

首都直下地震における上水道管と 木造建物の広域被害予測

丸山 喜久¹・山崎 文雄²

¹正会員 千葉大学准教授 大学院工学研究科 (〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町1-33)
E-mail:ymaruyam@tu.chiba-u.ac.jp

²正会員 千葉大学教授 大学院工学研究科 (〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町1-33)
E-mail:yamazaki@tu.chiba-u.ac.jp

本研究では、中央防災会議・首都直下地震対策専門調査会が想定している東京湾北部地震が発生したときの上水道管と木造建物の被害率を広域に統一された手法で予測した。対象地域は東京、神奈川、埼玉、千葉の1都3県とし、上水道管被害率と木造建物被害率は250mメッシュ単位で算出した。とくに大きな震度が予測されている東京湾沿岸の地域に関して町丁目ごとに上水道管と木造建物の被害率を整理すると、両者の被害率がともに高く予測される町丁目が各都県に存在することが分かった。これらの地域では、地震後の埋設管の復旧作業に大きな支障が生じる可能性が指摘される。

Key Words : *scenario Tokyo Metropolitan earthquake, water distribution pipe, wooden house, damage ratio*

1. はじめに

2004年10月に発生した新潟県中越地震以降、マグニチュード(M)7クラスの地震が近年頻発している。首都圏におけるM7クラスの地震の切迫性¹⁾は従来から指摘されており、その対策が急務である。東京、神奈川、埼玉、千葉の1都3県は、中央防災会議・首都直下地震対策専門調査会が想定している東京湾北部地震²⁾を想定地震として、地震被害想定結果をとりまとめ公表している³⁾⁶⁾。地震被害想定は、自治体やライフライン事業者の地震防災対策の充実、住民の自助力の向上に向けた基礎資料、大地震に対する自治体間の広域連携を推進するための基礎資料として用いられている⁷⁾。

地震被害想定では、発生が想定される地震をいくつか設定し、震源断層、地形・地質、地下構造などの自然条件の調査をふまえて、地震動強さ、液状化の発生などを予測する。これらの予測された外力と建物分布、人口、ライフライン施設、交通輸送施設など社会条件の調査結果をもとに、建物被害、火災被害、人的被害、土木構造物被害、ライフライン被害など多岐にわたる被害量を推定する。建物、埋設管、道路橋の被害率と地震動強さの関係式は種々提案されており、各都県が様々な被害関数で被害程度を見積もっている。首都圏には政治・行政機能、企業の本社機能等が集中しており、迅速な復旧・復

興活動が望まれ、広域連携の必要性が唱えられている⁸⁾。

適切な首都直下地震後の広域連携復旧戦略を立てるためには、都県の境界を越えた被害想定結果はその一助になるものと考えられる。また、統一された手法で広域被害予測をすることで、被害量の相対評価が可能となり、危険性の高い地域を県境にとらわれずに指摘することができ、首都圏の地震抑止力の向上に役立つ基礎資料としての活用も期待できる。

そこで、本研究では、東京、神奈川、埼玉、千葉の1都3県の地震被害想定で使用された空間基盤データを用いて、首都直下地震を想定地震とした広域被害予測を行った。具体的には、木造建物と上水道管の被害率を統一された手法で予測した。

2. 1都3県の地震被害想定基盤データの整理

首都圏では、プレート境界の潜り込みによって蓄積された歪みのエネルギーの一部が、相模トラフ沿いの規模の大きな地震に先立ってマグニチュード7程度の地震として放出される可能性が高いと指摘されている¹⁾。そこで、中央防災会議・首都直下地震対策専門調査会は、フィリピン海プレートと北米プレートとの境界の地震のうち都心部が影響を受ける場合の応急対策立案のための対

