

3.5.6 ライフラインの復旧最適化による企業の事業継続性向上に関する研究

(1) 業務の内容

(a) 業務の目的

ライフラインの被災による被害波及と復旧過程を記述・解析するモデルを構築することは、都市機能の防護戦略の策定、安全で迅速な機能回復過程の実現、地域防災力の向上を図るために重要である。このためには「広域連携」、「復旧調整」、「自律分散」という相互補完的な対策軸における被害軽減戦略を提案し、社会的インパクトを最小化することが必要である。

本研究では、ライフライン被害波及構造モデル、自立分散型拠点の配置モデル、広域連携・復旧調整モデルを構築し、これらをベストミックスした復旧戦略を示す。

(b) 平成23年度業務目的

- ・関連のサブテーマ担当者による被害予測手法、相互関連評価手法を考慮しつつ、上下水道の応急復旧過程の簡易評価モデルを用いて複数の応急復旧戦略に関する上下水道の復旧過程解析を実施する。復旧過程解析結果に関してはサブプロジェクト3全体で開発を進めている国立大学法人京都大学のマッシュアップシステムに提供する。
- ・複数の応急復旧戦略に関する解析結果を検討し、首都圏企業の早期復旧に効果的なライフラインの震災前後の対策の進め方を社会に向けて提案書をまとめる。
- ・ライフラインの機能支障を踏まえた首都圏企業の事前・事後対策を検討し、社会に向けて提案書をまとめる。

(c) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
鹿島建設(株)技術研究所	上席研究員	永田 茂	

(2) 平成23年度の成果

(a) 業務の要約

- ・関連のサブテーマ担当者による被害予測手法、相互関連評価手法を考慮しつつ、上下水道の応急復旧過程の簡易評価モデルを用いて複数の応急復旧戦略に関する上下水道の復旧過程解析を実施した。復旧過程解析結果に関してはサブプロジェクト3全体で開発を進めている国立大学法人京都大学のマッシュアップシステムに提供した。
- ・複数の応急復旧戦略に関する解析結果を検討し、首都圏企業の早期復旧に効果的なライフラインの震災前後の対策の進め方について社会に向けて提案書をまとめた。
- ・ライフラインの機能支障を踏まえた首都圏企業の事前・事後対策を検討し、社会に向けて提案書をまとめた。

(b) 業務の成果

1) 首都圏9都県市の上下水道を対象とした復旧過程解析

a) はじめに

2011年3月11日の東日本大震災の発生を受けて、かねてから発生が懸念されている首都直下地震に対する防災・減災対策に関心が高まっている。首都直下地震の防災・減災を考えるうえで重要となる地震動や被害の検討結果に関しては、平成17年2月に中央防災会議首都直下地震対策専門調査会（以下、専門調査会と呼ぶ）によって公表されている¹⁾。この公表資料には上下水道を含む主要なライフラインの被害想定結果も含まれており、地方公共団体やライフライン事業者が被害概要を把握する際の有用な情報となっている。一方で、この資料には被害や応急復旧日数に関する情報が明らかになっていないほか、被害想定方法に関しても最新の知見が反映された手法でないことなどが課題として挙げられる。

本報告では、近年の被害地震の分析によって得られた被害予測式を用いることにより、東京湾北部地震（M7.3）による埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県の上水道施設の被害及び応急復旧日数の予測解析結果を示すとともに、専門調査会による結果との比較検討結果を示すものである。

b) 上水道施設の被害及び応急復旧日数の予測

上水道施設に関しては、被害が集中する配水管を対象として、250mメッシュごとに被害及び応急復旧日数の評価を行った。なお、専門調査会の検討と同様に主要な取水、導水、浄水、送水、配水施設には機能停止を引き起こすような被害は発生しないものと仮定した。また、簡易水道に関しては、分析に必要な情報が入手できていないため対象外とした。

地震動分布は、専門調査会が評価した東京湾北部地震（M7.3）の1kmメッシュごとの計測震度を Karim and Yamazaki の経験式²⁾を用いて地表最大速度に変換した後、250mメッシュに割り当てて使用した。また、液状化危険度に関しては、同じく専門調査会が評価した1kmメッシュごとの液状化危険度指標 PL 値を250mメッシュに割り当てて使用した。

