

# 河道における洪水流の貯留と ピーク流量低減機能の評価

## FLOOD FLOW STORAGE AND PEAK DISCHARGE ATTENUATION IN CHANNELS

福岡捷二<sup>1</sup>・關浩太郎<sup>2</sup>・栗栖大輔<sup>3</sup>

Shoji FUKUOKA, Kotaro SEKI and Daisuke KURISU

<sup>1</sup> フェロー会員 Ph.D 工博 広島大学教授 工学部第四類(建設系) (〒739-8527 広島県東広島市鏡山 1-4-1)

<sup>2</sup> 正会員 工修 清水建設株式会社 東京支店土木第3部 (〒105-8007 東京都港区芝浦 1-2-3)

<sup>3</sup> 学生会員 広島大学大学院 環境工学専攻 博士課程前期

Flood flow in compound meandering channels exhibits flow storage and attenuation of peak discharge. A sufficient understanding of these characteristics is essential for river design projects that include assessment of the capacity of reservoir spillways and flood relief schemes. The study objective was to produce a quantitative estimation of the effect of the flood flow storage and attenuation of the peak discharge in channels. Laboratory experiments in a compound meandering channel were performed and observed data from Ota River were analyzed. Results of comparison of the experimental and Ota river data indicated similar characteristics of flood flow storage.

**Key Words** : *Flood flow, compound meandering channel, peak discharge attenuation, flood flow storage in channels, Ota River*

### 1. はじめに

流量が時間的に変化する洪水流は、その流下の過程において河道の平面形、横断面形によっては貯留が生じ、ピーク流量の低減などハイドログラフの変形が生じることが知られている<sup>1), 2)</sup>。一様な河道断面においては、洪水流の波形は、水理量の時間変化により、流下につれて次第に幅の広い形に変形して行く。一方、流路断面が不規則な場合には、不等流性に起因する流量の低減に加えて、不定流に特有の河道貯留現象に伴うピーク流量の低減が生ずる。しかし、洪水流特性、河道特性と河道内貯留の関係の実態については理解が進んでいない。このため、河川が本来有する洪水流の貯留効果を治水計画に取り込むには至っていない。広い高水敷と複雑な平面形をもつ大河川の貯留効果はかなり大きいものと考えられ、また、河道内に存在する樹木群の貯留に果たす役割も大きいものと予想される。しかし樹木群は、流下能力を低下させるという理由のため伐採される場合が多い。大河川では、河道内樹木群の保全による環境的機能の向上と合わせて河道内に洪水流量を一部貯留させ、下流河道の安全性向上を図っていくことを考慮すべき段階にある。

これまで福岡ら<sup>3)</sup>は、日本の河川で一般的に見られる複断面蛇行流路において、洪水流の水理特性に及ぼす平面形および横断面形の影響と非定常性の実験的に検討し、洪水流の基本的な理解を得ている。

本研究では、福岡らの研究<sup>3)</sup>を発展させ、洪水流の河道内の貯留効果を明らかにする目的で複断面蛇行流路において洪水流の系統的な実験に加えて、太田川における洪水流観測データの解析を行う。これによって、河道内貯留量の評価とピーク流量の低減機構を明らかにし、治水計画の新しい展開の方向を示す。

### 2. 洪水流実験

#### (1) 実験方法

複断面蛇行形状を有する大型水路(図-1)を用い、洪水流の流下形態、貯留量やピーク流量の低減を評価するための実験を行った。表-1に、実験水路の諸元を示す。水路上流端で図-5に実線で示すハイドログラフ(Hydro A, Hydro B)を持つ洪水流を流下させる。表-2に、それぞれのハイドログラフの特性と利根川の昭和58年洪水の特性を示す。水路を1/200の模型と考え、フ

