

都市流域における洪水流出解析を目的とした道路自動分割手法について

首都大学東京 都市環境科学研究科 学生会員 ○田内 裕人
 首都大学東京 都市環境科学研究科 正会員 天口 英雄
 首都大学東京 都市環境科学研究科 正会員 河村 明
 首都大学東京 都市環境科学研究科 正会員 中川 直子
 (株)建設技術研究所 正会員 古賀 達也

1. はじめに

都市流域における道路は、流域に占める面積割合が15%以上を占める¹⁾など、直接流出量への寄与が高いだけでなく、洪水時には雨水の河道への流路として機能するため、道路が洪水到達時間を早めることも考えられる。著者らは、道路が洪水流出特性に与える影響を考慮するため、都市流域の複雑な道路形状を忠実に再現できる高度な地物データ GIS を用いた TSR(Tokyo Storm Runoff)モデルを提案している²⁾。現在、高度な地物データ GIS の構築作業には手作業の部分が多く、他の都市流域へ容易に適用できる状況とはなっていないので、著者らは一連作業の自動化を進めている³⁾。本研究では、都市流域の洪水流出現象に特に大きな影響を与える道路に着目し、ベクトル型の連続した道路ポリゴンから微小道路要素を自動生成する手法について評価・検討を行う。

2. 洪水流出解析に適した微小道路要素特性

都市部における道路は表-1に示すように、国道や地方幹線道路など4車線以上で歩道が整備された幅員16m以上の高規格な幹線街路、最低幅員4mで整備された区画道路、さらには最低幅員が2.7mの3項道路や徒歩道などが互いに交差点により接続し、巨大なネットワークとして形成されている^{4), 5)}。2本以上の道路が交差する場合、道路の枝数、交差角度および導流路の有無により交差点の種類は、丁字路、十字路など比較的単純なものから、食い違い交差点、拡幅交差点など様々であり⁶⁾、交差点の形状は多岐にわたっている。また交差点間の道路は、高規格道路には中央帯により車道の往復方向が分離されている場合、幅が細く狭い道路には複雑なカーブが存在する場合など、複雑な形状となっている。

図-1は洪水流出解析に適した、微小道路要素の特性について示したものである。すなわち、①微小道路要素は洪水流の流下方向と仮定される道路進行方向に対して垂直に分割された形状であること、②交差点の微小道路要素は、枝となる部分を持たないように単純形状として分割されていることが上げられる。なお、枝領域とは異なる幅の道路が交差する交差点において、幅の狭い道路に延びる部分とする。また、③微小道路要素の面積や形状のばらつきが小さく単純形状であることや、中央帯が設けられている道路では往復車線を示す微小道路要素が中央線により分離されていることも重要である。

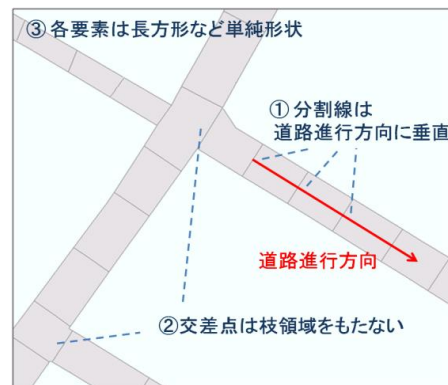


図-1 微小道路要素の特性

3. 微小道路要素の自動構築手法

著者らは、図-2に示す手順により、近年各自治体で配備が進んでいる1/2500地形図標準データファイル（以下、地形図標準データ）から高度な地物データ GIS を自動的に作成する手法について検討を進めている。地形図標準データには、地物境界線をポリライン型、土地の植生や用途に関する情報をポイント型として格納されており、ポリライン型の建物外周線、道路境界線を編集して

