

都市化による河道改修が流出に及ぼす効果

On the Effects of River Improvement to Runoff in Urbanized Areas

国立防災科学技術センター 正員 木下武雄

Takeo Kinoshita

1. 研究の目的

都市化の水文学的要素は、不浸透面積の拡大、浸透能の減少、凹地貯留の減少、集水路の増加、表面・水路の粗度の減少などがあげられる。流出斜面の効果と河道の効果とに大別され、前者については多くの研究が発表されている。ここでは後者すなわち都市化域内の河川の河道改修等によって流出の速さがどのように変化するかを明らかにすることを目的とする。後述するように多摩ニュータウン流出調査の結果の一環である。この効果を明らかにするためには、時刻の分解能を向上させねばならないという観測技術上の制約がある。河道長 L を流下するのに T_1 を要したものが n 倍の流速で流下し T_2 になったとすると、その差は $T_1 - T_2 = T_1 (1 - 1/n)$ とかける。即ち T_1 自身が十分時刻分解能を満足していなければならないし、 $n \gg 1$ でなければならない。そのため可成り大規模な都市化域でなければならない。多摩ニュータウンは幸にして、何とかこの制約に合うものであって、有益な幾つかのデータが得られた。このような効果は基本高水の配分についての合流時差に、合理式で代表される流出推算の到達時間に、又洪水高潮の重畳現象などいずれも水害防止に極めて関係深いものである。

2. 研究の対象域

研究の内容は全く現場観測に基いている。多摩川の右支川大栗川の流域約 40 km^2 において多摩ニュータウンが開発されつつある（図1参照）。この川は多摩丘陵を侵食して流れる川で、丘陵部の大部分は住宅域に開発されつつある。谷底平野は区画整理等で整地及び道路・河川の整備が行われた。ここに土木研究所など各機関が都市化による流出の変化の調査を行っている。開発は東京都及び住宅・都市整備公団が計画的な都市作りをしていて、雨水処理について言えば、分流式下水道によっている。河川の改修が進まなかった初期には都市化域からの雨水は一たん防災調整池へ貯えられてから河川へ放流された。現在は改修がほぼ完了し、分流式雨水渠から河道へ直接雨水排水が行われている。

ここに上流から南大沢・大栗川橋・常盤橋・明神橋・霞ヶ関橋・報恩橋の水位観測所を設けた。工事による中断、改修による移設はあるが、凡そ観測は継続されている。水位計は10分刻みで読める記録計を用いている。河道改修の進捗と10分刻みでみた洪水のピークの伝播の変化を比較することが本文の内容である。

3. 予察

河道改修の実態は一般に①河道の直線化（短縮）、②拡幅、③護岸・河床の整備による粗度の減少、④勾配が急になること、⑤ポンプによる強制排水などがある。

洪水伝播の変化の可能性としては⑥河道長の短縮により下流で早くピークが現れる、⑦勾配が急になり流速が速くなる、⑧粗度が減少し流速が速くなる、⑨水深が増加し流速が速くなる、⑩斜面流出が同時発生し見かけ上流水伝播が速くなる、⑪下流側から都市開発がなされる、⑫流出が増加するため伝播が速くなる、⑬単断面化される、等があり、洪水伝播が速くなる可能性と河道改修の効果とは整合しない面もある。例えば②と④である。現実の多摩ニュータウンでの都市化は①②③で、改修河道には落差工を多く入れてあるので④はあまり効かない。⑤もない。従って⑥⑦⑧⑨⑩⑪がみられるであろう。この他にも大洪水と小洪水のちがいが、降雨空間時間分布による変化など考えられるが、全く自然的要素はランダムに発生すると仮定して、この考察には加えてない。

