

利根川・江戸川分派点を含む区間における 流量ハイドログラフと粗度係数・樹木群透過係数の評価

Evaluation of Hydrograph of Flood Discharge and Roughness Coefficient at the Branched Section in the TONE River and the EDO River

福岡捷二¹・渡邊明英²・田端幸輔³・風間 聡⁴・牛腸 宏⁵
Shoji FUKUOKA, Akihide WATANABE, Kousuke TABATA,
Satoshi KAZAMA and Hiroshi GOCHO

¹ 中央大学研究開発機構教授

² 広島大学大学院工学研究科助教授

³ 広島大学大学院 工学研究科 社会環境システム専攻 博士課程前期

⁴ 国土交通省関東地方整備局 利根川上流河川事務所 調査課長

⁵ 国土交通省関東地方整備局 江戸川河川事務所 調査課長

要 旨

樹木の繁茂した河道の粗度係数と樹木群透過係数の分布を適切に評価し、洪水流量ハイドログラフを精度良く見積もることは、治水計画上重要な意義を持つ。これまで福岡らは、江戸川と円山川において、洪水観測で得られた水面形の時間変化を与え、二次元不定流解析を実行することにより、精度の高い流量ハイドログラフを推算する手法を確立している。この手法は、また利根川・渡良瀬川合流部における流量ハイドログラフについても精度の高い計算を可能にしている。

本手法は、所与の河道の平面形と横断形に対して、わずかな誤差で大きな水位変動を引き起こす流量よりも、観測精度の高い水面形の時間変化を拘束条件として、運動方程式と連続式に基づいて解析することで、誤差が含まれている観測流量ハイドログラフを時間的に精度良く補間するものである。同時に、本解析手法の適用によって、対象とする河道の粗度係数と樹木群透過係数の分布を適切に評価することを可能にする。

本研究では、洪水の発生時期が近く、同程度の流量規模であった平成16年8月の台風22号と、同年9月の台風23号について、時空間的に細密に観測された水面形の時間変化を再現するように二次元不定流解析を行い、利根川・江戸川に分派区間における流量ハイドログラフを高精度で推算している。更に、地被状況によって水面形の特性が変化する場所において、水位の時間変化を縦断的に観測することで、河道内の粗度係数と樹木群透過係数の平均的な分布を適切に決めている。

《キーワード：洪水流、河道の分派点、水面形、流量ハイドログラフ、粗度係数、樹木群透過係数》

1. 序論

河道の粗度係数と樹木群透過係数の分布を適切に評価し、洪水流量ハイドログラフを精度良く見積もることは、治水計画上重要な意義を持つ。これまで福岡らは、江戸川と円山川において、洪水観測で得られた流量ハイドログラフと水面形の時間変化を二次元不定流解析に基づいて解析することにより、精度の良い流量ハイドログラフを推算する手法を提言している^{1), 2), 3)}。この手法により、河川合流部のような場所においても洪水流を精度良く計算可能であり、利根川・渡良瀬川合流部において流量ハイドログラフが精度良く推算されている⁴⁾。

本手法は、所与の河道の平面形と横断形に対して、わずかな誤差で大きな水位変動を引き起こす流量よりも、観測精度の高い水面形の時間変化を拘束条件として、運動方程式と連続式に基づいて解析することで、誤差が含まれている観測流量ハイドログラフを時間的に精度良く補間するものである。同時に、本解析手法の適用によって、対象とする河道の粗度係数と樹木群透過係数の分布を適切に評価することができる。このためには、水面形の観測が不可欠であり、粗度係数と樹木群透過係数を決定するための適切な水位観測場所と、粗度係数と樹木群透過係数の代表的な値について検討が必要である。

