

基盤地図情報の5mDEMによる御笠川の氾濫の地形条件分析

GROUND CONDITIONS ON THE FLOOD OF THE MIKASA RIVER IN FUKUOKA CITY USING 5M DEM IN FUNDAMENTAL GEOSPATIAL DATA

黒木 貴一¹・磯 望²・宗 建郎³・後藤 健介⁴・黒田 圭介⁵

Takahito KUROKI, Nozomi ISO, Kensuke GOTO, Tatsuroh SOH and Keisuke KURODA

¹福岡教育大学 (〒811-4192 宗像市赤間文教町 1-1)

E-mail: kuroki0@fukuoka-edu.ac.jp

²西南学院大学 (〒814-8511 福岡市早良区西新 6-2-92)

E-mail: iso@seinan-gu.ac.jp

³西南学院大学非常勤講師 (〒814-8511 福岡市早良区西新 6-2-92)

E-mail: soh_fukuhis@yahoo.co.jp

⁴長崎大学 (〒852-8523 長崎市坂本 1-12-4)

E-mail: k-goto@nagasaki-u.ac.jp

⁵西南学院大学非常勤講師 (〒814-8511 福岡市早良区西新 6-2-92)

E-mail: kuroda@seinan-gu.ac.jp

Key Words: fundamental geospatial data, ground condition, digital elevation model, relief map, flood

1. はじめに

豪雨による土砂災害としては、斜面崩壊と共に水系への土砂流出による二次的な氾濫危険性の増大も懸念される。この土砂流出を伴う洪水と氾濫は後水期に平野の微地形を発達させてきた。それ故、氾濫被害の特徴は平野の微地形区分に基づいて説明され^{1),2),3),4)}、逆に平野の微地形は、その土地の氾濫に伴う堆積物や浸水深など被害特徴を示す指標ともみなされる^{5),6)}。2003年九州豪雨では御笠川上流での斜面崩壊⁷⁾とともに、下流では洪水・氾濫に伴う堤内外の土砂堆積が生じ、うち堤内では現地調査に基づき微地形形成過程に調和する土砂堆積が確認された³⁾。また2012年現在でも堤外に大量の土砂の残された場所が散見される。

このような洪水・氾濫と土砂堆積との空間関係は、堤内では速やかな土砂除去がなされ検討は容易ではないが、堤外では大規模な除去事業が実施されない限り土砂は長く残され可能と思われる。ただ洪水により堤外に堆積した土砂量やその蓄積結果の微地形分布は、2

万5千分の1地形図、2500分の1都市計画図、空中写真各々では、高さ精度が十分ではなく把握し難い。しかし今日、地理空間情報活用推進基本法に基づき精度良い様々な基盤地図情報が整備され⁸⁾、国土地理院のサイトから都市域に整備されたレーザー計測による数値標高モデル5mメッシュ(以降5mDEM)が自由にダウンロード可能となった。数値標高モデルいわゆるDEMは、地形解析を通じて多様なスケールと目的で利用されてきた。中でも詳細DEMの利用では、5mDEMによる地形区分や活断層トレース⁹⁾、5mより細かいDEMによる斜面崩壊や地震による地表変動の解析や植生区分¹⁰⁾、さらに地すべりの微地形判読^{11),12)}がある。ただDEMによる地形解析はGISでの自動分類に止まるものが多く、自動分類結果を土砂災害に活用する手法を検討したものが少ない。またそれぞれは起伏の大きな山地・丘陵に対するものが多く、起伏の小さな平野の微地形に対しては、地理学、地質学、工学などの各分野で、まだ十分な検討が見られない。しかし詳細なDEMでは、堤外に関し洪水により堆積した土砂による微地形分布を示し、

またその量を把握できる可能性があり、それより土砂堆積と氾濫との空間関係も検討しやすいと思われる。

そこで本研究では、5mDEM による地形量の自動分類結果から平野の特に河川に対して微地形を目視判読し地形区分を試みる。さらに判読結果の地形量分析を通じて、5mDEM が土砂流出を伴う氾濫被害の背景の検討に十分活用できることを示す。