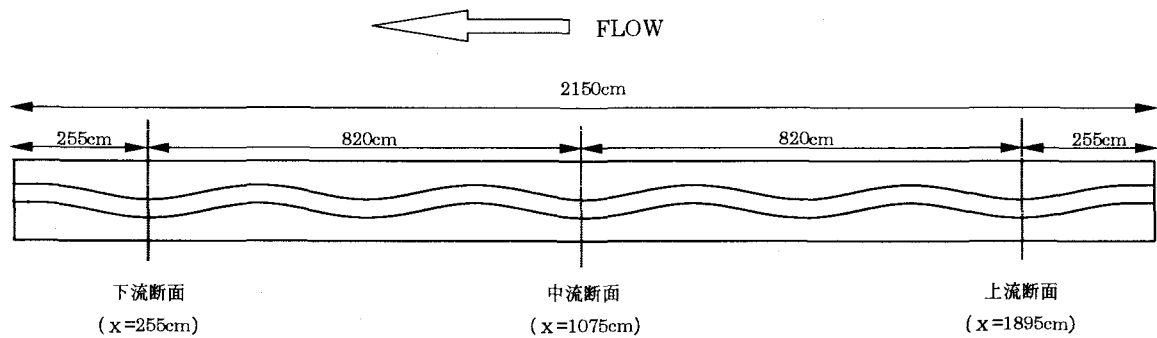


図-1 実験水路平面図

表-1 実験水路諸元

水路長	全水路幅	低水路幅	水路床勾配	蛇行度	蛇行波長	高水敷高さ
2250 (cm)	220 (cm)	50 (cm)	1/1000	1.02	410 (cm)	4.5 (cm)

表-2 ハイドログラフの特性

ケース	ピーク流量	最大相対水深	高水敷冠水時間	増水時間	実河川換算ピーク流量	実河川換算高水敷冠水時間
Case1, 3 (Hydro A)	17 (l/sec)	0.4	1200 (sec)	600 (sec)	9,622 (m <sup>3</sup> /sec)	4.7 (hr)
Case2 (Hydro B)	18 (l/sec)	0.41	3500 (sec)	1000 (sec)	10,188 (m <sup>3</sup> /sec)	13.6 (hr)
利根川 (栗橋) S.58 洪水	8,100 (m <sup>3</sup> /sec)	0.56	64 (hr)	—	—	—

ルードの相似則を適用すると、実験ハイドログラフは、河川の洪水流についてのフルードの相似則をほぼ満足している<sup>3)</sup>。下流の流量 ( $Q_{out}$ ) ハイドログラフは、上流 (流入) 断面と下流 (流出) 断面の間の縦断水位を同時に測定し、その時間変化より求まる貯留量 ( $S$ ) の時間変化 ( $ds/dt$ ) とこれに対応する時刻の流入流量 ( $Q_{in}$ ) ハイドログラフとから求める。

## (2) 実験条件

本研究では、3つの異なる条件で実験を行っている (図-5)。Case1 では、二等辺三角形型のハイドログラフ (Hydro A) を与え、また Case2 では、Case1 とピーク流量はほぼ同じであるが、非定常性の低いハイドログラフ (Hydro B) を与え、洪水流流下形態と河道内貯留について検討を行っている。また Case3 では、複断面蛇行流路において高水敷に樹木群を配置し、Case1 と同じ Hydro A を与え、樹木群の存在が貯留に及ぼす影響を検討している。

水路下流端には、空隙の大きなプラスチック製の多孔体 (空隙率 91%) が設置されている。これは、十分な抵抗を付加することによって各時間の水深が下流端で低下背水とならないように、条件設定がなされている。

## (3) 測定方法

水位の測定はサーボ式波高計、流速の測定は I 型電磁

流速計を用いて行った。前述の上下流断面間で水位の縦断分布を測定し、流速は中流断面 ( $x=1075$  cm) において横断分布を測定した。(図-2)

## 3. 結果と考察

### (1) 貯留量に及ぼす非定常性の効果

図-3、図-4に Case1 (Hydro A 流下)、Case2 (Hydro B 流下) の洪水流の縦断水位の時間変化を示す。増水期 (実線)、減水期 (点線) で同じ下流端水位となる時間について示している。これらの図から、増水期は水面勾配が大きく、減水期には水面勾配が緩いこと、洪水波形の伝播の機構が水路実験からも明らかで、また非定常性が高い Hydro A ではこれらの変化が顕著である。