表-1 都市域における道路の特性

区分		参考幅員[m]	車線数(中央帯有無)
高規格道路	主要幹線道路	30~50	4,6(あり)
	幹線道路	20~40	4,6(あり)
	補助幹線道路	12~20	4(一部あり)
生活道路	主要生活道路	8~12	2,4(なし)
	主要区画道路	6~8	1,2(なし)
	区画道路	4~6	1(-)
	2項道路	2.7~4	1(-)
	徒歩道等	2.7以下	-

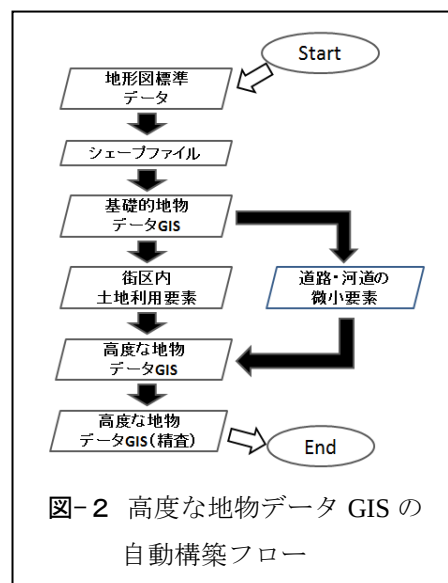


図-2 高度な地物データ GIS の自動構築フロー

ポリゴン型の基礎的地物データ GIS（建物要素、道路要素および河道要素）を作成している。以下ではこの時点で作成される道路要素を対象に、分割手法の自動化を検討する。

3. 1. 微小道路要素構築手法の概要

本研究では、図-3 に示すように、道路要素について交差点を道路から分離し、次いで道路を分割する手順で複雑な道路形状を単純化することで、微小道路要素を自動的に構築する手法を検討する。なお、道路要素は、ラインの始終点が閉じた 2 次元閉領域のポリゴン型で、その座標値は一般的に、時計回りで $(X_1, Y_1) \cdots (X_n, Y_n), (X_1, Y_1)$ のように線分で記述され、曲線も同様に線分で記述されている。道路要素において、 m 番目の線分と $m+1$ 番目の線分のなす角度が優角となる点（要素中心側からみて凹点）が集中する場合は交差点とみなす。すなわち、図-3 a) のように道路要素を構成する線分情報から凹点を抽出し、図-3 b) で近傍凹点の検索、c) で近傍凹点の和集合の作成を行い、交差点毎に凹点集合を作成する。次いで図-3 d) では、凹点集合から 2 点を取り出して線分を作成し、この線分と道路境界線との角度が 180 度に近い場合にのみ交差点分割線として活用するとともに、この点で道路要素を垂直分割する交差点垂直分割線を発生させる（図-3 e)）。たとえば、図-4 に示した道路では線分方向ベクトル t_s と道路外周線方向ベクトル t_{11} とがなす角度、および t_s と t_{22} とがなす角度がそれぞれ 180 度に近いため、この線分を交差点分割線とする。最後に図-3 f) のように交差部以外の領域について道路幅間隔で単路分割線を発生させ、すべての分割線により道路ポリゴンを分割し微小道路要素を得る。なお、道路幅が広い道路では中央分離帯が設けられている場合が多く、車線により異なる要素とした方が妥当と考えられたため、本研究では幅の広い微小道路要素について中心線で分割し、さらに中心線で分割した微小道路要素が細長くないよう分割している。

3. 2. 凹点の抽出

図-5 は本手法を具体的なフローチャートを示したものである。本研究では、道路要素の凹点を道路外周線の各ノードにおける内角が閾値よりも大きいものを凹点と定義する。抽出された凹点には、図-4 に示す (t_{11}, t_{12}) および (t_{21}, t_{22}) のような凹点を構成する道路境界線方向ベクトルを属性値として与える。具体的な閾値の設定として、道路要素の内角が 195 度以上の点を凹点として抽出した。