4. 実態調査

開発前の大栗川河道は谷底平野を一ばいに著しく蛇行する原始河川であった。蛇行を短絡し、緩くカーブ

する法線形状の河道に変えられた。この結果、旧河川の一級区間長は15800 mあったものが、改修後12500 mと約3300 m（旧河道の20%に相当）の短縮となった。現在のところ、所々に旧河道が残存しており、既存排水を受け入れて改修河道に流入している。新旧河道の断面比較を並木橋下流の旧河道流入地点の概略を例として図2に示した。旧河道は川幅約15 m前後の侵食谷となっている所も多く、そのような所は河岸は1割程度の急な勾配であった。部分的には小規模な改修もされていて、小堤を備えている所もあった。河岸は一般に草木が生い茂っていて常盤橋など昼なお暗い感じであり、取水堰のすぐそばを除けば護岸はなかったが、さりとて著しい河岸（側方）侵食を見かけたわけでもなかった。新河道は全般に掘り込み河道で、地盤高より少し高い堤防があり、法には小段がついて護岸はコンクリートブロックで張られている。川幅も十分広くなった。

大栗川橋～報恩橋間における各年次ごとの改修状況を調べて後の解析に用いるが、要約すると次の通りである。旧河道の河床勾配は改修対象区間では平均1/190であるが、実際には部分的に取水堰等で勾配が緩められており、大栗川の中流部大栗川橋付近で1/250である。新河道の計画勾配は1/370～1/200であるが、一般に計画河床勾配は、現況の河床勾配を重視して定めているので、旧河道の勾配とはほぼ同程度のものである。その為、河道長の短縮に対しては、数多くの落差工で調整されている。

5. ピーク水位の伝播速度の変化

大栗川における水位観測所は、上流から南大沢（大栗川の支川大田川に流入している沢）、大栗川橋、常盤橋、明神橋（昭和50年11月以後は霞ヶ関橋に移設）と乞田川合流後の報恩橋の計5ヶ所である。報恩橋からは630 mで多摩川に合流している。

ここでは、水位に連続性があり洪水波形を追跡できる大栗川橋～報恩橋の4観測所における水位観測記録から、各洪水のピーク時刻を整理した。大栗川橋を始点として、横軸にそこから下流各3観測所までのピーク水位の発現の時間差を縦軸に距離をとってまとめた結果を図3に示す。勾配はピーク伝播速度である。なおこの図は河川改修による河川長の短縮を考慮して作成されている。図からは、昭和44年から最近にかけての伝播時間の短縮と伝播速度の増加との傾向が明確に把握される。これを主な年代でまとめて表1にする。

表1 ピーク水位伝播時間とそれから求めた速度

年 代 (改修率)	大栗川橋 ～ 常盤橋			大栗川橋～明神橋（霞ヶ関橋）			大栗川橋 ～ 報恩橋		
	伝播時間	距 離	伝播速度	伝播時間	距 離	伝播速度	伝播時間	距 離	伝播速度
昭和 年	分	m	m/s	分	m	m/s	分	m	m/s
44～46	36	2493	1.15	73	5639	1.33	127	7744	1.02
(13～46%)	[7]			[10]	5338	1.22	[3]	7243	0.95
47～50	—	—	—	43	5125	1.99	—	—	—
(57～90)				[4]	4706	1.82			
51～53	35	1861	0.89	60	4706	1.31	—	—	—
(100)	[3]			[1]					
54～56	10	1861	3.10	21	4706	3.73	—	—	—
(100)	[11]			[16]					
57～58	12	1861	2.58	22	4706	3.56	—	—	—
(100)	[3]			[6]					

[] はデータの数を示す。

図3及び表1から言えることは、いろいろのばらつきはあるが、伝播速度が大へん速くなったことである。伝播速度が約3倍になっている。これは昭和54年ごろより顕著に変化している。改修率の変化の時期とは合わないが、河川というものは一連の構造物として効果を持つもので、いろいろの整理が完成し、流れとして完全な改修の恩恵を受けたのがこの頃からと解釈されよう。また昭和51年～53年の期間はデータも少く、この過渡期の問題には深く立ち入らないことにする。