2. 研究方法

(1) 研究対象地域

福岡平野を北西へ流れる御笠川を選定する。御笠川は上流の太宰府市から福岡市を經由し博多湾にそそぐ流路長約 21km、流域面積約 90km² の二級河川であり(図-1)、近年では 1999 年と 2003 年に氾濫した。その河口から上流の約 12km 区間を対象とした。本区間で御笠川の堤外および両岸から堤内側 50m までを研究対象地域とする。さらに研究対象地域を上流から 100m 間隔に区切り 1-118 の解析区間を設定した。

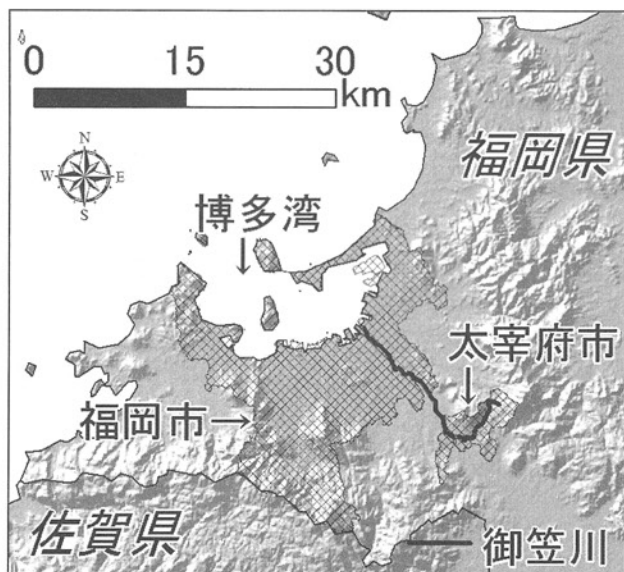


図-1 研究対象地域

(2) 地形区分方法

地形は上位より堤防 L または堤防 R、一般面、河岸、水面に区分設定した(図-2)。これら地形に対応する景観を区間 1 付近で示す(写真-1)。堤内は、沖積低地上で道路や宅地等の人工改変が進んでおり自然堤防、後背湿地、旧河道などの識別が難しいため、一般面に区分した。表法、裏法、天端で構成される人工堤防と河道に沿う自然堤防や砂丘は堤防に区分し、左岸を堤防 L、右岸を堤防 R とした。堤外の河水のある範囲(5mDEM がない)を水面とし、中州や川岸(高水敷に相当)を河岸とした。一般面より高く氾濫水の到達しない山

地、丘陵、段丘はその他とした。

通常、地形区分は数万分の 1 程度の空中写真の実体視で行われるが、写真の歪により正しい位置への移写は経験者でなければ難しい。また大縮尺の空中写真は、樹木等植生による地表被覆や立体感の消失で地形境界線を判読しにくい。一方、広域を対象とする衛星画像による地形判読^{13), 14)}では、空中写真判読に比べ客観性は高いが解像度が低いため判読精度は落ちる。