上流断面 ( $x=1895$  cm) で与えられた流量ハイドログラフと、下流断面 ( $x=255$  cm) で求められた流量ハイドログラフを図-5に示す。流量ハイドログラフは流下に伴い、高水敷粗度、低水路の線形、高水敷上の流れと低水路の流れの混合による影響を受け、下流断面ではピーク流量の低減、ピーク流量発生時刻の遅れ、および洪水継続時間の延長といった波形の変形を生じている。このような波形の変形は、非定常性の高い Hydro A で顕著である。流量ハイドログラフの時間的な遅れ、および最大流量の低減は主に洪水流量の貯留から起こる。上流断面

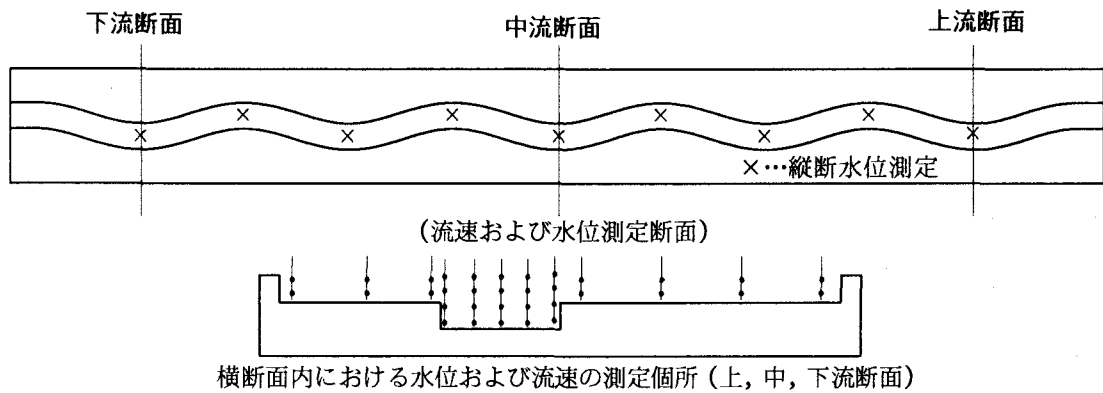


図-2 水位, 流速の測定場所

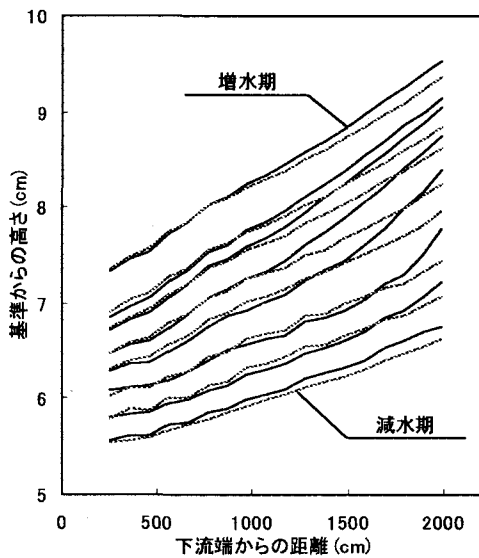


図-3 縦断水位分布 (Case1)

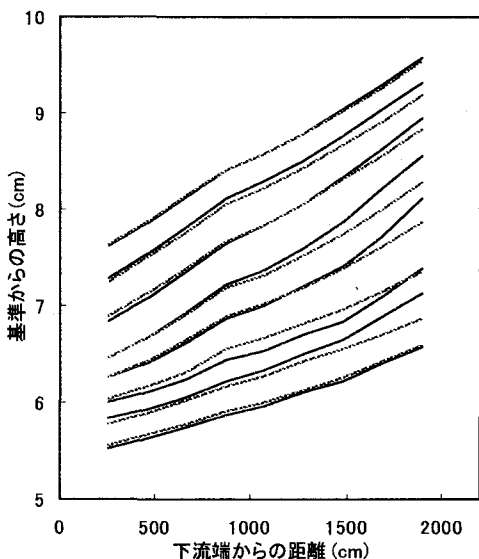


図-4 縦断水位分布 (Case2)

断面から流入する流量  $Q_{in}$  から, 下流断面より流出する流量  $Q_{out}$  を差引くことによって得られる単位時間あたりの貯留量を  $ds/dt$  とする。図-6はこのようにして求められた貯留量の経時変化を上流断面からの流入流量  $Q_{in}$  に対

