

都市基盤データに基づく地中埋設管の 延長分布推定法の検討

小林 朋美¹・山崎 文雄²・永田 茂³

¹学生会員 千葉大学大学院 工学研究科 (〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町1-33)
E-mail: t.kobayashi@chiba-u.jp

²正会員 千葉大学大学院 工学研究科 (〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町1-33)
E-mail: fumio.yamazaki@faculty.chiba-u.jp

³正会員 鹿島技術研究所 (〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1)
E-mail: nagata-shigeru@kajima.com

地震防災計画を策定する条件設定のため、日本の各自治体において地震被害想定がなされている。一方で、被害想定に必要となるメッシュ単位の埋設管路データはごく一部でしか整備されておらず、多くの場合において、他のデータからの推定により作成されているのが実情であり、その精度に問題がある。そこで被害想定の上昇を目的として、250mメッシュ毎の上水道管路延長と道路延長との相関分析を行い、メッシュ毎の道路延長から上水道管路延長を推定する方法を提案し、検証した。その結果、密集市街地に限定した場合、道路データによる推定が有効であることが示された。さらに、下水道管路とガス管の延長に対しても、メッシュ単位の道路や配水管延長との相関に分析を行った。

Key Words : *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、首都圏におけるM7.0クラスの地震の切迫性が懸念されており、その対策が早急に必要とされている。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、各自治体では自治体やライフライン事業者の地震防災体制の整備や住民の啓発のために、いくつかの想定地震に対する地震被害想定を行い、想定結果を取りまとめて公表している²⁾。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³⁾のものや東京都の式(1997)、さらに丸山・山崎⁴⁾による予測手法などが用いられている。しかしながら、予測式に必要な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おける一般的なメッシュ単位で整備されていないのが実情である。ゆえに、各自治体においてメッシュ毎の管路データを推定し、作成しているため、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、後述するが現況での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.⁵⁾が昼夜間人口や需要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、東京、神奈川、埼玉、千葉における地震被害想定で使用された基盤データを整理し、その問題点を明らかにする。さらに、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が存在がそれぞれ密接に関わっている⁶⁾。そこで、上水道管路、ガス管、下水道の分布データの相関性

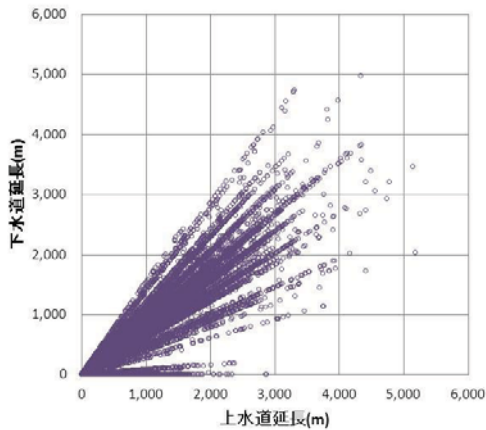
の把握を行うとともに、水道管や道路データに基づいて、下水道やガス管データを推定する方法の検討を行う。

2. 地震被害想定における基礎データの分析

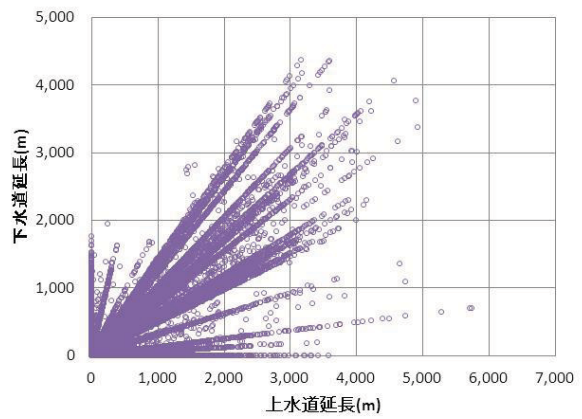
近年、首都圏で行われた地震被害想定に用いられた上水道、下水道データについて整理した。その結果、配水管、下水道管の各埋設管データは各々推定することで作成されていることが分かった。まず神奈川、千葉、埼玉における配水管データを見たところ、各自治体毎に建物棟数を指標とし、それらを比例配分することで250mメッシュ単位の配水管延長を算出していた。東京都においては、国勢調査によって得られた1kmメッシュ毎の夜間人口を250mメッシュ単位に按分し、それらを配水管延長の推定の指標として用いていた。