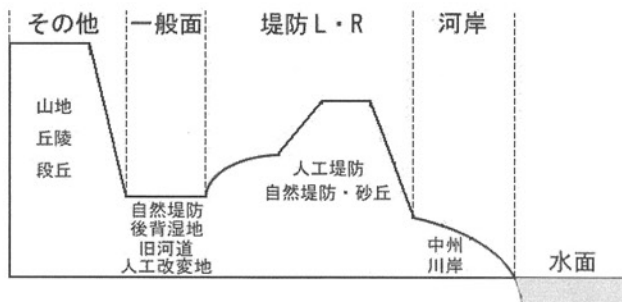


図-2 地形区分モデル



写真-1 景観と地形区分

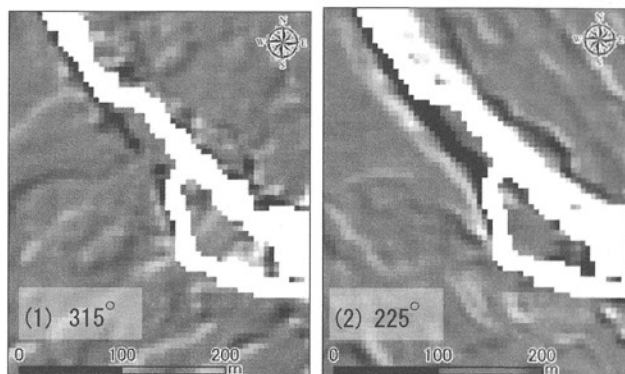


図-3 光源方位の異なる陰影図

そこで基盤地図情報の 5mDEM (2003 年 12 月レーザー計測で取得)による陰影図判読を実施する。陰影図は GIS(ArcView9)で光源高度を 45 度とする陰影図 2 種を作成し、その画面上で地形境界線を判読し地形区分のポリゴンを作成する¹⁵⁾。この時、一光源方位の陰影図は場所により視覚的印象が変化するため¹⁶⁾、光源方位を 315 度と 225 度とする陰影図(図-3(1)と(2))の両者を比較しつつ図-4(1)のように地形区分した。(1)では北東-南

西方向に延長する地形が、(2)では北西-南東方向に延長する地形が読み取りやすい。その他、区分に際し基盤地図情報の水涯線や道路範囲、電子国土基本図(オルソ画像)も参照した。

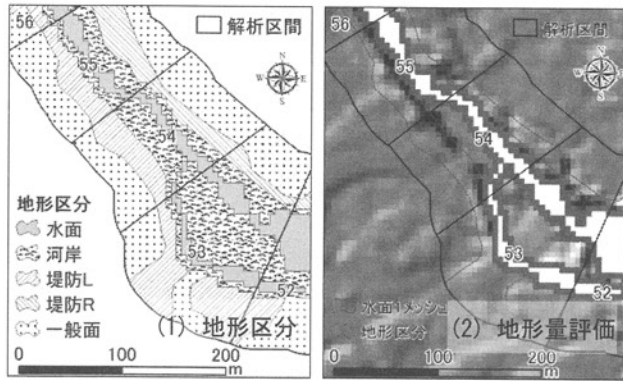


図-4 地形情報の分析

(3) 河況の資料編集

地図(2500分の1福岡市都市計画図と2万5千分の1地形図)と現地調査から、道路や鉄道橋梁の橋脚、堰、合流する河川の有無と各河況に関し、福岡県の調査資料¹⁷⁾から、2003年九州豪雨に伴う御笠川の堤防を氾濫水が越えた溢流に関し、解析区間別に整理した。

(4) 地形解析と検討

GISのゾーン統計機能により118の解析区間毎に各地形の平均標高を求めた。また水面のDEMはないため、水涯線から1メッシュ内側のDEMを解析区間ごとに平均した値をその平均標高に代用する(図-4(2))。解析区間を横軸とする平均標高に基づき御笠川の縦断形状を示す地形縦断曲線、一般面を基準とする地形縦断曲線、堤外体積(低い堤防と河岸・水面との標高差×河岸・水面の面積)などを求め、さらに5mDEMに10mDEMをモザイクしたDEMから1km²以上の流域を

求め、それらを河況と比較して氾濫を導いた溢流の背景を検討した。

3. 地形区分と地形解析

(1) 地形分布の特徴

図-5(1)は地形区分結果であり、図-5(2)にそれぞれの区間別面積割合を示す。一般面と河岸は全区間にあるが、堤防Lは11区間で、堤防Rは4区間で区分されない。河岸と堤防は上流部が下流部に比べて広く分布し、逆に一般面は下流部が広い。河岸の比較的広い区間は、区間3-13、区間17-34、区間39-41、区間44-66、区間71-75、区間94-100、区間103-106、区間110-111であり、全体的にみると直線区間で狭く、屈曲区間では広い傾向がある。この傾向は堤防L・Rもともにみられ、特に攻撃斜面側に広く分布する傾向が読み取れる。

このように5mDEMによる陰影図から地形区分は可能であり、その結果から河岸と堤防が河道の屈曲区間で広い傾向と、堤防が攻撃斜面(河川屈曲部の外側)にあたる堤外の急傾斜部側でより広い傾向を読み取れた。