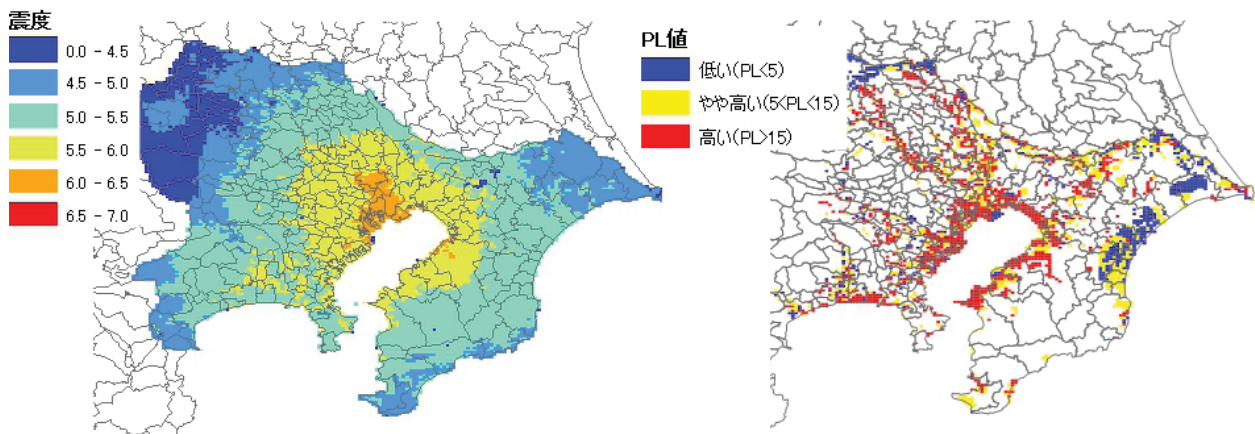


図-1 東京湾北部地震の計測震度と PL 値の分布

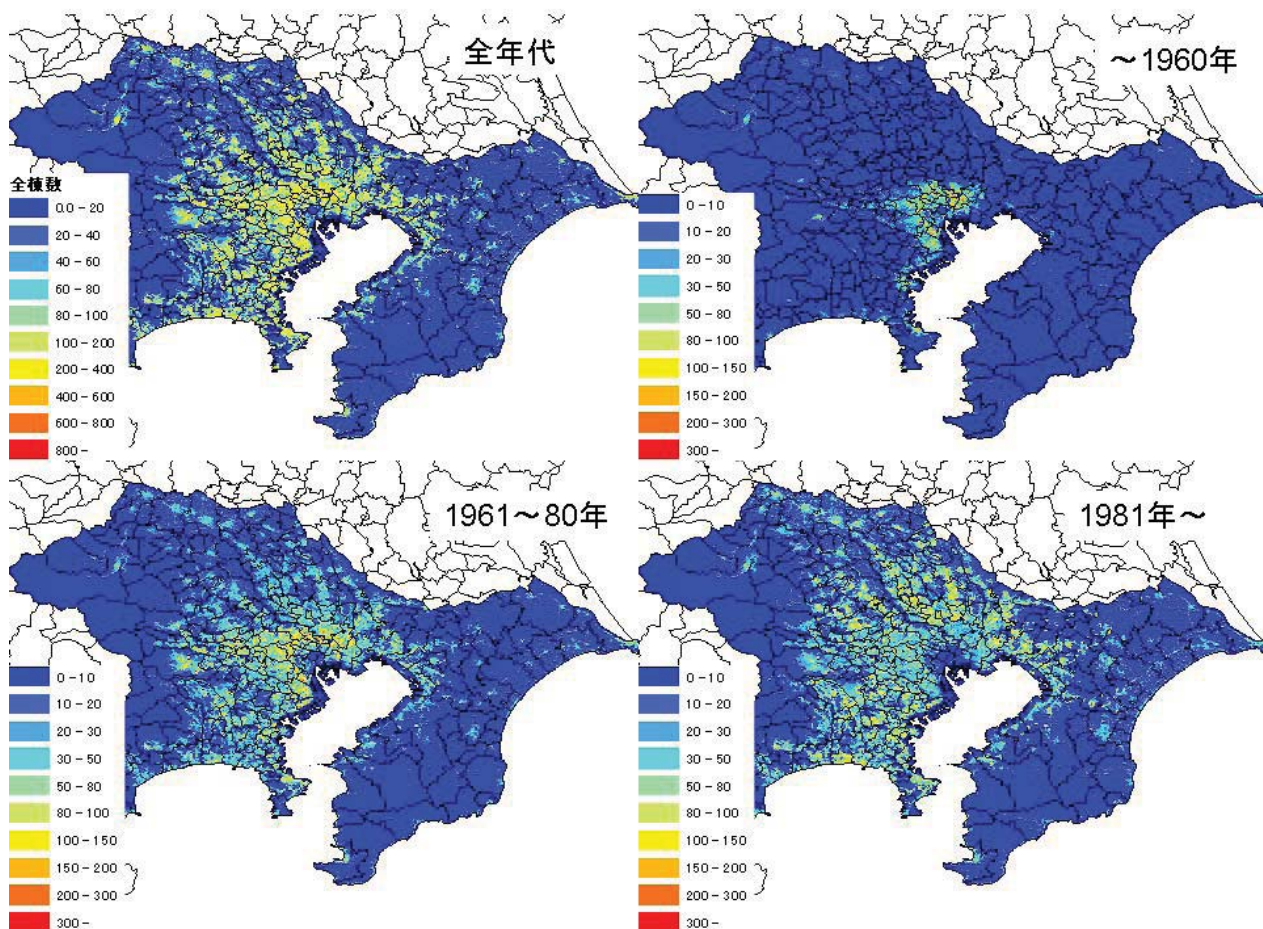


図-2 1都3県における建築年代別の木造建物数

象断層として東京湾北部の2断層面を設定した²⁾。東京湾北部地震はある程度切迫性が高い地震とされ、さらに都心部の揺れが強く、強い揺れの分布が広域的に広がっているため、首都直下地震の代表的なシナリオ地震として、各都県の地震被害想定で用いられている。

図-1に、東京湾北部地震 (M7.3) の計測震度と PL 値の分布を示す。内閣府では、1kmメッシュ単位の計測震度と PL 値を公開している⁹⁾。東京都江戸川区、墨田区、江東区で主に震度6強の揺れが予測され、東京湾沿いに広く震度6弱が想定されている。また、東京湾側の地域

では液状化の危険性も高いものと予測されている。

図-2に、木造建物総数の分布を示す。各都県が地震被害想定で用いた木造建物に関するデータは、250mメッシュごとに建物数が示されていることは共通するが、建築年代区分等が都県ごとに異なっている場合もあった。本研究では、1都3県の木造建物について統一された手法で被害予測を行うため、各都県のデータをそろえる必要がある。そこで、建築年代の区分を1960年以前、1961年～1980年、1981年以降の3区分とすることにした。千葉県の木造建物数データの建物区分は、1950年、1970年、