データには可成りのばらつきがある。この原因については速断はできないが、1. でも述べたように差をとるために時刻の観測に高い精度が要求されることなどの困難によるもので、場合によっては下流観測所の方にピークが早く現れることもある。雨の降り方などによるわけで、それが不当であるとは言い切れないが、一応そのようなデータは除いた。例外なく言えることは、ピークが2つ以上あった場合に、後のピークが速く伝播することである。このためにもデータにばらつきがでた。異なる洪水では、水位が高いほど伝播速度が速いという傾向はあるが、図4のように必ずしも明快には結論づけられない。

よって、ここで言えることは、大きな傾向として伝播速度が表1のように速くなったということである。

6. 伝播速度変化の可能性

ここでは大きくみて、伝播速度変化の可能性を3. 予察に応じて調べてみる。第1の河道長の短縮による効果は図3のようにすでに補正する方針で解析しているので問題はない。

粗度の減少は明らかであるが、実測値に乏しいため、確定的なことは言えないが、次のような推定をしてみる。ピークの伝播速度は流速より速い。両者の間にはKleiz-Seddonの法則があり、著者もこの点について論述したことがある。この法則の係数を1.3すなわち、ピーク伝播速度は流速の1.3倍と仮定する。勾配は改修前後で不変として1/200を用いる。改修前の水位の代表値として1m、改修後では1.5mとすると、表1の昭和44～46年の1.15m/sを改修前の代表値とみれば、マンニングの粗度係数は0.080、同表の昭和54～56年の3.10m/sを改修後の代表値とみれば0.039となる。これらの値は大き目と判断されるが、両者の比較としては河状からみて妥当と思われる。

単断面化については、かつて氾濫等で実質的に氾濫原（高水敷に相当）を持っていた河川が、大栗川のような改修で単断面化した場合に、他の条件は同じでも平均流速が速くなるという可能性である。ここでは氾濫原の幅を b_1 、低水路の幅を b_0 、氾濫原の低水路床よりの高さを h_0 として、図5のように水位 h で流れる流量 Q を氾濫原上の流量 Q_1 、低水路上の流量 Q_0 に分け、粗度係数 n 、勾配 i を共通とすると、

$$\begin{aligned} Q &= Q_1 + Q_0 \\ &= \frac{1}{n} i^{1/2} h^{5/3} b_1 + \frac{1}{n} i^{1/2} (h + h_0)^{5/3} b_0 \end{aligned}$$

となる。他方、流水面積 a は

$$a = h b_1 + (h + h_0) b_0$$

であるから平均流速 v は

$$\begin{aligned} v &= Q / a \\ &= v_0 \frac{y x^{5/3} + (1 + x)^{5/3}}{y x + (1 + x)} \end{aligned}$$

とかける。ここで v_0 は水深 h_0 で低水路のみで流れる流速、 $y = b_1 / b_0$ （氾濫原が低水路幅の何倍か）、 $x = h / h_0$ （氾濫原上の水深は低水路のみの深さの何倍か）である。この関係は図6に示す。図6で縦軸の1より下ということは、示された x 、 y の値では氾濫原へ水がのると洪水の平均流速が、従ってピーク伝播速度も減小する可能性を示している。大栗川の改修前にどのように氾濫していたかの記録はないが、周辺の低湿地に水が広がっていた可能性は考えられ、そうすれば、流速が遅かったことの説明になるであろう。

7. 大栗川橋上流におけるピーク降雨から水位ピークまでの時間の短縮

大栗川橋上流においても改修の進行によって、ピーク降雨から水位ピークまでの時間（おくれ時間と呼ぶ）が短縮化されているのが実測された。ここで改修率とは、大栗川が1級河川として指定されている最上流端から大栗川橋までの河道についての改修状況である。おくれ時間は観測によるが、この短縮化については流域斜面の開発の効果も含まれているので、簡単ではない。この流域が都・公団の計画的都市化として着工されたのは昭和53年ごろからであるが、これより前に民間の開発が徐々に行なわれていた。結果を概略まとめると表2のようになる。

