



被害想定のための道路網データに基づく下水道管路の分布推定

中澤良太¹⁾、山崎文雄²⁾

1) 非会員 日鉄住金パイプライン&エンジニアリング株式会社（元千葉大学大学院生）、修（工）
e-mail : vcf.silva21@gmail.com

2) 正会員 千葉大学 大学院工学研究科建築・都市科学専攻、教授 工博
e-mail : fumio.yamazaki@faculty.chiba-u.jp

要 約

日本の各自治体において地震被害想定がなされているが、これに必要となるメッシュ単位の埋設管路データの整備は十分になされていない。建物棟数など、他のデータからの推定により作成されている場合が多く、その精度に問題がある。そこで本研究では、実際の下水道および道路データのある浦安市を対象に、250mメッシュ毎の下水道延長と道路延長との相関分析を行った。また、道路の幅員を考慮した推定法なども検討した。この推定法の精度を評価するために、柏崎市を対象にこれらの推定法を既存の推定法と比較し、より高い推定精度であることを確認した。

キーワード： 地震被害想定、GIS、道路網データ、下水道、250mメッシュ

1. はじめに

地震による被害軽減のためには、都市機能を維持する戦略を立て、仮に被災しても早期に復旧する計画を立てることが有用であると考えられる。その一環として我が国では、国や自治体において、地震被害想定が行われている¹⁾⁴⁾。被害想定に使用される被害予測手法は多数あり、想定の実施主体や実施時期によって異なっており、詳しくは報告書⁵⁾にまとめられている。近年行われた下水道の被害想定では、国土交通省の方法⁶⁾が、上水道の被害想定では日本水道協会⁷⁾のものや東京都の式⁸⁾などが用いられているが、いずれも1995年兵庫県南部地震などの過去の被害データに基づいて統計解析により構築されたものであり、2011年東北地方太平洋沖地震などの新しい被害地震が発生すると、その都度、被害データを取り入れて更新する必要が指摘される。

地震被害想定の中での1つの重要な項目である、エネルギー供給や水供給・処理系のライフライン網の被害想定は、ネットワークデータの取得が容易でなく、また地盤・地震動などのデータが通常メッシュ単位で想定されることが多いため、同じくメッシュ単位で行われている。近年の多くの被害想定では、建物やライフラインのデータ構築と被害推計は、250m標準メッシュを採用している場合が多い²⁾⁴⁾。しかし、各自治体において埋設管路データはメッシュ単位では整備されておらず、建物数メッシュデータなどからの推定によって、作成されている場合が多いことが分かった⁹⁾¹⁰⁾。物的な地震被害想定は、地表面地震動、メッシュ単位の構造種別の総量（埋設管の場合は管種・管径別の延長）、対象構造種別の被害予測式の3つの要素で決定されるが、メッシュ単位の基盤データの作成法は報告書に記述されていないことが多く、重要であるにも関わらず盲点となっていた。そのように推定され

たメッシュ基盤データを用いて計算される被害想定結果も、当然ながら精度が高いとはいえない。

そこで本研究では、地震被害想定への精度向上の一助となることを目指して、実際の管路網データが得られた千葉県浦安市を対象に、下水道のメッシュ延長データの構築を試みる。

2. 現状の埋設管メッシュ延長データの問題点

現在、日本の地方自治体では、水道や下水道台帳の電子データベース化の途上にあるところが多い。都道府県内の全自治体を対象とする被害想定では、これらが未整備の自治体が残っている場合が多い。したがって、埋設管路データを GIS 上の作業でベクター（管路ネットワーク）からラスター(250m メッシュ)に容易には変換できないため、メッシュ単位の管種・管径別の延長データを他の GIS データから推定し、地震被害想定に用いていることが多い。

千葉県地震被害想定調査²⁾を例にとると、各市町村における下水道の総延長をもとに、建物棟数で比例配分することで各メッシュにおける下水道延長を推定していることが図 1 からわかる。千葉県の被害想定に用いられた下水道のメッシュ延長データは、建物数データとほぼ直線関係にあり、建物棟数をもとに作成されたものであると推察できる。完全比例関係でない理由は、想定に用いた建物データの構築時期と、下水道データの構築に用いた建物データの構築時期に差があることが考えられる。新たに建物が建てられたであろうメッシュにおいて、下水道の延長が過小評価されているのは、恐らくこのためであると考えられる。建物課税台帳からの集約で各自自治体が作成する建物データは、信頼性が高く被害想定の方針データとなっている。一方、下水道や上水道のデータは自治体共通の方法での作成が容易でないため、メッシュ単位の建物数からの按分により作成されていたことが、この図からも明らかになった。

