LPデータ活用に向けた水理計算特性の分析

木村 隆浩1・銭 潮潮2・中安 正晃3

¹(一財)河川情報センター 河川情報研究所 研究第3部研究員 ²(一財)河川情報センター 河川情報研究所 研究第3部研究員 ³(一財)河川情報センター 河川情報研究所 研究第3部 部長

近年の水災害の増加を鑑みて、航空レーザ計測(LPデータ)など革新的技術の進展を背景に、河川の 縦断水位を詳細に把握・予測する動きが加速している。

河川縦断水位の予測は、一般に河道の横断面データを用いて水理計算を行うことで可能となる.

しかし、高密度横断面データ(LPデータ)を水理計算に利用するにあたっては、河道縦断方向の横断 面データの密度が洪水時の水位計算値に及ぼす影響を評価することが重要となる.

本研究では、今後LPデータの充実・活用を想定し、断面データの高密度化に伴う河道内の水理計算特 性への影響についての分析結果を報告する.なお、水理計算特性の分析は、荒川の支川を対象に1次元 不定流モデルを用いて行った.

Key Words:定期縦横断測量,LPデータ,1次元不定流,感度分析,河積変化

1. はじめに

河川事業の進捗に伴い、日本の河川はその治水能 力を着実に向上させているが、局地的集中豪雨等に よる河川堤防越水・破堤によるはん濫など深刻な水 災害は依然として頻発している.

河川の越水・はん濫被害を回避軽減するためには, 河川の状況をリアルタイムで把握することが重要で, 河川情報センターでもこれまで,全国7,000カ所以 上の水位観測所のリアルタイムデータと観測所付近 の横断図を組み合わせ,危険の切迫度が一目で分か る画像を提供してきており,現在でも河川の状況を 把握する一般的な基本情報として認知されている.

しかし,縦断的に不連続な水位観測所の情報で, 連続的な河川の縦断水位を把握することは難しく, 局所的なはん濫危険箇所が見逃されてしまうなど河 川管理上の問題が顕在化してきている.

このため、堤防や河川の形状、水位を連続的に把握し、最も危険な箇所を「見える化」する必要性が高まっており、「国総研の見える化プロジェクト」など縦断水位を把握する様々な取り組みが行われている。河川情報センターでもこうしたニーズを受けて、平成29年7月から、河川管理者向け「統一河川情報システム」では河川の水位縦断図が断続的ではあるが閲覧可能となっている(図-1)。

今後,河川情報センターでは,現在より細密な河 川縦断水位情報の提供,それによって期待される

"危険箇所の見逃しゼロ", "避難遅れゼロ"を目 指しており,その上で,LPデータの水理計算への 活用は必要不可欠である.

本研究では、LPデータの活用によって高密度化

する断面データとそれに伴う水理計算への影響についての検討結果を紹介するものである.

A 10 10 http://	Vkawabou-mng/stagePrflGraph.do?prefCd=8	ktownCd=8 P - C I 河川管理美向け祝.	. × C Source 'System Sou n * 9
水位縮明國	運動(45 月) 20	117年11月04日 144巻84分	
水位和新一覧表			
 ✓ 現4年10次位 →現水位(14種(金) →現水位(24種(金) →現 →現水位(24種(金) →現 →現 →現 →現 	✓ 載泉可振高 ✓ 読泉可振高 ✓ 注塩危速 か(位(時間(金)) ✓ 日和 か(位(時間(金)) ✓ 主岸環防高 か(位(時間(金)) ✓ 右岸環防高	木位 予想表示(7)留 (※1~46%開発 ○10~60分徴 ■	1940月2月 10分 マ 戻る 注む 2017年10月 マ 4日 マ 13時 マ 20分 マ 総特別表示 18近時日表示
00川水位	縦断図		
		0	〇橋
標高 (TPm)	, <u> </u>		
Î	00橋		
提防高			
542103 (M)			
計画高水位	HVVL		―― はん濫危険水位
		_	—— 避難判断水位
			はん濫注意水位
		_	
			- ADE WET SKIT / LEE
河床高	5	~ ~	
			距離標 (km)
■ # 現時刻水位	 予測水位(1時間後) 予測水位(2時 	報酬後) · 予測水位(3時間後)	
(注) (二) (二) (二) (二) (二) (二) (二) (二) (二) (二	 予測木位(4時間後) 予測水位(6時 調整為照本位) 	(1) 予測水位(ca時間後)	
凡 水 一現時刻水位		FMR後) 予測水位(38年WR後)	
一 長深河床高		物制度) 予測水位(GB物制度) 激励除水位 HW(I	
● 場防と水位の差が	1.5m以下となる地点		
			■±≈≢≢ 河川管理者向け 統一河川情報システム
			Compiled by FRICS
		上明教士工人	
	凶─□ 秘断水1	2 閲見 囲 田 イ .	メーン