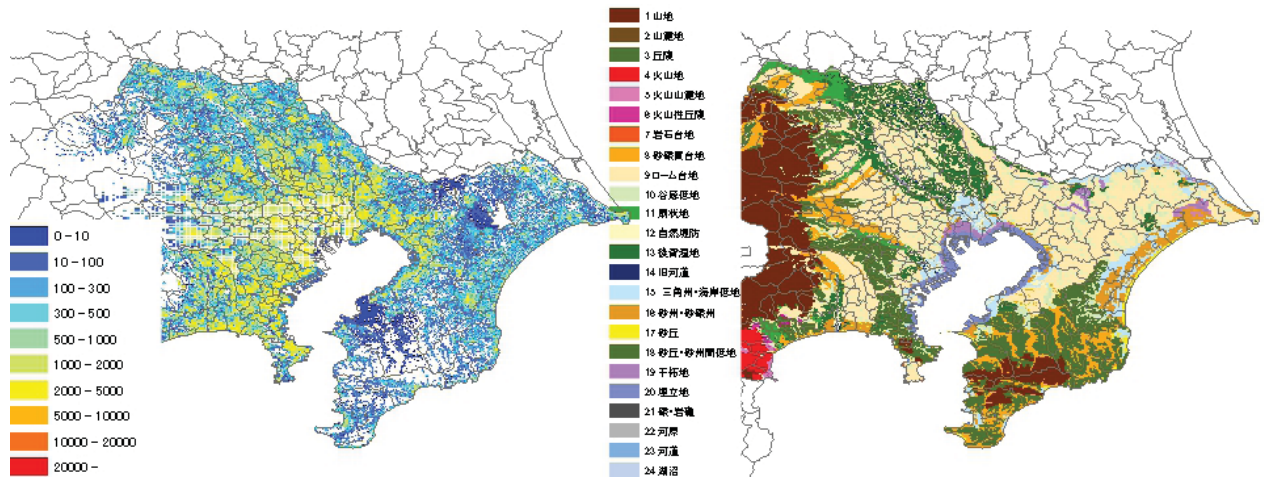


図-3 1都3県における上水道管路延長(m)と微地形区分

1980年を区切りとして作成されていたため、住宅・土地統計調査¹⁰⁾から得られる建物構造種別ごとの建築年代別の比率を乗じて、年代区分を3区分に換算した。

上水道管路延長データに関しては、木造建物データと同様に各都県でデータ区分が異なっていた。統一された手法で一括に被害予測を行うためには、データ区分を統一することが必要なため、管種6区分（铸铁管：CIP，ダクタイル铸铁管：DIP，ポリエチレン管：PEP，塩化ビニル管：VP，鋼管：SP，石棉セメント管：ACP），管径4区分（ $\phi 75\text{mm}$ 以下， $\phi 100\sim 150\text{mm}$ ， $\phi 200\sim 450\text{mm}$ ， $\phi 500\text{mm}$ 以上）に分類した。埼玉県の詳細については、平成18年度水道統計¹¹⁾に記載されている事業主体ごとの管径別配水管路延長を利用して比例配分した。各都県の上水道管データは、基本的には事業主体や行政界ごとに集計される統計量を人口データなどに比例配分して作成しているように見受けられた。また、上水道管の被害予測を行う際には、地形区分を考慮する必要があるため地震ハザードステーション（J-SHIS）にて公開されている若松らが構築した微地形分類¹²⁾を1都3県について整備した。図-3に1都3県の上水道管路延長と微地形区分を250mメッシュ単位で示す。

3. 東京湾北部地震時の広域被害予測

(1) 木造建物の被害予測

地震被害想定で見積もられる木造建物被害は、揺れ（地震動強さ）、液状化、急傾斜地崩壊、火災などに起因するものに大別されるが、本研究では揺れによる木造建物被害のみを検討対象とした。被害関数には、埼玉県が行った地震被害想定調査⁹⁾で用いられているものを今回は使用する。木造建物の被害率は式(1)のように表さ

表-1 木造建物被害関数のパラメータ⁹⁾

建築年代	全壊率		全半壊率	
	λ	ζ	λ	ζ
～1960	6.25	0.27	5.91	0.33
1961～1980	6.40	0.32	6.01	0.33
1981～	6.95	0.44	6.57	0.44

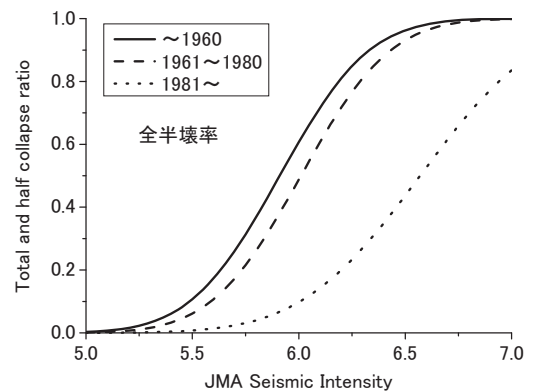
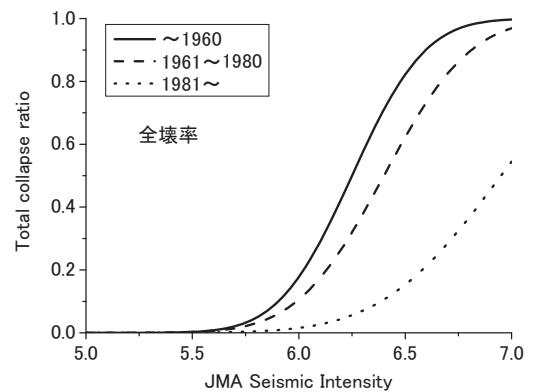