このような推定法を用いた場合、メッシュ単位の建物数（建物棟数密度）だけが推定管路延長に影響するため、大きなビルが立ち並ぶオフィス街であるか、住宅密集地域であるかなどの市街地状況が考慮されない。すなわち、建物棟数密度が低い地区では推定延長は実延長より過小に、また高い地区では過大に推定されることになる。すなわち、同じ被害予測式を適用した場合、前者は被害数が過小に、後者は過大に推計される。このように建物データ等から推定された埋設管延長に基づいて行われる被害想定への精度には疑問があり、より正確な管路網のメッシュ延長データの推定法が求められる。

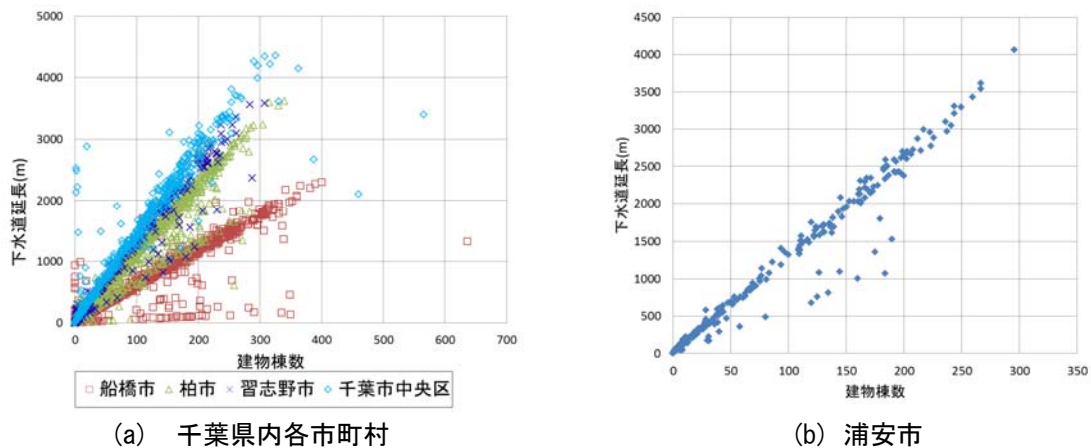


図 1 千葉県地震被害想定²⁾に用いられた下水道データと建物棟数データの関係 (250m メッシュ単位)

3. 下水道のメッシュ延長分布の推定法

小林ら¹⁰⁾は、上水道の配水管は基本的に道路の下に埋設されているため、配水管と道路の間には高い空間的な相関があると推測した。仙台市の配水管路網を対象に、GIS を用いて 250m メッシュ単位の配水管延長と道路延長の関係性を調べ、道路データに基づく配水管延長データの推定法を提案した。

すなわち市街地では、配水管は道路下に1本ないし2本（幅員13m以上の道路）埋設されていると考え、市街地の外では、近接して建物が存在する道路にのみ配水管が埋められていると設定した。本研究ではこの手法に基づいて、下水道と道路のメッシュ単位の延長の間においても、上水道と同じように高い相関がみられるかどうかについて検討する。ここで上水道と下水道は、平面的な埋設位置は近いと考えられるが、水の流れが浄水場から需要家に向かう上水道に対し、下水道では利用者から発生した下水が処理場に集まるという逆の流れであり、ネットワークの特性は異なっている。

対象地域は、埋設管の詳細なデータが得られた千葉県浦安市(図2)とし、下水道管路データは浦安市より提供されたものを使用する。なお、浦安市の下水道の処理方式は污水管と雨水管の分流式となっており、本研究ではこのうちの污水管を対象とした。浦安市の下水道(污水管)管路網を図2(b)にGISで表示する。なお浦安市は、千葉県の江戸川左岸流域下水道事業に加わっており、全ての汚水は隣の市川市にある江戸川第二終末処理場において処理されている。