続いて下水道管のデータについても同様に調べた。図-1は各都県での配水管と下水道管のメッシュ別延長の対応を表したものである。その結果、神奈川、千葉、埼玉においては、自治体毎に直線が得られた。つまり、先

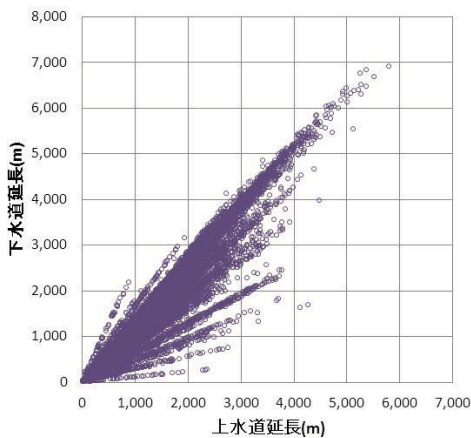
に述べた配水管データと同様、建物棟数を指標として各自治体別に250mメッシュ毎に比例配分することで下水道管延長を算出していることが分かる。なお、その際に用いられた建物データは千葉、埼玉では配水管と下水道管の場合で同じものを用いていたが、神奈川においては配水管と下水道管でそれぞれ異なる建物データを基にしていた。図-1cにおいて、埼玉、千葉と異なり神奈川では上下水道延長の対応が自治体毎で直線ではなくわずかながらばらついているのはそのためである。また、配水管延長が下水道管に比べて長くなっている自治体が多数存在することが各県で共通している。しかしながら、千葉においては下水道管が配水管よりも長くなっている地域もいくらか見られる。下水道管の方が長くなる要因としては、下水道に分流方式が取られていることが考えられるが現時点では確認できていない。東京都を見ると、下水道管と上水道管延長の間に相関は見られない。前述したように東京都での上水道管延長データは夜間人口を指標として推定されていた。ゆえに、下水道管データは人口ではない他の指標から推定されている、もしくは実際の延長のデータを用いていると考えられる。



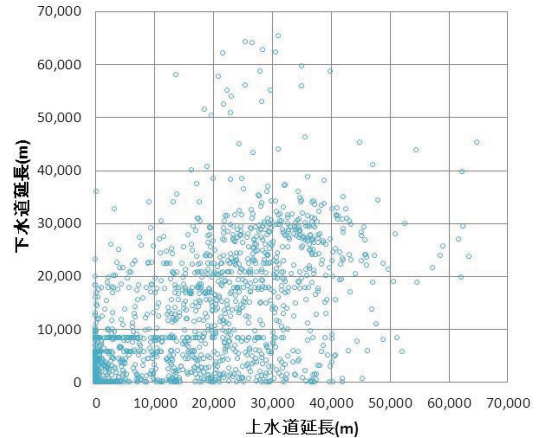
(a) 埼玉県



(b) 千葉県



(c) 神奈川県



(d) 東京都

図-1 首都圏における上下水道延長データの対応 (250mメッシュ別)

ガス管においては十分な情報が得られなかったため、どのようにメッシュ毎の延長データを作成しているのか、もしくは実際の延長データを用いているのかについて本研究では明らかにしていない。しかしながら、ガス管のデータは非常に入手が困難であるため、有効な推定法の必要があるものと考えられる。

3. 上水道管路延長分布の推定

(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¹⁰⁾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。その場合、低層木造住宅と、高層ビルのような大きな建物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。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った。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て推定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

