

- 15 GISによる道路網ネットワーク及び属性データの作成方法と 道路閉塞予測への適用

Method of Creating Network and Attribute Data of Roads and Its Application to Prediction of Street-blockade

源貴志¹・成行義文²・天野健³・平尾潔⁴

Minamoto Takashi, Nariyuki Yoshifumi, Amano Takeshi, and Hirao Kiyoshi

抄録: 本研究は、道路網ネットワークの震前対策策定支援ツール作成のための基礎的研究として、GISによりデジタル地図データから道路網ネットワークならびに道路幅員、沿道建物数、ノード人口等の属性を自動的に生成する手法について検討したものである。本法により各データ作成のための時間を大幅に短縮することが可能になった。また、作成したそれらのデータを用いたGISによる各リンクの閉塞確率の自動算定システムを構築し、徳島市佐古地区に適用してその妥当性を確認した。

Abstract: As a basic study on establishment of decision support tools for pre-earthquake countermeasure of road network, a method of creating data of road network and attributes of road, such as street width, roadside building and node population, from digital map data by GIS was examined in this study. It was found that time required for creating data can be reduced significantly by using this method. In addition, prediction of street-blockade of Sako district in Tokushima City was carried out using GIS with the data obtained by the method proposed here and it became clear that this method was very applicable.

キーワード: GIS, 道路網ネットワーク, 道路幅員, 沿道建物, 人口, 道路閉塞

Keywords: GIS, road network, street width, roadside building, population, street-blockade

1. はじめに

道路は、人間が社会・経済活動を営む上で最も重要な交通基盤施設の1つであり、きわめて多面的な機能と役割を持っている。これは、防災対策においても同様のことが言える。兵庫県南部地震では、多くの建物が倒壊し、幅員の狭い道路では閉塞が多発した。この道路閉塞により、十分な道路網ネットワークの確保ができず、震後の活動に大きな支障をきたす結果となった。このことから、都市の防災計画を検討する際には、都市の道路網ネットワークにおける震後の活動への貢献度や道路閉塞の影響について考慮する必要があると考えられる。

本研究では、道路橋の耐震補強優先順位の決定、避難場所の妥当性の検討ならびに道路閉塞防止対策等の震前対策計画策定のための支援ツールの開発のための基礎的研究として、GIS¹⁾ (地理情報システム) によ

りデジタル地図から道路網ネットワークならびに道路属性(幅員、沿道建物数)等の基本データを効率よく生成する手法について検討するとともに、これらのデータを用いた道路閉塞予測システムを構築した。

2. 道路閉塞予測システムにおけるGIS追加機能

本研究で用いたGISソフトの標準機能は、表示機能、簡単な解析機能、簡単なデータベース検索機能であり、ネットワーク解析のための解析機能は標準機能として含まれていない。そこで、本研究では道路網ネットワークの閉塞予測を行うために必要となる対象地区の道路網ネットワーク及び属性データ作成のためのモジュールの作成を行いGISに追加した。図1には本研究で作成したモジュールと道路閉塞予測のための解析システムとの関係が示されている。解析システムの流れとして、まず評価対象地区を選定し、次にデジタル地

1 : 学生員 徳島大学大学院 工学研究科 建設工学専攻 (〒770-8506 徳島県徳島市南常三島町2丁目1番地)

2 : 正会員 博(工) 徳島大学大学院 助教授 ソシオテクノサイエンス研究部 エコシステムデザイン部門

(〒770-8506 徳島県徳島市南常三島町2丁目1番地, Tel :088-656-7326, E-mail : nariyuki@ce.tokushima-u.ac.jp)

3 : 非会員 (株)インフォマティクス

4 : フェロー 工博 徳島大学大学院 教授 ソシオテクノサイエンス研究部 エコシステムデザイン部門

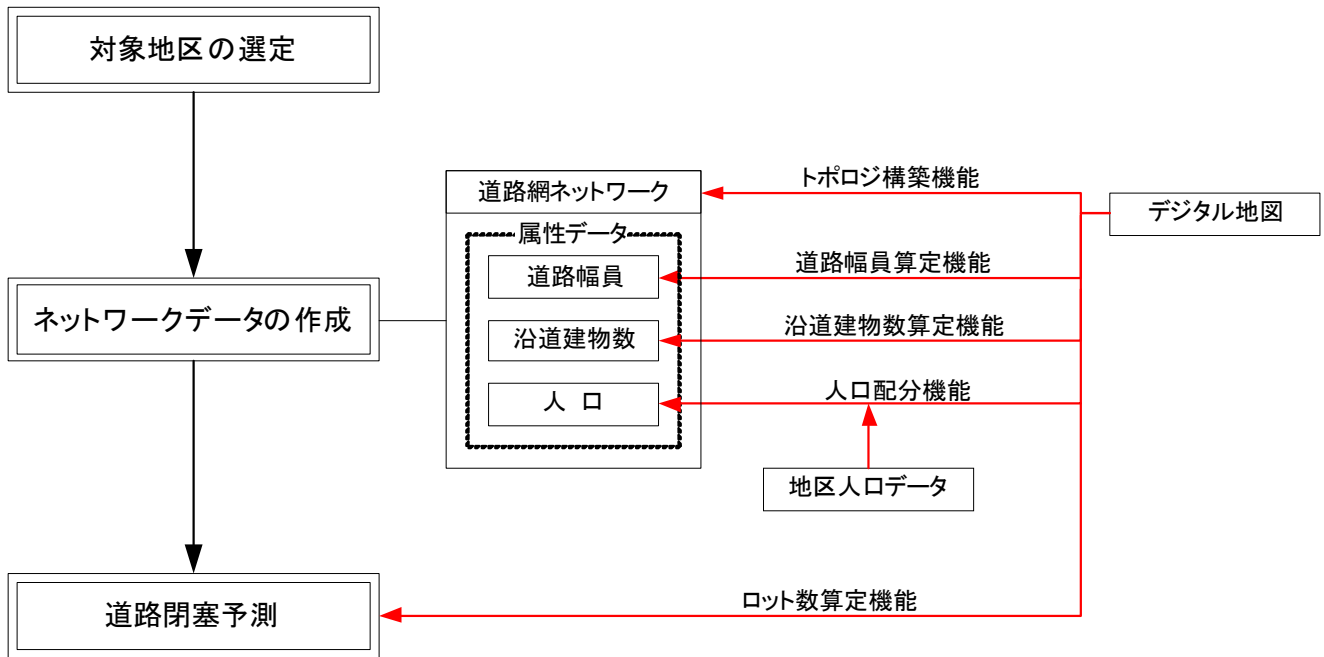


図-1 道路閉塞予測システムの流れとデータ生成の為の追加機能

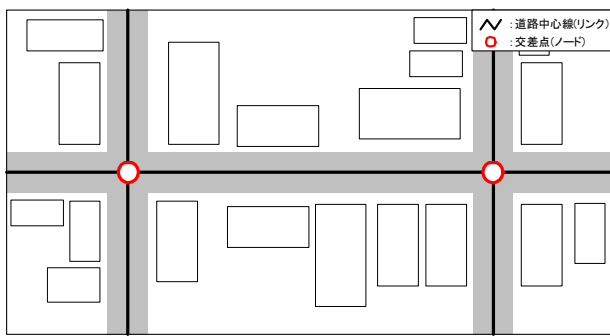


図-2 道路網ネットワークの構成

図と GIS に追加したモジュール（トポロジ構築機能、道路幅員算定機能、沿道建物数算定機能、人口配分機能）を用いて評価対象地区の道路網ネットワークと属性データ（道路幅員、沿道建物数、人口）を作成する。そして、作成した道路網ネットワークと属性データに道路閉塞モデルとロット数算定機能を適用し評価対象地区の道路閉塞予測を行う。

