) \times (1 - \theta)$$

(河川低水流出量) の算出

「公害をなくするために」練馬区役所 昭和46年～昭和62年の観測データを用いた。

そのうえで、河川低水流出量は、練馬区内での河川流量の増分と仮定した。

以下に石神井川、白子川の24時間流量観測の区の上流端と下流端の平均流量の差より求めた流量増分を示す。

石神井川	白子川
S.61. 8.26 54,000m ³	S.60. 8.27 21,000m ³
S.59. 8.28 41,000m ³	S.60. 7. 9 47,000m ³
S.59. 7. 3 53,000m ³	

上記観測日は、いずれも夏期であり、別に行なわれた年4回の流量観測結果からみると年平均流量の約20～30%増である。そこで1日の河川流量増分を以下の通り定めた。

$$\text{石神井川 } 35,000\text{m}^3 \quad \text{白子川 } 20,000\text{m}^3 \quad \text{計 } 55,000\text{m}^3$$

したがって年間低水流出量は、

$$55,000\text{m}^3/\text{日} \times 365\text{日} \div 47\text{km}^3 \approx 430\text{mm}/\text{年}$$

上式に昭和61年度のデータを代入し(地下水流出量) = 170mm/年を求めた。

2.3 水収支モデルの検証

採用する水収支モデルが、現実に即しているかを、下水処理量とシミュレーションのアウトプット数値を比較することで検証した。

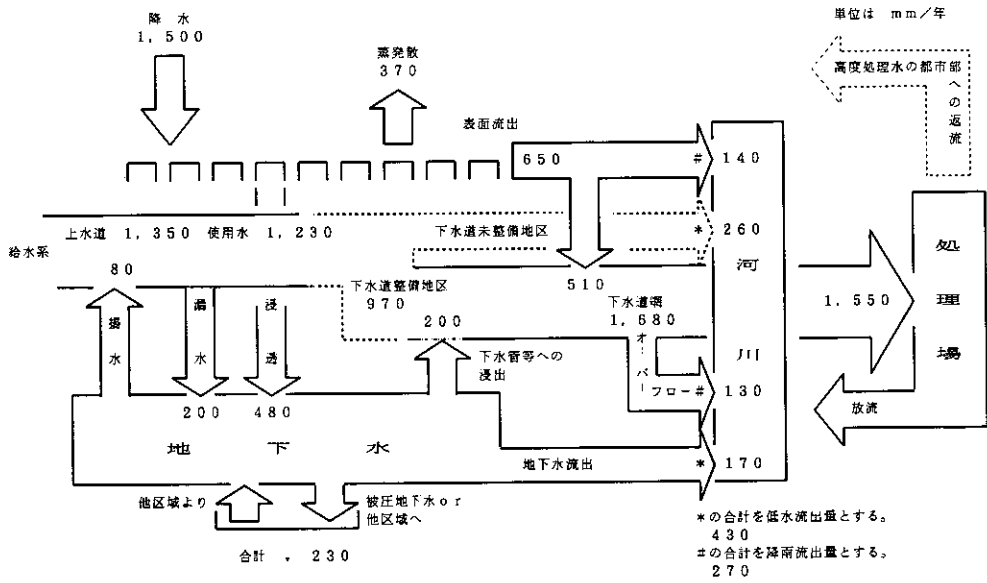


図-6 S.61現況 水収支モデル

(1) 実測値

「事業年報」東京都下水道局 昭和61年度より、人口比率により練馬区の処理量を求めた。

新河岸処理場での年間処理量 181,921千m³/年

$$181,921 \text{ 千 m}^3 / \text{年} \times \frac{584,299 \times 0.79 \text{ (練馬区の普及人口)}}{1,422,300 \text{ (新河岸処理区の普及人口)}} \div 47 \text{ km}^2$$