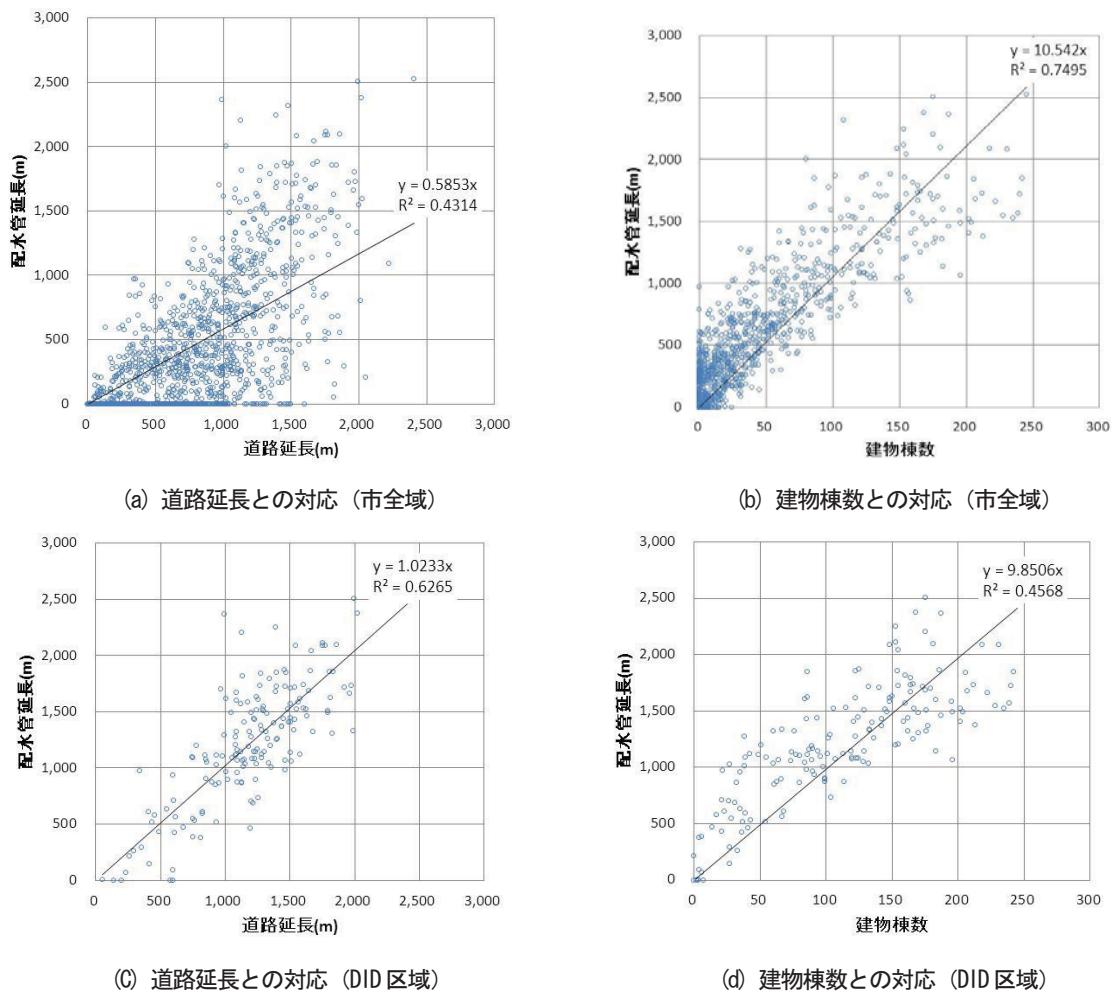


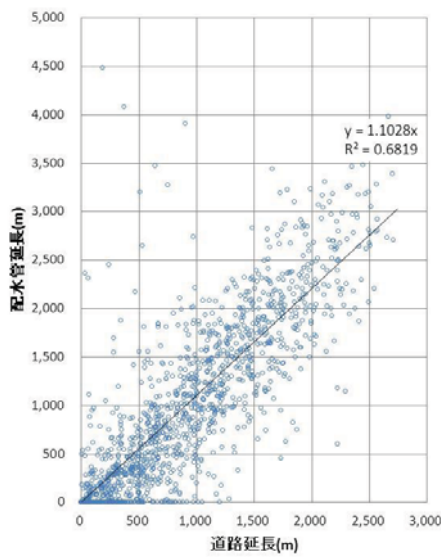
図-2 新潟県柏崎市における道路、建物棟数と配水管延長との対応 (250m メッシュ単位)