そこで本研究では、利根川・江戸川の分派点での流量配分を適確に求めるために、適切な粗度係数と樹木群透過係数を算定することを目的とする。このためには、過去の大小様々な規模の洪水に対して本手法を適用し、粗度分布の代表的な値を定量的に検討する必要がある。本論文では、洪水の発生時期が近く、同程度の流量規模であった平成16年8月の台風22号と、同年9月の台風23号について、時空間的に細密に観測された水面形の時間変化を再現するように二次元不定流解析を行う。これにより、利根川・江戸川の分派区間における流量ハイドログラフを推算する。更に、粗度係数と樹木群透過係数分布を適切に決定するための水位観測場所と、対象とした二つの洪水における粗度係数と樹木群透過係数の値について検討する。

2. 解析方法

解析方法は、図-1に示すように、渡邊・福岡らの方法と同様であり、参考文献1), 2)で詳しく述べられているため、ここでは分派点の処理方法についてのみ説明する。

分派点の処理方法の概念図を図-2に示す。分派点の処理については、河道分割を用いた並列計算と同様の方法を採用している⁵⁾。利根川メッシュは、分派点で壁面の境界条件を外しており、江戸川メッシュは、

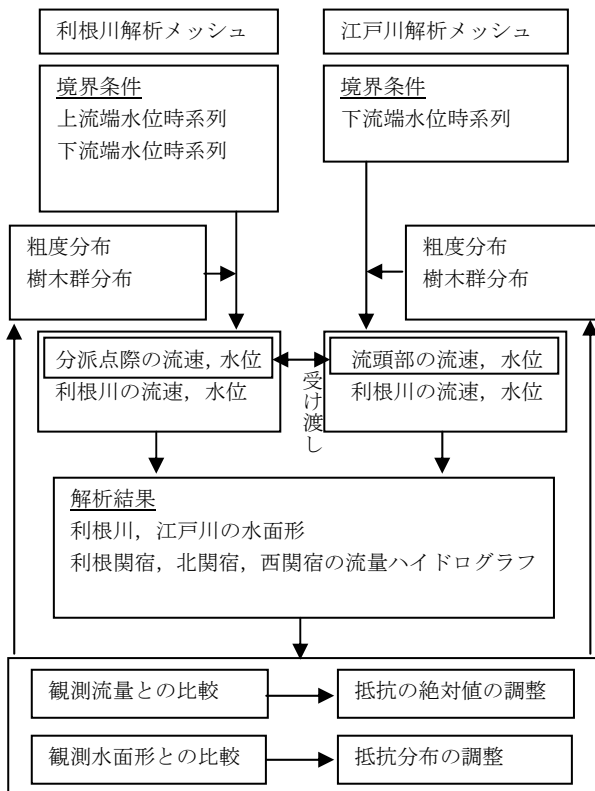


図-1 計算フローチャート

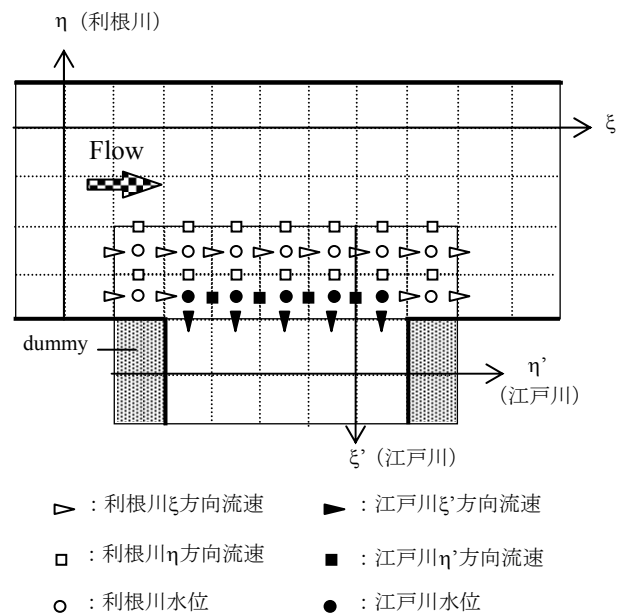


図-2 分派点の処理方法の概念図

上流端の ξ 方向2メッシュ分を利根川分派点に重ねている。そして、利根川メッシュで解いた分派点際の流速と水位を江戸川メッシュ上流端の境界条件とし、江戸川メッシュで解いた分派点際の流速と水位利根川メッシュの分派点の境界条件とすることで、自身の格子点データでは解くことのできない物理量を、他方の格子点データで解いたもので補いながら、分派流れの計算を行っている。