2. 水防水位の設定方法とその意味

LPデータの活用や河川の縦断水位把握について 述べる上で,水位観測所において設定される水防水 位について触れておく。

水防水位は、危険の切迫度を示す指標であり、河 川のはん濫危険性の把握だけでなく、住民の避難行 動や水防活動開始の判断などに利用されている.

その設定方法は、図-2に示すように観測所の受持 区間における最小流下能力地点の水位を観測所水位 に換算することで行われる.

しかし,以下1)~3)に挙げるような課題があり 適切に設定することは難しく,実際は危険箇所の見 逃しや避難判断・水防活動開始判断の遅れ等が発生

している状況である.

受持区間は数~数十キロ,その間の堤防高把握や 水理解析を200~500m程度の定期横断測量で実施す る場合を想定すると,

- 1) 堤防高データが不十分で、危険箇所に見逃しが 生じる
- 2) 断面データが不十分で,潜り堰などの河床構造 物による局所的な水位変動を把握できない
- 3)水理解析の精度が不十分で、危険箇所と水位観 測所間の支川合流の影響が正確に把握できない

LPデータの水理計算への活用は、上記の課題を 解決する手段のひとつでもある.



3. レーザ計測技術の進展と水理計算への適用

近年, 河川管理や流域管理においてレーザ地形計 測による地盤標高データの取得が急速に普及し, そ れによって得られたデータの利活用法に関する研究 が多くなされている^{例えば1, 2,)}. 河川水理計算モデル 構築に用いる最も基本的なデータとしての河道横断 面データについて,従来は定期縦横断測量によって 流下方向に200m或いは500m間隔の測線上の断面デ ータが測量されているが、測線間の地形情報は全く 得られない. また, このような測量作業には多大な 労力・コストを要することもあり、都道府県管理河 川においては、河道断面に関する情報の整備が不十 分な場合が多い.これらの課題に対し,航空(固定 翼や回転翼)レーザ地形計測で取得された3次元点 群データを用い、計測誤差や植生等のノイズ処理に 着目した河川の横断面データの作成に関する方法や 手順について研究がされている^{3,4)}.また,3次元点 群データの解析より作成された横断面データ(以下, LP断面と称す)は従来の定期縦横断測量の断面デ ータ(以下、定期測量断面と称す)と比較して、高 い精度が確認されている^{3,4)}.

また,200m或いは500m間隔の定期測量断面に対し, LP断面の流下方向の間隔は点群データの密度に比 例し,数m間隔の断面を作成することも可能である. さらに,最近は高性能なレーザ計測センサーをドロ ーンに搭載し,10cm程度の間隔の非常に高密度な 地形データを取得する技術が実用レベルまで成熟し つつあり⁵⁾,それによる高精細な河道空間モデルの 作成が可能になってきている.

高密度な点群データの重要な活用場面として,広 大な高水敷を有する河道の洪水流解析における高密 度点群データの有効性が福田らによって示されてい る⁹. 高密度な横断面データであるLP断面と従来の 定期測量断面をそれぞれ用いた場合,水面形の計算 結果に生じる影響について検討することは非常に重 要な基礎的な知見になろう.安田ら²⁾は,鶴見川 13.8~19.6kmの5.6km区間(川幅100~200m)におい て,レーザ地形測量の成果から数10m間隔の河道断 面データを生成し,それを用いて流れの非定常効果 を無視した1次元不等流による水位計算を行った. その結果,定期測量断面を用いた計算結果より水位 が過大に計算される可能性を指摘している²⁾.この 「水位過大評価」の可能性についての具体的な議論 はそれ以降見受けられない.

本研究では、荒川の支川を対象に、10m間隔の高 密度なLP断面を含め、異なる間隔密度の断面デー タを用いた洪水流水理計算を行った.また、洪水流 水理計算において、LP断面の利用に関する基礎的 な知見の蓄積を目的とし、横断面の密度が水位計算 結果に及ぼす影響特性及びその原因について考察し た.