3. 道路網ネットワークの作成

一般に道路網ネットワークは、図-2に示すように道路区間をリンク、交差点をノードとし、それぞれ番号をつけ、リンクとノードの接続関係（トポロジ）等のデータを持つ。また、道路網ネットワークの作成には多大な労力を必要とするため、簡単に道路網ネットワークを作成し、かつ、様々な地区に適用することを考慮し、全国各地を網羅している国土地理院作成の数値地図 2500（空間データ基盤）を用いた。

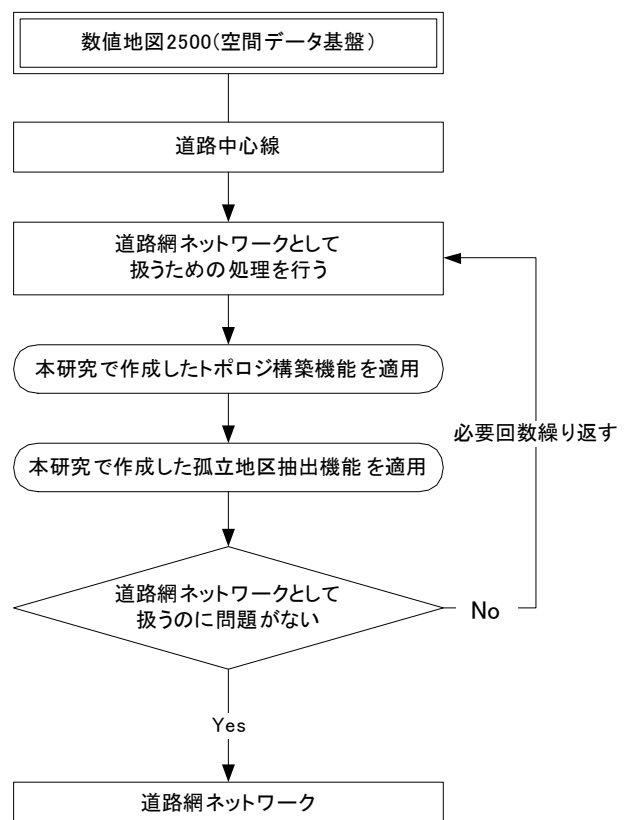


図-3 道路網ネットワーク作成フロー

図-3には道路網ネットワークの作成手順が示されている。まず、数値地図 2500 の道路中心線を道路網ネットワークとする。ここで、図-4 (a), (b)に示すような同一のノードを起点・終点とするような環状リンクや、他のリンクと同じ起点及び終点を持つリンク等

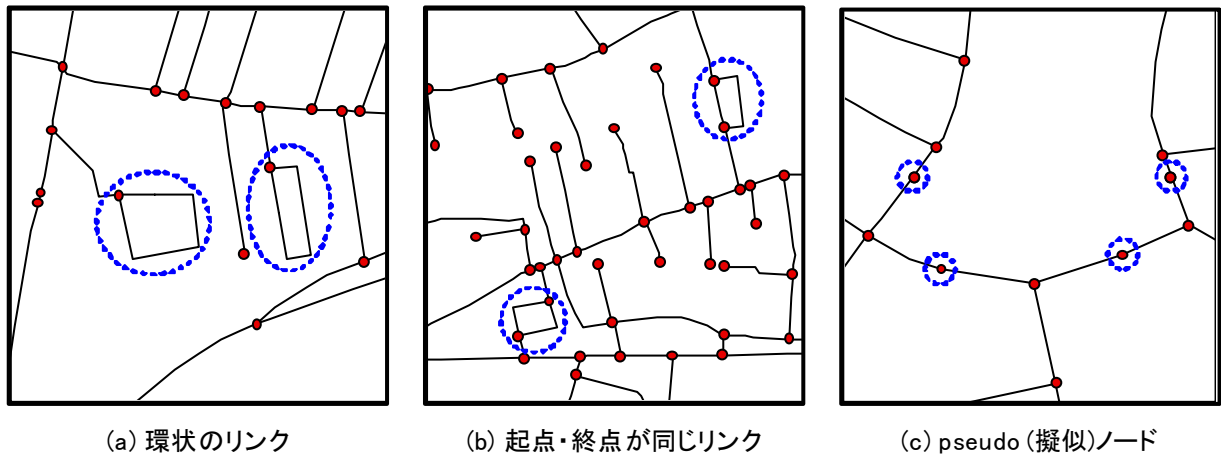


図-4 道路網ネットワーク中の修正箇所

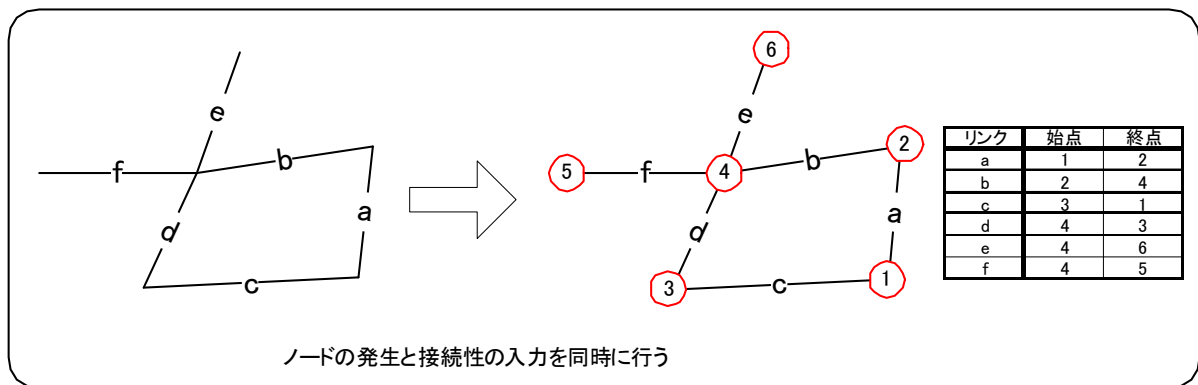


図-5 トポロジ構築機能

は、ネットワーク解析の際に無視されるため何らかの工夫が必要である。また、図-4(c)のような pseudo (擬似) ノードは、数値地図 2500 のメッシュ状に区切られたデータを接合した際の、リンクの接合部に発生する。このため、本来交差点ではない場所に作成されている。ネットワーク解析の際には考慮する必要が無いので、pseudo ノードの削除を行う。次に、トポロジ構築機能を用いてノードを生成し、各リンクの接続関係を作成する。ここで、本研究で作成したトポロジ構築機能とは、図-5に示すように各リンクの両端に対してノード(交差点)を生成するとともにネットワークの各リンクの接続性(トポロジ)を作成する機能である。そして、トポロジ構築機能によりノードの生成及びリンクの接続関係が作成された道路網ネットワークに対しての図-4のような箇所がないか繰り返し確認し、なくなれば道路網ネットワークの完成である。

4. 属性データの作成

対象地区における道路閉塞予測のために必要となる道路幅員、沿道建物数、人口の各属性データの作成を

行う。これらは、本研究で GIS に追加した道路幅員算定機能、沿道建物数算定機能、人口配分機能をそれぞれ用いて行うが、以下にその各算定方法を示す。なお、道路閉塞に關与する他の要因として、階高、構造ならびにセットバック長等が考えられるが、本研究では大半の建物が木造 2 階建てかつ道路際に並ぶような地区を想定しているため、それらの要因は無視することとした。ただし、本章 2 節で述べるように、セットバックの大きな建物は沿道建物としてカウントしないため、セットバックの影響は間接的に考慮されていると考えることもできる。

(1) 道路幅員算定法

道路ネットワークの解析に際して、道路幅員は最も重要なデータの 1 つであるといえる。一般に、道路幅員データは各庁や各市役所で管理されている道路台帳に記載されている。しかし、実際には都市における道路は、その路線規模に応じて管轄が異なり、管理機関ごとに管理されており、またそれらのデータはデータベースとしては提供されていないため、GIS で活用するのは困難な状況にある。一方、市販されているデジタル地図においても詳細な道路幅員は含まれていない。以上のことから GIS において道路幅員データを作成す

