

地震被害想定のための都市基盤データに基づく 上水道管路延長分布の推定

Estimation of the distribution of water pipeline's length
for the earthquake damage assessment based on other infrastructure data

小林 朋美¹, 山崎 文雄¹, 永田 茂²

Tomomi KOBAYASHI¹, Fumio YAMAZAKI¹ and Shigeru NAGATA²

¹千葉大学大学院 工学研究科 建築・都市科学専攻

Department of Urban Environment Systems, Chiba University

²鹿島 技術研究所

Technical Research Institute, Kajima Corporation

Damage estimation for scenario earthquakes is extensively conducted by local governments in Japan for emergency response planning. However, local governments usually do not possess detailed grid data of lifelines with pipe material, diameter and length's information in a grid cell. To improve the accuracy of earthquake damage assessment, a correlation analysis is carried out to compare the water pipeline length within a grid cell of 250m with the corresponding road length and with other lifeline lengths. Then a method to estimate the water pipe length from the road data is proposed and its accuracy is investigated using the actual pipeline GIS data.

Keywords: earthquake damage estimation, pipeline length, 250 m grid data, road, water supply network

1. はじめに

首都直下地震対策専門調査会¹⁾によると、首都圏でのM7.0クラスの地震の切迫性が懸念されている。このような大都市を襲う地震による影響が甚大なものであることは、1995年の阪神・淡路大震災で思い知らされた。さらに、首都圏には多くの社会インフラが集中しているため、直下型地震が発生した際には、水道・ガス等の埋設管も多大な被害を受けることが危惧される。したがって、防災体制の整備や住民の啓発のために、各自治体において想定地震に対する地震被害想定がなされている。その際に使用される被害予測手法も次々に更新され、近年行われた首都圏における水道管の被害想定では、日本水道協会²⁾のものや東京都の式(1997)、さらに丸山・山崎³⁾による予測手法などが用いられている。これらはいずれも、管種や管径を考慮した、最大速度に対する被害率(箇所/km)を推定するものである。しかしそれらの情報を踏まえた埋設管路データは、ごく一部でしか被害想定に必要なメッシュ単位で整備されていないのが実情である。

上水道の被害想定を例に挙げると、近年行われた首都圏(東京都⁴⁾、神奈川県⁵⁾、埼玉県⁶⁾、千葉県⁷⁾)の地震被害想定では、上水道管データは、行政界ごとに集計される統計量を建物棟数、もしくは夜間人口データにより比例配分して作成されたものを用いている。なお、埼玉県においてはメッシュ毎のデータは存在せず、市区町村単位で被害想定がなされている。このように、その推定方法も様々で統一されていないため、それによって得られる被害想定結果も高い精度があるとは言い難い。さらに、

メッシュ単位の建物棟数データ等は、一般的には入手するのが困難であり、また後述するが、これらを用いた管路データの推定はその精度に問題がある。

既往の研究としては、Nagata et al.⁸⁾が昼夜間人口や需要件数を用いた配水管路データの推定精度を検討しているが、この他にはまだ十分な研究がなされているとはいえず、被害想定の前堤となるデータを構築することは、地震被害想定精度向上へとつながると考えられる。そこで本研究では、こうした背景をふまえ、より精度の高い被害予測のためのライフライン・データ構築に向けた基礎的検討を行う。まず、詳細な埋設管データの揃っている新潟県柏崎市を対象として、配水管路のメッシュ単位の延長データを、建物や道路等の都市基盤データを用いて推定する方法を検討し、予測モデルを構築する。次に、この推定方法を神奈川県A市に適用し、その推定精度の検証を行う。

また、ライフライン施設の多くは道路の地下に埋設されており、ライフラインは各システムの存在がそれぞれ密接に関わっている⁹⁾。それによって、地震時のライフライン被害の相互連関と総称される問題も引き起こされ、これまでその被害や復旧についての研究がなされている¹⁰⁾⁻¹²⁾。このように、ライフラインは基礎データ同士だけでなく、被害同士も関連していると考えられる。そこで、上水道管路、ガス管、下水道の分布データの相関性の把握を行うとともに、水道管や道路データに基づいて、下水道やガス管データを推定する方法を提案する。