図-4 木造建物の被害関数⁹⁾

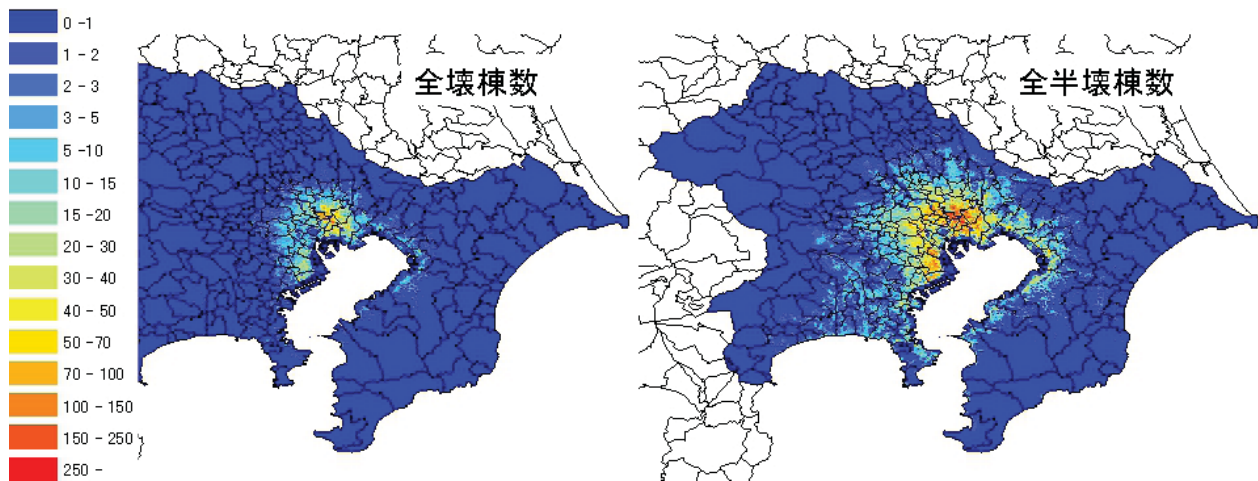


図-5 東京湾北部地震における木造建物被害数の分布

れるものと仮定する。

$$P(I) = \Phi\left(\frac{I - \lambda}{\zeta}\right) \quad (1)$$

ここで、 $\Phi(x)$ は標準正規分布の確率分布関数を表し、 I は計測震度、 λ は計測震度の平均値、 ζ は標準偏差である。埼玉県では、東京都がとりまとめた「首都直下地震による東京の被害想定」³⁾で示されている計測震度と木造建物全壊率、全半壊率のグラフをもとに λ と ζ を表-1のように定めている。図-4に本研究で使用した木造建物の被害関数を示す。

図-5に本研究で予測された東京湾北部地震による木造建物被害数の分布を示す。全壊棟数については、地震動強さが大きく、さらに1960年以前に建てられた木造建物の多い東京都東部を中心に被害数の大きいメッシュが分布している。全半壊棟数については、1都3県に広く被害数の多いメッシュが分布しているように見える。

(2) 上水道管の被害予測

磯山ら¹³⁾は水道管路の被害率 R_m (件/km) の推定式を以下のように提案している。

$$R_m(v) = C_p C_d C_g C_l R(v) \quad (2)$$

ここで、 C_p は管種係数、 C_d は管径係数、 C_g は地形・地盤係数、 C_l は液状化係数、 v は地動最大速度 (PGV) である。

$R(v)$ は、標準被害率曲線と呼ばれ、標準的な管路 (CIP, $\phi 100-150\text{mm}$) が一般的な条件で埋設されている場合 (沖積地盤に浅く埋設) の被害率と地動最大速度の関係式である。本研究では、著者らが近年の被害地震における水道管被害データを取り入れて構築した標準被害率曲線¹⁴⁾を使用する (式(3))。