3. 3. 交差点分割線の作成

交差点分割線は、凹点における道路境界線方向ベクトルと凹点間に発生させた線分ベクトルのなす角度 θ の範囲は 180 度を、凹点集合を作成する近傍半径 L は 3m を初期値とし発生させる。これら 2 つの閾値を徐々に大きくすることで、細い道路から幅の広い道路に接続する交差点において分割線の発生が可能となる。また、分割後の微小道路要素形状から判断し道路幅の狭い道路を優先的に発生させることとする。具体的な閾値の設定として、 θ の値は 180 ± 5 度から 180 ± 30 度まで、近傍半径 L は都市部における道路の最小幅として 3m から高規格道路の交差部の幅である 50m まで変化させた。交差点分割線の始点・終点としてすでに用いられた凹点については再度、交差点分

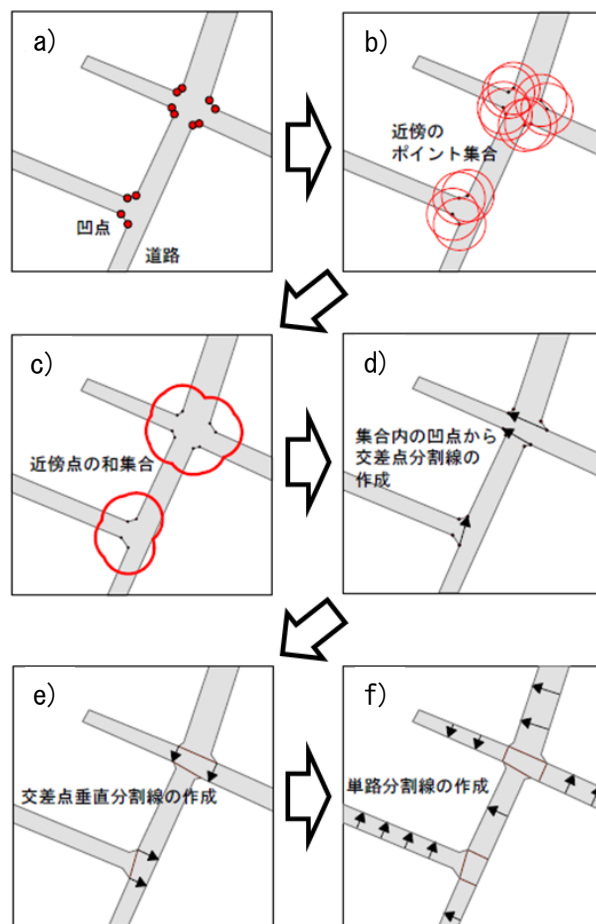


図-3 交差点に着目した道路分割手法

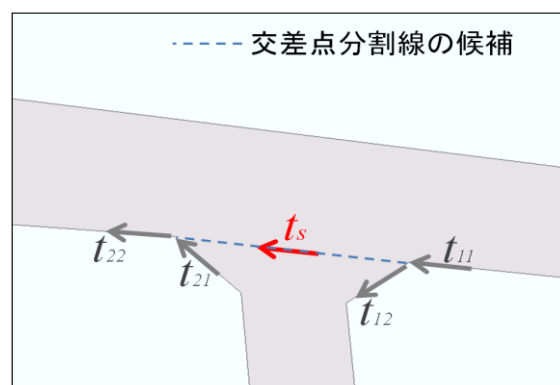


図-4 凹点間に発生させた線分が交差点分割線かを判別するために発生させた各種方向ベクトルの一例

割線を作成するのに用いないこととし、より厳しい条件で構築された交差点分割線のみが残るようにした。

また、この処理では交差点分割線が発生しない θ が 180 ± 30 度とならない凹点集合が残る。これら凹点集合は複雑な交差点を示し、幅の狭い道路同士の交差点を示すものが多い。こうした交差点の分割を行うため、これまで交差点分割線が発生していない凹点集合を対象に、 θ に閾値を設けずに L を 3m から中央線のない道路の幅程度の 6m まで変化させ、交差点分割線を再度発生させた。なお、 θ を用い発生させた交差点分割線を単純交差点分割線とし、他と区別することとする。