2. 上水道管路の延長分布の推定

地震被害想定における水道施設での検討対象である配水管路について、そのデータ精度の向上を目的として、メッシュ単位での管路延長を、建物や道路などの都市基盤データから推定する方法について検討し、手法の提案とその検証を行う。

(1) 建物棟数による上水道管路延長推定の問題点

神奈川県では、平成18年度水道統計¹³⁾に記載されている配水管路延長をもとに、各市町村毎において単純に建物棟数を比例配分することによってメッシュ毎の管路延長を推定していた(図1)。その場合、低層木造住宅1棟と、高層ビルのような大きな建物1棟をどのように評価するかが問題となる。建物の数のみが延長に影響するため、低層住宅が密集する地域では実際よりも延長が長く、高層ビルが立ち並ぶオフィス街では短く推定されてしまうと考えられる。実際に、神奈川県A市を対象として、250mメッシュ毎の棟数で割り振った上水道の推定延長から実延長を差し引くことで、どの程度の誤差が生じているかを算出した。誤差の絶対値に着目したところ、大きいところでは、2,678.6mもの差が生じていた。さらに、このような差を生じてしまっているメッシュが、どのくらいの割合で存在するのかを調べた結果、500m以上の誤差を生じているものが全体の3割以上を占めていた。したがって、このように推定されたデータに基づいて行われる地震被害想定は、その正確さに疑問が生じる。

近年行われた被害想定においては、上水道の基礎データを推定する指標として、建物棟数を用いることが一般的である。しかし、上述したように建物棟数のみから上水道延長を推定してする場合はその精度に問題がある。また、本来ならば建物の数と上水道の延長との間には直接的な関係がないため、上水道延長推定の指標として建物棟数を使用するというのは、その説得力に欠けるものである。したがって、被害予測精度向上のためにも、建物とは異なる指標を用いた、より正確な管路データの予測方法が求められていると考えられる。

(2) 上水道延長の推定

本研究では、上水道延長を推定するにあたって、道路延長を指標とし、そのまま推定延長とする方法を提案し検証する。これは、水道やガスなどの埋設管は基本的に道路の下に埋まっているため、それぞれの延長の間には

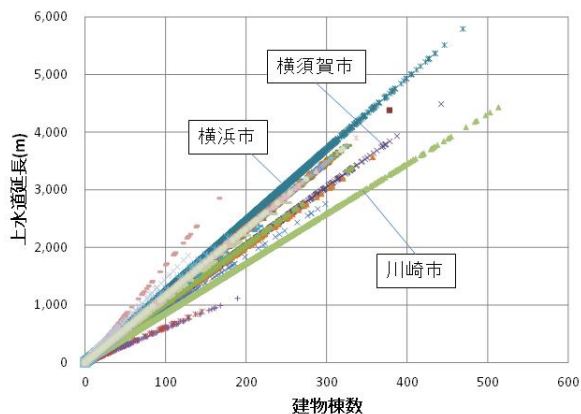


図1 神奈川県被害想定⁵⁾での250mメッシュ単位における建物棟数と上水道延長の関係

高い相関があると推測したためである。また、道路データは建物棟数のデータよりも比較的取りやすいものであるため、地震被害想定をするにあたっても実用的であると考えた。なお、阪神・淡路大震災を含む過去の地震被害の事例からみても、配水管路の被害が広範囲かつ大量に発生し、大規模な断水を引き起こしているため、地震被害推定でも配水管を中心被害予測が行われている。よって本研究でも、配水管延長の推定を行うこととした。

ここで、仮に建物棟数と道路延長の間に非常に高い相関がみられた場合、どちらを指標にして配水管延長を推定したとしても、その差がなくなってしまうと考えられる。そこで、250mメッシュ毎の建物のデータと道路データが揃っている神奈川県A市において、従来の上水道の基礎データの指標として用いられてきた建物棟数と、今回提案する指標である道路延長との関係を調べた。図2にその結果を示す。相関係数は0.78となり、この両者の間には相関は見られるものの、当然ながら同じではないことがわかる。ゆえに、建物棟数と道路延長の各々を、配水管延長を推定する際の指標にした場合でも、それぞれ異なる結果が得られると考えられる。