(2) 地形縦断曲線の特徴

図-6(1)は地形別の標高を上下流方向に示した。平均標高の高い順に堤防L・R、一般面、河岸である。河岸は堤防L・Rと一般面より数m低い。上流から下流に向かって、堤防L・Rと一般面はともに区間70付近より上流は約1.9‰、下流で約1.0‰の勾配で標高を減じる。詳しくみると堤防L・Rは上流側では一般面より約1m高く下流では標高が接近する。特に最下流では一部一般面より標高が低い。これは堤防と一般面の比高が小さく、堤防の表法が水面に近い、堤防が一般面より低く算出されたことが原因である。河岸の標高変化は、標高

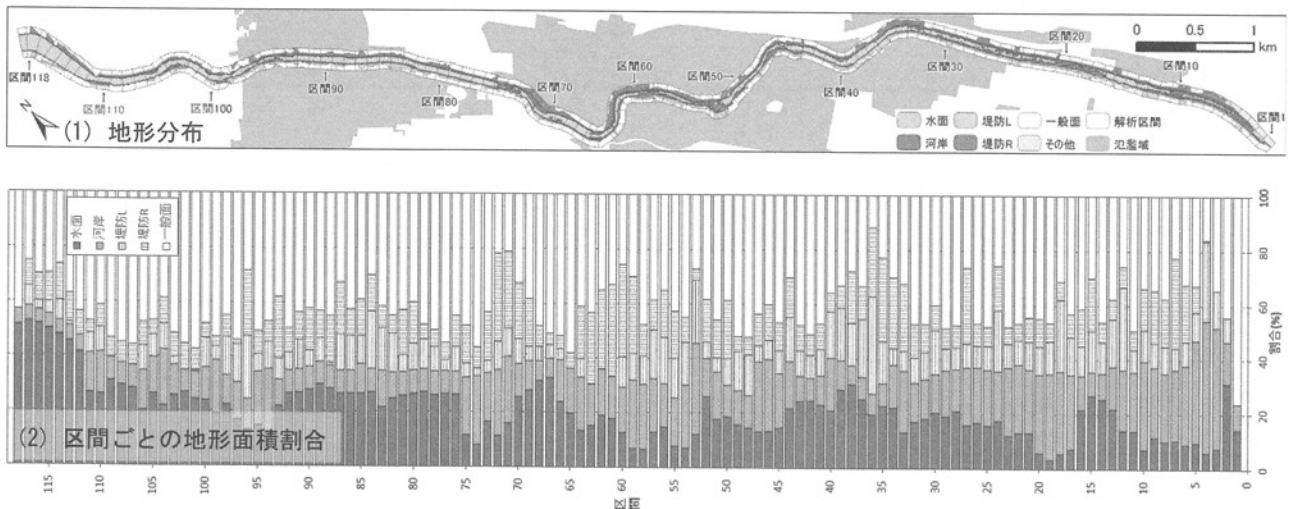


図-5 地形区分結果

変化の少ない区間1-16や区間54-69, 一定勾配で標高が低下する区間17-53, 区間70-118に分けられる。

このように図-6(1)は地形モデル(図-2)と調和する地形間の比高が表現され, 陰影図により地形区分が適切にされ, 標高変化から河岸が4区間に区分されることが分かった。しかし各地形のより細かい標高変化は, 全区間の標高差に対し各区分での地形間の比高が小さく不明瞭である。そこで一般面に対する各地形の比高を求めた(図-6(2))。堤防L・Rの比高は, 似通った変化を示し, ともに上流で高く下流では低く, 最下流で負値もあり図-6(1)で読んだ傾向をより明瞭に示す。また堤防L・Rはともに区間10-25付近, 区間35-55付近, 区間65-75付近, 区間80-90付近で一般面に対し特に高まる。

河岸の比高は, ほぼ全区間が一般面よりも低く負値であり, 堤防に比べ大きな変化があり最大-4.76mを示す。比高変化を見ると, 下流に向かって次第に比高が縮小する区間1-16, 区間17-53, 区間54-69, 区間70-118に容易に区分できる。また区間1-16と区間54-69の下流端は比高が急縮小し, 区間17-53では区間35より下流で, 区間70-118では区間85より下流では比高変化が少ない。これら4区間では堤防L・Rの比高が同時に高まるため, 河岸の比高縮小と溢流対策との関連が伺われる。さらに河岸の比高には, 約5区間周期の変化単位が認められる。