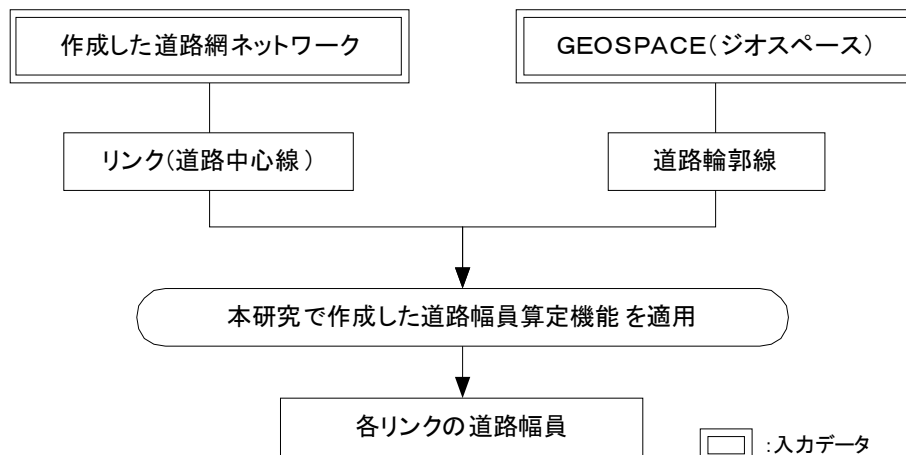


図-6 データフロー (道路幅員算定)

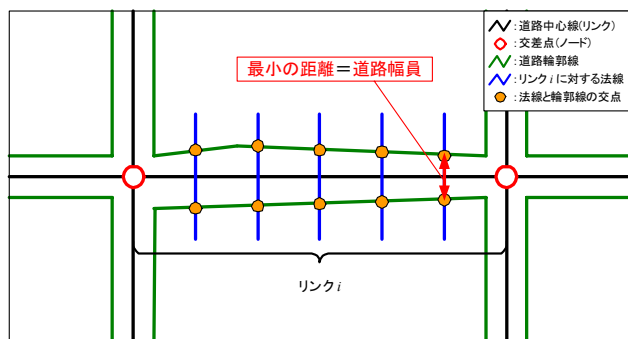


図-7 道路幅員算定イメージ

る際は、現地調査を行うことが一般的になっている。しかし、道路網ネットワークの規模によっては膨大な時間と労力が必要となる。

そこで本研究では、3章で作成された道路網ネットワークのリンク(道路中心線)とNTTネオメイト作成のGEOSPACE²⁾の道路輪郭線から道路幅員算定機能を用い、道路幅員の算定を試みた。図-6は、道路幅員算定までのデータの流れを示したものである。また、図-7に示すように、リンクに対する法線と道路輪郭線の交点間距離で最小の値を道路幅員とした。

図-8には道路幅員算定フローについて示している。まずリンク*i*に対して一定の距離ごとに両側に向けて*n*本の法線を作成する。そして、法線*j*と道路輪郭線における2つの交点の距離 X_{ij} を全ての法線 $\{j=1, n(n:\text{法線数})\}$ に対して求める。そして、 $\{X_{ij}; j=1, n\}$ minを与えるものをリンク*i*の道路幅員とする。同様に全てのリンク $\{i=1, m(m:\text{リンク数})\}$ に対して道路幅員を算出する。そして、本研究で作成した道路幅員算定機能を実際にGISで使用した例を図-9に示す。また、図-10には図-9において各リンクの抽出された幅員に基づいて各リンクをバッファ処理したものである。

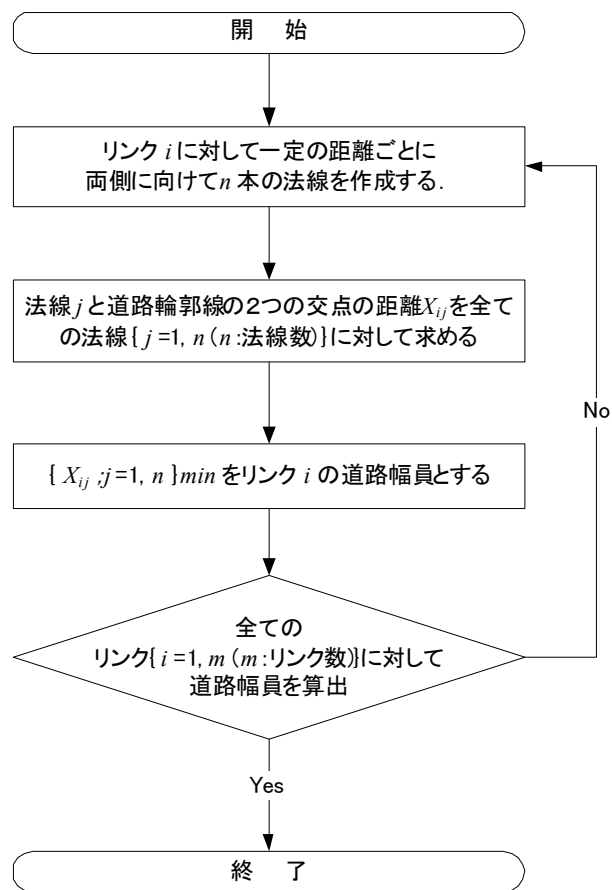


図-8 道路幅員算定フロー

(2) 沿道建物数算定法

本法では、道路閉塞予測の際に沿道建物数を必要とする。GISにおいて沿道建物数データを作成する際には、道路幅員と同様に現地調査をし、データ入力を行うことが一般的である。しかし、道路幅員と同様に道路網ネットワークの規模によっては、膨大な時間と労力を必要とする。