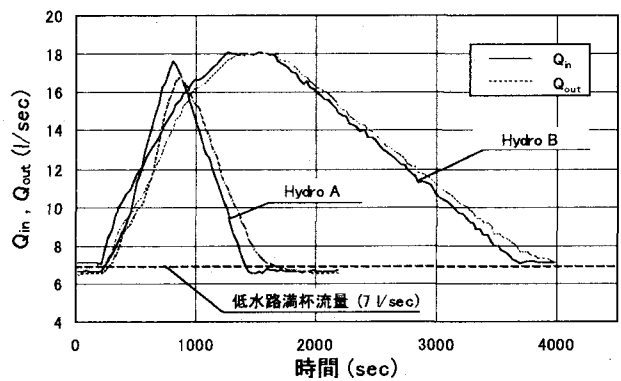


図-5 上流, 下流での流量の比較

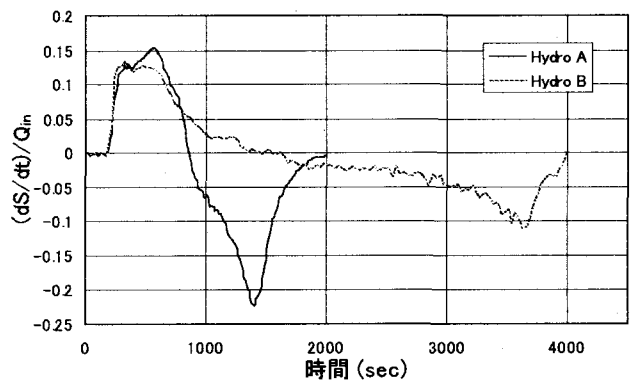


図-6 流入流量に対する  $ds/dt$  の割合

し示したものである。プラス区間では流入流量  $Q_{in}$  に対し流出流量  $Q_{out}$  の値が下回るために, 洪水流が水路内に貯留される。また, これに続くマイナス区間では  $Q_{in}$  が  $Q_{out}$  の値を下回るために, 水路内に貯留されていた流量は流出することになる。Hydro A ではピーク流量流入時での  $ds/dt$  は  $Q_{in}$  に対して 5%であり, また最大の  $ds/dt$  は  $Q_{in}$  に対して 15%もの値を示している。

(2) 貯留量に及ぼす河道内樹木群の効果

樹木群による貯留効果を調べるため, 図-1に示す水路に図-7のように貯留が最も大きく現れると考えられる蛇行内岸側の高水敷が広くなった部分に樹木群を連続

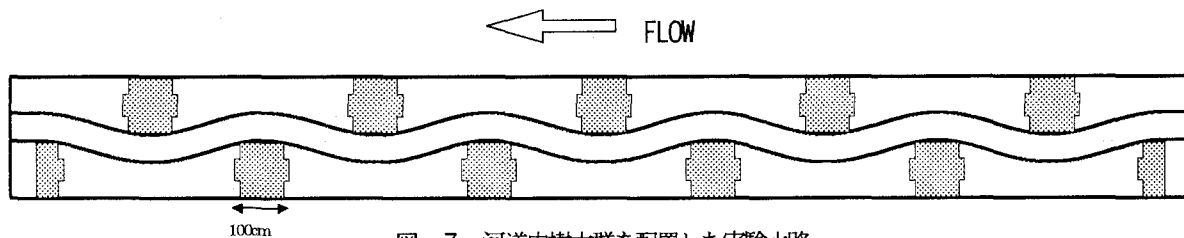


図-7 河道内樹木群を配置した実験水路

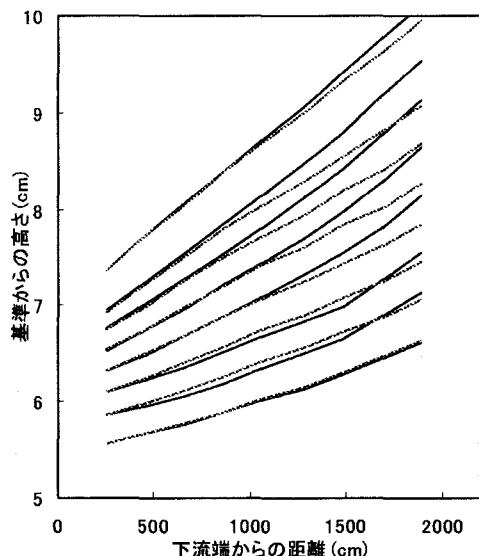


図-8 縦断水位分布 (Case3)