3. 解析条件

図-3に、基準点の横断面形状及び水位ハイドログラフを示す。解析の対象とする洪水は、平成16年9月の台風22号と、同年10月の台風23号であり、どちらの洪水もピーク付近で高水敷上に冠水している。利根関宿における観測ピーク流量は、台風22号で $4564\text{m}^3/\text{s}$ 、台風23号で $4025\text{m}^3/\text{s}$ である。台風22号では10月10日0:00から15:00まで、台風23号では10月21日11:00から20:00までの間、利根川・江戸川分派区間における水面形が0.15km~1km間隔で観測されている。計算では、水面形が観測されている時間帯を対象としており、観測開始時刻が解析における基準時刻になっている。上下流端の拘束境界条件には、利根川120.0kmと125.0km地点の観測水位、江戸川57.75km地点の観測水位を与えている。

図-4に利根川・江戸川計算対象区間の平面形状及び、地被状況を示す。この区間の高水敷には主にヨシが生えており、利根川122.0~124.0km左岸においては牧草が生えている。利根川122.0~124.5km右岸と124.75~125.0km左岸を除くほとんどの河岸際に樹木が密生している。図中の○でプロットした箇所が水位観測点を示し、●でプロットした利根関宿、北関宿、西関宿の3断面で浮子を用いた流量観測が行われている。

河道の粗度係数と樹木群透過係数の分布を適切に決定できる水位観測場所の選び方について検討を行うため、解析に用いる低水路及び高水敷の粗度係数と樹木群透過係数を、表-1に示す2つのケースに対して決定している。case1では、全ての観測点における計算水位が、観測水位と全体的に一致するように、水位測定間隔毎に粗度係数と樹木群透過係数を変化させて解析を行なっている。caes2では、地被状況と水面形から判断して、120.0~125.0kmにおける1km毎の観測水位が代表的な水面形を表しているものと考え、計算水位がこれらの観測水位と一致するように粗度係数と樹木群透過係数を変化させて解析を行っている。各ケースにおいて、最終的に得られる粗度係数と樹木群透過係数の分布を表-2に示す。