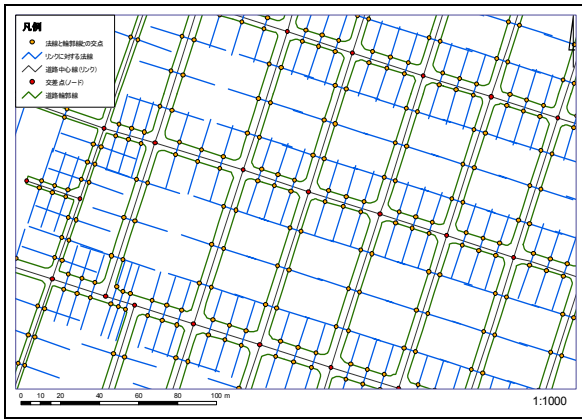


図-9 算定機能使用例

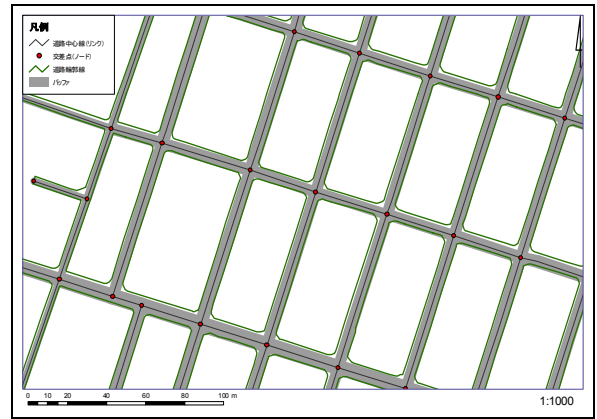


図-10 算定結果

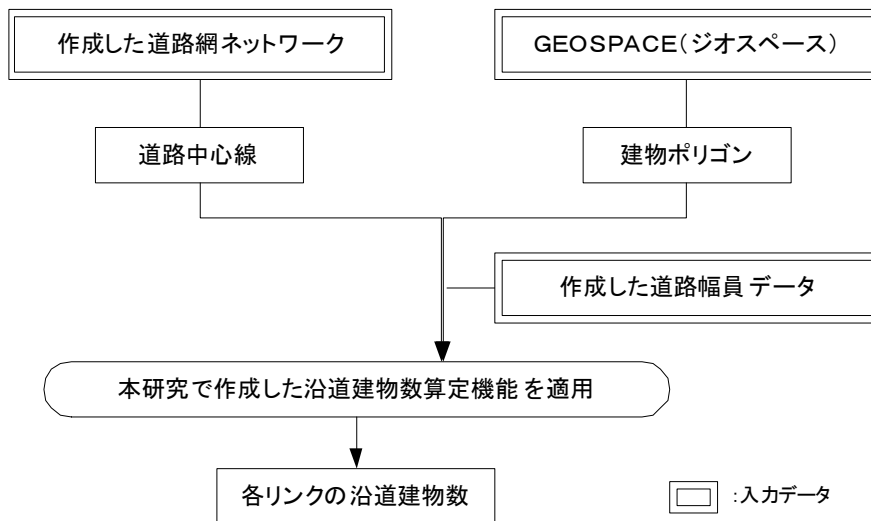


図-11 データフロー (沿道建物数算定)

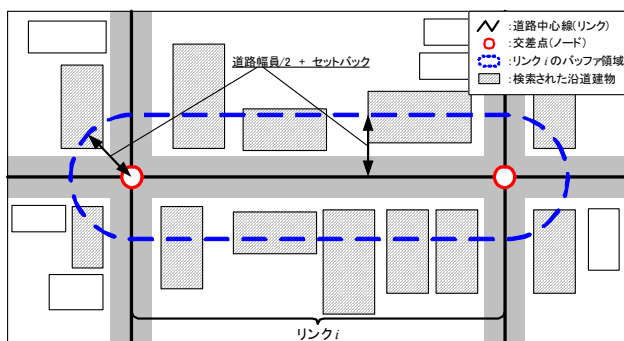


図-12 沿道建物の空間検索イメージ(リンクのバッファを用いた場合)

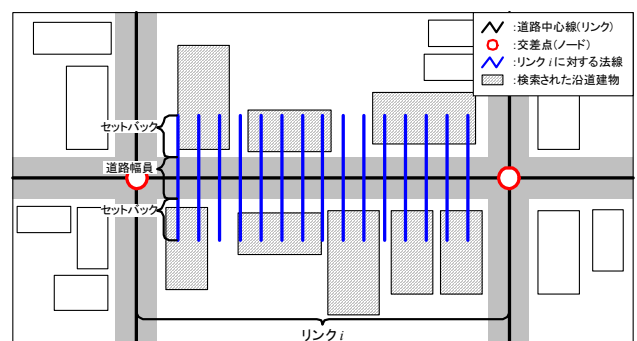


図-13 沿道建物の空間検索イメージ(リンクの法線を用いた場合)

そこで、本研究では、3章で作成された道路網ネットワークのリンク(道路中心線)とGEOSPACEの建物の形状を示した建物ポリゴン及び4章1節で算定した道路幅員から沿道建物数算定機能を用い、沿道建物数の算定を試みた。図-11は、沿道建物数算定までのデータの流れを示したものである。沿道建物数の空間検索手法としては、一般的にGISのバッファ機能を

用いて空間検索を行うが、図-12に示すように対象リンク以外の沿道建物も検索される。そこで本研究では、図-13に示すようにリンクに対する法線を用いた空間検索から沿道建物数の算定を試みた。

図-14は沿道建物数算定フローについて示している。まずリンク*i*に対して一定の距離(本研究では1mとした)ごとに両側に向けて、リンク*i*の道路幅員に

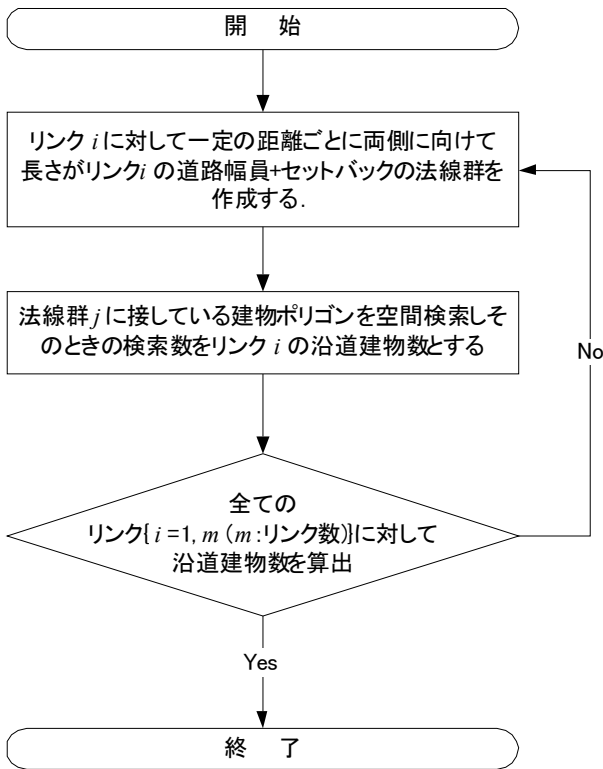


図-14 沿道建物数算定フロー

にするため 6m とした) を足した長さの法線群を作成する。そして、法線群 j に接している建物ポリゴンを空間検索し、そのときの検索数をリンク i における沿道建物数とする。同様に全てのリンク $\{i=1, m(m; \text{リンク数})\}$ に対して沿道建物数を算出する。

(3) 人口算定法

震後における最も重要な交通として、避難者や緊急車両の交通が挙げられる。このことから、ネットワーク解析を行う際に人口を考慮することは非常に重要である。また、将来ミクロ的な避難や救急活動のシミュレーションの導入を視野に入れているため、道路網ネットワークの交差点(ノード)に対して人口を与えた。以上のことから、本研究では GIS を用いた地区人口の各ノードへの配分法を検討し、各ノードの人口を算定した。以下に地区人口の各ノードへの配分法について示す。

本研究で検討した GIS を用いた地区人口配分法は、町丁別人口データ (一般には国勢調査や各市町村などで公開している)、行政区域ポリゴン (数値地図 2500)、建物ポリゴン (GEOSPACE) 及び 3章で作成された道路網ネットワークの交差点 (ノード) から、人口算定機能を用い各ノードの人口の算定を試みた。