浦安市の道路データとしては、インクリメントP株式会社のIPC道路データ(2009年)を使用する。これらのデータは図2(c)に示す。本研究では、GISを用いてこれらの道路データと下水道データの詳細な位置関係を把握し、一般に入手が容易である道路データに基づいて、下水道のメッシュ単位の延長を推定する手法を提示する。なおここで提案する方法は、あくまで現状の建物データから推定する方法より精度が期待できるものの、自治体が管路網GISデータベースを整備して、それに基づいた集約データを構築する方が望ましいことは言うまでもない。



(a) Google Earthによる衛星画像



(b) 下水道管路データ



(c) IPC道路データ

図2 浦安市の下水道管路及び道路網のGISデータ

4. 浦安市を対象とした下水道延長の推定

4.1 下水道と道路のメッシュ延長の関係

日本の下水道処理人口普及率は2013年時点で76.3%となっており¹¹⁾、2012年の水道普及率¹²⁾が97.7%であることと比較すると、未整備の地域が多いことがわかる。国土交通省国土政策局が提供する国土数値情報¹³⁾では、ごく最近、上水道関連施設データとして、浄水場（その他関連施設）の位置（点）に加えて、給水区域（上水道事業と簡易水道事業）の範囲（面）が公開されている。一方、下水道関連施設に関しては、国土数値情報では、処理場施設およびポンプ場施設の位置が公開されているに留まっている。そこで、小林らの方法¹⁰⁾に準じて、下水道が整備されている地域についても、人口集中地区(DID)を指標に推定することを試みる。

DIDは日本の国勢調査において設定される統計上の地区であり、人口密度が4000人/km²以上の区域が連続して、なおかつ隣接する基本単位区との合計人口が5000人以上の区域を指す。このことから基本的にDIDは、建物が密集している市街地とみなすことができ、下水道需要も多いと考えられる。DID区域のデータは国土数値情報よりダウンロードすることが出来る。

本研究の対象地域である浦安市は、ほぼ全域がDIDであり、2014年時点で市内の下水道人口普及率99.6%、下水道面積普及率93.3%となっている¹⁴⁾。下水道管は道路下に埋まっていることから、浦安市のように、市街地化と下水道整備が進んでいる地域では、ほぼ全ての道路に下水道管が埋まっていると考えられる。そこでまず、道路と下水道の各延長を250mメッシュ単位で比較した(図3)。比較するにあたって、下水道が埋設されていないことが明白である高速道路を道路データから除外した。相関

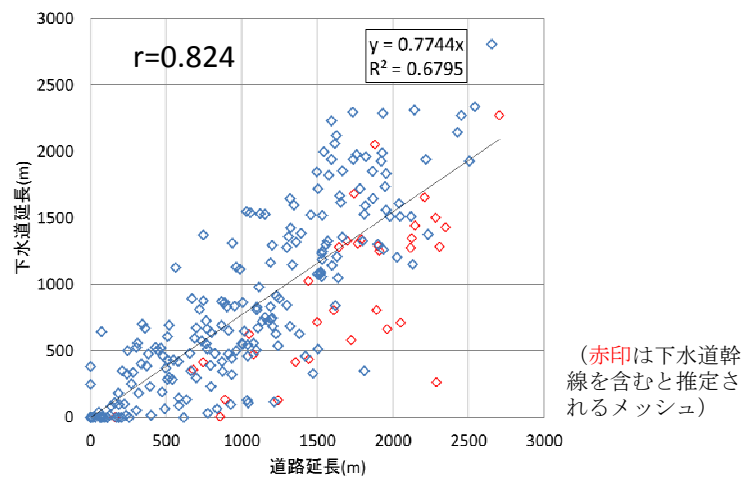
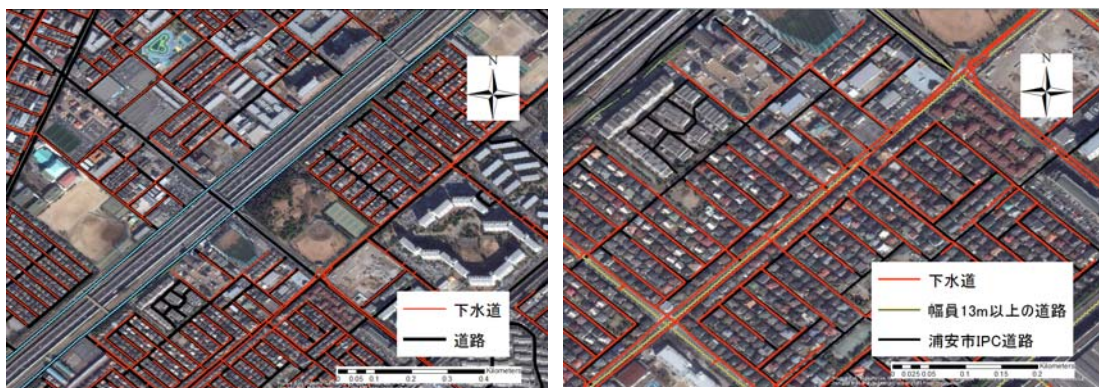