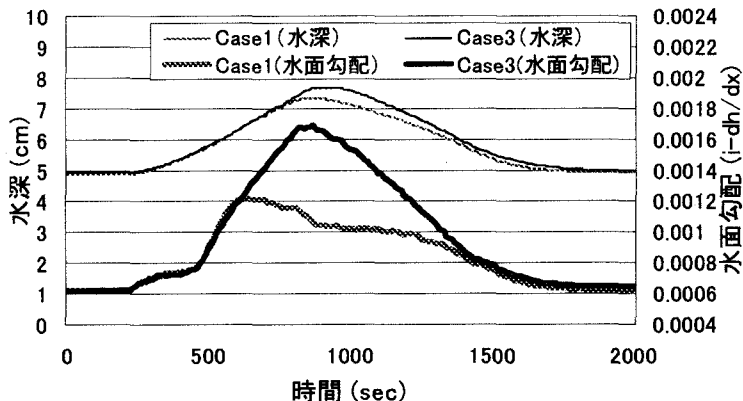


図-9 1075cm 断面における水深の経時変化と 1485-665cm 区間における水面勾配の比較

的に配置した。この配置は、流れに抵抗を与えることによって河道内貯留を起こさせようとするものである。

図-8は、樹木群を配置した Case3 の縦断水位分布を示す。図-9は、水路中央区間（下流から 1485-665cm 区間）の水面勾配の経時変化を示す。樹木群を配置した Case3 は図-3 の Case1 と比較して水面勾配の増大が顕著である。水面勾配のピークの発生は、樹木群のない Case1 では複断面流れの特徴である高水敷上の流れと、低水路の流れの混合が大きい時間帯で現れるのに対し、Case3 では樹木群の存在の影響が最も大きくなる水深のピーク付近で現れている。図-10、図-11 に、樹木群が存在する場合の水路中央断面における水深-流量曲線と水深-低水路平均流速曲線を示す。Case3 は樹木群の影響により水面勾配が大きくなるために、Case1 に比べ水深-流量曲線は大きなループを描く。このことから、同じ非定常入力条件下であっても、河道内に水面勾配を変化させる要因があれば、水深-流量曲線のループは大きくなる事が分かる。つぎに、水深-低水路平均流速曲線を見ると、Case1 では、複断面蛇行流れの影響が大きい水深 5.5~6.0cm で水面勾配がピークを迎え、低水路平均流速も同じ時間で流速のピークを示している。一方、Case3 では高水敷水深の増加と共に樹木群の影響が増加していくため、水面勾配、水深の最大付近で流速のピークを迎えている。

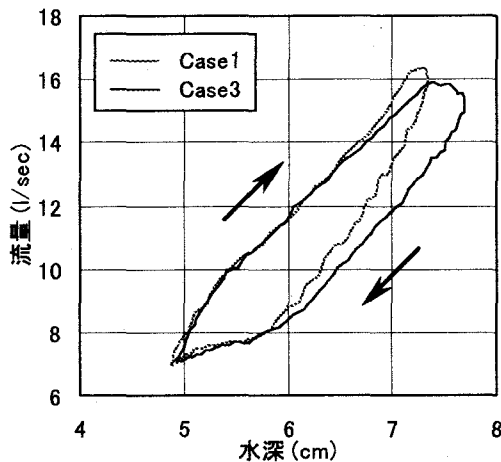


図-10 水深-流量曲線 (1075cm 断面)

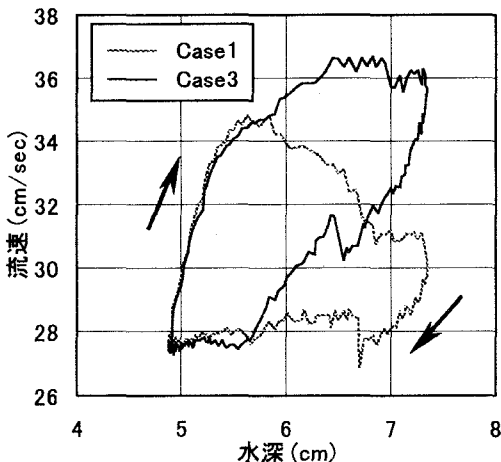


図-11 水深-流速曲線 (1075cm 断面)