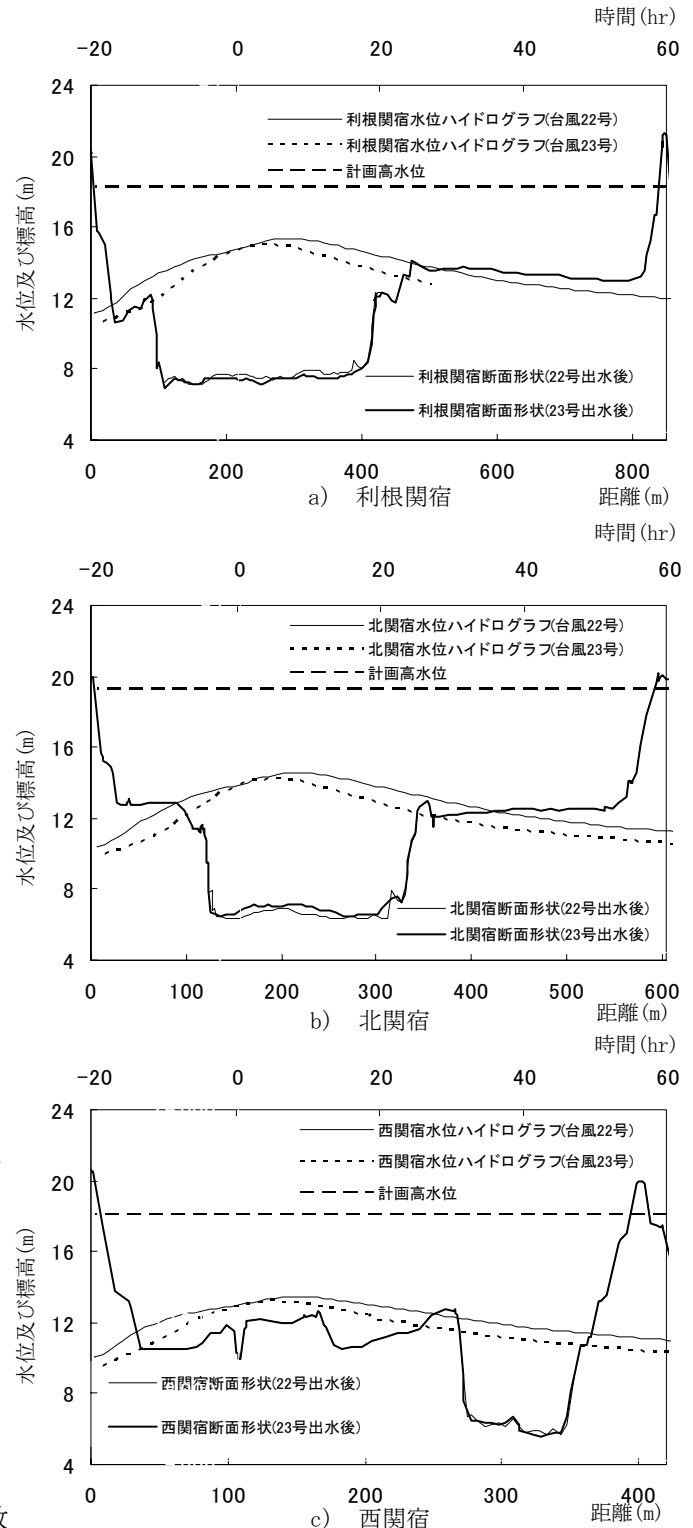


図-3 基準点の横断面形状及び水位ハイドログラフ

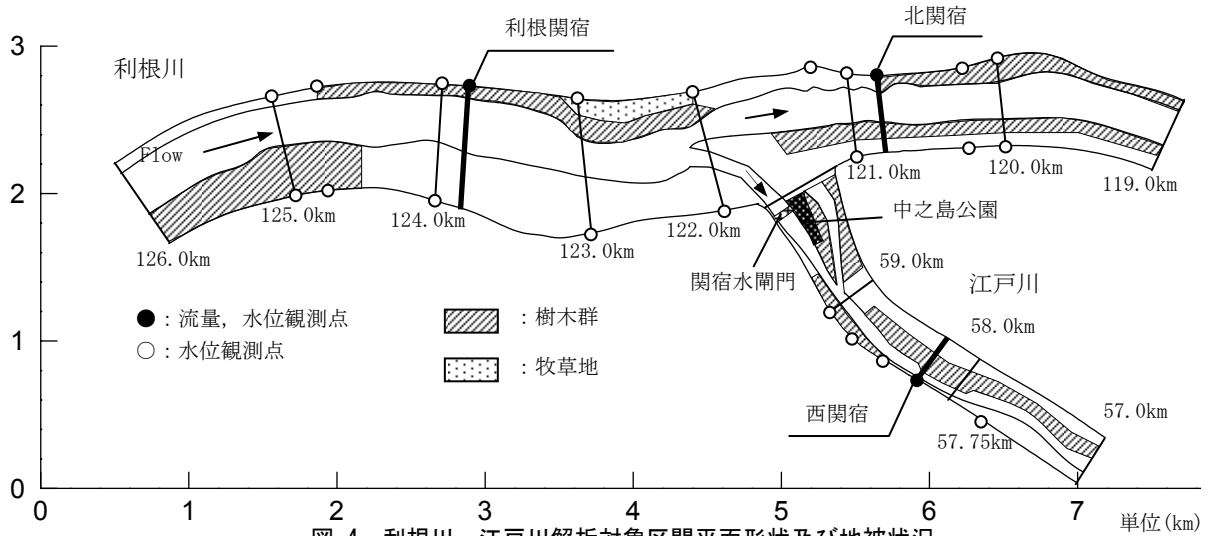


図-4 利根川・江戸川解析対象区間平面形状及び地被状況

表-1 計算ケース

対象洪水	case1		case2	
	台風22号	台風23号	台風22号	台風23号
用いる水位データ	全ての観測水位		利根川: 120,121,122,123,124,125km 江戸川: 59,58.3,57.75km	

表-2 各ケースにおける粗度係数と樹木群透過係数の分布

	粗度係数(m ^{-1/3} ・s)
利根川低水路	0.029
江戸川低水路	0.029

case1

利根川 場所	粗度係数(m ^{-1/3} ・s)		樹木群透過係数(m/s)	
	右岸	左岸	右岸	左岸
125-124.5k	0.057	0.045	13	
124.5-124k		0.055		10
124-123.5k	0.035	0.038		15
123.5-123k			8	
123-122k	0.030	0.060		4
122k-121.5k				
121.5-121.15k	0.047	0.038	20	
121.15-121k		0.042		
121-120.8k	0.040	0.040	25	
120.8-120.25k				0.043
120.25k-120k	0.050	0.050	14	8
江戸川 場所	粗度係数(m ^{-1/3} ・s)		樹木群透過係数(m/s)	
	右岸	左岸	右岸	左岸
59.75-59k	0.038	0.045		25
59-58.85k	0.048	0.036	10	
58.85-58.3k			35	47
58.3-57.75k	0.035		40	

case2

利根川 場所	粗度係数(m ^{-1/3} ・s)		樹木群透過係数(m/s)	
	右岸	左岸	右岸	左岸
125-124.5k	0.057	0.045	15	
124.5-124k		0.055		12
124-123.5k	0.035	0.038		8
123.5-123k				