したがって5mDEMによる河川の地形縦断曲線は標高よりも比高により地形変化を詳しく読み取れる。これより一般面に対する河岸の比高には10区間を超す変化単位と約5区間周期の変化単位が認められ, 前者の下流端では堤防の比高が高められていることが分かった。

4. 御笠川の河況と地形

(1) 河況と河岸の比高変化

図-7は, 御笠川に架けられた橋(人道橋は白丸), 設置された堰(可動), 合流する河川を解析区間別に示した。また2003年九州豪雨に伴う溢流地点は左右岸別に区間で示した。ここで5mDEMによる地形解析結果と図-7との関係を見る。

河岸の比高にある10区間を超す変化単位の末端には, 区間1-16で堰3, 区間17-53で堰6, 区間54-69で堰7が設置されており, 区間70-118の末端は海である。また各区分の末端ほど比高は縮小するため, 10区間を超す変化単位は堰・海により上流側での土砂蓄積が進んできたことを示す。河岸の比高にある約5区間周期の変化単位で比高の縮小する区間には橋が多くあり, 特に堰が近接しない区間8, 24, 38, 42, 76, 80, 85などで対応が明瞭である。これは橋脚により橋付近での土砂蓄積が進んでいることを伺わせる。なお, 河岸の比高と

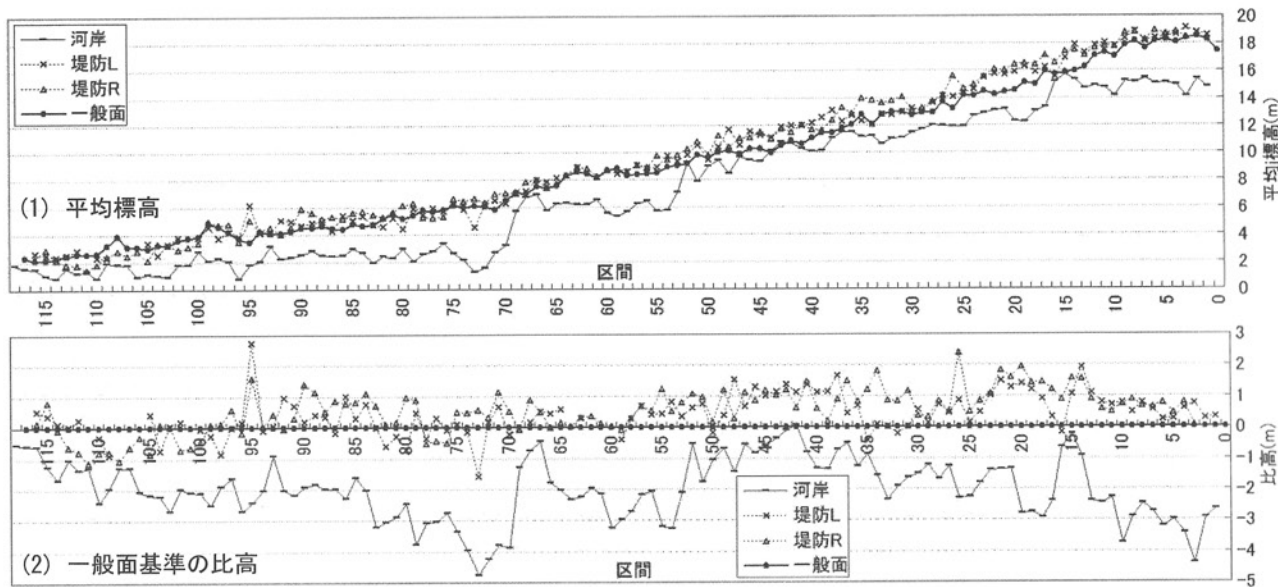


図-6 地形縦断曲線

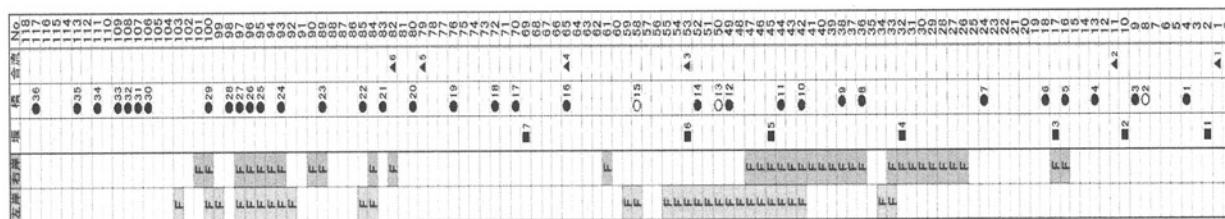


図-7 区間ごとの河況

支流の合流との関連は不明瞭である。

溢流は、断続的な1区間あるいは2区間で多数生じ、3区間以上連続することもあった。全体的には溢流区間は上流の区間 26-55, 下流の区間 82-103 に区分できる。区間 70 より上流部では溢流が連続する区間 16-17, 区間 26-33, 区間 36-47, 区間 42-55 の末端にそれぞれ堰 3, 堰 4, 堰 5, 堰 6 が位置する。堰上流で河岸の比高が縮小しているため、堰で河水が停滞し洪水位が上昇し溢流し、同時に堰の上流に土砂が蓄積されたと考えられる。区間 70 より下流部では堰はないが溢流区間が多い。