専門調査会で使用した配水管データの詳細は不明であるが、中央防災会議の評価結果を受けて首都圏の自治体が実施した被害想定では、自治体の管理する配水管路総延長をメッシュごとの建物棟数や夜間人口などで比例配分して求めたメッシュごとの配水管延長を使用していることが確認されている³⁾。しかしながら建物棟数データを首都圏全域で収集することの困難さに加え、管路延長の推定精度にばらつきが大きいことから、本検討では永田らが提案した方法⁴⁾により、メッシュごとの配水管管理設の有無と配水管延長を予測した。なお、予測式を用いて推定した自治体ごとの配水管総延長 L_e と水道統計⁵⁾の値 L_r では若干の差異が生じるため、メッシュごとの推定配水管延長 l_e に補正係数 (L_r/L_e) を乗じて水道統計の値と一致させた。さらに、 $l_e \cdot (L_r/L_e)$ に水道統計から求めた自治体ごとの口径・管種比率を乗じることによって、250mメッシュごとの口径・管種別延長を求めた。

配水管の被害予測式としては、近年の被害地震における被害データを加えて再検討された丸山・山崎らの式^{6) 7)}を用いた。この被害予測式では、地表最大速度、液状化危険度指標 PL 値の他に必要となる表層地盤データとして、防災科学技術研究所の地震ハザードス

テーション (J-SHIS) の表層地盤データ⁸⁾を用いた。

応急復旧日数の予測方法としては、配水拠点を中心としてメッシュでモデル化された配水本支管の被害箇所数や給水人口等を考慮して面的に復旧過程を予測する Nagata et al. の方法⁹⁾を用いた。応急復旧に従事する 1 都 3 県の総復旧班数は専門調査会の報告¹⁾を参考に 1,200 班 (1 班 10 人と仮定して 12,000 人) とし、給水区域の被害箇所数に応じて比例配分した。配水本管及び支管の復旧速度は、それぞれ 0.5 箇所/(班日)、1.0 箇所/(班日) とし、また、配水池などの給水拠点の近傍の被害の多いメッシュから順次復旧作業を進める戦略を用いた。

上述した解析条件に従って作成した解析用データ、被害及び応急復旧日数の評価結果を示す。

まず、解析に使用したデータとして、図 1、2 に 250m メッシュごとの地表最大速度分布と液状化危険度指標 PL 値、図 3 に 250m メッシュごとの表層地盤分布、配水管延長の予測結果として、図 4、5 に 250m メッシュごとの口径 150 mm 以下と 200 mm 以上の配水管延長を示した。

次に、被害予測結果として、図 6、7 に 250m メッシュごとの口径 150 mm 以下と 200 mm 以上の配水管被害率を示し、図 8、9 に被害箇所数を示した。また、表 1 に 1 都 3 県の配水管被害箇所数の集計表を示した。

最後に応急復旧日数の予測結果を示す。まず、応急復旧日数を検討する際に使用した配水地区と各配水地区に投入したピーク時復旧班数を図 10 に示し、1 都 3 県の総復旧班数の経時的な推移を図 11 に示した。ピーク時 1,200 班の復旧班は各配水地区の被害箇所数に比例して配分するとともに、発災から 8 日目または 3 日目にピーク時班数となる 2 種類の応急復旧班の投入計画 I と II を使用した。この 2 種類の復旧班投入計画のもとで 250m メッシュごとに応急復旧日数を評価し、これを市区町村ごとの平均応急復旧日数に整理した結果を図 12、13 に示し、1 都 3 県の復旧日数の統計値を表 2 に示した。

専門調査会では、発災後 1、2、4 日目の断水人口を示しており、4 日目に支障率 10% 以下に低下することから配水機能停止地域は限定的と想定していると考えられる。一方、本検討結果では、埼玉県・千葉県・東京都・神奈川県で広く被害が発生しており、復旧が早いと考えられる復旧班投入計画 II の 1 日目と 4 日目について応急復旧が完了していない 250m メッシュの夜間人口を集計して断水人口と支障率を求めたところ、1 日目で専門調査会の約 3 倍の 98%、4 日目で 7 倍の 64% が断水する結果となった (表 3)。この断水人口の評価結果の違いは、専門調査会が川上¹³⁾の式を使用しているのに対して、本検討では応急復旧の完了していないメッシュの夜間人口を集計する方法を用いていることによるものであるが、断水人口の評価方法に関しては予測精度の検証も含めて今後取り組む課題である。