表2 大栗川橋におけるおくれ時間の短縮

昭和 年	改 修 率	おくれ時間
44～48	0%	約 80分
50～51	2～6	約 50
52～53	7～26	約 40
54	34	約 30
55～58	43～68	約 20

8. まとめ

多摩ニュータウンにおける流出試験地調査の結果の一部として、河道を改修したことによるピーク水位伝播速度が速くなる事実を明らかにした。これは、はじめにも述べたように治水の諸対策上極めて重要な意味をもっているものである。この効果の原因は明確でない。ばらつく観測値を平均的なものとして扱っているので十分ではない。今後、もう少し個々の値の意味を調べ分類などして行けば、より明らかに結論づけられるであろう。

重要な観測を続けられた建設省、住宅・都市整備公団、東京都の各位に厚く御礼を述べる次第である。

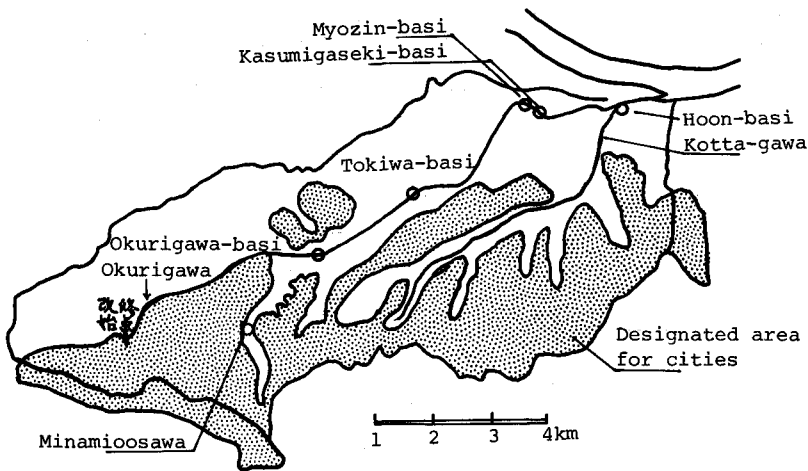


図1 多摩ニュータウン全体図

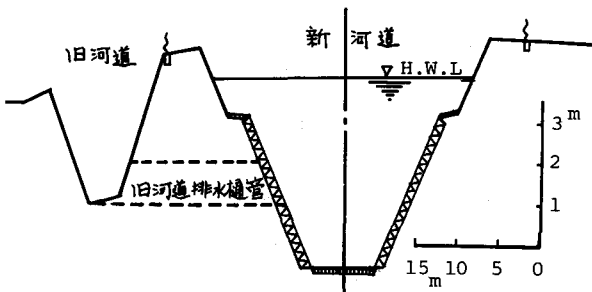


図2 新旧河道断面比較 並木橋下流

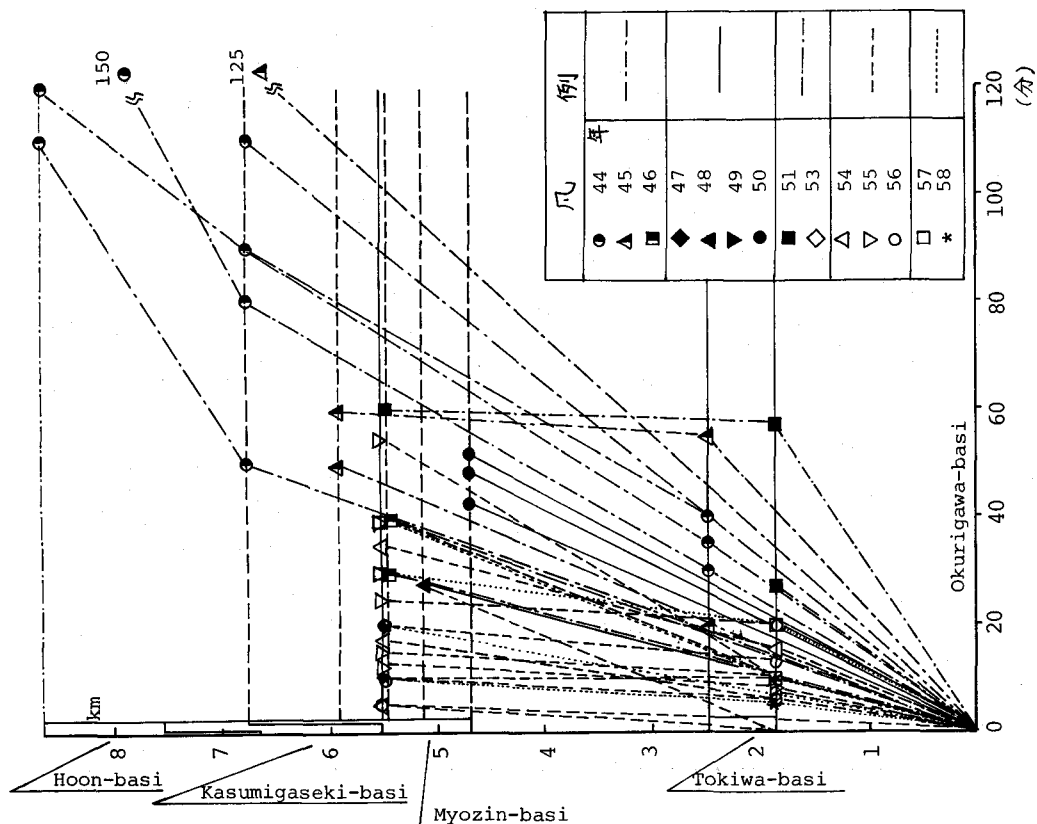