図3 IPC道路データを用いた浦安市の下水道250mメッシュ延長の推定



(a) 国道357号周辺（青いラインは国道） (b) 道路の両側に下水管が埋まっている箇所

図4 浦安市の道路と下水道のGISデータ

係数(r)は 0.824 と高い関係性が確認できたが、両者の延長の差が大きくなっているメッシュが見られる。そこで、これらの地点について GIS 等で詳細を確認することにする。

GIS より首都高速湾岸線と並行して浦安市内を走っている国道 357 号には下水道が埋まっておらず、国道 357 号を含むメッシュにおいて道路延長と下水道延長の差が大きくなってしまっていることが確認できた。また、1 本の道路に下水道が複数本埋設されている箇所が見られた(図 4)。

4.2 幹線管路を考慮した下水道延長の推定

まず 1 本の道路に対して複数本の下水道が埋設されている箇所について検討する。既往の研究において、小林らは幅員 13.0m 以上の道路には配水管が複数本埋設されているとし、250m メッシュ単位の配水管延長推定の精度を向上させている。そこで本研究においても、まず幅員 13.0m 以上の道路については推定延長を 2 倍にすることで、相関係数が向上するか確認したが、相関係数は逆に下がった。さらに詳細に下水道の埋設箇所について GIS を用いて確認したところ、下水道幹線が通っている道路に複数本埋設されている箇所が多く確認できた。そこで下水道幹線が埋設されている道路を考慮した推定を行うために、まずは下水道の幹線が埋設されている道路を推測することとする。下水道の幹線は枝線から運ばれてきた汚水を取り込み、処理場まで運ぶ管であり、基本的に下水道整備区域内の主要な道路に埋設されている。本研究では、幹線が埋まっている道路には枝線も埋まっていると考え、延長推定を行う。

下水道の基本計画では、20ha 以上または 10ha 以上の区域を対象に汚水処理のブロックを形成し、そのブロックで集められる汚水が幹線へと流れるように検討することが通例である¹⁶⁾。本研究では、汚水処理のブロックの指標として町丁目の属性を含んだ街区ポリゴンデータを用いる。浦安市のほぼすべての町丁目は 20ha 以上または 10ha 以上の区域という条件を満たしているためである。使用する街