データよりも比較的手に入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は実用的であると考えた。

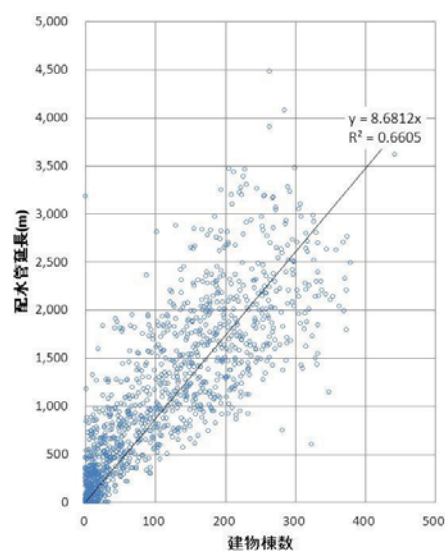
研究の流れとしては、対象地域を詳細な管路データが得られた新潟県柏崎市として道路データによる推定法を提案し、神奈川県A市にて結果の検証を行う。新潟県柏崎市において使用する配水管データは柏崎市ガス水道局より提供されたものを使用し、その属性には材質、口径、継手種別等の情報が含まれている。道路による推定法の指標となる道路データには、平成14年に作成された日本地図センター発行の「数値地図2500」に含まれているものを用いた。

(3) 上水道延長と道路延長の関係

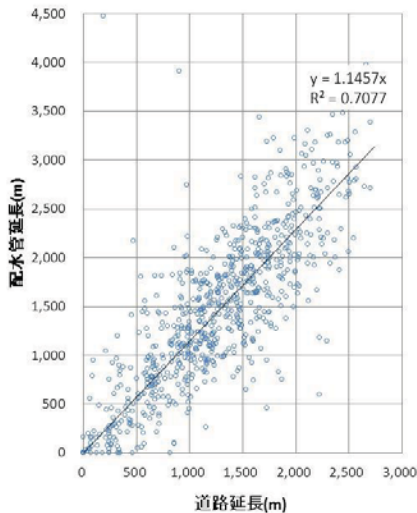
柏崎市における 250m メッシュ毎の配水管と道路の延長を比較する。その際、両者の相関を見るために、道路延長データが存在するメッシュを抽出し比較対象とした。その結果、双方の延長が異なるメッシュが多数見られた(図-2a)。要因として、道路データの中に含まれていない私道等に、配水管が埋まっている箇所が数多くあることが考えられる。また、逆に水道管が埋設されていない市街地外の道路も多数存在することが確認された。これは田畑などが多い柏崎市の地域状況も影響していると考えられる。このように、柏崎市と首都圏では市街地状況が異なるために、同様に評価することは困難と考えられる。そのため、柏崎市で有効であるという結果が得ら



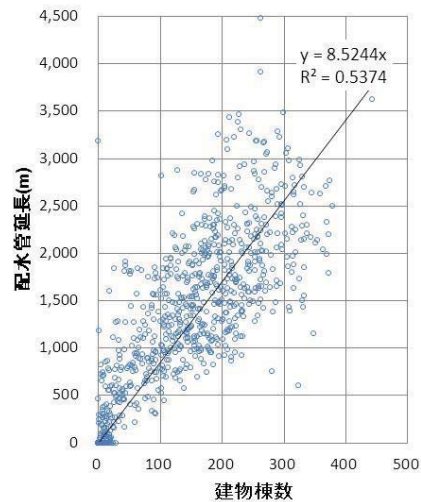
(a) 道路延長との対応(市全域)