3. 4. 交差点垂直分割線の発生

交差点垂直分割線の候補は、単純交差点分割線の始終点となる凹点から、 θ の判定に用いた道路境界線の垂線を道路要素の内側方向に発生させ、道路境界線と交差するまで延長することで発生させる。さらに発生させた交差点垂直分割線について、終点側での道路境界線とのなす交差角度が 90 度に近く、かつ交差点分割線と交差しない場合には保存する。具体的には、垂線の長さの初期値を 3m、最大 50m とし 1m ステップで延長し、交差角度については 90 ± 15 度を閾値とした。

3. 5. 単路分割線の発生

単路分割線の作成は以下の手順で行う。まず道路境界線を凹点によりセグメントに分割し、それぞれのセグメントについて垂線を 5m 間隔で発生させ、垂線を対面する道路境界線との交点まで延長し、セグメントごとの平均垂線長を平均道路幅として計算する。単路分割線発生間隔は、セグメントの長さを平均道路幅で除した値の整数部により、セグメントの長さを再度除することで計算する。単路分割線は、発生間隔ごとに垂線を発生させ、垂線と終点側の道路境界線とがなす交差角度が 90 度に近いかを判定し作成する。ここで交差点分割線と単路分割線が重複しないようにするため、交差点分割線の端点でない凹点からは単路分割線を発生させ、交差点分割線の端点となる凹点では単路分割線を発生させないこととする。具体的には、垂線の長さの初期値を 3m、最大値を最大の道路幅程度と考えられる 50m とし、交差角度については 90 ± 15 度を閾値とした。なお本手法では、狭い道路は短い間隔で、広い道路は長い間隔で分割線が発生するため、道路微小要素面積に大きなばらつきを持つこととなる。そこで平均道路幅が 5m 以下であれば、単路分割線発生間隔は 5m 程度を、平均道路幅が 15m 以上であれば単路分割線発生間隔は 15m 程度を採用することとする。

3. 6. 道路中心線および道路中心垂線の発生

中央帯のある道路を往復車線で異なる微小道路要素として抽出するため、長い単路分割線、交差点分割線もしくは交差点垂直分割線いずれかで分割される微小道路要素は、要素の重心点と長い線分の中点を結ぶ線を道路中心線として発生させ、さらに分割することとする。さらに道路中心線で分割した微小道路要素の縦横比が大きい場合には、道路中心線の中点にて道路中心線の垂直線である道路中心垂線を発生させ、微小道路要素をさらに分割することとする。ここで長い分割線は、道路構造令⁴⁾を参照し片側 2 車線で各車線が 3.25m、2m の歩道を両側に持ち 1m の分離帯を持つ幅 18m 以上とした。また縦横比は、中心線で分割した微小道路要素の中心線長さを中心線垂直方向の幅により除した値とし、縦横比が 2.5 を超えるものを縦横比が大きい場合とすることとした。なお、発生させた線分のうち、街区と交差するものは分割線として不適切であると考えられるため、最後に街区と交差するすべての分割線を除く処理を行うこととした。