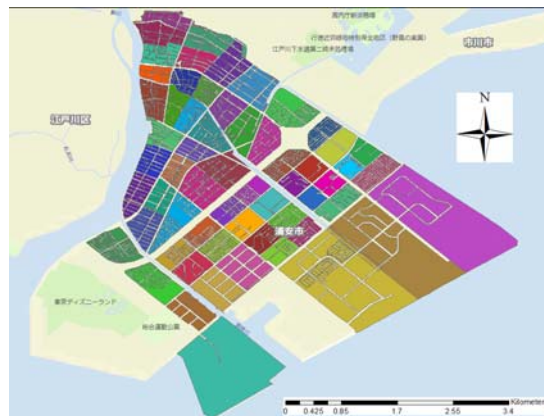


図 5 浦安市内の街区ポリゴンデータ



図 6 実際と推定した下水道幹線位置の比較

区データは国土院が発行している数値地図 2500¹⁷⁾に含まれているデータである。浦安市の下水道処理区域内の街区ポリゴンデータを図 5 に示す。なおポリゴンの色は、隣り合う町丁目の色が重ならないようにしてある。基本的に幅員 13.0m 以上の道路には幹線が埋まっており、その道路には枝線も埋まっていると考え、延長推定を行う。しかし、幅員 13.0m 以上の道路であっても、一つの町丁目内に含まれる道路は主要道ではない場合が多いと考え、下水道幹線が埋設されていないとする。また 1 本の道路がデータ上、2 本のラインデータとして表現されている道路があったため、このようなデータについては幅員の広い 1 本の道路とみなし、幅員 13.0m 以上の道路と同様に上記の条件を満たしている場合、幹線が埋設されている道路とみなす。これらの条件で幹線が埋設されていると推測した道路と実際の下水道幹線を図 6 に示す。そして幹線が埋まっているとされる道路について延長を 2 倍にして実際の下水道延長と 250m メッシュ単位で比較した結果を図 7 に示す。図 3 と図 7 のグラフ内の赤いポイントは推定した幹線を含んでいるメッシュである。この操作によって、相関係数は 0.832 となり、精度を向上させることが出来た。

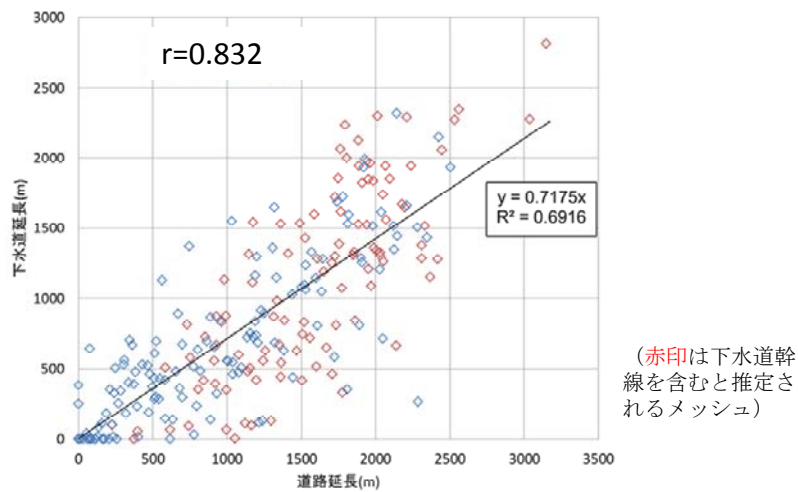


図 7 250m メッシュ毎の道路延長と下水道延長の比較（幹線の埋設が推測される道路延長を 2 倍）

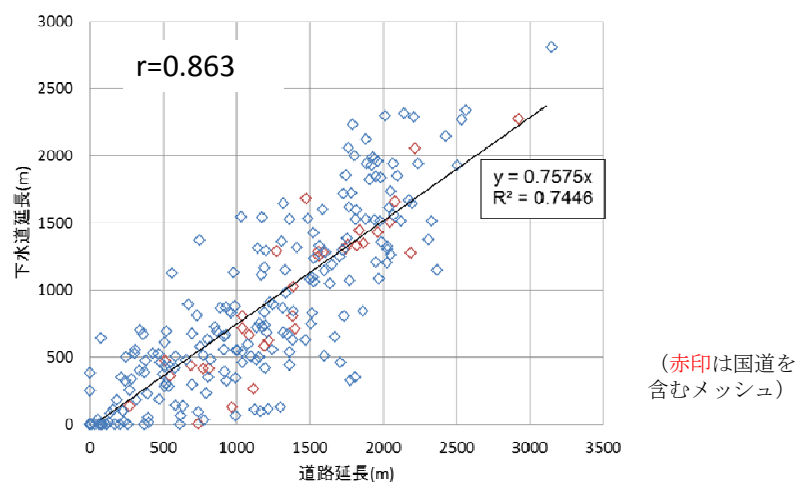


図 8 250m メッシュ毎の道路延長（国道を除去）と下水道延長の比較

4.3 国道について

IPC 道路データには、道路管理者、道路種別、車線数、道路幅員などの属性情報が含まれている。道路データに基づく下水道の推定延長と実延長をより近づけるため、ここで道路の属性情報を利用する。まずは国道 357 号線を推定延長から取り除く。この際、経路種別に関する属性情報が国道となってい