既に下流部の溢流全体に対しては海が洪水の停滞を招き溢流に結び付いたと説明された^{18),19)}。実際、河岸の比高は区間 85 より下流では一定であり、河口から区間 85 まで土砂が蓄積されたことを示すため、そこは溢流しやすい地形条件を元来持っていたことになる。つまり地形条件からも既存研究の結果が指示された。ただ上流部に比べ溢流区間は断続的であり、橋 21, 22, 23, 29 と溢流区間との対応が読み取れる。さらに堰と同様、河岸の一般面に対する比高は橋付近で縮小するため、各溢流区間に注目すれば橋により洪水位が上昇し溢流したことも考えられる。

このように5mDEMによる河岸の一般面に対する比高変化の特徴から、洪水時に土砂が蓄積され溢流しやすい場所をよく示せることが分かった。

(2) 河況と堤外体積

5mDEM では水面の標高が欠落するため、水面に最

近接のDEMから、区間ごとの平均標高を求め水面のものとした。次に区間ごとに水面と河岸の面積に、低い堤防に対する両者の比高をそれぞれ乗じて加算し、水面上の堤外体積を求め(図-8)。堤外体積は区間 30-50 付近が 10000m³ 未満が多くあり極端に低い。ここでは連続する多くの区間で溢流が生じているため、全体的に見ると堤外体積の小ささが溢流の背景にあると考えられる。また区間 15, 36, 43, 49, 67 付近は周囲と比べ堤外体積は極端に減少するが、多くは堰の直上流にある。特に区間 15 付近は堤外体積減少と溢流と堰との対応が明瞭なため、堰による土砂蓄積で堤外体積も減少していると思われる。ところで区間 72 の極値 28000m³ の下流では次第に堤外体積が減少するが、区間 82 から 103 までの断続的な溢流区間との対応は不明瞭である。そこで5mDEMから区間ごとの持つ流域を計算した(図-9)。区間 64 まで流域は 62.7km² だったが支流の合流により区間 65 から 80.6km² へと約 1.3 倍に増加する。このため区間 72 は通過してきた河水が堤外体積のほぼ半減する区間 80 付近下流で溢流しやすくなったことが考えられる。