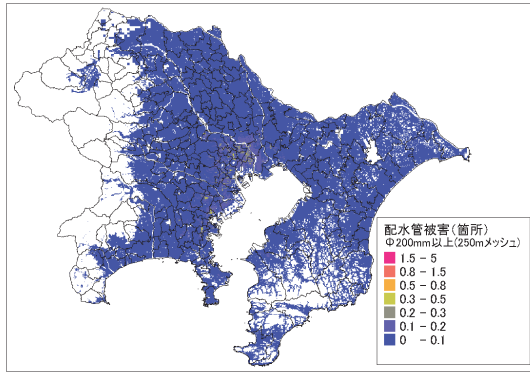


図9 配水管の被害箇所数
(口径200mm以上の250mメッシュごと)

表1 配水管被害箇所数と被害率の
集計結果

都道府県名	配水管被害箇所数(被害率)		総被害箇所(被害率)
	200mm未満 (箇所/km)	200mm以上 (箇所/km)	
埼玉県	1,820 (0.095)	289 (0.063)	2,109 (0.089)
千葉県	3,881 (0.191)	508 (0.106)	4,389 (0.175)
東京都	2,625 (0.148)	876 (0.103)	3,501 (0.133)
神奈川県	2,811 (0.154)	607 (0.103)	3,418 (0.141)
合計	11,137 (0.147)	2,279 (0.096)	13,417 (0.135)

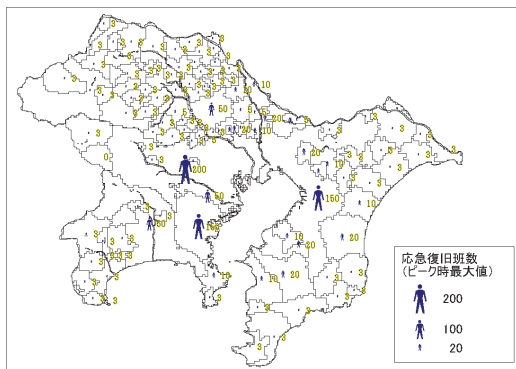


図10 配水管の復旧予測に用いた
配水地区とピーク時の復旧班数

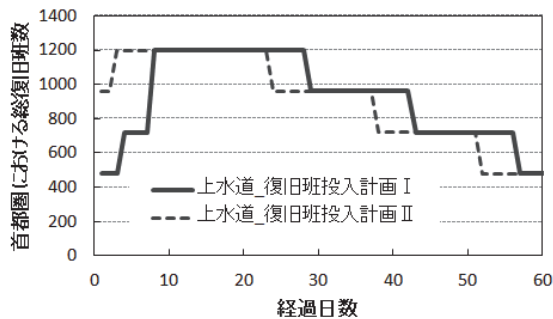


図11 首都圏全域の総復旧班数の経時的
推移

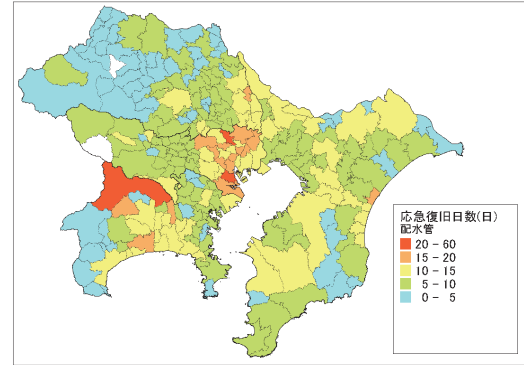


図12 市区町村ごとの平均応急復旧日数
(応急復旧班の投入計画I)