研究の流れとしては、対象地域を詳細な管路データが得られた新潟県柏崎市として道路データによる推定法を提案し、神奈川県A市にて結果の検証を行う。各種データ同士の関係性を分析するにあたっては、地理情報システム(GIS)を用いる。新潟県柏崎市において使用する配水管(本管、支管含む)データは柏崎市ガス水道局より提供されたものを使用し、その属性には材質、口径、継手種別等の情報が含まれている。測地系は世界測地系で統一し、また、GIS上での単位をメートル法で表すために使用したデータでの投影座標系は、新潟県柏崎市では平面直角座標8系、神奈川県A市では平面直角座標9系を定義する。なお、管路網のデータはもともとラインデータであったため、それぞれGISで250mメッシュ毎の延長を算出した。道路による推定法の指標となる道路データは、平成14年に作成された日本地図センター発行の「数値地図2500」に含まれているものを用いた。このデータは、道路の中心線をラインデータとしたものである。

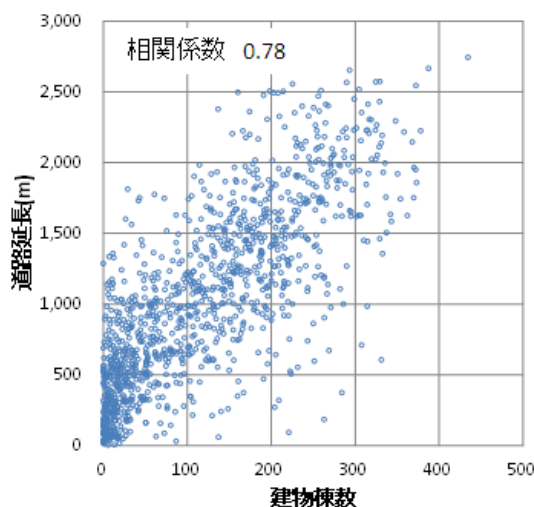


図2 神奈川県A市におけるメッシュ毎の建物棟数と道路延長の関係

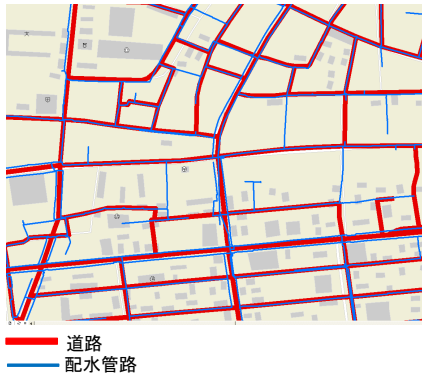


図3 柏崎市における道路と上水道のGISデータの一部拡大

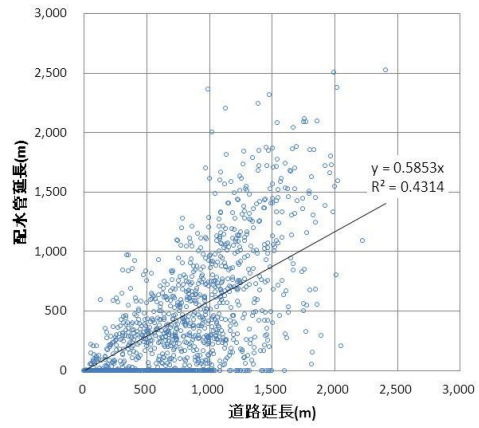
(3) 上水道延長と道路延長の関係

柏崎市における250mメッシュ毎の配水管と道路の延長を比較する。その際、道路が存在するメッシュのみを抽出し比較対象とした。その結果、双方の延長が異なるメッシュが多数見られた。要因として、道路データの中に含まれていない私道等に、配水管が埋まっている箇所が数多くあることが考えられる。これは図3に示すGISデータからも確認することができる。また、逆に水道管が埋設されていない市街地外の道路も多数存在することが確認された。これは田畑などが多い柏崎市の地域状況も影響していると考えられる。

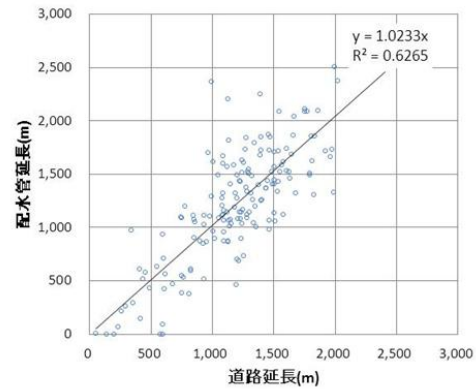
このように、柏崎市と首都圏では、市街地状況が異なるために、同様に評価することは困難と考えられる。そのため、柏崎市で有効であるという結果が得られても、首都圏においてその手法が通用するかどうかは分からない。そこで、人口集中地区(DID)を指標として、地区を限定することを導入する。DIDは日本全国において共通の尺度であるため、これを基準として地域を限定することにより、市街地状況が異なる地域同士でも比較できると考えた。