図3 ピーク水位の伝播図 横軸：大栗川橋からの時間，縦軸：大栗川からの距離（河道改修で年次により距離が変わっている）

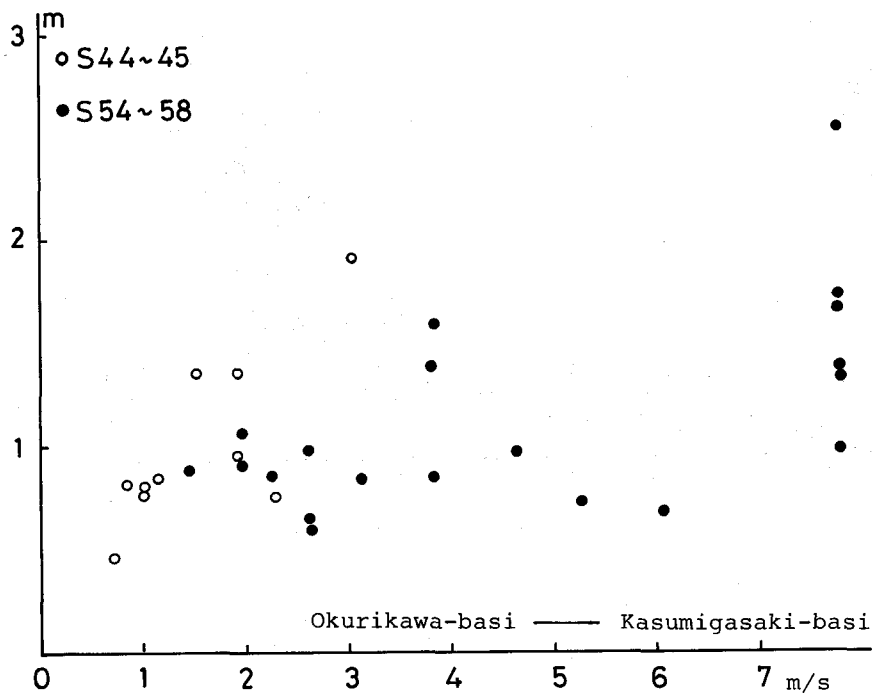


図4 大栗川水位と伝播速度との関係

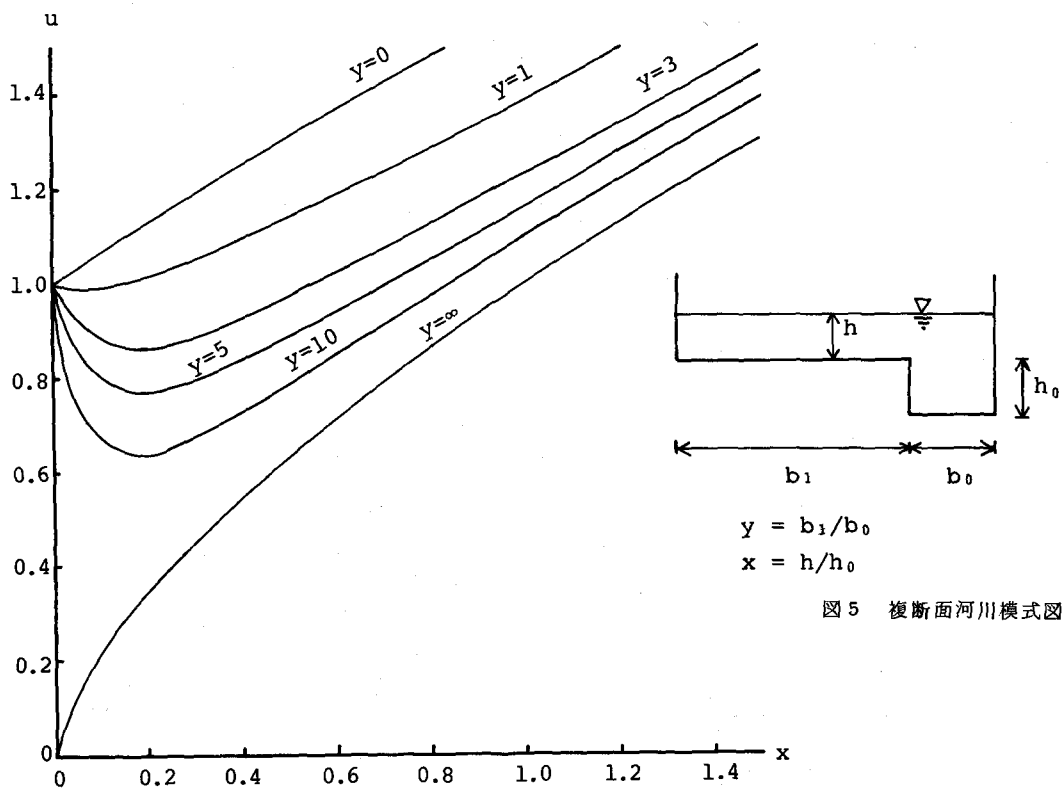


図5 複断面河川模式図

図6 氾濫原による平均流速減小効果

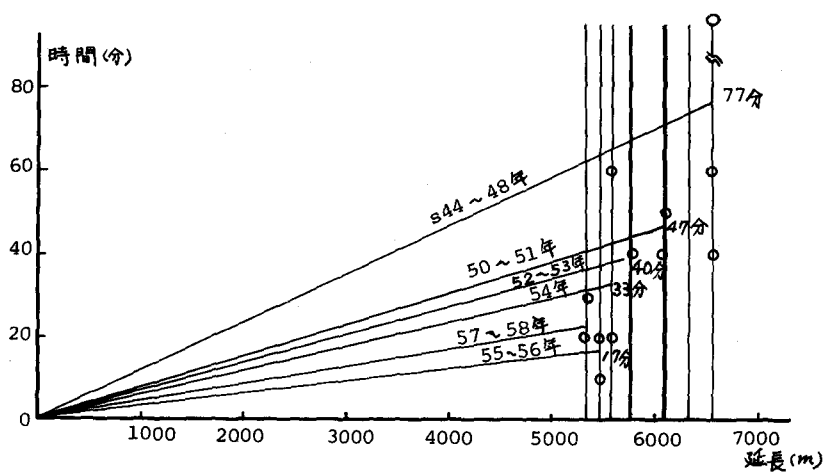


図7 大栗川橋におけるおくれ時間の短縮