$$R(v) = C\Phi\left(\frac{\ln v - \lambda}{\zeta}\right) \quad (3)$$

表-2 上水道管標準被害率曲線の回帰定数¹⁴⁾

管種	ζ	λ	C
CIP・VP	0.860	5.00	2.06
DIP	0.864	6.04	4.99

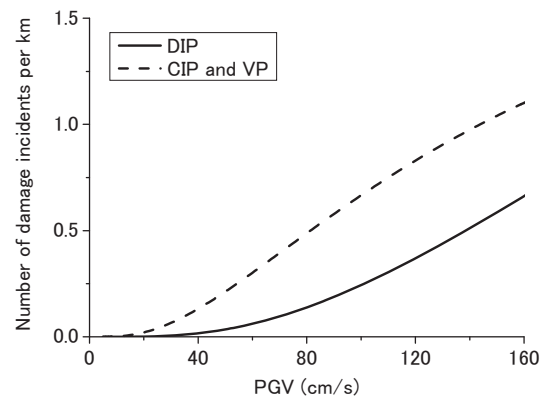


図-6 上水道管標準被害率曲線¹⁴⁾

表-3 本研究で用いた管種係数⁴⁾

管種	管種係数 (C_p)
ACP	1.2
CIP	1.0
VP	1.0
SP	2.0
PEP	0.1

ここで、 C 、 λ 、 ζ は非線形回帰で得られた定数であり、表-2のように定められている。被害率予測式の概形は図-6のようである。

千葉県がとりまとめた地震被害想定調査結果⁴⁾を参考に管種係数については表-3、管径係数は表-4のように定めた。管種係数は、CIPおよびVPの標準被害率曲線を基準としたものである。本研究では、DIPに関しては管種

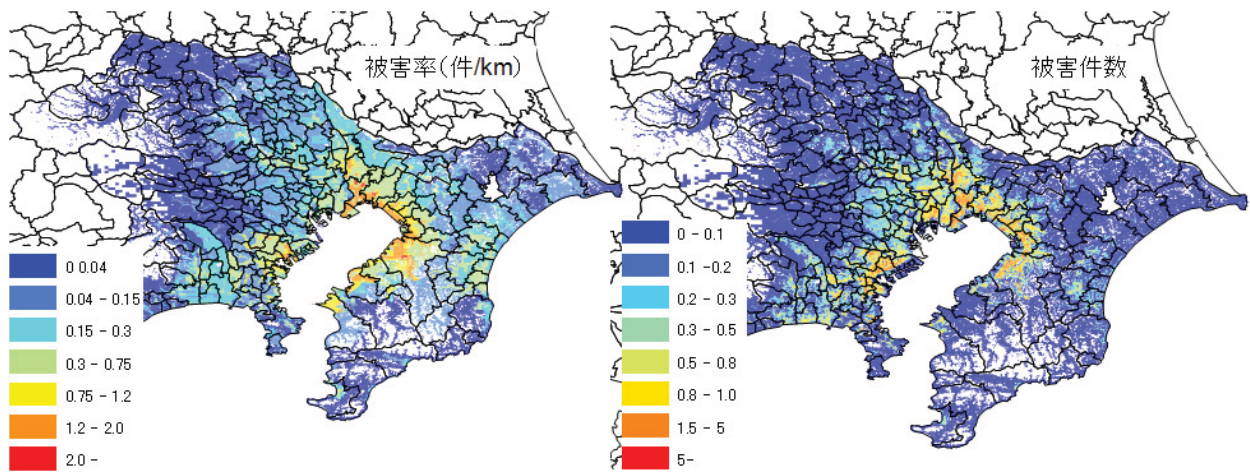


図-7 東京湾北部地震における上水道管の被害率と被害件数

表-4 本研究で用いた管径係数⁴⁾

管径	管径係数 (C_d)
~ $\phi 75$ mm	1.6
$\phi 100 \sim 150$ mm	1.0
$\phi 200 \sim 450$ mm	0.8
$\phi 500$ mm~	0.5

表-6 本研究で用いた液状化係数⁴⁾

PL 値	液状化係数 (C_l)
0~5	1.0
5~15	2.0
15~	2.4

表-5 本研究で用いた地形・地盤係数⁴⁾

地形区分	若松らの微地形分類	地形・地盤係数 (C_g)
良質地盤	1. 山地 2. 山麓地 3. 丘陵 4. 火山地 5. 火山山麓地 6. 火山性丘陵 7. 岩石台地 8. 砂礫質台地 21. 岩礁・礫 22. 河川敷・河原	0.4
沖積平地	11. 扇状地 12. 自然堤防 13. 後背湿地 14. 旧河道 15. 三角州・海岸低地 16. 砂州・砂礫州 17. 砂丘 18. 砂州・砂丘間低地 19. 干拓地 20. 埋立地	1.0
谷・旧水部	10. 谷底低地 23. 河川・水路 24. 湖沼	3.2
段丘	9. ローム台地	1.5

表-7 町丁目ごとの相関性の分析対象とした地域

都県	市町村
東京都	特別区 (23 区)
神奈川県	川崎市, 横浜市, 横須賀市, 三浦市
埼玉県	和光市, 戸田市, 川口市, 草加市, 八潮市, 鳩ヶ谷市, さいたま市
千葉県	松戸市, 市川市, 浦安市, 船橋市, 習志野市, 千葉市, 市原市, 袖ヶ浦市, 木更津市, 君津市, 富津市

害が生じないものと仮定する。

地形・地盤係数は、図-3に示した24種類の微地形分類をもとに表-5のように定めた⁴⁾。液状化係数は、沖積平地に分類されるメッシュについてののみ図-1のPL値分布をもとに表-6のように設定した⁴⁾。