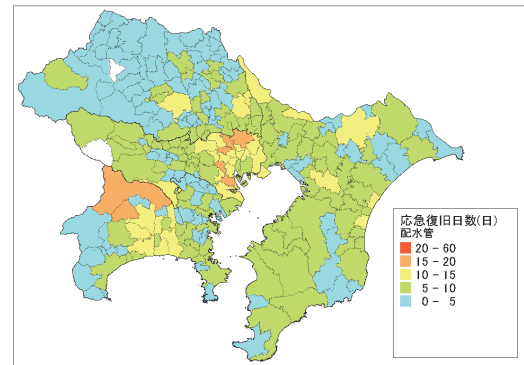


図13 市区町村ごとの平均応急復旧日数
(応急復旧班の投入計画II)

表2 1都3県の応急復旧日数の集計結果

都道府県名	応急復旧日数(日)		
	平均値	最大値	最小値
計画I			
埼玉県	7.0	27.0	1.0
千葉県	9.3	22.0	1.0
東京都	12.1	26.0	1.0
神奈川県	10.3	26.0	1.0
4都県	9.2	27.0	1.0
計画II			
埼玉県	5.2	23.0	1.0
千葉県	7.0	19.0	1.0
東京都	9.4	24.0	1.0
神奈川県	8.0	24.0	1.0
4都県	7.0	24.0	1.0

表3 断水人口の評価結果
(中央防災会議の結果との比較)

都道府県	1日目		4日目		応急復旧日数 (最大値)(日)
	支障数(人)	支障率	支障数(人)	支障率	
本検討					
埼玉県	6,614,802	94.9%	3,452,414	49.5%	23
千葉県	5,823,068	96.9%	3,660,987	60.9%	19
東京都	12,213,464	98.3%	9,347,616	75.2%	24
神奈川県	8,594,966	98.5%	5,404,478	61.9%	24
4県合計	33,246,300	98.4%	21,865,495	64.1%	
中央 防災会議					
埼玉県	1,800,000	26.9%	550,000	8.1%	30
千葉県	2,400,000	41.4%	720,000	12.4%	30
東京都	3,900,000	33.3%	780,000	6.7%	(目標値)
神奈川県	3,100,000	37.3%	920,000	11.2%	
4県合計	11,200,000	34.4%	2,970,000	9.2%	

c) 下水道施設の被害及び応急復旧日数の予測

下水道施設に関しては、下水処理場と公共下水道の污水管を対象として被害及び応急復旧日数の予測解析を行った。流域下水道の管路に関しては、比較的口径が大きいことから下水の流下機能に影響を与えるような大きな被害は発生しないものと仮定した。

地震動分布、液状化危険度指標に関しては、上水道と同じ分布を使用した。また、専門調査会で使用した污水管データの詳細が不明であるため、本検討では、永田らが提案した方法⁴⁾によりメッシュごとに污水管理設の有無と管路延長を予測した。上水道の場合と同様に予測式を用いて推定した自治体ごとの污水管総延長 L_e と下水道統計¹⁰⁾の値 L_r では若干の差異が生じるため、下水道統計の値と一致するように予測延長 l_e に補正係数 (L_r/L_e) を乗じて、下水道統計の値に一致させた。さらに、 $l_e \cdot (L_r/L_e)$ に下水道統計に示された自治体ごとの口径・管種比率を乗じることによって、250m メッシュごとの口径・管種別延長を求めた。処理場に関しては、下水道統計の記載情報を参考にして主要な処理場の位置データを作成した。

污水管の被害予測式としては、近年の地震における下水道管の被害分析に基づいて提案された永田らの予測式¹¹⁾を用いた。この被害予測式では、地表最大速度、PL 値、防災科学技術研究所の地震ハザードステーション (J-SHIS) の表層地盤データ⁸⁾を使用した。また、処理場の被害予測式としては、日下らの予測式¹²⁾を使用した。