4. 研究対象河道

本研究の検討対象は首都圏を流れる荒川水系の都 幾川が,越辺川,入間川に合流し,その後荒川本川 に合流する区間である.計算対象区間は上流端を都 幾川唐子橋水位観測所とし,上記三川を流れる区間 及び荒川本川合流地点からさらに下流治水橋水位観 測所(下流端)までの合計約24kmである(図-3).

本川との合流点を0kmとし、この区間内には 5.8kmには菅間、9.63kmには越辺川落合橋、17.62km には野本の3箇所の水位・流量観測所がある.これ らの地点を検証地点とし、水位計算値と記録した実 測値を比較することにより、計算モデルの妥当性を 確認した.また、計算対象区間へ横流入する河川に、 越辺川の上流域には高坂水位・流量観測所、小畔川 には八幡橋水位観測所、入間川上流には小ヶ谷水 位・流量観測所がある.荒川本川との合流点の本川 上流側には太郎右衛門水位・流量観測所、合流点下 流側には治水橋水位・流量観測所があり、水位、流 量の観測値を記録している.



図-3 対象河道・水位・流量観測所位置及び地盤高

5. 高密度横断データを用いた洪水流解析

(1) 用いたレーザ計測データ(LPデータ)の概要 本研究で用いた LP データの計測諸元を表-1 に示 す.

表-1 用いた LP データの計測概要

項目	パラメータ		
対地飛行高度	1981.2m		
対地飛行速度	130kt (241.1 km/h)		
オーバーラップ率	30.0%		
パルスレート	237,000Hz		
スキャン角	40°		
スキャン頻度	28.5Hz		
パルスモード	1~4 パルス		
計測点間隔 (最大)	1.1m		

レーザ計測によって取得した地形形状点群データ は建物や植生などの情報を含むランダムに配置した DSM (Digital Surface Model) である.適切なフィル タリングを施し建物や植生などを除去した地盤高デ ータから,最大密度10m間隔の高密度なLP断面を含 む,複数間隔レベルの断面データを作成して計算に 用いた.なお,今回用いたLPデータは水面以下の 河床形状は計測できていないが,図-4に示す一例の ように,低水期や渇水期で計測を行っているため, 洪水時の河積に比して取得できない断面形状は限ら れている.そこで本研究では,水面下の断面データ を定期断面データより内挿補完し作成した.



(2) 対象洪水

LP 断面は、断面形状の表現優位性から、潤辺が 大きい洪水流計算への利用時に、より精度のいい水 位計算になると考えられる.なお、潤辺と洪水規模 は正の比例関係にある.

そこで,LP 断面の密度が水位計算値に及ぼす影響を明らかにするために,図-3 に示した対象河道区間で近年生じた最大規模の洪水を解析対象とした. 選定方法としては,近年基準地点におけるピーク水位が基準水位を越えた洪水を選定対象とし,そのうち規模が最大であった2007年9月洪水を再現計算の対象に選定した(表-2).

No.	ピーク水 位生起日	入間]]]]	小畔川	高麗川	都幾川	都幾川
		菅間	小ヶ谷	八幡橋	坂戸	野本	唐子橋
		P.W.L.	(m)	P.W.L. (m)	P.W.L. (m)	P.W.L. (m)	P.W.L. (m)
1	2004/10/9	8.73	2.61	3.68	2.17	3.77	2.69
2	2004/10/21	7.71	2.22	3.32	1.56	3.00	2.24
3	2005/7/27	8.05	2.34	2.93	2.31	3.87	2.76
4	2006/10/7	7.13	1.95	2.86	1.60	2.82	1.91
0	2007/9/7	9.51	2.83	3.17	2.84	4.52	3.39
6	2012/5/3	8.45	2.41	3.25	1.75	3.90	2.66
7	2012/6/20	6.81	2.31	2.82	1.51	3.56	2.61
8	2013/10/16	6.55	2.34	3.29	1.37	2.62	2.02
			凡例:	水防団待機水位超	はん濫注意水位超	避難判断水位超	はん濫危険水位超

表-2 選定対象洪水一覧表

(3) 再現計算の方法及び計算条件

1 次元解析法を適用し、上記により選定された 2007 年 9 月洪水時の対象河道内の洪水流再現計算 を行った.

a) 基礎方程式とその解析法

本研究では解析対象区間長は約24kmあり,洪水流 伝播の非定常効果が無視できないと考えられること から,1次元不定流による解析を行った.その基礎 式である運動量の式と連続式をそれぞれ式(1)と式 (2)に示す.