図-7に東京湾北部地震における上水道管の被害率と被害件数の予測結果を示す。なお、東京湾北部地震の予測されている計測震度は、Karim and Yamazakiの関係式¹⁵⁾でPGVに換算し、式(3)に代入した。震度6弱以上の揺れが予測されている東京湾側の地域で被害件数が多く推定されている。被害率に関しては、震度6強が予測されている東京都東部低地よりも千葉県の東京湾側地域が大きくなっている。能島による水道統計を用いた都道府県別の上水道管管種延長の分析結果¹⁶⁾によると、千葉県は東京都や神奈川県と比べて地震に弱いACPなどの敷設割合が

係数を乗じるのではなく、式(3)で表されるDIPの標準被害率曲線を直接用いることとする。また、耐震管には被

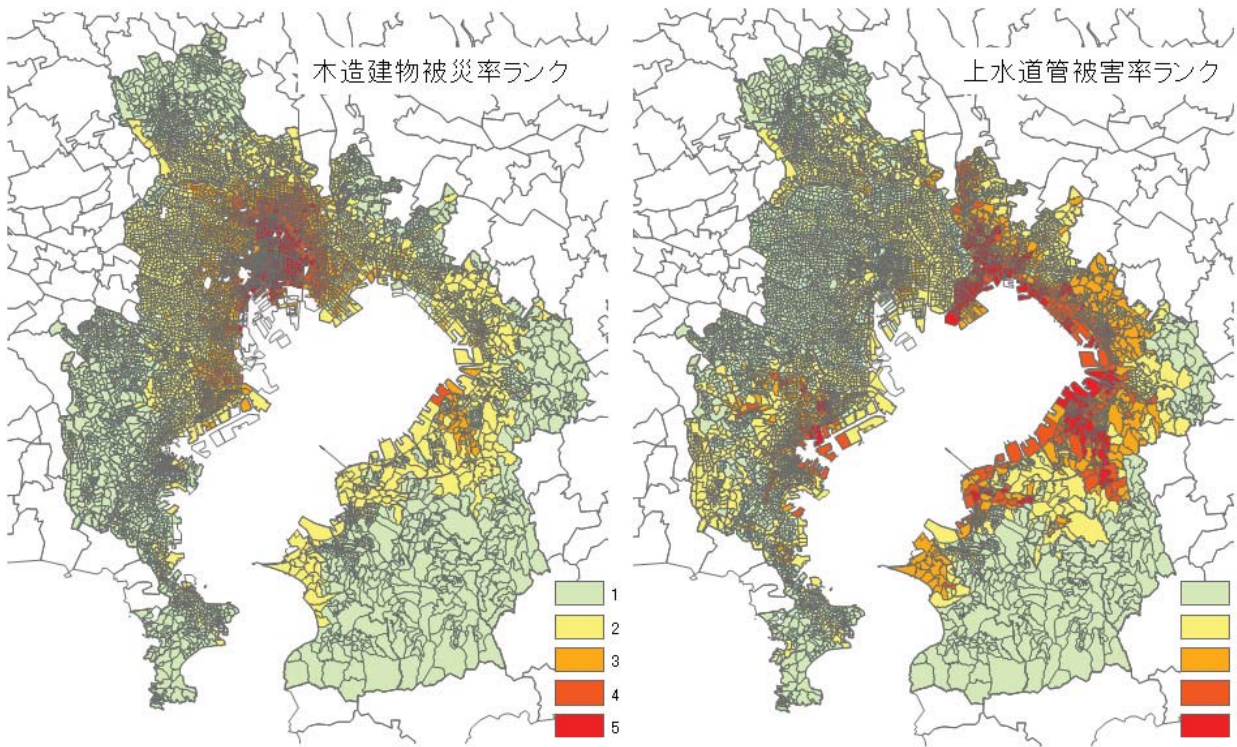


図-8 町丁目別の木造建物被災率と上水道管被害率のランク別表示

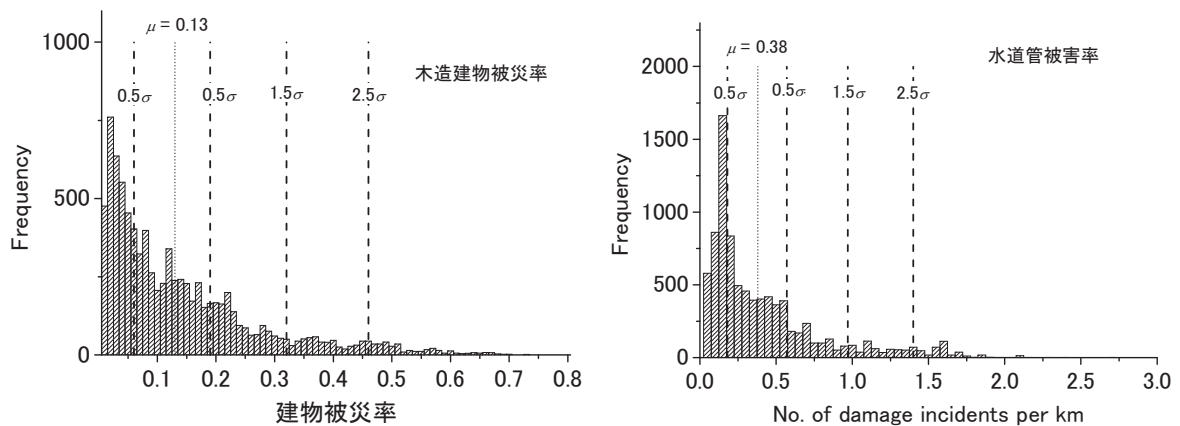


図-9 町丁目別の木造建物被災率と上水道管被害率のヒストグラム

高く、比較的地震に強いDIPの敷設割合が小さい。このことが影響して、強い揺れが予測されている東京都よりも千葉県の方が水道管被害率が高く予測されていると考えられる。