このように 5mDEM から計算した水面上の堤外体積や流域面積からも、溢流の背景を示すことができた。

5. まとめ

本研究では基盤地図情報の 5mDEM を平野の地形解析に適用し、その結果の地形分布とその地形量を実

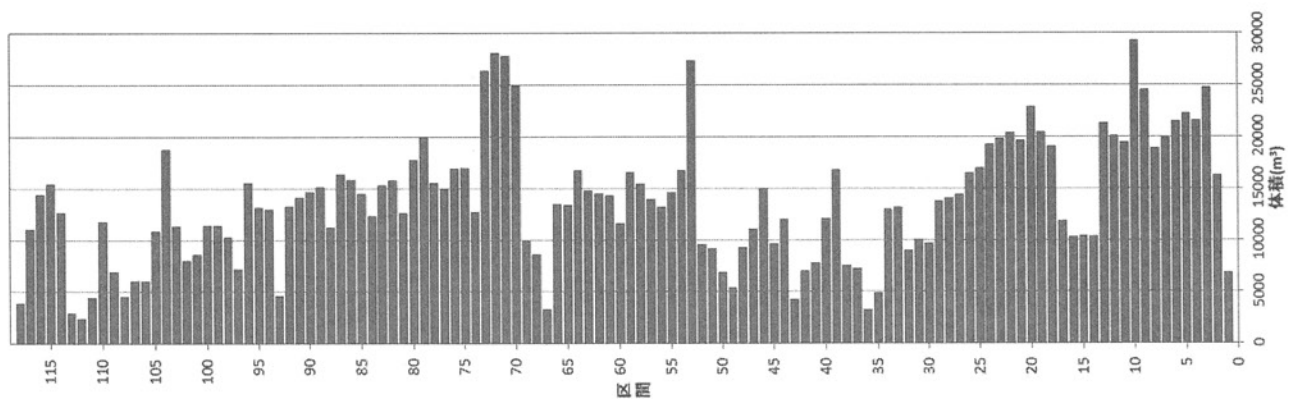


図-8 区間ごとの堤外体積

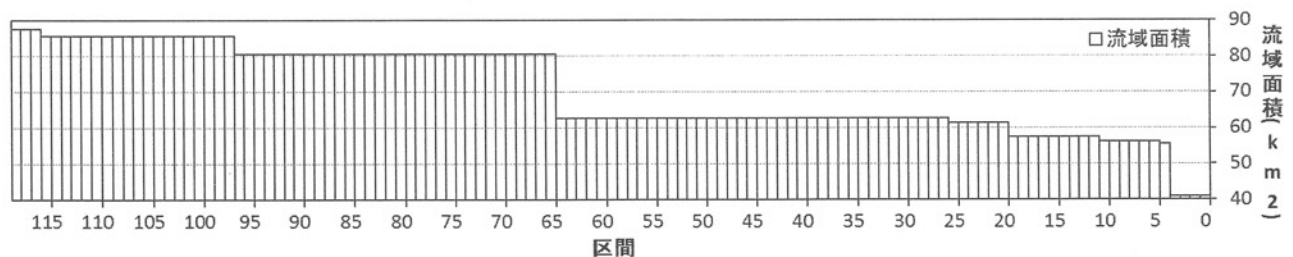


図-9 区間ごとの流域面積

際の 2003 年九州豪雨による自然災害と対照した。その中で土砂堆積の観点から溢流しやすい場所の地形条件を示しかつその背景を示した。明らかになった点は以下の通りである。

(a) 5mDEM による陰影図から詳細な地形区分が可能であり、それより河岸と堤防が河道の屈曲区間で広い傾向と、特に堤防が攻撃斜面側でより広い傾向を読み取れた。

(b) 5mDEM による河川の地形縦断曲線は、標高よりも基準地形との比高により地形変化を詳しく読み取れる。

(c) 一般面に対する河岸の比高には 10 区間を超す変化単位と約 5 区間周期の変化単位が認められ、特に前者の下流端では河岸の比高が縮小し堤防の比高は高まる。

(d) 河岸の比高にみられる 10 区間を超す変化単位で比高の縮小する下流端には堰・海が、約 5 区間周期の比高の縮小する区間には橋がある。

(e) 5mDEM による地形の比高変化の特徴から、洪水時に土砂が蓄積され溢流しやすい場所を、5mDEM による水面上の堤外体積や流域面積の特徴から、洪水が流下しにくく溢流しやすい場所を示すことができた。