污水管の応急復旧日数の予測方法としては、上水道と同様にメッシュで表された幹線や支線の被害延長、処理人口等を指標して面的に復旧過程を予測する Nagata et al.⁹⁾の方法を用いた。応急復旧に従事する復旧班数としては、専門調査会の報告に情報がないため上水道の半分の約 680 班 (1 班 5 人と仮定し 3,400 人) をピーク時の班数とし、被害延長に応じて各処理区に配分した。また、污水管の復旧速度は近年の被害地震時の応急復旧活動の実態を踏まえて、口径 600 mm 以上、600 mm 未満の復旧速度をそれぞれ 150m/(班日)、300m/(班日)とした。污水管の復旧作業は処理場に近く被害延長の大きなメッシュから順次実施する戦略を採用した。また、処理場の応急復旧日数の予測方法としては日下らの方法¹²⁾を使用し、処理場の復旧人員については、十分な人数が配置されるものとした。なお、専門調査会では首都圏の低圧受電の停電は 6 日間で解消されると予測しており、高圧受電の処理場はさらに早期に復旧すると考えられることから停電の影響は考慮していない。

上述した解析条件に従って作成した解析用データ、被害及び応急復旧日数の評価結果を示す。

まず、解析に使用したデータとして、図 14、15 に 250m メッシュごとの口径 600mm 未満と 600mm 以上の污水管延長と処理場位置を示した。

次に、被害予測結果として、図 16、17 に 250m メッシュごとの口径 600mm 未満と 600mm 以上の污水管の被害率分布、図 18、19 に被害延長分布を示した。図 16～19 には処理場の被害状況を合わせて図示した。また、表 4 に 1 都 3 県の污水管の被害集計結果を示した。

最後に、応急復旧日数の推定結果について示す。まず、図 20 に応急復旧日数を検討する際に使用した下水処理区と各処理区の被害延長に比例して配分したピーク時復旧班数を示した。図 21 には検討で使用した首都圏全域における総復旧班数の 2 種類の経時的な復旧班投入計画 I と II を示した。各処理区の経時的な復旧班数は、図 21 に比例して投入されるものとした。それぞれのメッシュを担当する処理場の復旧日数と上述の復旧班投入計

画を用いて 250m メッシュごとの污水管の復旧日数を評価した後に、污水管と処理場の復旧日数の最大値を求めることにより、250m メッシュごとの流下機能の応急復旧日数を求めた。この結果を用いて市区町村ごとの平均応急復旧日数を整理した結果を図 22、23 に示し、1 都 3 県の応急復旧日数の統計値を表 5 に示した。

専門調査会は発災後 1、2、4 日目の機能支障人口を示しており、比較のため本検討の応急復旧班投入計画Ⅱの発災後 1 日目、4 日目の結果を表 6 に示した。本検討の応急復旧完了日数は専門調査会の結果より約 10 日早くなっているが、4 日目の段階では専門調査会の機能支障率約 1% に対して 77% と高い支障率となった。専門調査会の復旧日数の評価方法に関して不明点が多く単純に比較することはできないが、専門調査会の評価では発災直後から膨大な復旧資源を投入することを前提としていることが考えられる。