DID区域のデータは、国土交通省が公表する国土数値情報¹⁴⁾よりダウンロードした、平成20年に作成されたものを使用する。柏崎市におけるDIDにおいて、再度、道路延長と配水管延長を比較したところ、図4に示すとおり市全域の場合よりも高い相関を得ることができた。さらに、最小二乗法により原点固定での回帰直線を求めたところ、市全域での推定に比べ、DIDのみの場合ではその傾きが1に近くなった。傾きが1に近づくほど、メッシュ毎の推定配水管延長が実際の延長に近い値で予測できることを示す。このことから、地区を限定すれば、より高い精度で道路データから配水管延長を推定することが可能であると推測される。

また、DID区域外での上水道管路延長の推定では、Nagata et al.⁸⁾による配水管のモデルを用いることとする。これは、国勢調査などから求められる昼夜間人口A(国勢調査による夜間人口と国勢調査と事業所・企業統計調査のリンクにより昼間人口を足したもの)、昼夜間人口B(上記の昼夜間人口Aから第2次・3次産業従事者数と生徒・学生数総数を引いたもの)、需要家件数(国勢調査の総世帯数と全産業事業所数を足したもの)の3つの指標を用いることによってメッシュ毎の上水道延長を求めるものである。DID区域外では、配水管を必要とする建物がまばらに存在するため、配水管が埋設されていない道路がDIDに比べて、数多く存在すると推測される。その



(a) 市全域



(b) DID区域

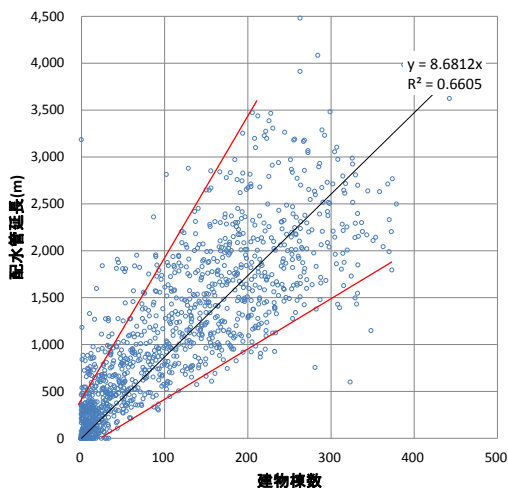
図4 新潟県柏崎市における配水管の推定延長と実際の延長との比較(250mメッシュ単位)