る道路を除外した。他に道路管理者、広域フラグ等の属性情報を用いても、この道路のみを抽出することが出来た。図8に図7の結果から国道を除去した道路延長による下水道延長の推定結果を示す。図の赤いポイントは国道を含んでいた地域に該当するメッシュであり、その分の推定延長を除外した。除外した道路延長は12,911mとなり、該当する多くのメッシュにおいて下水道延長と道路延長の差が小さくなった。また散布図のばらつきも明らかに小さくなったことで相関係数は0.863となり、精度を向上させることが出来た。

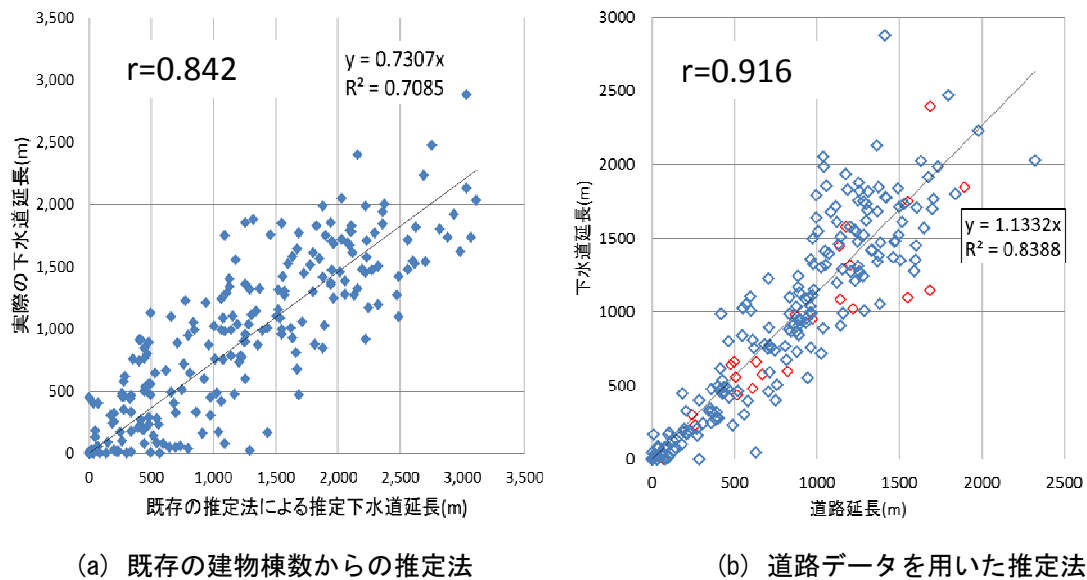


図9 柏崎市における下水道メッシュ延長推定法の検証 (250mメッシュ単位)

5. 推定法の精度検証

本章では、これまでに示してきた推定法を他地域で用いて、現状の推定法と比較することでその精度を検証する。精度検証の対象地域は正確な下水道データ、建物データが得られた新潟県柏崎市のDID内とする。まず、現状の推定法に用いられている建物棟数と、実際の下水道延長の関係を調べた。使用する下水道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、建物データには柏崎市役所税務課内の「中越沖地震関連デジタルデータ利活用協議会」より提供された建物の中心点位置が与えられたものを使用した¹⁸⁾。

まず、現状の推定法に用いられている建物棟数と、実際の下水道延長の関係を調べた。建物棟数を用いた既存の推定法により求められる250mメッシュ毎の下水道延長と実際の下水道延長の関係を図9(a)に示す。また250mメッシュ毎の道路延長と実際の下水道延長の関係を図9(b)に示す。図の赤いポイントは国道を含んでいるメッシュを示している。柏崎市を通る国道は国道8号線及び国道252号線であった。これらの道路周辺の下水道埋設状況について図10に示す。図の青いラインが国道、赤いラインが下水道である。国道には下水道が埋まっている箇所が見られるものの、断続的であり、下水処理の需要家につなぐための必要最低限の埋設であることがこの図から窺える。この理由について、自治体は埋設管の管理や交通量を考慮して、出来る限り国道を避けて埋設管のルートを選定していることが指摘できる。実際に浦安市と同様に、柏崎市において、これらの道路を推定延長から外して下水道延長の推定を行った結果が、図11である。国道を推定下水道延長から外したことによって、ここでも相関係数はわずかながら向上した。このように同じ国道といっても、大規模な直轄国道は下水道が埋設されている可能性が低いと除去した方が良いが、柏崎市のような都道府県管理の補助国道の場合は、必ずしも除去する必要性は高いとはいえないであろう。