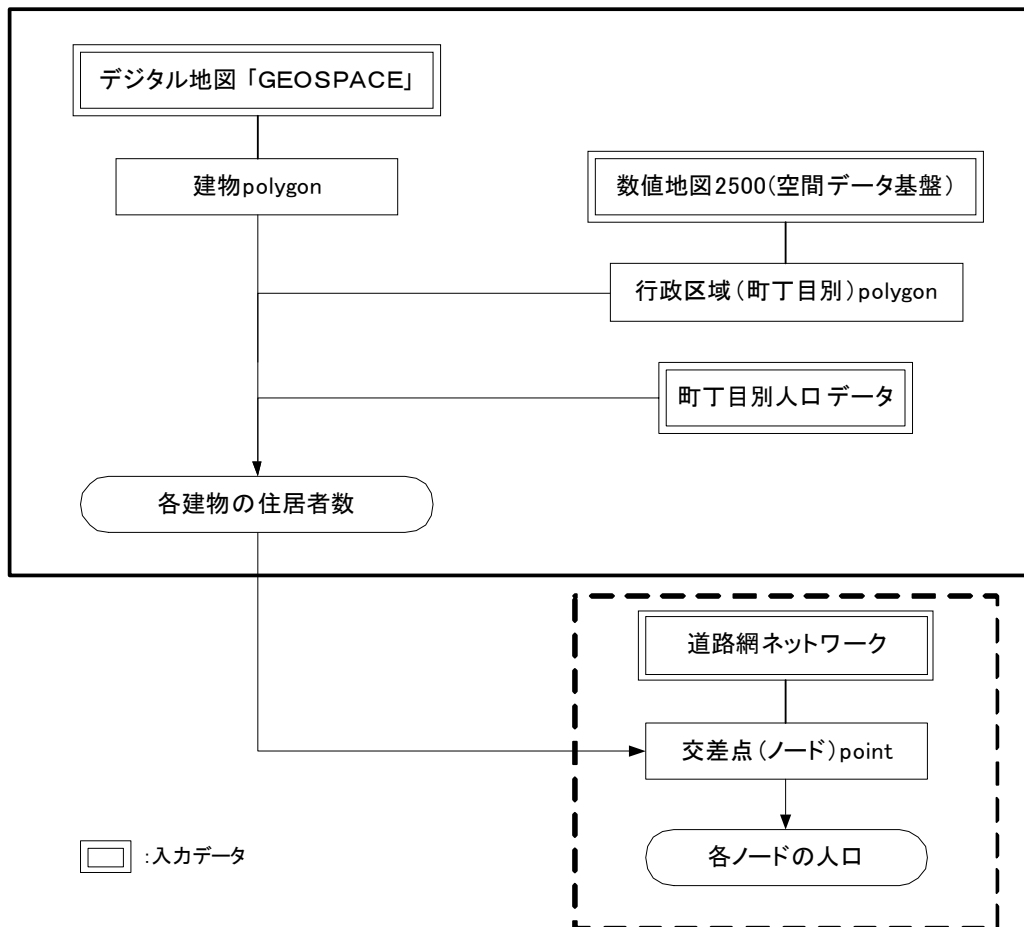


図-15 データフロー (人口算定)

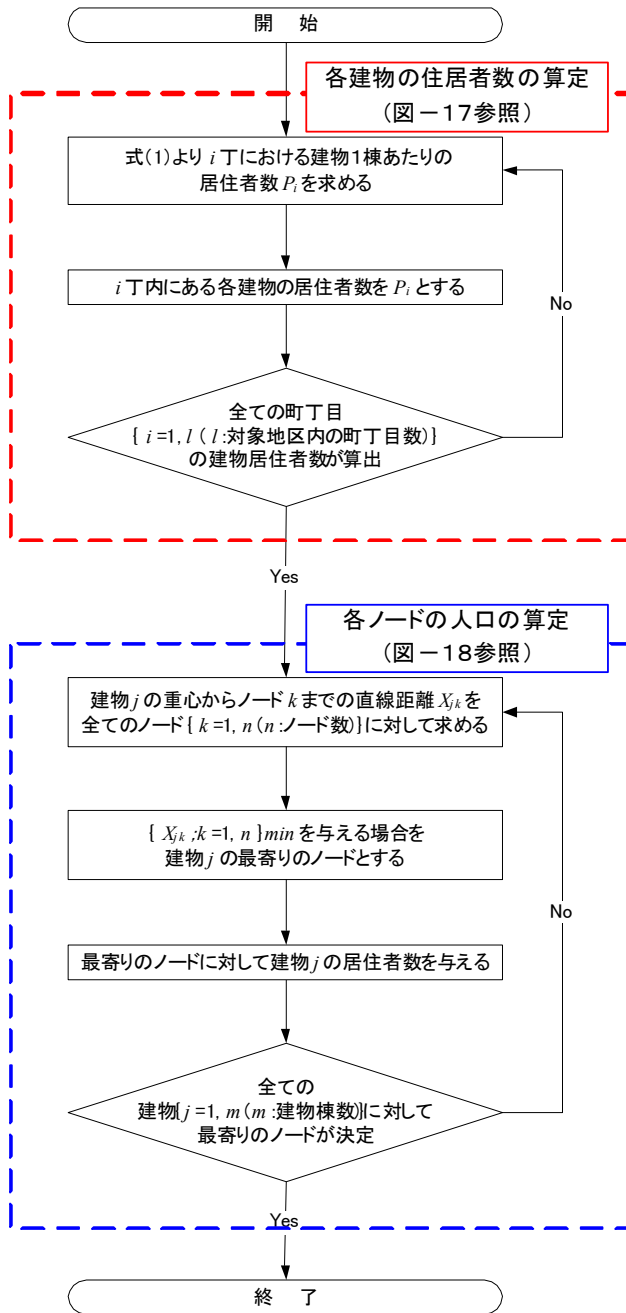


図-16 人口配分フロー

図-15に各ノード人口を算定するまでのデータの流れを示している。まず、町丁目別人口を対象地区の行政区画ポリゴンに配分する。次に、行政区画ポリゴンに配分された人口を行政区画ポリゴン内の全ての建物ポリゴンに配分し、住居者数を決定する。そして、住居者数を最寄りのノードに配分し各ノードの人口を決定する。図-16は各ノードへの人口配分フローを示している。まず i 丁目にある各建物の住居者数を決定するために、 i 丁目における建物 1 棟当たりの住居者数 P_i を次式により算出する。

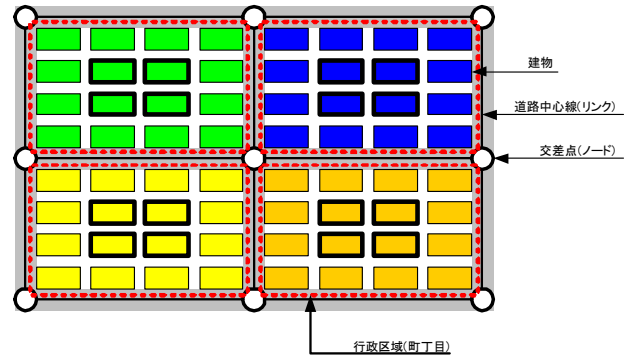


図-17 行政区画ポリゴンへの人口配分イメージ

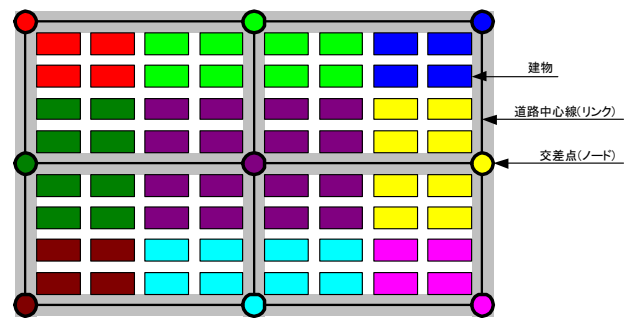


図-18 最寄りのノードへの人口配分イメージ

$$P_i = \frac{X_i}{B_i} \quad (1)$$

ここに、 X_i : i 丁目の人口、 B_i : i 丁目内の建物棟数である。

図-17に示すように i 丁目にある各建物の住居者数は、簡単に算定するために建物の階数や床面積に関係なく全て同じと仮定し、 i 丁目にある各建物の住居者数を P_i とする。同様に全ての町丁目 $\{i=1, l (l: 対象地区内の町丁目数)\}$ の建物住居者数を求め、各建物の住居者数を決定する。次に、図-18に示すように各ノードの人口を決定するために、各建物に対する最寄りのノードを決定する。本研究では地図上で沿道にない建物(図-17中の太枠の建物)も考慮した対象地区内の全ての建物に対して簡単に最寄りのノードを決定するために、建物の重心とノードまでの直線距離を用いて最寄りのノードを決定する。つまり、建物 j の重心からノード k までの直線距離 X_{jk} を全てのノード $\{k=1, n (n: ノード数)\}$ に対して求め、 $\{X_{jk}; k=1, n\} \min$ を与える場合を建物 j の最寄りのノードとする。また、建物 j の住居者は最寄りのノードへ移動するとし、建物 j の住居者数をそのノードに与える。同様に全ての建物 $\{j=1, m (m: 建物棟数)\}$ に対して最寄りのノードを決定し各建物人口をノードに与え、各ノードの人口を算定する。