今後の検討をさらに進めることにより、復旧過程を具体化するために必要な復旧資源の検討を行う必要がある。

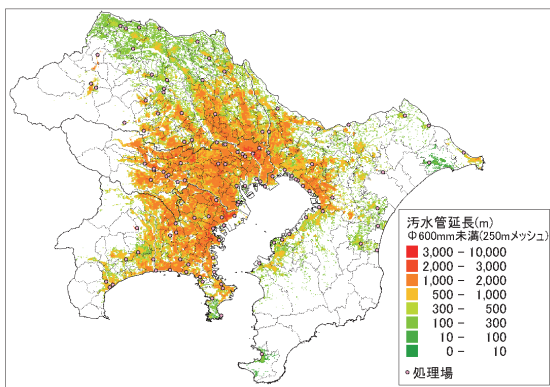


図 14 被害予測に使用した污水管延長(口径 600mm 未満、250m メッシュごと)と処理場位置

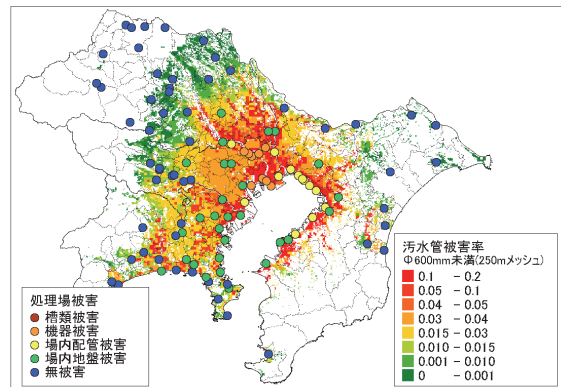


図 16 污水管の被害率(口径 600mm 未満、250m メッシュごと)と処理場の被害状況

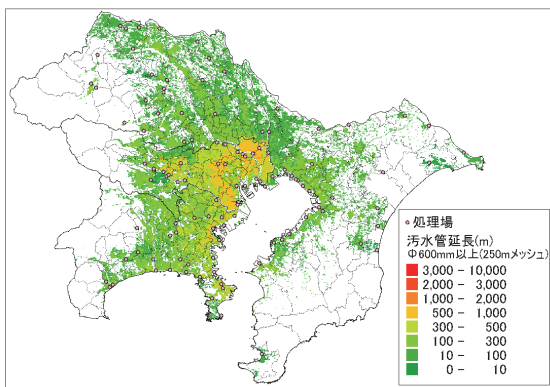


図 15 被害予測に使用した污水管延長(口径 600mm 以上、250m メッシュごと)と処理場位置

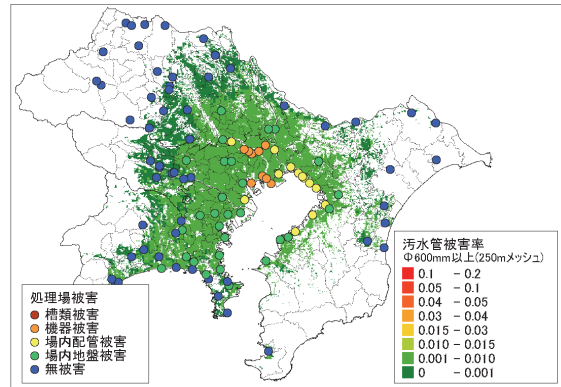


図 17 污水管の被害率(口径 600mm 以上、250m メッシュごと)と処理場の被害状況

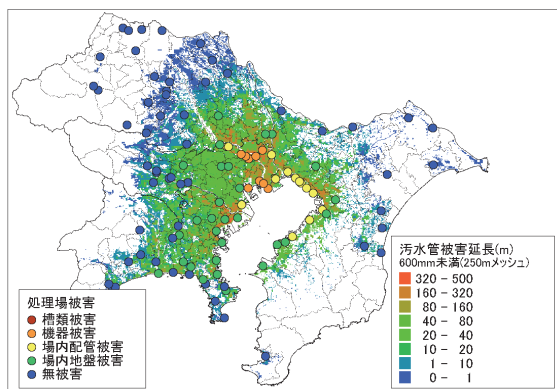


図 18 汚水管の被害延長（口径 600mm 未満、250m メッシュごと）と処理場の被害状況

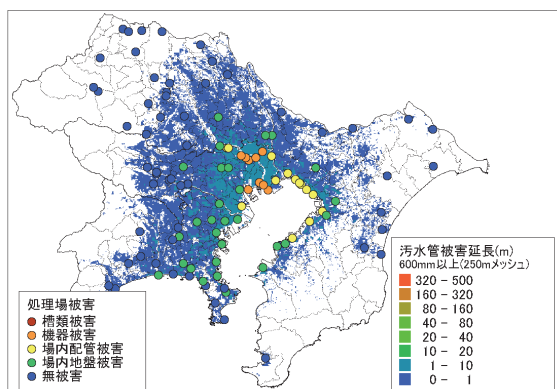


図 19 汚水管の被害延長（口径 600mm 以上、250m メッシュごと）と処理場の被害状況

表 4 1都3県の汚水管被害延長と被害率の集計結果

都道府県名	汚水管被害延長(m)(被害率)		総被害延長(被害率)
	600mm未満 (%)	600mm以上 (%)	
埼玉県	421,557 (4.02%)	4,154 (0.28%)	425,710 (3.56%)
千葉県	581,376 (5.73%)	6,533 (0.41%)	587,910 (5.00%)
東京都	743,158 (4.34%)	17,499 (0.34%)	760,657 (3.40%)
神奈川県	678,761 (4.18%)	10,168 (0.28%)	688,929 (3.47%)
合計	2,424,852 (4.49%)	38,354 (0.32%)	2,463,206 (3.74%)