図 10 国道 8 号線及び国道 252 号線の周辺の道路と下水道管路の状況

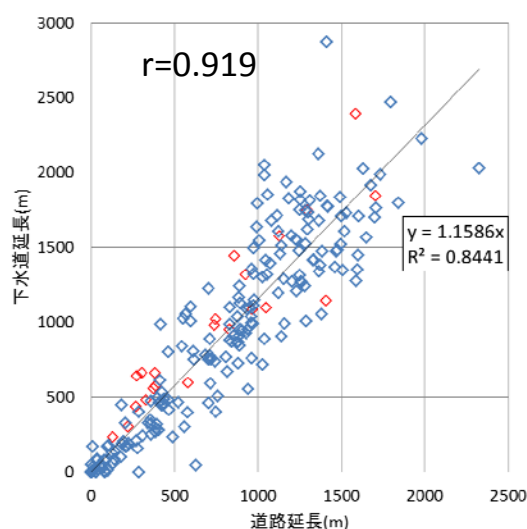


図 11 柏崎市における国道を除外した道路延長と下水道延長との比較
(赤いポイントは国道を含むメッシュ)

また下水道の口径について調べたところ、これらの国道沿いには250mm以上の下水管は埋設されていないこともわかった。このように大きな管路を敷設していないことから、下水処理の需要家になが最低限の埋設であるといえる。結果として、道路データに基づく250mメッシュ毎の下水道延長の推定は、求められた相関係数が0.919となり、建物棟数を用いた既存の推定法による推定の相関係数0.842を大きく上回った。メッシュ毎の実延長と推定延長の差のばらつき具合も既存の方法より小さいことが図から読み取れ、高い精度で推定が可能であるといえる。

なお、実際に推定を行う際には、自治体毎の道路延長（推定延長） L_e と下水道統計の総延長 L_r では差異が生じてしまうため、メッシュ単位の推定延長にそれぞれ補正係数 (L_r / L_e) を乗じて下水道統計の値と一致させることとする。

また本論文で取り上げた浦安市及び柏崎市の下水道はともに分流式であるが、日本全体でみると古くから作られた下水道を中心に、下水道人口普及率の約3割は合流式である。合流式の場合は、雨天時には汚水に加え雨水が流入するため、管きょ内の流量が増大し、処理場に送水できない下水は、未処

理のまま雨水吐き室等から公共用水域に放流される可能性があるなどの問題が指摘される。しかし、管路延長データの推定に関しては、とくに污水管との大きな違いは考えにくく、ここで提案した手法がそのまま適用できると考えている。

6. まとめ

本研究では、地震被害想定における埋設管路のメッシュ単位の延長データの構築手法の問題点を示すとともに、千葉県浦安市を対象として道路データを用いた下水道のメッシュ延長の推定を行った。まず、浦安市のように市街地化と下水道整備が進んだ地域において、基本的に道路延長が推定下水道延長であるという仮定のもとに、IPC 道路データを用いて検討を行った。また、GIS を用いて道路と下水道管路の位置関係を詳細に確認した。

次に、新潟県柏崎市を対象に、建物棟数データを用いた既存の推定法と比較したところ、道路データに基づく 250m メッシュの下水道延長の推定結果は、相対的に遥かに高い精度であることが示され、下水道整備が進んだ地域において、道路データを用いた下水道の推定法は有効であることが検証された。また、国道沿いでは下水処理の需要家につなぐための必要最低限の埋設であることがわかった。国道沿いの埋設状況に関しては、さらに多くの地域で確認する必要がある。