ため、道路延長を指標とするよりも、人口や需要家件数を指標として配水管延長を推定の方が妥当であると考えられる。

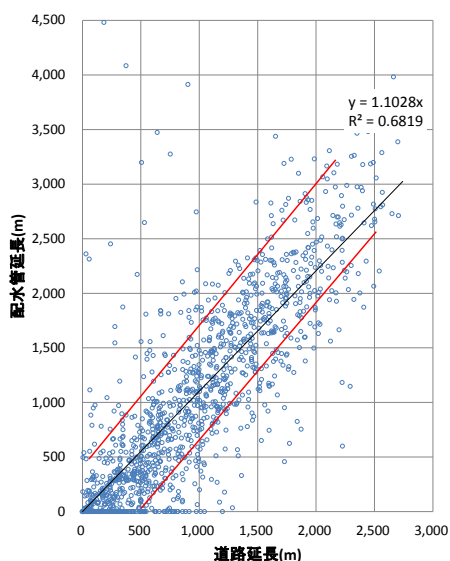
(4) 神奈川県A市における検証

神奈川県A市において、道路データを用いて250mメッシュ毎の配水管延長を推定し、その方法の精度を検証する。推定された配水管延長と、その実延長の対応を図5に示す。さらに、その精度を評価するために、現在の地震被害想定で用いられている建物より推定した配水管延長と実際の延長との対応も調べた。得られた決定係数のみを比較すると、建物からの推定法(図5a)と本研究で提案する道路からの推定法(図5b)との間で大きな差は見られない。しかし、点のパラツキを見ると、建物棟数による推定法では、値が大きくなるにつれ推定延長と実延長との間の差が拡大する傾向が見られるのに対し、道路データによる推定法では、その値に関係なく両者の差はある程度一定に保たれている様子が見受けられる。図5a, bの線は点の広がりを示したものである。しかしながら、得られた原点固定の回帰曲線の傾きは1よりも大きい値を示しており、これは、配水管延長が道路延長よりも長くなっているメッシュが多数存在することを表している。これは、道路データに私道等が含まれないこと、また広い道路では両側の歩道に水道管が埋設されている場合があることなどによると推測される。

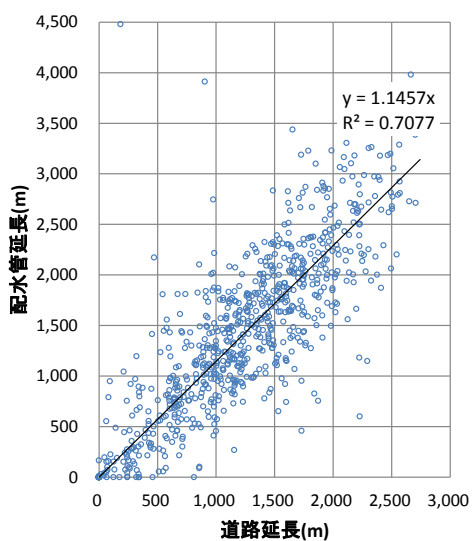
DIDに限定した地域においても検証を行った結果、柏崎市の場合と同様、市全域よりも良い精度で道路データか



(a) 建物棟数による推定(市全域)

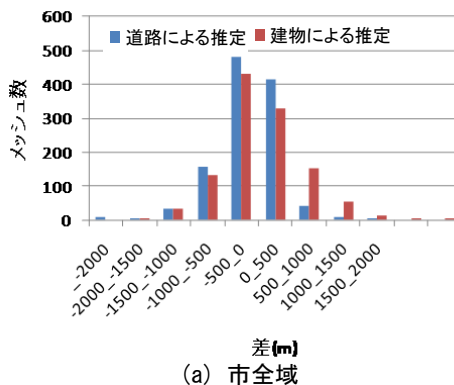


(b) 道路データによる推定(市全域)

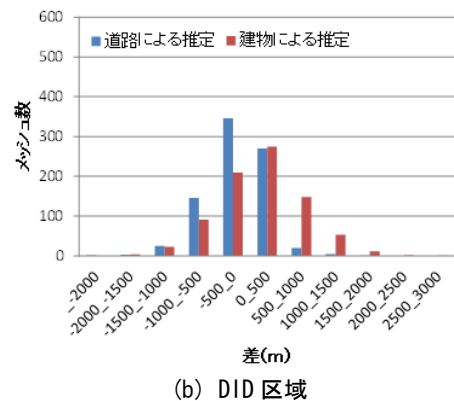


(c) 道路データによる推定(DID 地区)

図5 神奈川県A市における配水管の推定延長と実際の延長との比較(250mメッシュ単位)



(a) 市全域



(b) DID 区域

図6 神奈川県A市における配水管延長の推定誤差のメッシュ数の比較

ら上水道延長を推定できることがわかった(図5c)。柏崎市のように、市全域とDIDの場合で大きな変化が得られないのは、神奈川県A市という地域において、市全域に対するDID区域の占める割合が新潟県柏崎市と比べて広範囲にわたるため、DIDという尺度を用いても柏崎市ほどの差が得られなかったためであると推測される。

250mメッシュ毎で、道路データを用いて推定した配水管延長から実際の延長を差し引くことで、どの程度の誤差が生じているかを算出し、差500m区分毎にとりまとめた。さらに、推定した延長と実際の延長との差500m区分毎での該当するメッシュ数を、A市全域とDID区域の場合各々において示した(図6)。これより、建物による推定法では500-1000m、1000-1500mの差を生じてしまっていたメッシュが、道路による推定法では減っており、大体500m以内の誤差に収まっていることがわかる。ゆえにこのA市の例では、建物からの推定法と比較すると、道路からの推定法では、配水管延長の推定誤差を少なくすることができたといえる。