(b) 建物棟数との対応(市全域)



(c) 道路延長との対応(DID 区域)



(d) 建物棟数との対応(DID 地区)

図-3 神奈川県A市における道路、建物棟数と配水管延長との対応(250mメッシュ単位)

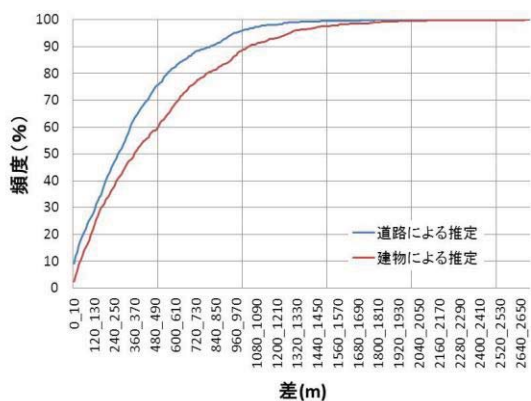


図-4 各々の推定法における誤差の累積分布

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ができると考えた。DID区域のデータは、国土交通省が公表する国土数値情報¹¹⁾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-2c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。また、従来の推定法に用いられる建物棟数と配水管延長との対応も調べた（図-2b,d）。その結果、DID区域の場合で道路と配水管延長の間に高い相関が得られた。市全域では建物棟数との対応において高い相関が見られるが、これは前述した田畑等の市街地状況の影響により道路と配水管との関係性が薄くなったためであると考えられる。ゆえに地区を限定すれば、建物棟数を延長推定の指標とするよりも、道路延長データを用いることによって配水管延長の推定を高い精度で行うことが期待できると推測される。

(4) 神奈川県A市における検証

神奈川県A市において、道路と配水管延長との対応を検証し、道路の延長を配水管延長とした際の精度を評価する。市全域、DID区域それぞれの場合における250mメッシュ毎の道路と配水管延長の対応を図-3に示す。柏崎市のように、DIDに限定した地域と市全域と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。決定係数を比較したところ、とくにDID区域の場合で道路と配水管延長において高い値が得られる結果となった。また図-2cにおいて、配水管が4km近く

表-1 柏崎市における各ライフラインの延長

単位:m		ガス管	下水道	上水道	道路延長
管が普及している地域		389,268	380,765	374,720	447,121
	上水道との差	-14,547	-6,045	-	-72,401
	道路との差	57,853	66,356	72,401	-
DID区域		220,149	206,591	201,748	192,976
	上水道との差	-18,401	-4,843	-	8,772
	道路との差	-27,172	-13,615	-8,772	-

あるのに対し、道路は500m程度しか存在しないメッシュがいくつか見られるが、これは現在は住宅地となっている地域において、数値地図のデータが古いために道路のデータが存在していないことが影響している。これより、異なる道路データを用いることによって、さらに両者の間の相関を高くすることが可能であると考えられる。さ

らに原点固定の回帰直線を求めたところ、その傾きは1よりも大きくなっている（図2-c）。つまり、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、また幅員の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が影響していると推測される。

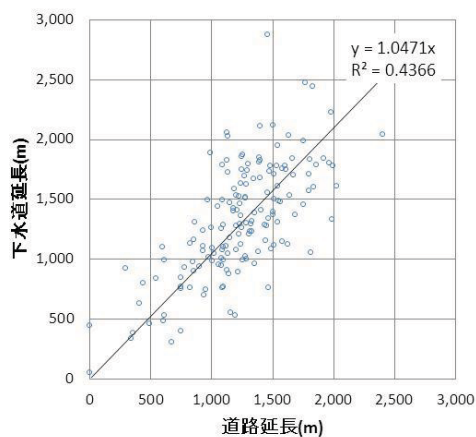
図-4は道路による推定法の精度の評価を行うため、DID区域における道路延長と実際の配水管延長の差を算出し、その累積分布を求めたものである。これより、このA市の例では建物棟数を指標とするよりも、道路延長を配水管延長とした場合においてその精度が高いという結果が得られた。