$$\approx 1,300 \text{ mm} / \text{年}$$

(2) シミュレーション値

シミュレーションによる昭和61年度の下水处理量は、1,550mm/年

(3) 検証

さまざまな仮定の下で行なったシミュレーションであるが下水处理量のシミュレーション値は、ほぼ実測値(推定)に近い値を示したため、当モデルを用いることにした。

3. シミュレーション

3.1 前提条件

下水道普及率以外の数値は昭和61年度のものを用いる。

(地下水流出量)は、地下水涵養量 \times (上水道からの漏水量) + (地表面からの雨水浸透量) \times に比例するものとする。

3.2 シミュレーションの方法

前述の前提条件の下で、雨水流出抑制型下水道、各戸浸透施設を導入することにより、河川の低水流出量がいかに変化するかを以下の3ケースについて、シミュレーションした。

(ケース1) 雨水流出抑制型下水道の効果を見るため、以下の条件とする。

- ・下水道未整備地域(残り21%)を今後、全て合流式下水道で整備する。
- ・ただし各戸浸透施設は設置しない。

(ケース2) 現在の整備方式で下水道普及率100%となった場合

- ・下水道未整備地域(残り21%)のうち、今後4%を合流式、17%を雨水流出抑制型で整備する。
- ・ただし各戸浸透施設は設置しない。

(ケース3) ケース2に各戸浸透施設を導入した場合

- ・下水道未整備地域(残り21%)のうち、今後4%を合流式、17%を雨水流出抑制型で整備する。
- ・崖地と低地(計20%)を除く全ての宅地に各戸浸透施設を設置する。

3.3 シミュレーション結果

シミュレーションの結果は、雨水の地下浸透がどの程度地下水涵養、しいては河川等への低水流出に寄与するかの観点からまとめた。

表-3 シミュレーションの条件

	S. 61年	ケース1	ケース2	ケース3
下水道普及率	79%	100%	100%	100%
各戸浸透施設	0%	0%	0%	80%
雨水流出抑制型下水道	12%	12%	29%	29%

表-4 シミュレーション結果

(単位は雨量換算 mm/年)

	S. 61年	ケース1	ケース2	ケース3
直接流出	270	160	140	90
地下水涵養*)	680	680	770	1,030
低水流出	430	170	190	260

*) 地下水涵養量 = 上水道からの漏水量 + 地表面からの雨水浸透量

それぞれのケースの水収支モデル図は、図-7、図-8、図-9に示す。

雨水の地下浸透が地下水涵養に寄与するであろうことは、今までたびたび言われてきたことであるが、今回水収支モデルによってシミュレーションすることにより、ある仮定の下ではあるが、定量的に把握することができた。

(1) 下水道普及による河川低水流出量の変化 (S.61年とケース1との比較)

S.61年の現況よりも河川低水流出量が減少しているが、これは家庭雑排水が下水道に取り込まれるためであって、水量は減るが水質は向上することを意味する。しかし、量としては約6割減少する結果になっている。

(2) 雨水流出抑制型下水道導入による効果 (ケース1とケース2との比較)

雨水流出抑制型下水道の普及率を17%向上させることにより、河川低水流出量の減少を若干食い止めることが出来る。また、地下水の涵養量は、約1割増加する。

(3) 各戸浸透施設導入による効果 (ケース2とケース3との比較)