謝辞：本研究は平成 22 年度河川整備基金助成金による研究課題「異常豪雨による都市域の大規模氾濫災害に関する調査研究(代表：橋本晴行)」と平成 23 年度科学研究費補助金(基盤研究(C))；23501243「都市域における時空間地理情報を用いた氾濫原の特性評価の研究」(研究代表者 黒木貴一) 及び 23501253「土砂災害発生に関する経年的変化の検討」(研究代表者 磯望)の一部を利用した。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 大矢雅彦：狩野川流域の平野地形と洪水氾濫形態との関係，愛知県立女子大学・愛知県立女子短期大学紀要，16，42-54，1965.
- 2) 大矢雅彦：利根川中・下流域平野の地形発達と洪水，地学雑誌，78-5，341-354，1969.
- 3) 黒木貴一・磯望・後藤健介・張麻衣子：2003 年九州豪雨による浸水状況から見た福岡市博多駅周辺の土地条件，季刊地理学，57，63-78，2005.
- 4) 千田昇・原口亜衣：2005 年 9 月 3 日～6 日の台風 14 号による宮崎市域の洪水被害，大分大学教育福祉科学部研究紀要，29-2，137-152，2007.
- 5) 大矢雅彦：防災と環境保全のための応用地理学，古今書院，339p，1994.
- 6) 海津正倫：沖積平野の古環境学，古今書院，270p，1994.

- 7) 黒木貴一・磯望・後藤健介：2003 年九州豪雨による太宰府市原川流域の斜面崩壊と谷壁斜面の地形・地質的特性，応用地質，48-4，170-179，2007.
- 8) 鎌田高造：基盤地図情報のグランドデザインについて，地図，47-3，9-14，2009.
- 9) 岩橋純子・大塚力・星野実・佐藤忠：航空レーザー測量による 5mDEM を用いた変動地形の観察，日本地球惑星科学連合 2011 年大会，2011 年大会プログラム，HGM021-P02，2011.
- 10) 佐藤浩・岩橋純子・小荒井衛・神谷泉・小室勝也：国土地理院における高解像度 DEM の整備とそれを活用した地理情報解析研究，地形，31-4，359-382，2010.
- 11) 八木浩司・檜垣大助・吉松弘行・相楽渉・高木洋一・内山庄一郎：空中レーザー高精度地形図の地すべり・微地形判読への応用，日本地すべり学会誌，39，421-427，2003.
- 12) 内田太郎・中野陽子・秋山浩一・田村圭司・笠井美青・鈴木隆司：レーザー測量データが表層崩壊発生斜面予測及び岩盤クリープ斜面抽出に及ぼす効果に関する検討，地形，31-4，383-402，2010.
- 13) 大倉博・春山成子・大矢雅彦・スーウィット ウイブーンセート・ランブン シムキン・ラサミー スワウイラカムトン：衛星リモートセンシングによるタイ中央平原の洪水地形分類，国立防災科学技術センター研究速報，83，1-25，1989.
- 14) Nageswara Rao, KAKANI, Noboru SADAKATA, Hema Malini, BANDARU, Sarma, V.V.L.N., Katsumi TAKAYASU and Masatoshi KAWASE : Reconstruction of the Late Holocene Progradation of the Godavari Delta, India : A Preliminary Study, 地形，24-3，295-309，2003.
- 15) 黒木貴一・磯望・後藤健介・宗建郎・黒田圭介：レーザーデータによる那珂川とその周辺の地形区分，自然災害研究協議会西部地区部会報・論文集，第 35 号，17-20，2011.
- 16) 小池克明・上堀内利道・三箇智二：多方位 DEM 陰影図の分解能と抽出リニアメントの関係，情報地質，15-2，90-91，2004.
- 17) 福岡県土木部河川課：平成 15 年度発生河川激特事業御笠川位置図(被害発生地域平面図)，2003.
- 18) 橋本晴行・南里康久・中島満子：'99 年 6 月福岡水害における博多駅周辺の浸水被害について，自然災害西部地区部会報・論文集，24，89-92，2000.
- 19) 平野宗夫・鹿島政重：6.29 福岡水害の特性，自然災害西部地区部会報・論文集，24，81-84，2000.

(2012.5.9 受付)