123-122k	0.030	0.060		
122k-121.5k				
121.5-121k	0.045	0.042	20	
121-120k		0.040		10
江戸川	粗度係数(m ^{-1/3} ・s)		樹木群透過係数(m/s)	
	右岸	左岸	右岸	左岸
59.75-59k	0.038	0.045		25
59-58.3k	0.044		35	
58.3-57.75k	0.035	0.036	40	47

式(1)に、本手法におけるせん断力項を示す。

$$(\tau_{z\xi}, \tau_{z\eta}) = \left(\frac{gn^2}{h^{1/3}} + \frac{gh}{K^2} \right) \sqrt{u^2 + v^2} (\tilde{U}, \tilde{V}) \quad (1)$$

ここに、 (\tilde{U}, \tilde{V}) : 反変流速物理成分, h : 水深, $\sqrt{u^2 + v^2}$: 絶対流速を示す。式(1)より、せん断力に及ぼす影響は、水深が小さい時は粗度係数の方が大きく、水深の大きい時は樹木群透過係数の方が大きい。このことから、洪水期間中における高水敷上の水深の違いによる重みの違いを考慮して、水面形の時間

変化を再現できるように粗度係数と樹木群透過係数の分布を変化させている。

4. 解析結果と考察

(1) 水面形の時間変化と流量ハイドログラフの比較

図-5に、case1における利根川と江戸川の水面形の時間変化及び、流量ハイドログラフを示す。台風22号、23号共に、利根川、江戸川における水面形の時間変化の解析結果は、観測結果と全体的に一致している。水面形の時間変化が観測値と一致するようにした上で、精度が比較的良好と思われる下降期の観測流量の値を目安として流量の絶対値が全体的に合うように、粗度係数と樹木群透過係数分布を決定している。そのため、22号、23号共に、流量ハイドログラフの解析値は、観測値を精度良く補間できていると考えられる。台風22号出水時におけるピーク流量の観測誤差は、利根関宿、北関宿、西関宿共に小さく、台風23号出水時におけるピーク流量の観測誤差は、台風22号出水時よりもやや大きくなっている。