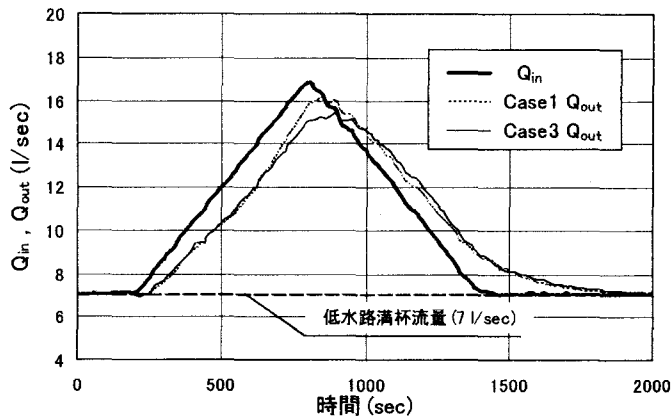


図-12 Case1とCase3での流量の比較

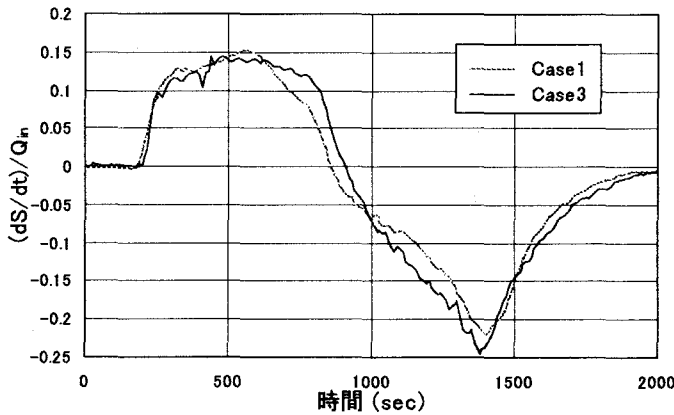


図-13 流入流量に対する ds/dt の割合

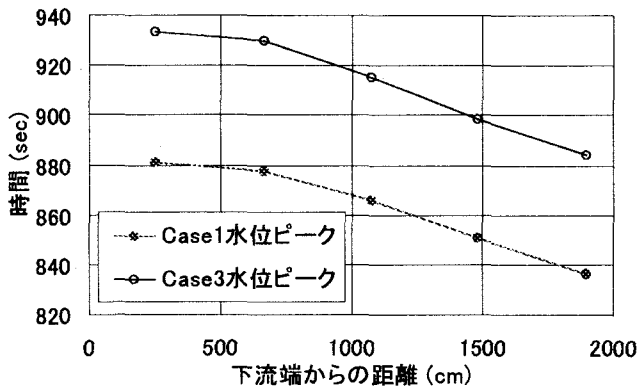


図-14 洪水波の伝播速度

図-12は、Case1, Case3の流入量, 流出量ハイドログラフを示す。これを見ると、Case3では、下流端におけるピーク流量の低減量は、Case1の約2倍となっている。

図-13は、流入流量  $Q_{in}$  に対する貯留量  $ds/dt$  の時間変化を示す。Case3は、Case1と比較して  $Q_{in}$  に対する  $ds/dt$  の割合が大きく、増水期では常に12~13%もの洪水流を貯えており、上流断面でピーク流量が生じる時間においては、Case1では  $Q_{in}$  に対して6.2%の  $ds/dt$  であったのに対し、Case3では10.7%もの値を示している。明らかに、河道内樹木群は河道での洪水流の貯留とピーク流量の低減効果を高めていることが分かる。