(3) 木造建物被害と上水道管被害の相関性

本研究で予測された木造建物と上水道管の被害率は250mメッシュ単位であるが、表-7に示す東京湾沿いの地域に関して、町丁目単位でその結果を集計した。木造建物に被害が甚大で、さらに上水道管の被害率も高い町丁目については、倒壊建物による道路閉塞などの影響で、

地中埋設管の復旧が遅れることが懸念される。本研究では、この復旧遅延が生じる可能性を評価することを目的に、町丁目単位で木造建物と上水道管被害の相関性を分析する。なお、町丁目境界のGISデータは、政府統計の総合窓口 (e-Stat) ¹⁷⁾から入手した。

各都県が行う地震被害想定調査では、道路閉塞率は建物被災率と道路幅員の関数として評価されている³⁶⁾。建物被災率は、全壊棟数と半壊棟数に1/2を乗じたものの和を全棟数で除したのものとして定義される。そこで、本研究では木造建物の被害程度を表す物理量として、建物被災率を用いることとする。上水道管については、被

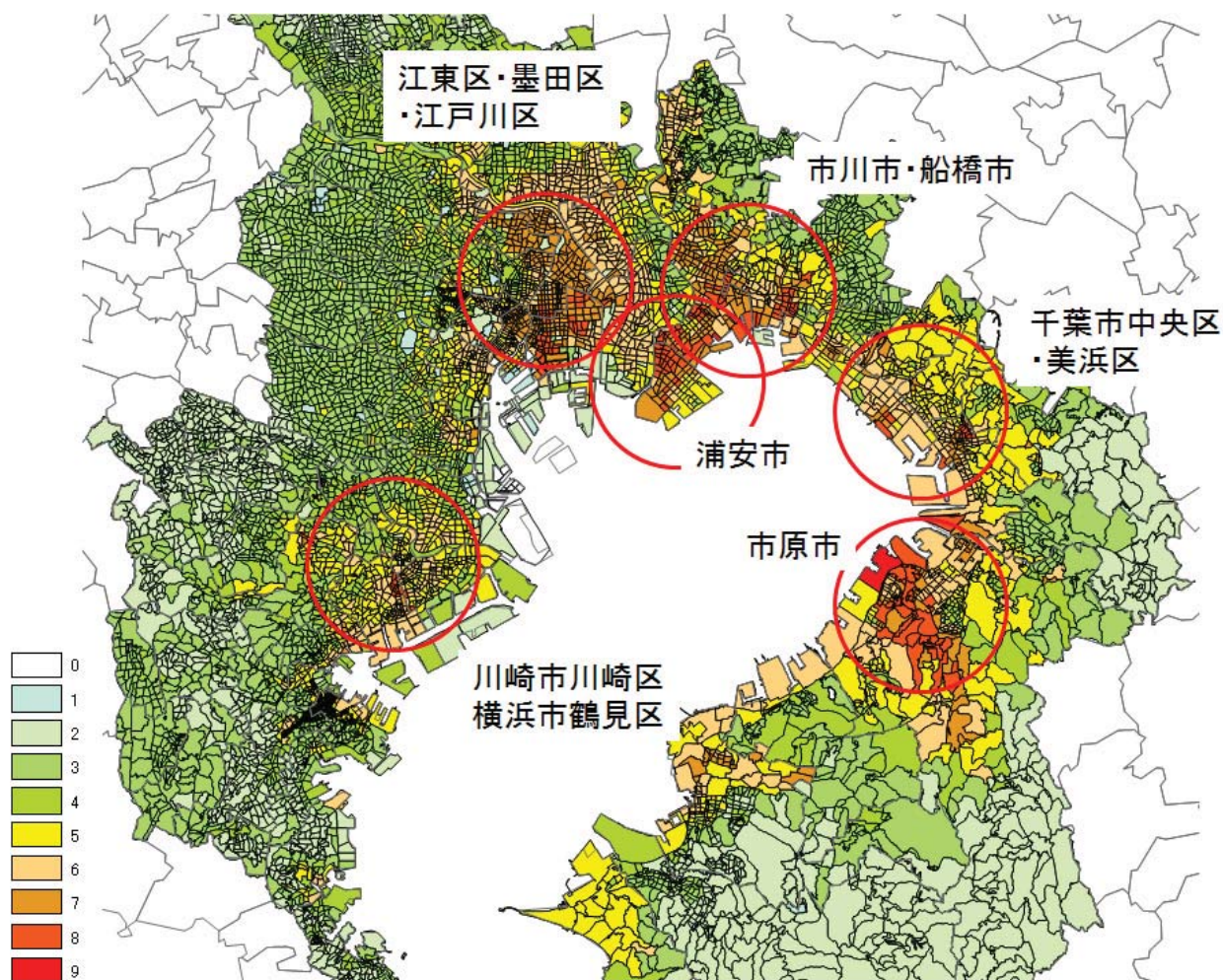


図-10 木造建物と上水道被害ランクの和

害件数を管路延長で除した被害率 (件/km) を用いる。図-8に、町丁目ごとの木造建物被災率と上水道管被害率を5段階のランク別に表示する。

木造建物や上水道管の被害率を予測するには、被害関数を用いるのが一般的である。提案されている被害関数は多岐にわたっており、どの被害関数を採用するかによって予測される被害率は異なる。さらに、上水道管の被害率については、補正係数の値をどのように設定するかも最終的な結果に影響する。そこで、木造建物と上水道管の被害率を評価するにあたり、予測された被害率の平均値 μ と標準偏差 σ をもとに5段階にランク分けし、相対的な評価をすることとした。ランクの閾値は $\mu - 0.5\sigma$, $\mu + 0.5\sigma$, $\mu + 1.5\sigma$, $\mu + 2.5\sigma$ とし、被害率の小さい方から順に1~5ランクとした (図-9)。

木造建物と上水道管の被害ランクの和を図-10に示す。両者のランクの和が大きい地域は、木造建物と上水道管の被害がともに大きな地域になるものと考えられ、東京湾北部地震が発生した際には相対的に埋設管の復旧活動に支障が生じやすい地域と判断できる。被害ランクの和が8以上を示した地域は、神奈川県横浜市鶴見区、川崎市川崎区、東京都墨田区、江東区、江戸川区、千葉県浦

安市、市川市、船橋市、千葉市美浜区、中央区、市原市などであり、東京湾沿いの一部地域で復旧支障が相対的に生じやすいものと予測された。

4. まとめ

本研究では、東京、神奈川、埼玉、千葉の1都3県について、東京湾北部地震後の木造建物と上水道管の被害予測を統一された手法で行った。使用したデータは各都県の地震被害想定で用いられた基盤データであるが、それぞれの都県が個別に被害予測を行っていたため、データ構造が一致しなかった。そこで、データ区分などを統一し、さらに使用する被害関数も統一することで、県境を超えて被害量を相対的に評価できるようになった。

木造建物被害については、震度6弱以上の揺れが予測されている地域で全半壊棟数が多く予測されることが分かった。上水道管の被害率に関しては、揺れが大きい東京都よりも千葉県の方が大きな被害率を示していた。これには、東京都と千葉県で敷設されている上水道管の管種ごとの割合が異なることが影響していると考えられる。