3. その他ライフライン・データの関係性の把握

一般的なライフラインの地震被害想定では、上水道だけでなく下水道や都市ガスの被害予測もなされることが多い。本研究では、上水道と下水道、上水道とガス管に着目し、これらの関係性を把握する。ライフライン・データ同士の相関を評価するため、対象地域は新潟県柏崎市におけるすべての管路データが存在する範囲とした。ゆえに、データがある範囲が最も狭かった下水道が存在する地域を基準とした。使用するガス低圧管、ガス中圧

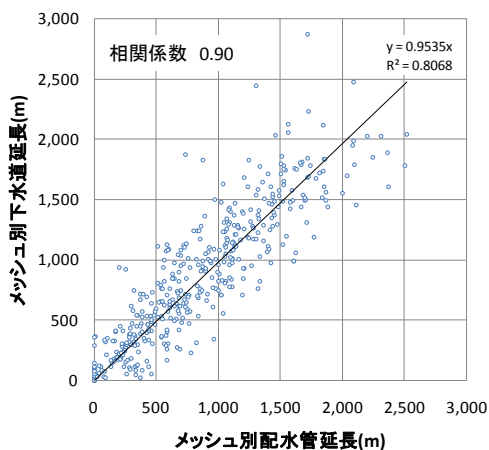


図7 柏崎市における250mメッシュ毎の下水道と配水管延長の関係

管データの属性には、材質、口径、継手種別等が、下水道の管路データには管種、口径の属性が含まれている。ガス低圧管、ガス中圧管の管路データは柏崎市ガス水道局が敷設状況を取りまとめたものを、下水道データは柏崎市現況図（下水道台帳、紙図面）を数値化したデータを使用した。

(1) メッシュ毎の下水道延長と上水道延長の関係

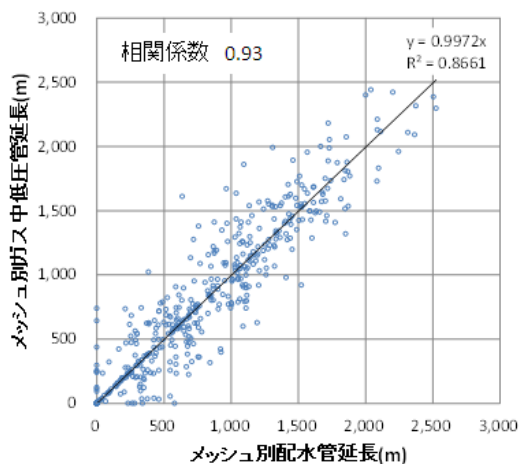
下水道の被害想定においても、もとなるメッシュ毎の下水道延長に被害予測式を用いることで、その被害率を算出するのが一般的である¹⁵⁾。各都県で行われた地震被害想定を見てみると、メッシュ毎の下水道延長データは、建物棟数で割振られた上水道延長をもとに比例配分することによって作成されていることが多いことが分かった。建物棟数による上水道延長推定の問題点を前述したが、推定された上水道延長をもとにさらに下水道延長を推定した場合、誤差がさらに蓄積する可能性がある。

250mメッシュ別の配水管延長と下水道管延長の関係を図7に示す。対象地域における総延長は、配水管374.7kmと下水道管380.8kmであり大差はなかった。また回帰直線を求めたところ、傾きは1に近い結果となったが、点がバラついており、多くのメッシュにおいて両者の延長に差があることが見て取れる。

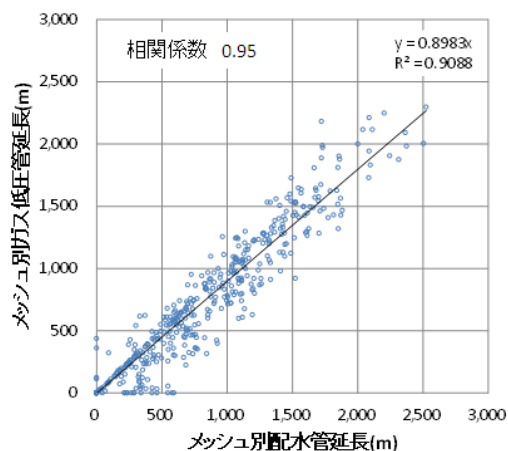
この要因として、作成された下水道データにおいて、紙図面をデジタル化した際の誤差、紙図面と国土地理院の基盤地図情報を重ね合わせる際の誤差、そして人孔をデジタル化する際に生じる誤差が含まれていると考えられる。また、GIS上で配水管と下水道のラインデータを細かく見たところ、配水管が1本しか埋設されていない箇所、下水道が2本通っている地点が見られた。柏崎市では、下水道に分流方式¹⁶⁾を取っており、汚水管に加えて雨水管が一部含まれている可能性もあるが、現時点では確認できていない。また、(株)リケンなどの工場や学校のような施設の中、あるいはその周辺において、配水管が施設されているが下水道は存在していないという状況が見られた。以上のように、メッシュ毎の配水管路と下水道延長の間で生じてしまう差は、様々な要因が考えられる。