$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q}{A} \right) + gA \frac{\partial H}{\partial x} = -\frac{gH}{R^{\frac{4}{3}}A}$$
(1)
$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$
(2)

ここに、Oは河川の流量、Hは河川の水位、nは Manningの粗度係数, Rは径深, Aは河積, gは重力 加速度である.離散化手法として,非定常項につい ては中心差分とし、空間項については、差分法の違 いによる水位計算値への影響を確認するため、中心 差分,前進差分,後退差分の3種類の手法を用いて それぞれ再現計算を行った.

b) 計算条件

図-3 に示す対象河道の洪水流再現計算を実施する にあたり、初期条件として洪水前の平水位を与えた. 境界条件について, 上流端境界条件に都幾川唐子

橋地点の実測流量を与えた.また,流下途中に高麗 川の合流があり、合流する流量として高麗川高坂地 点の実測値を与え、同様に、小畔川の合流流量及び 入間川上流域の合流流量としてそれぞれ八幡橋と小 ヶ谷地点の実測流量を対応する合流点に与えた.こ れらの合流流量は直接検討河道の合流断面に与える ため、合流のタイミングはそれぞれの地点における 水位相関の分析より調整した.一方,下流端境界条 件には荒川本川治水橋地点の実測水位とした. しか し、本川治水橋地点は入間川との合流地点より 3.3km も下流にあり、その水位は本川の流れに大き く決定され、そのまま下流端境界条件として利用す ることは不適切であることは容易に想像がつく.そ のため、治水橋地点の水位を下流端境界条件にする が、支川と同時に、本川においても治水橋地点を下 流端とし、治水橋地点より 12.3km 上流にある太郎 右衛門橋地点の実測流量を上流端流量として与え,

本川の洪水流流下計算も実施した.

詳細な境界条件の与え方及び本・支川の合流関係 等のイメージを併せて図-5に示す.

なお、粗度係数については、都幾川区間で 0.039、 越辺川区間で 0.038,入間川区間で 0.037,荒川本川 区間で 0.037 を用いた. 表-3 に示す 4 種類の河道断 面データを用いて再現計算を行った.

2 2 3 用いた頃町面 7 ス				
横断面データ	断面間隔			
LP断面	10m			
LP断面	20m			
LP断面	50m			
定期測量断面	200m			

表-3 用いた横断面データ

6. 解析結果

前章で示した基礎式による解析の精度について, 図-6 に示す最大水位及び検証地点の水位ハイドログ ラフの計算値と観測値の比較から、十分な信頼性を 有することが分かる.また,野本地点において, 10m, 20m 間隔の横断面データを用いた解析結果が 実測値と非常によく一致している.

図-7 では入間川菅間地点においてピーク水位時の 水面形(上段),フルード数(中段),断面データ 間隔 200m の計算水位を基準とした際の他のケース との差分(下段)を示した. ピーク時においても対 象区間全体が常流で流れており、非常に高い精度で 水面形を再現できているが、下段の図から明らかに 断面の間隔が細密になるほど計算水位が(約 0.2~ 0.3m 程度) 高くなる傾向がみられた. ただし、横 断面データの間隔が 20m と 10m の結果は計算水位 の差異が小さいことが分かった.



図-7 に示された計算水位の差分,及びその差分傾向の差異が生じる原因としては,数値計算の離散化手法による誤差の蓄積か,計算間隔による違いが,または何らかの流れの抵抗効果が評価されたためと考えられる。

数値計算離散化手法の違いについて、中心差分、 前進差分、後退差分と異なる離散化手法による計算 を行い、その結果を図-8に示す.図-8から、差分化 手法の違いによる水位計算値の差は数ミリ程度であ り、無視できる.

また、計算間隔の違いについて、200m間隔の断

(dHmax_10m*)の水位の差 面データを用いて線形補間により 10m 間隔の断面

図-9 10mLP 断面(dHmax_10m)と 10m 線形補間断面

面) 二タを用いて緑杉福间により 10m 間隔の断面 データを作成し洪水流水理計算を行い,その結果を 図-9に示す.