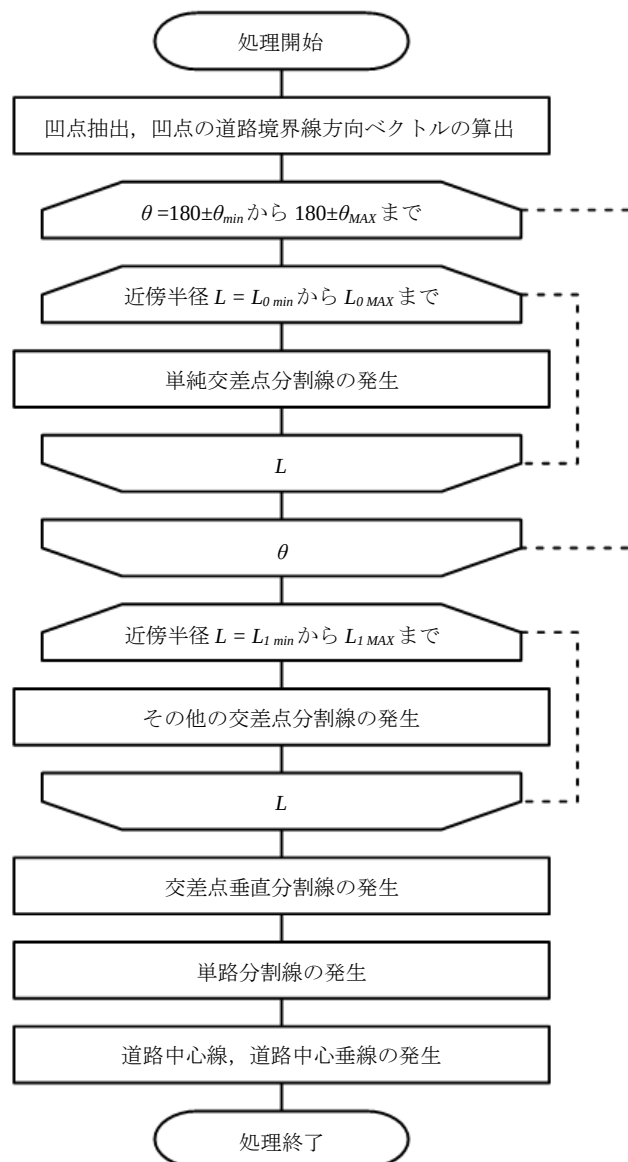


図-5 道路分割線の作成フロー

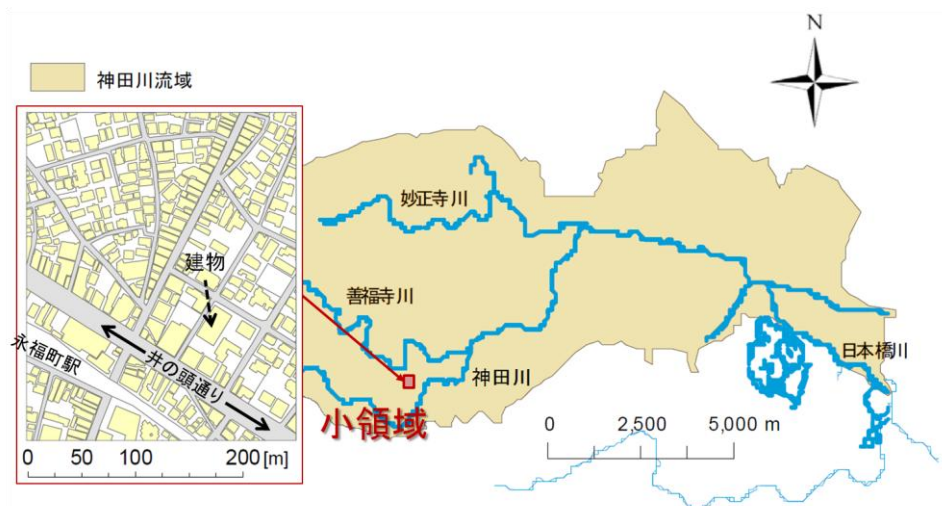


図-6 都市流域における道路の例と検証対象とした小領域

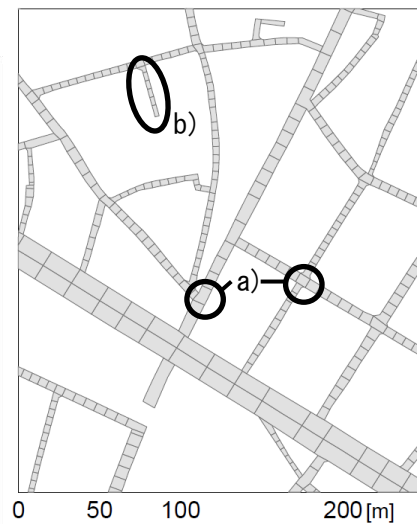


図-7 自動構築した微小道路要素

4. 実流域への適用と検証

本研究では、検討した全てのシステムについて GIS ソフトである ArcGIS Ver.9 に付随する共通基盤コンポーネントである ArcObjects の Visual Basic for Applications(VBA)を用いて開発し、図-6 に示すように高度に都市化が進行し、複雑な道路形状をなす神田川上流域の 250×300m の領域（以下、小領域と呼ぶ）に適用した。図-7 は、小領域における微小道路要素を示している。まず図-7 a) のような交差点に注目すると、本手法で構築した交差点要素はすべて単純なポリゴンとして抽出されており、幅の狭い道路との接合部に枝となる領域を持たないことが見て取れる。枝となる領域がないことは、交差点を示すポリゴンの中に交差点以外の要素として扱われるべき部分が含まれておらず、交差点要素が明確に交差点部分のみで構成されていることを示している。次いで図-7 b) のような狭い道路では、道路が道路幅よりも広い 5m 程度で分割されているため、単路分割線発生間隔による制御が有用であることが示されている。また、道路幅が概ね 20m 程度と広い井の頭通りに注目すると、道路が道路中心線により分割され、道路進行方向にも概ね等間隔に分割されているため、微小道路要素が長方形に近い単純な形状となっていることがわかる。これらの理由により、本研究で紹介した交差点に着目した道路分割手法が都市流域の洪水流出解析モデルの微小道路要素を構築するのに有効であると考えられる。

5. むすび