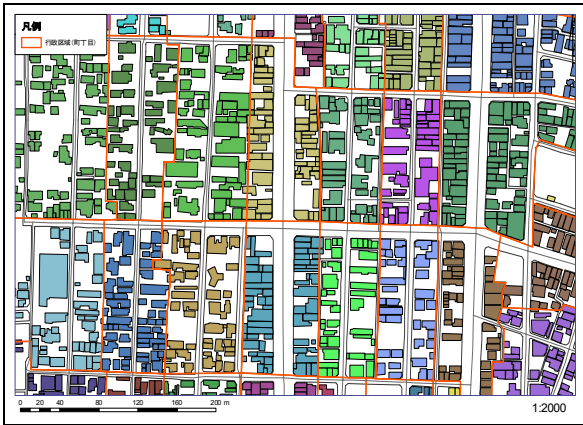


図-1-9 行政区域内の建物ポリゴンへの人口配分例



図-1-20 各建物ポリゴンの最寄りのノードの検出例

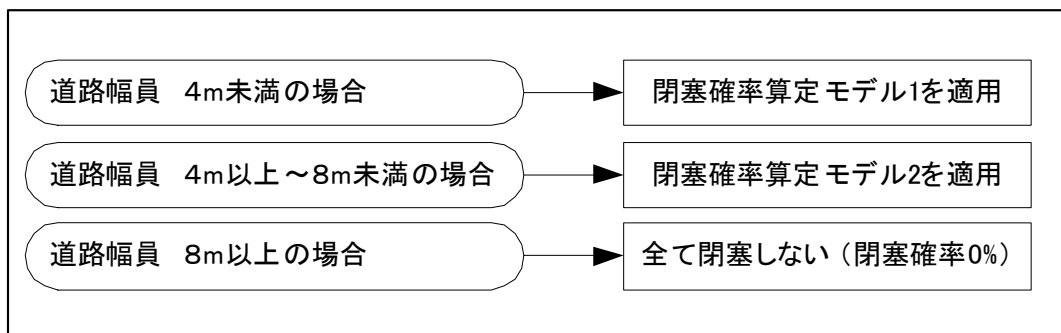


図-1-21 各道路幅員に対する閉塞確率算定モデルの対応関係

図-1-9は行政区域（町丁目）から建物ポリゴンへの人口配分をGISで解析した例である。図中の各建物居住者数は、行政区域ごとの人口データと各行政区域内の同色建物数を式（1）に代入することで求められる。また、図-1-20には各建物に対する最寄りの交差点（ノード）をGISで求めた例を示している、最寄りのノードが同じ建物は同色で表している。

5. 道路閉塞確率算定法

本研究では、対象地区における道路閉塞を考慮したネットワーク解析を行うために、建物倒壊を原因とする閉塞モデルに基づいた閉塞確率の算定を行う。

震後の諸活動を妨げる主な原因の1つは建物倒壊に伴う道路閉塞である。兵庫県南部地震では、道路幅員が4m未満の道路においてはほぼ全てにおいて道路閉塞が発生し、一方道路幅員が8mを越える道路においては、自動車の通行までほぼ可能であった。このことより本研究では、道路幅員4mと8mを基準値として設定し、4章1節で算定した道路幅員を4m未満、4m以上～8m未満、8m以上の3つに分類し、閉塞確率算定モデルを検討した。この際、安全側での検討を行うために、対象とするすべての建物を木造建物と仮定し、

検討を行った。図-1-21は各リンクの閉塞確率を算定する際の道路幅員分類とそれに対応する閉塞確率算定モデルとの対応を示している。道路幅員4m未満については閉塞確率算定モデル1、道路幅員4m以上～8m未満については閉塞確率算定モデル2に基づき閉塞確率を算定し、道路幅員8m以上については全ての道路が閉塞しない（閉塞確率0%）とした³⁾。

次に、各閉塞確率算定モデルについて説明する。前述のように兵庫県南部地震では、道路幅員4m未満の道路はほぼ全てにおいて道路閉塞が発生したことが確認されている。しかし、本研究では道路閉塞に大きく影響を及ぼすリンクの属性である沿道建物数が少ない道路も対象にしているため、必ず道路閉塞が発生するとは限らない。そこで道路幅員4m未満については、図-1-22に示す閉塞確率算定モデル1を適用し、道路の片側の建物が倒壊した場合に道路閉塞が発生するとし、式（2）を用いて閉塞確率 P を算定した。

$$P_1(\%) = \left\{ 1 - (1 - r)^{l+m} \right\} \times 100 \quad (2)$$

ここに、 l, m : 沿道建物数（4章2節参照）、 r : 老朽建物割合である。また、老朽建物は、昭和56年以前の木造建物とし、建物倒壊確率は老朽建物割合と等しいとする。道路幅員4m以上～8m未満の道路については図-1-23に示

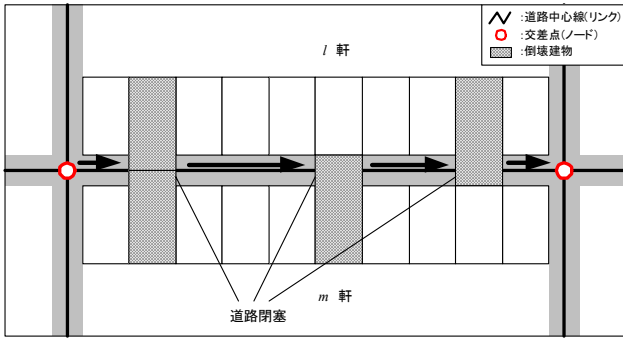


図-2.2 閉塞確率算定モデル1
(道路幅員が4m未満)

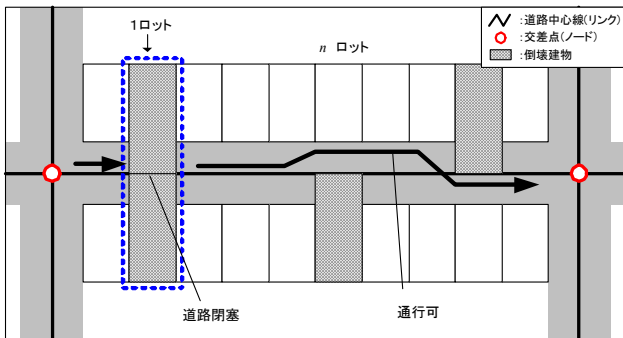


図-2.3 閉塞確率算定モデル2
(道路幅員が4m未満8m以上)

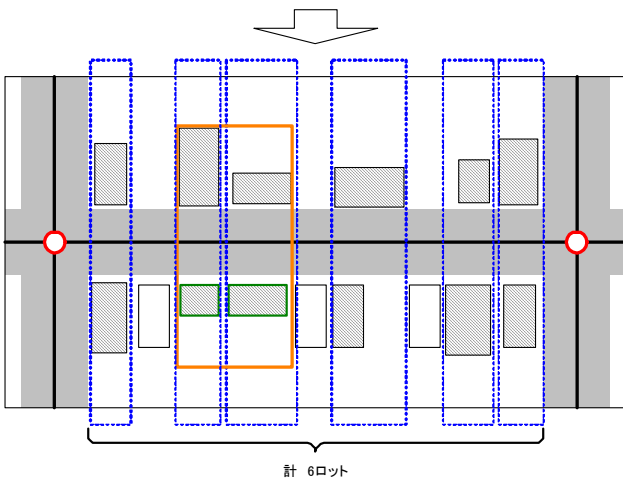
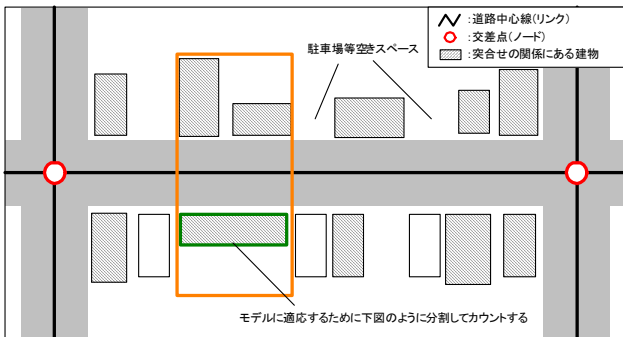