4. その他ライフライン・データ推定の検討

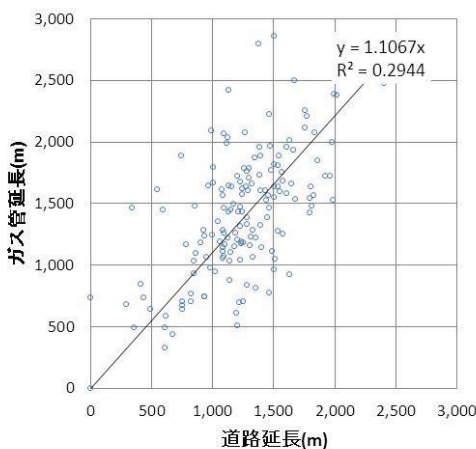
(1) 道路を用いたライフライン延長の推定

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。しかしながら、上水道と同様に被害予測に必要な情報を含んだメッシュ単位の延長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でのデータの有効な推定法を提案することによって、データの入手が困難であった場合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。

本研究では、ガス管、下水道管の埋設管も配水管同様、道路との関係性が高いと推測した。表-1に各々の埋設管、さらに道路の総延長を取りまとめたものを示す。これより、やはりDID区域において道路延長と各埋設管との延長の値が近くなっているため、限定した地域におい



(a) 下水道管



(b) ガス管

図-5 柏崎市における各埋設管と道路延長の対応 (DID 地区, 250m メッシュ単位)

て道路を各埋設管延長の推定の指標とできると仮定した。DID区域での下水道管、ガス管と道路のメッシュ別延長の対応を調べた結果を図-5に示す。ある程度の相関性は見られるものの、このままでは道路を各埋設管延長の推定の指標とするには充分とはいえない。そこで、まず基礎的検討として特に関係性が高いと推測される上水道と下水道管、上水道とガス管に注目し、各々の関係性の把握を行う。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。下水道データは柏崎市現況図(下水道台帳、紙図面)を数値化したもの、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使用した。

(2) メッシュ毎の下水道延長と配水管延長の関係

下水道の被害想定においても、基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¹²⁾。先の章で述べたとおり、首都圏では千葉、埼玉、神奈川の3県においてメッシュ別

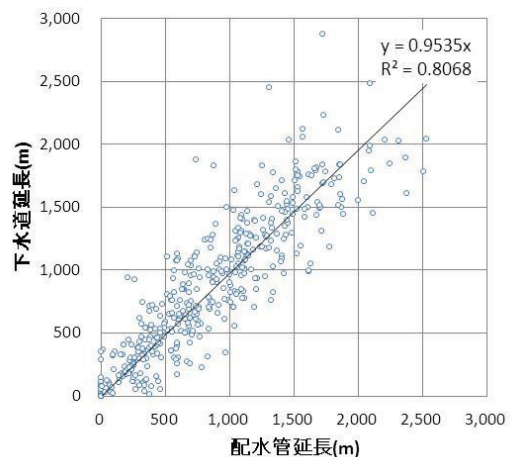


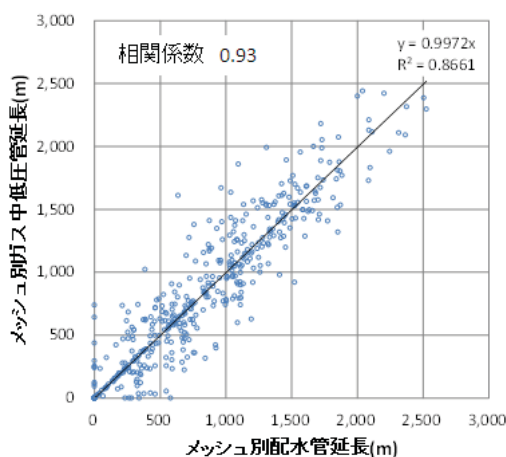
図-6 柏崎市における下水道管と配水管延長の関係 (下水道設置範囲, 250m メッシュ単位)