両者の被害率を平均値と標準偏差を用いてランク分けし、その和をとることで木造建物と上水道管被害の相関性について検討を行った。東京湾側の地域で木造建物被災率と上水道管被害率がともに相対的に大きなところがあることが明らかとなり、これらの地域では道路閉塞などの影響で地中埋設管の復旧が遅延する可能性があることが示唆された。

今後は、幅員データを有する道路数値地図を取り入れ、道路閉塞についてより詳細に評価する。さらに、首都圏で発生する危険性のある他の地震についても同様の評価を行い、相対的にライフライン施設の復旧支障が生じやすい地域を明らかにする。

謝辞：東京都、神奈川県、埼玉県、千葉県から地震被害想定調査で使用したデータを提供頂いた。記して、謝意を表す。

参考文献

- 1) 内閣府：平成 22 年度防災白書，<http://www.bousai.go.jp/hakusho/h22/index.htm>，2010.
- 2) 中央防災会議・首都直下地震対策専門調査会：首都直下地震対策専門調査会報告，2005
- 3) 東京都：首都直下地震による東京の被害想定，2006.
- 4) 千葉県：千葉県地震被害想定調査報告書，2008.

- 5) 埼玉県：埼玉県地震被害想定調査報告書，2008.
- 6) 神奈川県：神奈川県地震被害想定調査報告書，2009.
- 7) 梶秀樹，塚越功：都市防災学，学芸出版社，2007.
- 8) 内閣府：「首都直下地震の復旧・復興準備推進調査」首都直下地震の復興対策のあり方に関する検討 調査報告書，2009.
- 9) 内閣府：<http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/shutochokka/data/koukai/index.html>
- 10) 総務省：<http://www.stat.go.jp/data/jyutaku/2008/index.htm>
- 11) (社)日本水道協会：平成 18 年度水道統計，2008.
- 12) 若松加寿江，松岡昌志，久保純子，長谷川浩一，杉浦正美：日本全国地形・地盤分類メッシュマップの構築，土木学会論文集，No.759/I-67，pp.213-232，2004.
- 13) 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，pp.25-40，1998.
- 14) 丸山喜久，山崎文雄：近年の地震被害データを加味したマクロな配水管被害予測式の改良，土木学会地震工学論文集，Vol. 30，pp. 565-574，2009.
- 15) Karim, K. R. and Yamazaki, F.: Correlation of the JMA Instrumental Seismic Intensity with Strong Motion Parameters, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 31, No. 5, pp. 1191-1212, 2002.
- 16) 能島暢呂：脆弱性指標を用いたライフライン網の地震時脆弱性評価 ～上水道配水管網への適用～，地域安全学会論文集，No. 10，pp. 137-146，2008.
- 17) 政府統計の総合窓口（e-Stat）：<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/eStatTopPortal.do>

(2010. 11. 12 受付)