図-2.4 ロット数算定イメージ

す閉塞確率算定モデル2を適用し、道路の両側の沿道建物が突合せ倒壊した場合にのみ道路閉塞が発生するとし、式(3)を用いて閉塞確率 P を算定した。

$$P_2(\%) = \left\{ 1 - (1 - r^2)^n \right\} \times 100 \quad (3)$$

ここに、 r ：老朽建物割合、 n ：建物が突合せの関係にあるロット数である。

しかし、上記で示した閉塞確率算定モデル2を適用するには各リンクにおけるロット数が必要であるため、4章2節で用いた沿道建物数算定機能を拡張し、各リンクのロット数を算定する機能を作成した。図-2.4はリンクにおけるロット数の算定イメージを示している。閉塞確率算定モデル2は沿道建物が突合せ倒壊した場合を閉塞とするので、図-2.4の上図に示す建物群中で突合せの関係にある建物を閉塞対象沿道建物とし、図-2.4の下図に示すようにロット数のカウントを行った。なお、緑枠の建物のように突合せの対象となる建物が複数ある場合には、閉塞確率算定モデル2に適用させるために分割してカウントを行った。

6. モジュール及び道路閉塞確率算定法の適用例

本研究で作成したモジュール及び道路閉塞確率算定法の適用例として、図-1の流れに沿って図-2.5に示す徳島市内の佐古地区(約 3km^2)を対象地区として適用した。

まず、対象地区である佐古地区の道路網ネットワークを作成する。ここでは、2章で示した道路網ネットワークの作成手順により、図-2.6に示すようなリンク数647、ノード数468よりなる道路網ネットワークを作成した。

そして、この道路網ネットワークに、本研究で作成した機能を用いネットワーク解析に必要とされる属性データ(道路幅員、沿道建物数、人口)の作成を行う。

まず、道路幅員の算定から行う。図-2.7には4章1節で示した道路幅員算定法を用いて算定した各リンクの道路幅員が示されている。図より、この地区を横断している幹線道路を中心に外側にいくほど道路幅員が狭くなっていることが分かる。次に沿道建物数の算定を行う。図-2.8には4章2節で示した沿道建物数算定法を用いて算定した各リンクの沿道建物数が示されている。図より、沿道建物数が15以下のリンクが半数以上を占めていることが分かる。図-2.9には4章3節で示した人口算定法を用いて算定した各ノードの人口が示されている。ここで、本研究では町丁別人口データとして徳島市役所ホームページ⁴⁾で公開されている町丁別人口を用いた。このデータは住民登録データであり、本研究ではこのデータを徳島市の夜間人口とし、各ノードに人口を配分した。

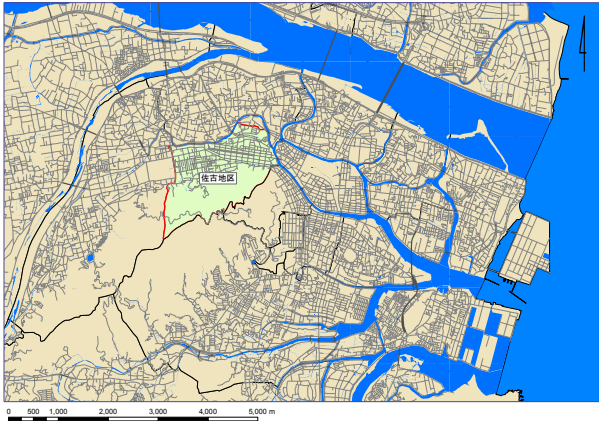


図-25 手法適用地区（徳島市佐古地区）



図-26 道路網ネットワーク
(リンク数 647、ノード数 468)

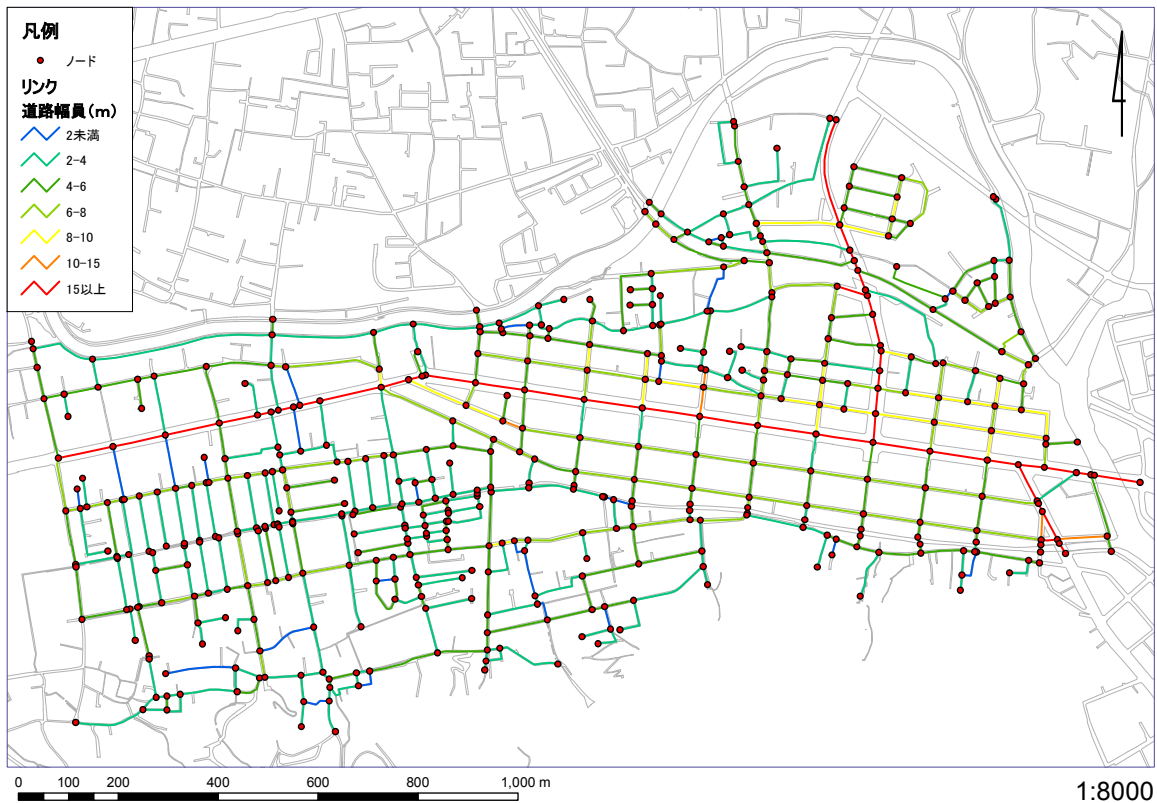


図-27 道路幅員

次に5章で示した道路閉塞確率算定法を佐古地区の各リンクについて適用し、道路閉塞確率の算定を行う。この際、老朽建物割合として、徳島県地震動被害想定調査報告書（概要版）⁵⁾より徳島市の老朽建物割合として昭和56年以前の値を用いた。図-30はその算定結果を示している。これらの結果は、現地踏査により、