図-9 から,計算間隔の違いによる影響(200m間隔 dHmax_200m と線形補間 dHmax_10m*との差)は, 最大で約 0.1m(特に上流部ではゼロに等しい)程度であり,図-7下段に示した水位差分傾向を説明できるものではない.

よって、図-7下段に示した明らかな水位差分傾向、

またはその差異は、何らかの流れの抵抗効果が評価 された結果と推察される.

ここで、流れの抵抗効果について、考察する.

本研究で用いた一次元不定流モデルにおいて,流 れを支配するパラメータは,式(1)(2)に示されるよ うに粗度係数 n,径深 R,河積 A である.ただし, 本研究では,粗度係数 n はトライアルケース間で同 様に与えている.よって,図-7 に示された抵抗効果 は,径深 R,河積 A の横断面間隔の差異によって生 じた可能性が高い.

さらに詳述すると、径深・河積の縦断方向の変化 は、横断面間隔が細密になるほど「急激度」を増す 傾向にある.よって、径深・河積変化の「急激度」 が運動量の交換を生じさせ、ある種の内部応力が抵 抗力として生じることが考えられる.径深・河積変 化の「急激度」が高ければ運動量の交換もより活発 になり、抵抗応力が大きくなったと推察される.

8. おわりに

本研究によって得られた知見を以下に示す.

- 横断面データの間隔が高密度になるほど、洪水 流水理計算による水位が、約 0.2~0.3m 程度大 きくなる傾向がみられた.
- 2) この差異は、数値計算の離散化手法や計算間隔の違いのみで説明できず、縦断方向の河積変化(地形の凹凸)による抵抗効果が評価された可能性がある。
- 3) この差異は、はん濫の有無や避難判断など水防 上の危険度判定を変え得るという点で数字以上 に大きな意味を持つといえる。

謝辞:本研究の実施にあたり、国土交通省関東地方 整備局荒川上流事務所から航空レーザ計測データを 含め,多数の貴重なデータを快く提供して頂いた. ここに記して謝意を表します.

参考文献

- 平岡透,真下和彦,横田宏行:レーザプロファイラ データと浸水区域の比較,写真測量とリモートセン シング, Vol.50, No.6, pp.380-385, 2011.
- 2) 安田浩保,武富一秀,館健一郎,金木誠:レーザス キャナにより取得した数値標高情報に基づく河道形 状情報の作成に関する研究,河川技術論文集, Vol.9, pp.247-252, 2003.
- 田中成典,中村健二,今井龍一,窪田諭,梅原喜政:LPデータと過年度の河川定期横断測量成果を用いた横断図生成手法に関する研究,土木学会論文集F3(土木情報学),Vol.70,No.2, pp.I_283-I_292,2014.
- 4) 田中成典,中村健二,今井龍一,窪田諭,梅原喜政:LPデータと河川定期縦横断測量成果を用いた任意地点の横断図生成手法に関する研究,知能と情報(日本知能情報ファジィ学会誌), Vol.28, No.5, pp.810-825, 2016.
- 5) チーム FALCON ((一財)河川情報センター,朝日航 洋(株),アジア航測(株),ルーチェサーチ(株)):チ ーム FALCON の陸上・水中レーザードロン開発の 取組み,雑誌河川9月,2017.
- 6) 福田匠太,竹村吉晴,吉井拓也,福岡捷二:植生の 分布する広大な高水敷を有する荒川中流部における 洪水流の解析精度向上に必要な地盤高と高水敷上の 氾濫機構の評価方法に関する研究,河川技術論文集, Vol.22, pp.133-138, 2016.

Analysis of hydraulic calculation characteristics for utilizing LP data

Takahiro KIMURA, Chaochao QIAN, and Masaaki NAKAYASU

In view of the recent increase in water disasters, the movement to grasp and predict the longitudinal water level of rivers in detail is accelerating against the backdrop of progress of innovative technologies such as aviation laser measurement (LP data).

Prediction of the longitudinal water level of a river can be made by carrying out a hydraulic calculation by using cross sectional data of a river channel in general.

However, when utilizing high density cross section data (LP data) for hydraulic calculations, it is important to evaluate the influence of the density of the cross section data in the longitudinal direction of the river channel on the calculated water level value during flooding.

In this paper, we will report the analysis results on the influence on the hydraulic calculation characteristics in river channel due to the high density of section data assuming that the LP data will be enhanced and utilized. The hydraulic calculation characteristics were analyzed using a 1-dimensional unsteady flow model for Branches of Arakawa.