下水道延長のデータは、建物棟数を比例配分することによって作成されていた。しかしながら、上水道延長推定と同様、建物棟数による推定法はその精度に問題があるといえる。

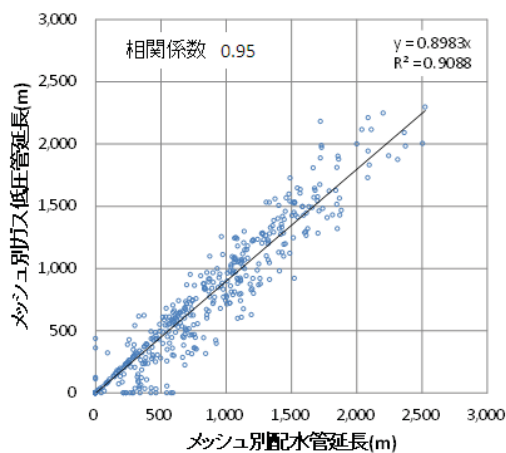
250mメッシュ別の配水管延長と下水道管延長の関係を図-6に示したところ、比較的高い相関が得られる結果となった。ゆえに、配水管延長を下水道管延長推定の指標とすることが可能であると推測される。しかしながら、点がバラついていることから両者の延長に差があることが見て取れる。この要因としては作成された下水道データにおいて、紙図面をデジタル化した際の誤差、紙図面と国土地理院の基盤地図情報を重ね合わせる際の誤差、そして人孔をデジタル化する際に生じる誤差が含まれていると考えられる。また、GIS上で配水管と下水道のラインデータを細かく見たところ、主に住宅街や幹線道路において配水管が2本埋設されているのに対して下水道管が1本しか通っていない地点が多く見受けられた。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も見られた。さらに柏崎市では、下水道に分流方式¹³⁾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。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。

(3) 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状である。各都県での被害想定を見ると、計算作業は各ガス事業者へ委ねる、もしくは協力を得て行われる場合が主であった。神奈川の地震被害想定においては、高坂



(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-7 柏崎市におけるガス管と配水管延長の対応
(250mメッシュ単位)

他(1998)¹⁴⁾による被害関数を用いてガス導管の被害件数を予測する方法も用いられていた。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対応を図-7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。その結果、低圧管のみを考慮した場合において非常に高い相関性が得られた。しかし、配水管延長の方がガス管よりも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、またその逆の場合もあることが分かり、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。ゆえに下水道管と同様、ガス低圧管においても配水管延長をその延長の推定における指標とできると考えられる。しかしながら、本研究で対象とした柏崎市では、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。

5. 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という結果が得られた。ゆえに地域を限定すれば、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、DID区域外においては配水管延長の推定の指標として、道路データのみを指標とした推定は困難といえる。よって、それらの地域では他の指標を用いた場合での検討を行っていく必要があるといえる。

また、配水管だけでなく、下水道管、ガス管においても道路データを推定の指標とすることが可能であるか検討を行った。その結果、ある程度の相関は見られるものの、道路データをそのまま指標とするには充分ではなく、今後さらなる検討が必要といえる。また、上水道と下水道、ガス管それぞれの相互の関係性を把握したところ、双方に高い関係性が得られ、特にガス低圧管と配水管延長の間において非常に高い相関があった。以上より、下水道管とガス管のメッシュ単位の延長データを推定するには、道路よりも上水道データを指標として用いた方が精度が良いという結果となった。

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 卷，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) 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>
- 12) 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/sewerage/info/seisaku_kenkyu/jishinhigai/04.pdf
- 13) 柏崎市ガス水道局：
<http://www.city.kashiwazaki.niigata.jp/detail/3940624027.html>
- 14) 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.

(2011.11.17 受付)