比較的無理のない結果である事が確かめられた。また、文献6)を参考に、閉塞確率40%以上で道路閉塞が発生すると仮定すると、道路幅員が4m未満の道路の閉塞割合は約89%、道路幅員が4m以上8m未満の道路の閉塞割合は約51%、総合的な道路の閉塞割合は約58%である。

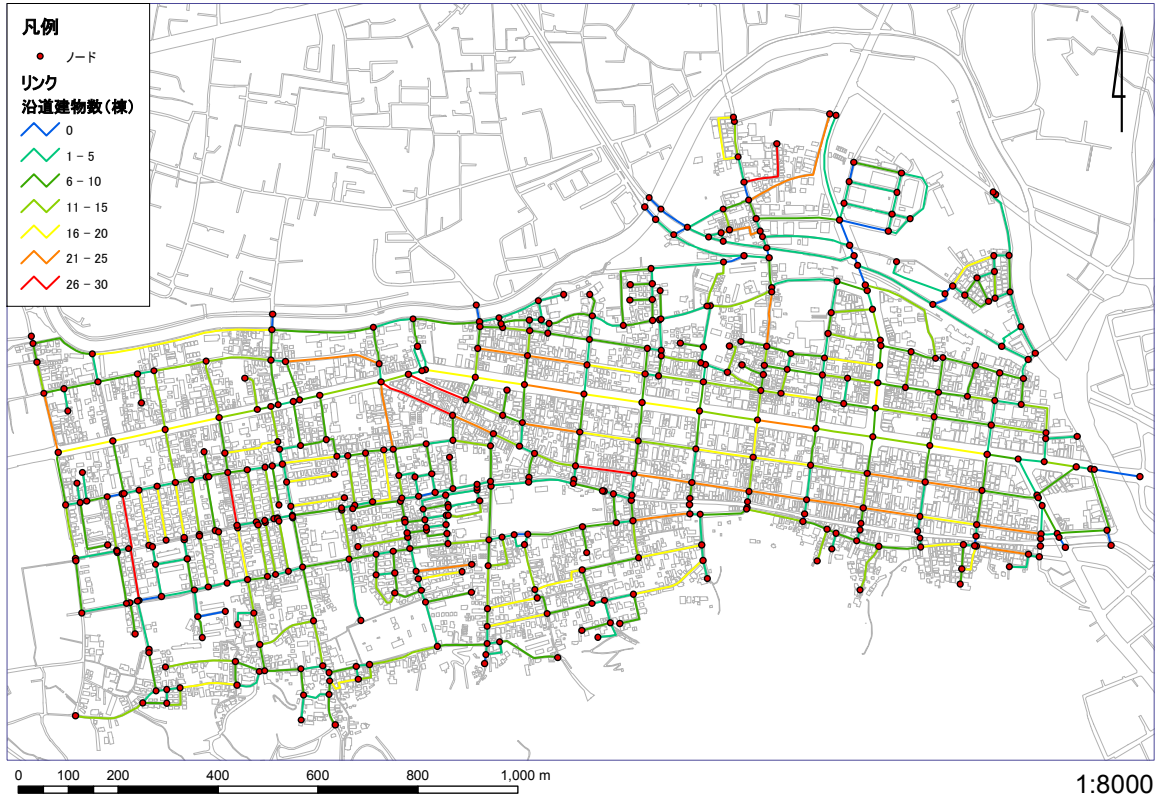


図-28 沿道建物数



図-29 各ノードの人口

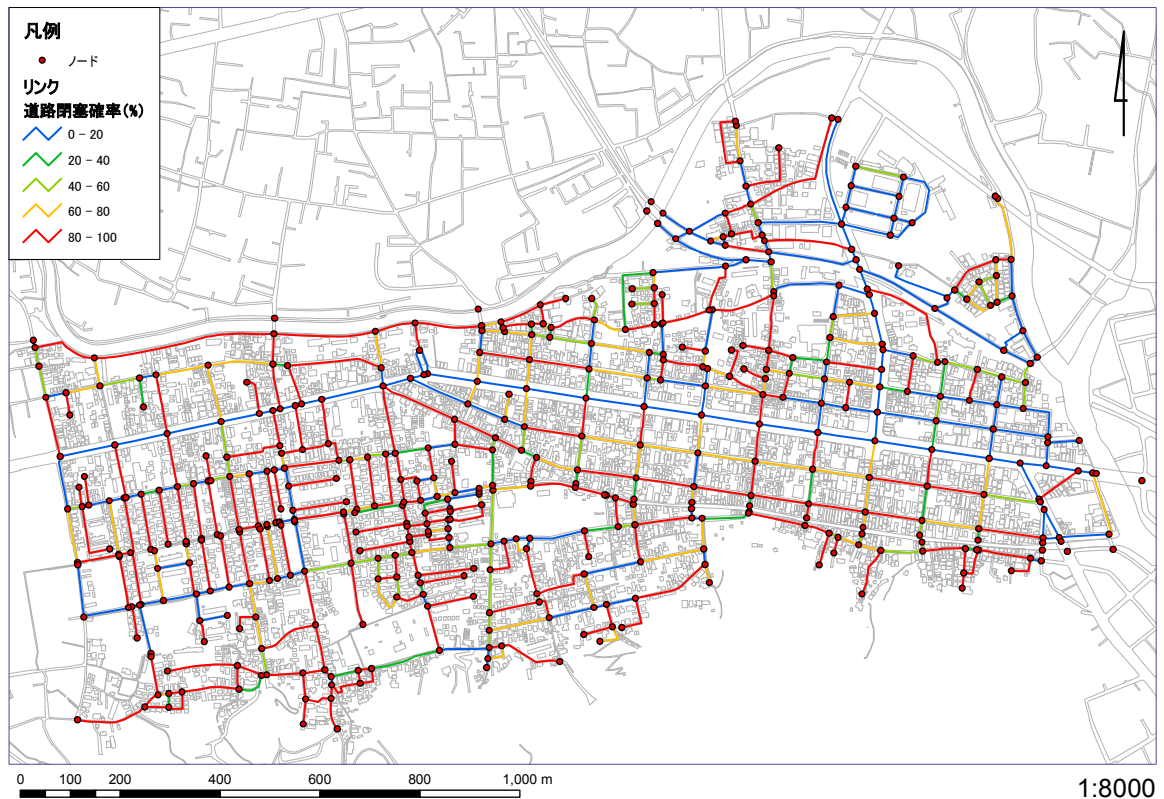


図-30 閉塞確率算定結果

7. おわりに

本研究では、GISによりデジタル地図データから道路網ネットワークならびに道路幅員、沿道建物数、ノード人口等の属性データを自動的に生成する手法を開発した。本手法によりデータ作成のための時間を大幅に短縮することが可能になった。また、作成した道路網ネットワーク及び属性データを用いてGISによる道路閉塞確率の自動算定が可能となった。本手法の徳島市佐古地区への適用結果より、本システムは道路網ネットワークの規模の如何にかかわらず適用可能な汎用性の高いシステムであると考えられる。

参考文献

- 1) ESRI ジャパン株式会社：ArcMap ユーザーズ・ガイド，2004年。
- 2) NTT ネオメイト四国：デジタル地図「GEOSPACE」レベル2（徳島県），2004年。
- 3) 都市防災実務ハンドブック編集委員会：都市防災実務ハンドブック 震災に強い都市づくり・地区まちづくりの手引き，2005年2月。
- 4) 徳島市役所ホームページ：統計資料（人口・世帯数），〈<http://www.city.tokushima.tokushima.jp/index.html>〉，（入手 2006.1）。
- 5) 徳島県：徳島県地震動被害想定調査報告書（概要版），2005年3月。

- 6) 福井，西川，成行，平尾：兵庫県南部地震時の木造建物倒壊長の統計分布とそれを用いた街路閉塞予測，土木学会四国支部 第10回技術研究発表会 講演概要集，pp. 70-71，2004年5月。

(2006.5.19受付)