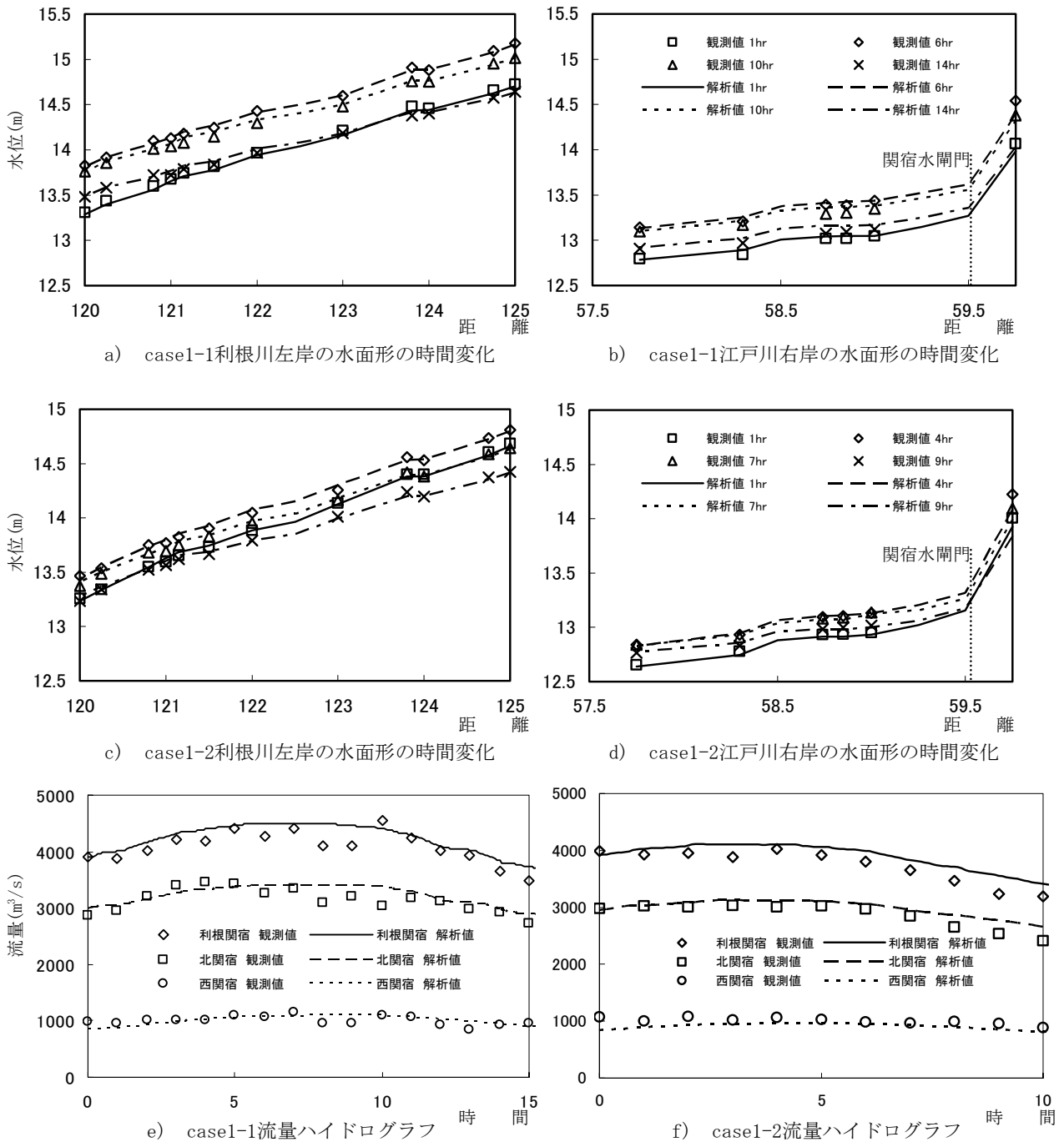


図-5 case1における水面形の時間変化と流量ハイドログラフ

図-6に、case2における利根川と江戸川の水面形の時間変化及び、流量ハイドログラフを示す。case1同様、台風22号、23号共に、利根川、江戸川における水面形の時間変化の解析結果は観測結果と全体的に一致している。流量ハイドログラフについても、十分な精度で補間できている。これらのことから、多くの点における水位変化を捉えることはそれほど重要でなく、地被状況等によって水面形に変化が現れる場所で水位を観測し、その結果を基に解析することで、十分に精度の高い流量ハイドログラフを推算することができる。

(2) 粗度係数と樹木群透過係数の分布の比較

case1では、全ての水位観測点において解析水位が観測水位と一致するように解析しているため、得られた粗度係数と樹木群透過係数の分布は、台風22号と23号出水時における河道の抵抗分布を表している。しかし、利根川左岸120.0~121.0kmのように縦断的に密に水位が観測されている区間において、水面形を再現しようとする、密な間隔で粗度係数と樹木群透過係数を調整することになるため、短い区間内過係数は、それらの区間平均値を表しているといえる。