(2) メッシュ毎のガス管路延長と配水管延長の関係

ガス管のデータは入手するのが非常に困難であり、そのため都市ガスの地震被害想定が容易にできないのが現



(a) ガス中圧管及び低圧管延長と配水管延長



(b) ガス低圧管延長と配水管延長

図8 柏崎市における250mメッシュ毎のガス管延長と配水管延長の関係

状である。各都県でなされた被害想定を見ると、計算作業は各ガス事業者委ねる、もしくは協力を得て行われる場合が主であった。神奈川県地震被害想定においては、高坂他(1998)¹⁷⁾による被害関数を用いてガス導管の被害軒数を予測する方法も用いられていた。しかしながら、上水道と同様、この関数に必要な管種や口径等の情報を含んだメッシュ単位のガス管延長のデータが整備されていない。ゆえに、想定に必要なメッシュ単位のガス管路延長の有効な推定方法を提案することによって、ガス事業者以外でも被害予測を行うことが可能になり、さらには被害推定精度の向上へつながると考えられる。本節ではその基礎的研究として、他のライフライン・データとの関係性の把握を行う。中でも、ガス管と上水道管路の関係に着目した。これは、柏崎市ではガス水道局が都市ガスと水道の両方を管理しており、両方の管路が近接して埋設されている場合が多いといわれており、両者の相関が高いと考えたためである。250mメッシュ毎のガス管延長と配水管延長の対応を図8に示す。なお、ガス管のデータには低圧管と中圧管の区別があり、柏崎市の対象地域における総延長は、各々331.6kmと48.4kmであった。今回、低圧管のみの場合と、低圧管と中圧管の両方を考慮した場合において配水管延長との関係を調べた。低圧管のみを考慮した場合では、中圧管および低圧管を考慮した時に比べ、配水管延長よりもガス管の方が長く

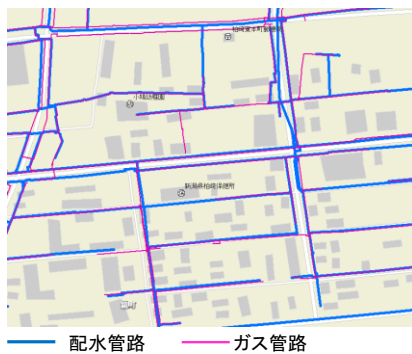


図9 柏崎市における配水管とガス管のGIS

なっている箇所が大幅に少なくなった。これによって、ガス低圧管のみの場合において、配水管延長との相関が高くなったと考えられる。しかし、配水管延長の方が長い箇所が数多くあることが見受けられる。

GIS上にてガス管と配水管のラインデータを細かく見たところ、国道8号線に沿って配水管が埋設されているのに対し、ガス管は埋設されていなかった。同様に、配水管が埋設されていても、ガス管が部分的にしか埋設されていない箇所が存在し、またその逆の場合もあることが分かり(図9)、これらが両者の延長の違いの原因と考えられる。

以上より、ガス低圧管のみの延長を考えた場合において、配水管延長と高い相関をもつことがわかった。しかしながら、両者の延長の間にはまだいくらかの差があり、配水管延長をガス管延長の推定の指標とするためには、さらに詳細な検討が必要である。また、本研究では都市ガスと水道が共に管理されているエリアという条件下での評価であるため、両者が共別々に管理されている地域においても検証する必要があるといえよう。

