

II-37 都市化による河道改修が流出に及ぼす効果（その2）

国立防災科学技術センター 正員 木下 武雄

1.概要：都市化の水文学的効果は流出斜面における効果と河道における効果とに分類される。後者のうち河道改修の影響については一口に洪水伝播を速めると言われているが、具体的にどのようなメカニズムによるものなのか。著者は、多摩ニュータウン内で支川大栗川の河道改修により本川多摩川への流出が早まる有様について29回水講（p.37）に述べた。ここではそれを発展させて、数値シミュレーションを用いて自然状態と都市化状態との流出の比較を行い、その実態を明らかにする。

2.研究の手法：都市を作ると流出流量が増すであろうという考えは一般化したがる、それにより新たな計画に基づき河道が改修される。河道の弯曲をなくし、断面を整備するために、弯曲の損失や摩擦損失が小さくなるので、河川改修は洪水伝播（流下）を速め、従って洪水ピークを高くする。また洪水伝播速度は単断面の場合は単純と考えられるが、複断面で高水敷に水がのる場合、又は自然状態の河川で周辺地盤へあふれている場合には洪水が一野滞留されるような形となり、伝播速度が低下することがこれまでも注目されている。河道改修の流出に及ぼす効果は少し見方を変えれば下水道の普及による問題とも共通しているが、この複断面の効果については Manning の粗度の公式を単純化して、高水敷幅 / 低水路幅、及び高水敷水深 / 低水路の深さの2要素について無次元表示された形で伝播速度低下を具体的に示した（前掲水講）ここでは同様に、多摩ニュータウン内の大栗川における観測をもとにしてさらに追究する。大栗川は多摩川の右支川で多摩ニュータウンの主要部を西から東へ流れる。図1参照。ここは多摩丘陵と呼ばれる丘陵で、最高は標高200m、丘陵の比高は数十m、大栗川の長さは約14km、流域面積は約27km²であって、ニュータウン建設のため大々的に改修がなされた。ここで都市水文研究会として多摩ニュータウン流出試験地調査が行なわれているので大栗川の次の観測所は東京都の分担となっている。上流から大栗川橋、常盤橋、明神橋（途中で移設）、霞が関橋である。さらに下流の芝田川合流点と、多摩川への合流点との間に報恩橋があるが、一応これは除外した。表1にそれらの距離・河床高等を示す。改修後（現況）の河道については改修図面・現地測量でよくわかるが、改修前の河道は地形図等でわかりにくい。平面図はあるが、横断面図は乏しいので現地を注意深く歩き、残っている旧河道を探し、橋が今も残っていればそれが地盤高に近いと推定して、それらを測量し、改修前河道の横断面を復元した。対象洪水は改修前から最近までの大きな洪水を選んだが、欠測や時刻の分解能の十分でないものが多く、次に述べるシミュレーションによって可能な限り対象洪水を再現し、それを基に改修前の洪水については改修後河道における状態を、改修後の洪水については改修前河道における状態をそれぞれ都市化状態、自然状態として推定するという手法をとった。いわばシミュレーションを生データの平滑化に利用したと言えるかも知れない。

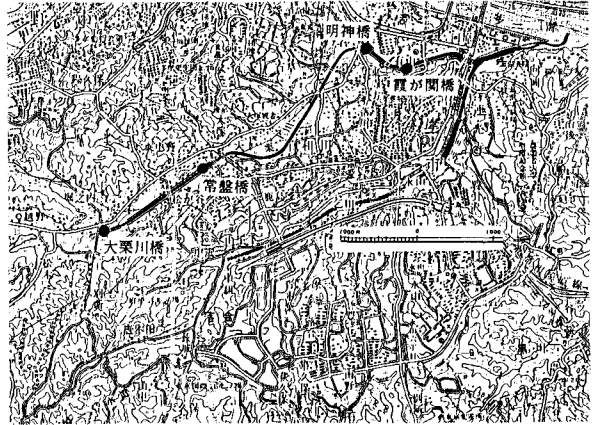


図1 多摩ニュータウン、大栗川の観測所の位置(改修後)

表1にそれらの距離・河床高等を示す。改修後（現況）の河道については改修図面・現地測量でよくわかるが、改修前の河道は地形図等でわかりにくい。平面図はあるが、横断面図は乏しいので現地を注意深く歩き、残っている旧河道を探し、橋が今も残っていればそれが地盤高に近いと推定して、それらを測量し、改修前河道の横断面を復元した。対象洪水は改修前から最近までの大きな洪水を選んだが、欠測や時刻の分解能の十分でないものが多く、次に述べるシミュレーションによって可能な限り対象洪水を再現し、それを基に改修前の洪水については改修後河道における状態を、改修後の洪水については改修前河道における状態をそれぞれ都市化状態、自然状態として推定するという手法をとった。いわばシミュレーションを生データの平滑化に利用したと言えるかも知れない。

	距離	上端高地盤高 -TP	河床高 -TP
多摩川合流点	0 ^m	48 ^m	44 ^m
報恩橋	630	50	46
芝田川合流点	980	51	47
霞が関橋	1700	53	49
明神橋	2500	56	52
常盤橋(堰)	6850	72	69.5
大栗川橋	9390	82	80

表1 改修前の河道沿の距離河床高

3. 数値シミュレーション:

3.1 流域からの流出: 流出計算は準線型モデルと呼ばれる指数低減型単位図による。時定数は $\frac{C}{2} A^{0.22} Y_e^{-0.25}$ の曲線と実績曲線との交点により求める。A: 流域面積, Y_e : 流域平均最大有効降雨で, Cとピーク流出係数 f_p は都市化数 U_n により求める。大栗川流域を1/2に分割して流域からの流出を推算した。

3.2 河道追跡: 運動方程式は、上流から下流へ X をとり、

$$\frac{1}{g} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{2g} \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{n^2 u^2}{R^{4/3}} = 0$$

u : 平均流速, H : 水位, n : マニングの係数, R : 径深で、この式を差分化する。 l は下流側, $*$ は Δt 前の値を示す。

$$\frac{1}{g} \frac{u - u_*}{\Delta t} + \frac{1}{2g} \frac{u_l^2 - u_*^2}{\Delta x} + \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{1}{2} \left(\frac{n^2 u_l^2}{R^{4/3}} + \frac{n^2 u_*^2}{R^{4/3}} \right) = 0$$

これで u を求め、流量 $Q = Au$ とする。A: 流水断面である。落差工では流れを完全越流ともぐり越流との2種と仮定し、下流側の水位により、いずれかの公式を用いた。

連続式は $\frac{\partial A'}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q$

ここに q は横流入で、3.1 にある値を用いた。 A' は貯留断面積で、改修前については改修前平面図と現地踏査とにより $A' \Delta x = V$ に相当する貯留体積を H との関連で表わし、 $Q \Delta t \rightarrow \Delta V \rightarrow H$ という手順により次の時刻の H を求めた。 $\Delta x = 300$ m である。

	観測				計算								
	改修前 7690m		改修後 5300m		改修前 7690m		改修後 5300m		伝播速度の比				
	流量	時間	流量	時間	流量	時間	流量	時間	伝播速度	伝播速度の比			
S44	8.23	4.1	100	1.28	17.0	54	2.37	17.2	33	2.68	1.13		
S45	7.1	10.7	0		7.8	23	5.57	7.9	15	5.89	1.06		
S46	8.31	20.7	304	2.27	66.0	50	2.56	66.7	19	4.65	1.82		
S51	9.9			3.8	10	8.83	40.9	24	5.34	41.4	11	8.03	1.50
S53	7.11			58.6			102.7	24	5.34	111.5	11	8.03	1.50
S54	5.8			22.3			21.5	50	2.56	21.9	14	6.31	2.46
S5410.19				66.6			41.7	34	3.77	42.5	17	5.20	1.38
S56	4.20			36.3	10	8.83	34.4	27	4.74	34.7	10	8.83	1.86
S57	4.15			21.8	10	8.83	21.7	44	2.91	21.9	22	4.02	1.38
S58	8.15			54.9	10	8.83	60.0	44	2.91	60.6	20	4.42	1.52

表2改修前・後、観測・計算についての伝播速度、両伝播速度の比

検証計算をすべての対象洪水で行った。図2は最も良好な例である。

4. 前回の報告では観測値そのもの同志の比較であったので、雨の降り方がいまいちが結論を難しくしたが、今回はシミュレーションであるので比較は容易である。表2は改修前・後の観測値・計算値の比較表で、大栗川橋流量、大栗川橋-霞が関橋伝播時間とその速度である。観測値だけで改修前後を比較すると都市化により伝播速度が著しく増したようであるが、計算値によれば1.6倍程度である。流量との対応は図3に示す。縦軸は大栗川橋流量、横軸は伝播速度(共に表2参照)である。50~70 m³/sで伝播速度が低下するのは前報告でも述べた高水敷の影響と考えられる。しかし観測雨量を用いているので時間・空間分布がこの辺で伝播を遅らせるようになっていたという疑いもぬぐえない。その点は横流入のない場合も計算して比較したが著しい違いがないことを確かめた。シミュレーションで完全な比較ができるわけではない。用いられている係数などの精度をもっと高めねばならないが、このような手法で都市化の水文的要素が徐々に明らかになるであろう。終りに東京都建設局等観測にご協力いただいた都市水文研究会に感謝する次第である。

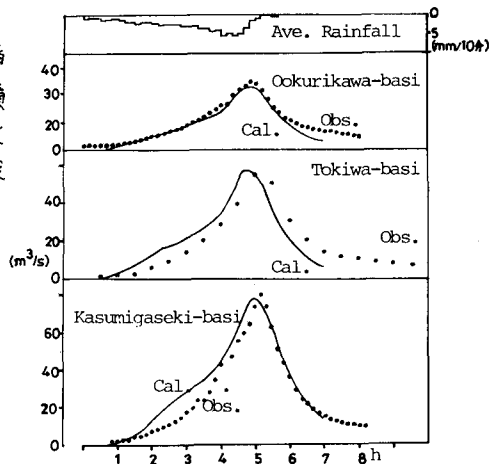


図2 検証 S 56. 4. 20 Flood

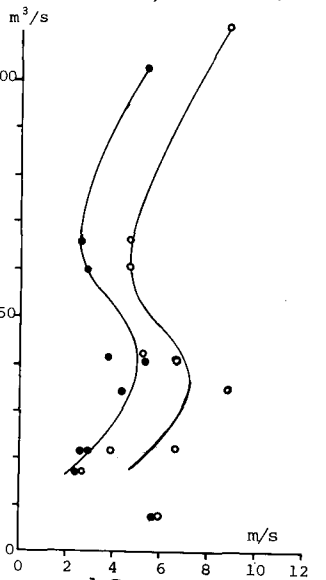


図3 流量と伝播速度との関係