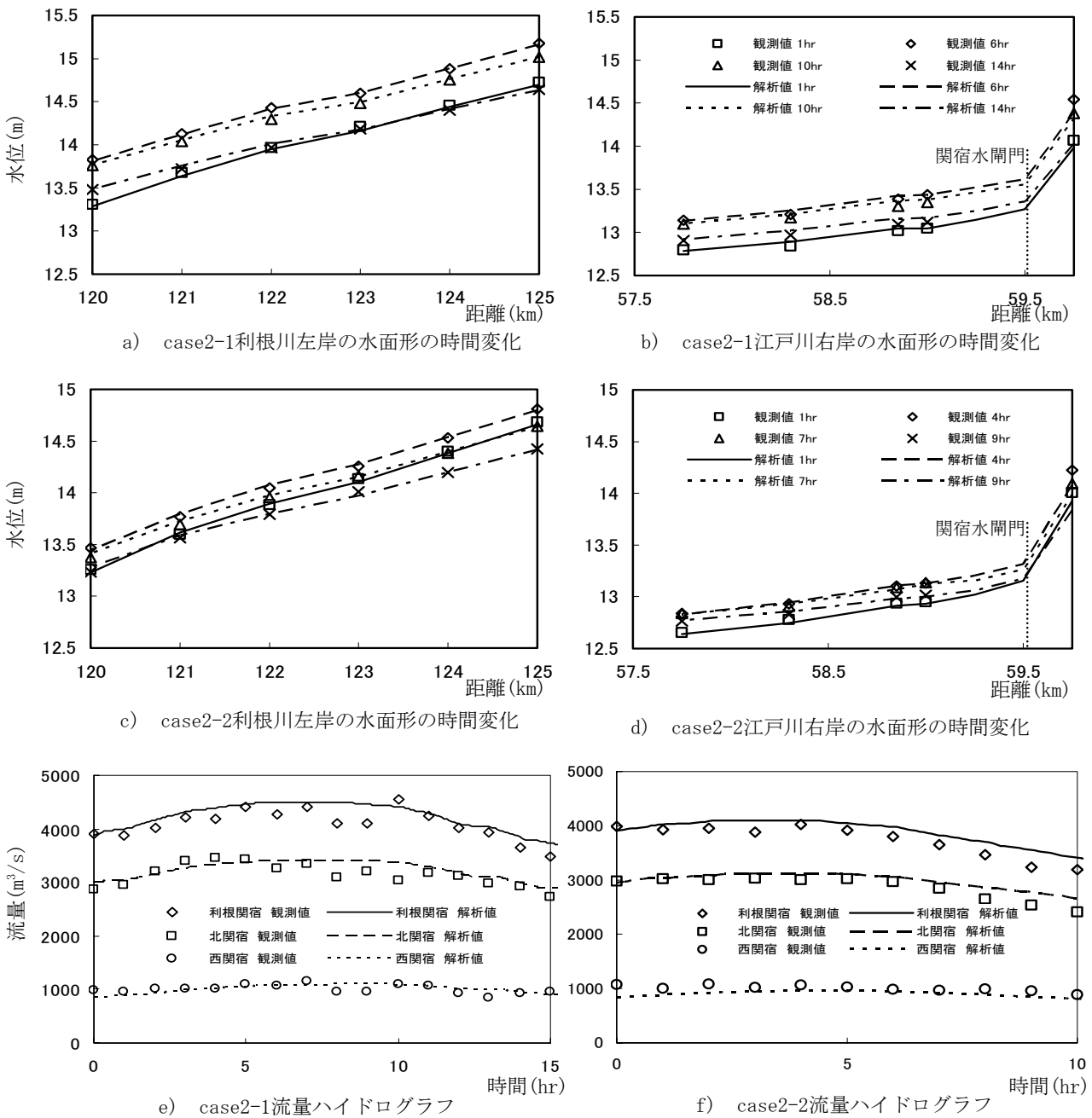


図-6 case2における水面形の時間変化と流量ハイドログラフ

また、同一の粗度分布により、台風22号と23号における水面形の時間変化を再現することができ、流量ハイドログラフを精度良く推算することができることから、対象とした二つの洪水における粗度係数と樹木群透過係数の違いは小さく、これらの差が水面形の時間変化と流量ハイドログラフに与える影響は小さいといえる。

5. 結論

本研究では、利根川と江戸川に分派区間において、洪水の発生時期が近く、同程度の流量規模であった平成16年8月の台風22号と、同年9月の台風23号洪水を対象として、現地データを用いた解析により、流量ハイドログラフを高精度に推算し、粗度係数と樹木群透過係数分布の合理的な決定方法と、二つの洪水における粗度係数と樹木群透過係数の値について検討を行った。

以下に、得られた主要な結論を述べる。

- 1) 河川分派区間においても、境界条件に観測水位を用いて、細密に観測された水面形の時間変化を再現するように二次元不定流解析を行うことで、精度の良い流量ハイドログラフを推算することができる。
- 2) 地状況によって水面形の特性が変化する場所において、水位の時間変化を縦断的に観測することで、河道内の粗度係数と樹木群透過係数の平均的な分布を決めることができる。