本研究では、都市流域の洪水流出現象に特に大きな影響を与える道路に着目し、ベクトル型の連続した道路ポリゴンから微小道路要素を自動生成する手法について評価・検討を行った。具体的な微小道路要素の生成は、都市の道路形状特性が交差点とその他の道路で大きく異なることに着目し、まず交差点を道路から分離する交差点分割線を作成し、次いで交差点以外の道路を分割する線を発生させ、さらに中央帯があると考えられる広い道路に中央線を発生させることで行っている。本手法を実流域に適用し目視で検証したところ、微小道路要素は洪水流出解析に適していることが示唆された。今後は対象領域を拡大することで現行の手法のもつ問題点を具体的に検証するとともに、本研究の各ステップで与えた各パラメータが適当であるかを検証する。また構築した微小道路要素が洪水流出解析への適するかを客観的に評価できる指標について考案する予定である。

参考文献

- 1) 古賀達也, 河村明, 天口英雄: 神田川上流域における高度な地物データ GIS を用いた 10m メッシュ土地利用区分の浸透面積率に関する研究, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.68, No.4, pp.I_505-I_510, 2012.
- 2) 天口英雄, 河村明, 高崎忠勝: 地物データ GIS を用いた新たな地物指向型都市洪水流出解析モデルの提案, 土木学会論文集 B, Vol.63, No3, pp.206-223, 2007.
- 3) 田内裕人, 天口英雄, 河村明, 中川直子: 1/2500 地形図標準データファイルを用いた高度な地物データ GIS の自動構築に関する研究, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.69, No.4, pp.I_523-I_528, 2013.
- 4) 国土交通省道路局: 道路構造令・標識令, <http://www.mlit.go.jp/road/sign/hyoshikitop.html>, 2012.8.9
- 5) 伊吹山四朗, 多田宏行, 栗本典彦: わかり易い土木講座12 新訂版 道路, 彰国社, 1994.
- 6) 福田正, 松野三郎: 土木工学ライブラリ 9 道路工学, 朝倉書店, 1987.