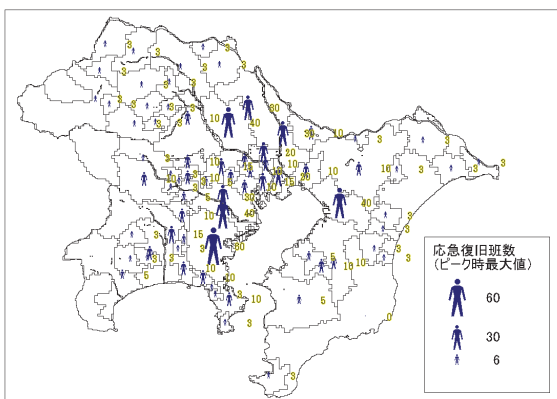


図 20 汚水管の復旧予測で用いた下水処理区と投入復旧班数

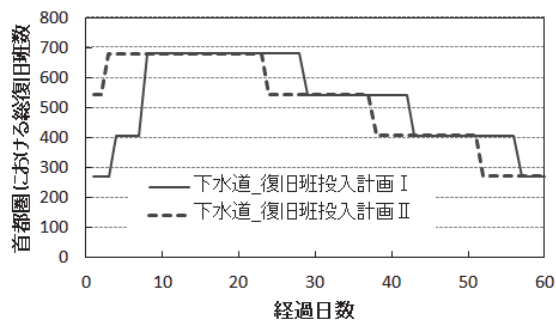


図 21 首都圏全域の総復旧班数の経時的推移

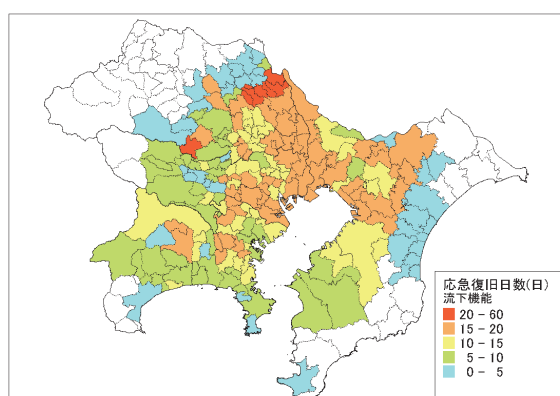


図 22 市区町村ごとの流下機能の平均応急復旧日数（応急復旧班の投入計画 I）

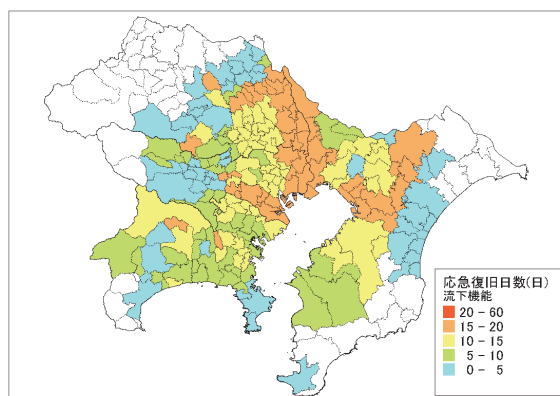


図 23 市区町村ごとの流下機能の平均応急復旧日数（応急復旧班の投入計画 II）

表5 1都3県の応急復旧日数の集計結果

都道府県名	応急復旧日数(日)					
	平均値		最大値		最小値	
	処理場	污水管	処理場	污水管	処理場	污水管
埼玉県	11.2	12.6	18.0	21.0	0.0	1.0
千葉県	9.4	11.6	18.0	21.0	0.0	1.0
東京都	9.7	9.8	18.0	23.0	0.0	1.0
神奈川県	5.3	10.5	18.0	20.0	2.0	1.0
4都県	8.7	11.1	18.0	23.0	0.0	1.0
埼玉県	11.2	10.0	18.0	18.0	0.0	1.0
千葉県	9.4	9.0	18.0	18.0	0.0	1.0
東京都	9.7	7.4	18.0	20.0	0.0	1.0
神奈川県	5.3	8.0	18.0	17.0	2.0	1.0
4都県	8.7	8.5	18.0	20.0	0.0	1.0