4. まとめ

本研究では、まず道路データを用いたメッシュ単位の配水管延長の推定を新潟県柏崎市において提案し、神奈川県A市にて検証した。その結果、提案する推定法では、従来の建物棟数を用いた推定法に比べ、推定される配水管延長と実延長との間に大差を生じる地点を減らすことができた。さらに、市街地状況が異なる二地域に共通する尺度としてDIDを用いて地域を限定することにより、市全域の場合に比べて比較的良い精度での推定が可能であることがわかった。このことから、地域を限定すれば、比較的手に入りやすい道路データを用いることで、メッシュ毎の配水管延長の推定が可能であることを示すことができた。しかし、用途地域等のDID以外の指標を用いることで、道路による推定法の精度が向上する可能性があると考えられる。ゆえに、他の指標を用いた場合での検討も行っていく必要があるといえる。

また、柏崎市のGISデータに基づいて、上水道と下水道、ガス管と上水道の相互の関係を検討した。その結果、どちらの場合もある程度の相関が見られ、とくに、ガス低圧管延長と配水管延長の間で高い相関があった。しかし、回帰直線の傾きが1に近く、相関係数も高い値を示す一方で、両者の延長の間にはばらつきも多いことが見受けられた。ゆえに、このままではデータを構築する際の指標として用いるのは充分とはいえないであろう。

今後の課題としては、道路データに含まれていない私道等をどのように配水管延長の推定に取り入れるか、ま

た地域によらず適用できるように一般化することなどが挙げられる。とくに、市街地状況の違いが配水管の分布状況に与える影響について詳細に検討し、より精度の高い、道路データからの上水道基礎データの推定法を提案したいと考えている。また、各種ライフラインや都市基盤データ同士の関係をより詳細に把握することで、他のライフライン・データの推定へとつなげていきたい。

謝辞

本研究で使用した新潟県柏崎市における配水管、ガス低圧管、ガス中圧管の管路データは、柏崎市ガス水道局より提供頂きました。記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 中央防災会議：首都直下地震対策専門調査会，2005，<http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/shutochokka/index.html>.
- 2) 磯山龍二，石田栄介，湯根清二，白水暢：水道管路の地震被害予測に関する研究，水道協会雑誌，第761号，pp.25-40，1998.
- 3) 丸山喜久，山崎文雄：近年の地震データを加味したマクロな配水管被害予測式の改良，土木学会 地震工学研究発表会論文集 第30巻，pp.565-574，2009.
- 4) 東京都：首都直下地震による東京の被害想定，2006.
- 5) 神奈川県：神奈川県地震被害想定調査報告書，2009.
- 6) 埼玉県：埼玉県地震被害想定調査報告書，2008.
- 7) 千葉県：千葉県地震被害想定調査報告書，2008.
- 8) S. Nagata, K. Kageyama and K. Yamamoto, An Emergency Restoration Model for Water Supply Network Damage due to Earthquakes, Journal of Disaster Research, Vol. 3, No. 6, 2008.
- 9) 能島暢呂，亀田弘行：地震時のシステム間相互連関を考慮したライフライン系のリスク評価法，土木学会論文集 No.57/I-30，pp.231-241，1995.
- 10) 能島暢呂：隣接ライフラインの地震時同時被害に関する確率論的評価モデル，地域安全学会論文集，No.11，pp.183-192，2009.
- 11) 君島康太，丸山喜久，山崎文雄：新潟県中越地震におけるライフライン被害の空間相関性，土木学会 地震工学論文集，第30巻，pp.614-621，2009.
- 12) 豊田安由美，庄司学：ライフライン事業者が想定する地震時応急復旧シナリオ及びその相互連関のモデル化の試みー首都直下地震を想定した場合の事例分析ー，地域安全学会論文集，No.12，pp.61-70，2010.
- 13) (社)日本水道協会：平成18年度水道統計，2008.
- 14) 国土交通省，国土数値情報ダウンロードサービス：<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html>
- 15) 国土交通省：第1回 大規模地震による下水道被害想定検討委員会，資料4 管路施設の被害予測手法について，2005。http://www.mlit.go.jp/crd/city/sewage/info/seisaku_kenkyu/jis_hinhigai/04.pdf
- 16) 柏崎市ガス水道局：<http://www.city.kashiwazaki.niigata.jp/detail/3940624027.html>
- 17) 高坂政道，小島清嗣，大久保直人：都市ガス導管の地震被害推定システム，第10回日本地震工学シンポジウム論文集，pp.3507-3511，1998.