図-14は、Case1とCase3の洪水波伝播速度を示す。

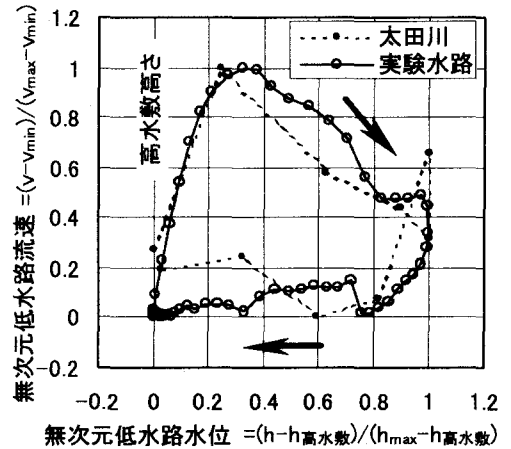


図-15 実験水路と太田川の  
無次元水位と無次元流速

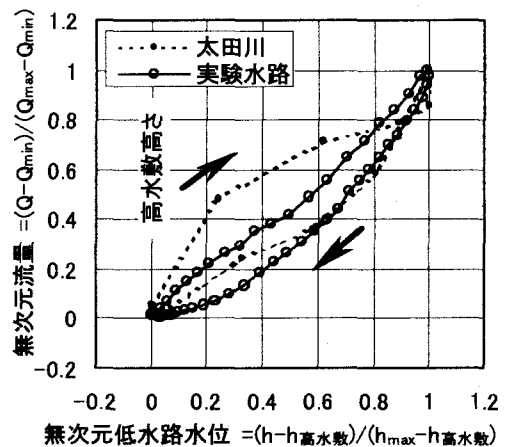


図-16 実験水路と太田川の  
無次元水位と無次元流量

樹木の有無により、各断面でのピーク水位の発生時刻が異なり、Case3のピーク水位発生時刻は40~50(sec)遅れる。また、ピーク水位の伝播速度はCase1で36(cm/sec)、Case3では31(cm/sec)である。これらのピーク水位伝播速度は、クライツセドン則である波速(断面平均流速  $\times 5/3$ )とそれほど異ならない。

### (3) 洪水流実験結果と太田川洪水流観測結果<sup>1)</sup>の比較

図-15, 図-16には、太田川矢口第一観測所(河口から11.6km上流)地点で得られた昭和58年7月洪水の水位ハイドログラフと浮子を用いた流速分布の測定値を用い、解析した結果を示す。図中には、Case1の実験結果を実線で示している。ここで示している水位-平均流速関係、水位-流量関係は、水位については水位0を高水敷高さとし、ピーク水位で無次元化している。また流速および流量については、それぞれのピーク値で無次元化している。なお、図中矢印は、時間の経過を示す。

図-17, 図-18には、太田川観測地点の平面図, 横断面図, 洪水ハイドログラフを示し、表-3に洪水ハイドログラフの特性を示す。複断面でかつ緩やかに蛇行している