本研究の結果として、道路網に基づく下水管路延長分布の推定法は、地震被害想定精度向上に貢献できるといえる。しかし、被害予測に必要な管種・管径の情報を考慮することが出来ていないため、それらを考慮した推定法が必要となる。高精度な管種、管径別の下水管路延長分布の推定法を構築するためにも、今後はより多くの地域のライフラインデータの収集に努め、上水道、下水道、道路データのそれぞれの位置データの違いなどについて、より詳細に調査し、それぞれの特性を明らかにしていきたいと考えている。

謝 辞

本研究で使用した下水道管路データは、浦安市および柏崎市ガス水道局より提供いただいた。記して御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 中央防災会議 首都直下地震対策検討ワーキンググループ:首都直下地震の被害想定と対策について(最終報告), 2013 年. http://www.bousai.go.jp/jishin/syuto/taisaku_wg/pdf/syuto_wg_report.pdf
- 2) 千葉県:平成 19 年度千葉県地震被害想定調査報告書、2008 年.
- 3) 神奈川県:神奈川県地震被害想定調査報告書、2009 年.
- 4) 東京都防災会議:首都直下地震等による東京の被害想定(平成 24 年 4 月 18 日公表)、2012 年. <http://www.bousai.metro.tokyo.jp/taisaku/1000902/1000401.html>
- 5) 損害料率算定機構:国・自治体の地震被害想定における被害予測手法の調査(平成 25 年度調査)、地震保険研究 27、2014 年. http://www.giroj.or.jp/disclosure/q_kenkyu/27.html
- 6) 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 年. http://www.mlit.go.jp/crd/city/sewerage/info/seisaku_kenkyu/jishinhigai/04.pdf
- 7) 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、1998 年、pp.25-40.
- 8) 東京都:東京における直下地震の被害想定に関する調査報告書、1997.
- 9) 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, pp.390-399.
- 10) 小林朋美、山崎文雄、丸山喜久:道路網の GIS データに基づく上水道管路の分布推定、地域安全学会論文集、No. 21、2013 年、pp. 267-274.
- 11) 日本下水道協会:下水道処理人口普及率、2013 年. <http://www.jswa.jp/rate/>

- 12) 厚生労働省：水道普及率の推移、2012年。
<http://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/topics/bukyoku/kenkou/suido/database/kihon/suii.html>
- 13) 国土交通省：国土数値情報ダウンロードサービス、2014年。 <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html>
- 14) 浦安市：公共下水道普及状況、2014年。
http://www.city.urayasu.chiba.jp/secure/21416/H26_3hukyuujoyoukyou.pdf
- 15) インクリメントP株式会社：道路ネットワークデータ、2014年。
<http://www.incrementp.co.jp/products/sales/domestic.html>
- 16) 土木学会：都市ライフラインハンドブック、2010年。
- 17) 国土地理院：数値地図2500（空間データ基盤）、2006年。
- 18) 君島康太、丸山喜久、山崎文雄：新潟県中越沖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、Vol. 30、CD-ROM、2009年、pp. 614-621。

(受理：2015年 3月11日)
(掲載決定：2015年 9月 8日)

Estimation of the Distribution of Sewer Pipeline Lengths Based on Road Network Data

NAKAZAWA Ryota ¹⁾, YAMAZAKI Fumio ²⁾

1) Nippon Steel & Sumikin Pipeline & Engineering Co. Ltd., M. Eng.
2) Professor, Graduate School of Engineering, Chiba University, Dr. Eng.

ABSTRACT

Damage estimation for scenario earthquakes is extensively carried out by local governments in Japan for emergency response planning. However, local governments usually do not possess detailed grid data of lifeline systems with pipe material, diameter and length's information in the grid cell of GIS. The accuracy of lifeline's mesh data is considered to be highly related to the accuracy of damage assessment results. Therefore, to improve the accuracy of earthquake damage assessment, a correlation analysis is carried out to estimate the sewer pipeline length within a grid cell of 250 m from the corresponding road network's GIS data for Urayasu city, Chiba prefecture, Japan. The estimated sewer pipeline lengths were compared with the actual lengths from the GIS network data, and the efficiency of the estimation method from road network data is demonstrated.

Keywords: Earthquake damage assessment, GIS, Road network data, Sewer pipeline, 250m grid