- 3) 対象とした洪水における粗度係数と樹木群透過係数の分布の違いは小さい。

今後は、規模の異なる洪水に対して本手法を適用し、利根川・江戸川分派区間における代表的な粗度係数と樹木群透過係数の分布について検討を行い、分派区間における流量ハイドログラフを定量的に推算する。

参考文献

- 1) 福岡捷二：洪水の水理と河道の設計法，森北出版，2005.
- 2) 福岡捷二・渡邊明英・原俊彦・秋山正人：水面形の時間変化と非定常二次元解析を用いた洪水流量ハイドログラフと貯留量の高精度推算，土木学会論文集，No.761/II-67，pp.45-56，2004.
- 3) 福岡捷二・渡邊明英・永井慎也：河道内貯留量推算のための水位観測法と粗度係数に与える流れの非定常性の影響，河川技術論文集，第10巻，pp.71-76，2004.
- 4) 福岡捷二・永井慎也・佐藤宏明：河川合流部を含む本・支川の流量ハイドログラフ，貯留量の評価ー利根川・渡良瀬川の平成13年9月洪水を例としてー，水工学論文集，第49巻(1)，pp.625-630，2005.
- 5) 渡邊明英：河川流数值シミュレーション技術の役割と現状，水系環境の保全と創造をめざして，土木学会中国支部継続教育プログラム，No.2003-JSCECB/01，pp.1-1～1-12，2003.