各戸浸透施設導入による効果は、地下水の涵養量・河川低水流出量とも約3割強増加させると共に、雨水の直接流出量は約3割減少する結果になっている。

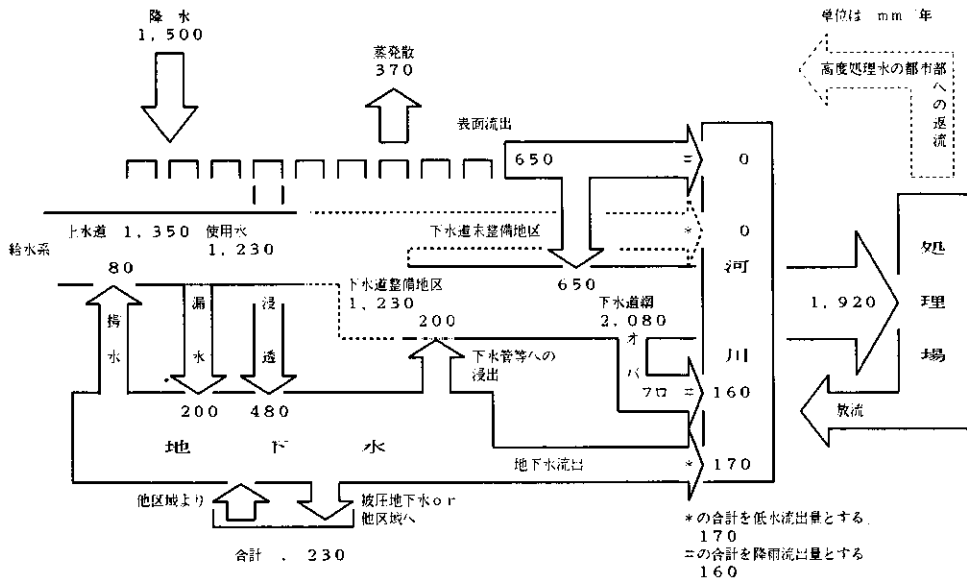


図-7 ケース1 水収支モデル

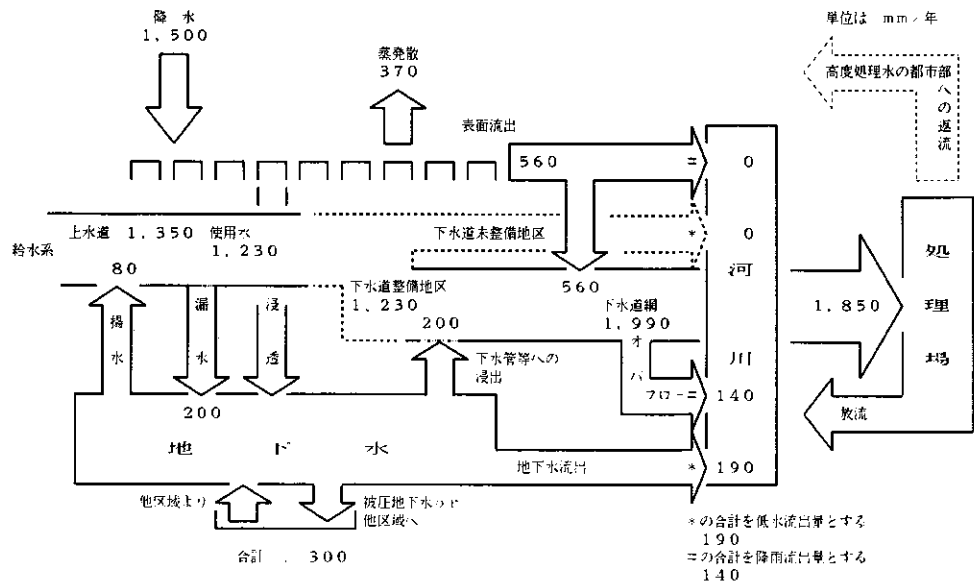


図-8 ケース2 水収支モデル

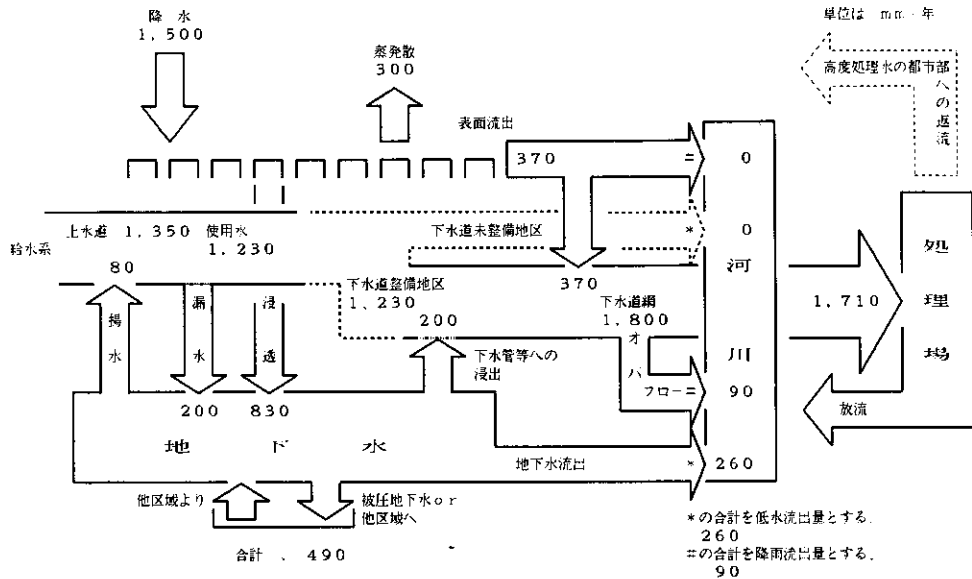


図-9 ケース3 水収支モデル

おわりに

今回は、諸事情により概略モデルで検討を行なった。今後は、各種データの収集・解析等により、さらに発展した水収支モデルを作ることが望まれる。それにより、都市部の水循環システムが明らかになり、水辺環境保全・創出についての有効な施策が行なわれることが重要であると考えます。

最後に、本調査でお世話になった練馬区の各氏ならびに水循環分科会の、東京大学生産技術研究所 虫明 功臣 教授、東京都土木技術研究所技術部河川研究室 和泉 清 室長、芝浦工業大学都市環境工学室 守田 優 専任講師の関係各位に改めて感謝する次第である。

参考文献

- 1) 虫明功臣・石崎勝義・吉野文雄・山口高志 編著「水環境の保全と再生」山海堂、昭和62年10月
- 2) 虫明功臣「都市の水環境システム」水文・水資源学会誌、1985年5月
- 3) 小山隆紹・藤田昌一「新しい下水道方式の計画と設計」鹿島出版会、昭和59年
- 4) 押田勇雄 編「都市の水環境」NHKブックス、昭和57年12月