河床勾配  $i = \frac{1}{670}$

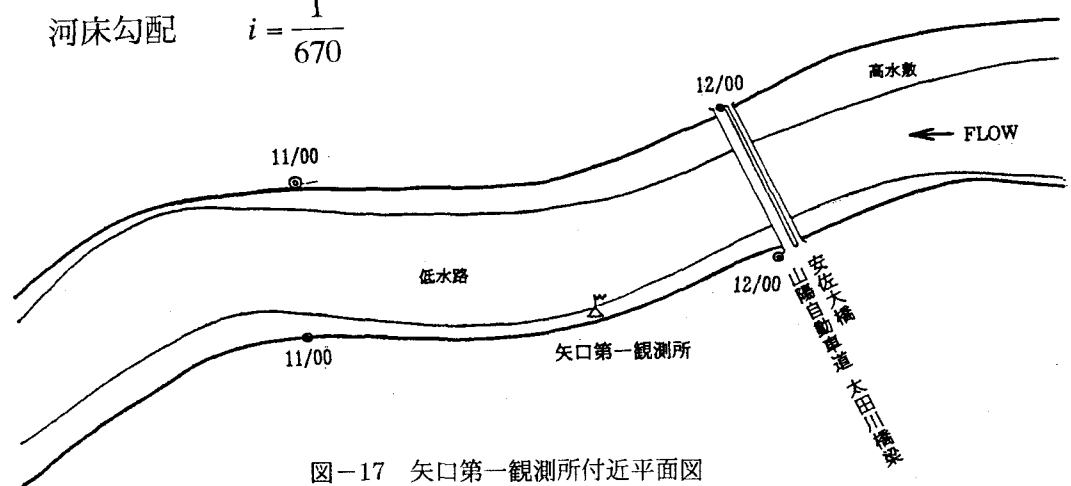


図-17 矢口第一観測所付近平面図

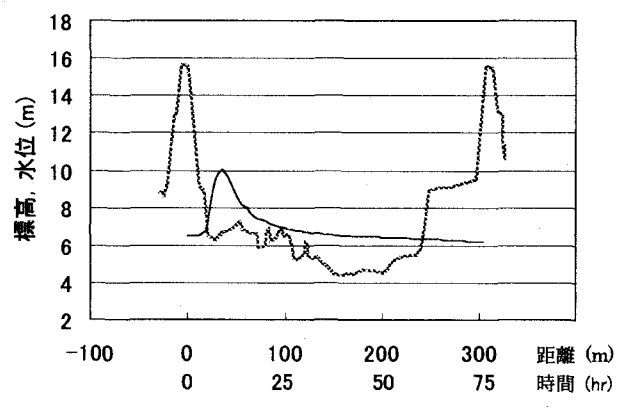


図-18 矢口第一観測所横断面と  
昭和58年7月洪水ハイドログラフ

表-3 太田川S.58洪水ハイドログラフの特性

洪水名	最大 相対水深	実河川換算 ピーク流量	実河川換算 高水敷冠水時間
Case1 (Hydro A)	0.4	9,622 (m <sup>3</sup> /sec)	4.7 (hr)
太田川 (矢口第一) S.58 洪水	0.34	3,500 (m <sup>3</sup> /sec)	6 (hr)

本観測地点における水位-流速関係および水位-流量関係は実験結果とほぼ同じ特性を示しており、このことは、太田川においても河道内貯留が起こっていることを示すものである。しかし、貯留量を正しく評価するには、太田川においても図-3に示したような縦断面勾配の経時変化と、当該区間の上、下流端のいずれかで流量観測を同時にかつ精度よく行うことが必要となる。

#### 4. おわりに

河川は、一般に不規則な平面形、横断面形を有している。このような不規則性に起因する大きな抵抗と洪水流の非定常性により洪水が流下する際に、河道内に洪水流量の一部を貯留させることが古くから認識されてきた。しかし、これまでの洪水流の観測技術では河道内貯留を評価することが困難であり、河川の計画に取り込むには

至っていない。

本論文では、著者らによる先の論文<sup>3)</sup>と併せて与えられた複断面蛇行河道条件に対し、洪水流の流下機構の解明と貯留量の評価を目的として検討が行われた。得られた河道内貯留に関する新しい知見は、治水のみならず、樹木管理との関連で、河川環境保全の面からも有用であることが明らかとなった。このため、以下に示す視点から現在の河川計画技術を再検討し、新展開をはかることが求められる。すなわち、堤防が概成した大河川において、これまで発生した洪水流について河道特性との関係を今一度考察し、河道貯留とそれに伴うピーク流量の低減量を把握する。このためには、堤防法線形に対する各河川の洪水流下特性、堤防法線形に対する低水路法線形の位相と河道の縦、横断面形状、さらには樹木群を含む高水敷粗度の大きさや分布などが検討されることになる。当然のこととして、河川における洪水流の観測法がこのような目的にあう形に見直されなければならない<sup>4)</sup>。

ダム建設に対する厳しい社会環境は今後も続くものと考えられることから、河川計画に上述の新しい考えを導入していくこと、すなわち河道貯留という河川が本来もっている機能を正しく評価し、これを計画に取り込むことによって、治水のみならず環境も含めた新しい河川計画技術を発展させることが緊要の課題である。

#### 参考文献

- 1) Ven Te Chow: Open channel Hydraulics, McGROW-HILL, Chapter 20, pp.586-609, 1956.
- 2) 福岡捷二: 洪水流と土砂水理の新展開, 水工学シリーズ 99-A-2, pp.1-24, 1999.
- 3) 福岡捷二, 渡邊明英, 岡部博一, 關浩太郎: 洪水流の水利特性に及ぼす非定常性, 流路平面形, 横断面形状の影響, 水工学論文集, 第44巻, pp.867-872, 2000.
- 4) 建設省河川局治水課, 建設省土木研究所: 河道特性に関する研究, 第40回建設技術研究会, pp.1-13, 1986.

(2000.4.17 受付)