表6 下水道の機能支障人口の評価結果
(専門調査会の結果との比較)

都道府県	1日目		4日目		応急復旧日数 (最大値)(日)
	支障数(人)	支障率	支障数(人)	支障率	
埼玉県	4,889,166	70.34%	4,338,098	62.4%	18
千葉県	4,807,846	86.14%	4,358,594	78.1%	18
東京都	12,002,473	97.26%	10,376,715	84.1%	20
神奈川県	8,307,595	96.74%	6,875,888	80.1%	17
4県合計	30,007,080	89.68%	25,949,296	77.6%	

都道府県	1日目		4日目		応急復旧日数 (日)
	支障数(人)	支障率	支障数(人)	支障率	
埼玉県	64,000	0.95%	47,000	0.70%	30 (目標値)
千葉県	110,000	1.86%	77,000	1.30%	
東京都	130,000	1.07%	97,000	0.80%	
神奈川県	130,000	1.54%	93,000	1.10%	
4県合計	434,000	1.31%	314,000	0.95%	

d) 上下水道の機能復旧の相互影響

2011年3月の東日本大震災をはじめ近年の被害地震では、下水道の機能支障に伴う使用制限が上水道の使用制限に波及する地域も散見されるようになってきている。このような上下水道間の復旧過程の違いによる相互影響は首都直下地震でも発生することが予想されることから、b)、c)の検討結果を用いて下水道の機能復旧日数が上水道の復旧日数より長期化する日数を影響日数と考え、市区町村ごとの平均値を図24、25に示した。この結果、給排水拠点を中心として被害の多い箇所から優先的に復旧する戦略のもとで上下水道ともに早期に多数の復旧班を投入した場合(応急復旧班の投入計画Ⅱ)には、下水道に比べて上水道の復旧日数が早くなるため影響日数が長期化する結果となった。今後、さらに検討を進めることにより、上下水道ともに早期復旧が可能となる方法について検討を進める必要がある。

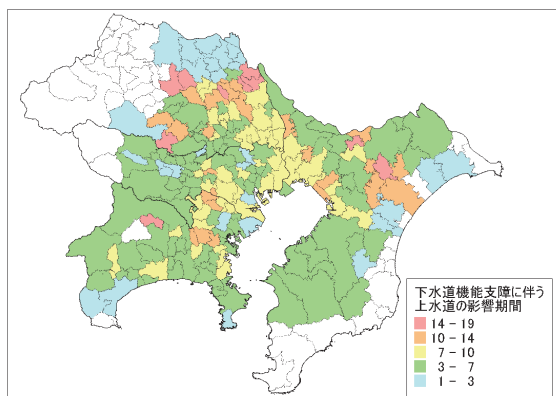


図24 下水道の使用制限による市区町村ごとの上水道の平均影響日数(応急復旧班の投入計画Ⅰ)

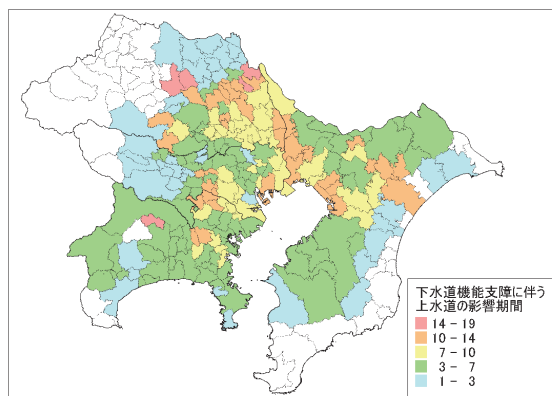


図25 下水道の使用制限による市区町村ごとの上水道の平均影響日数(応急復旧班の投入計画Ⅱ)

e) まとめ

本報告では、中央防災会議首都直下地震対策専門調査会によって策定された東京湾北部地震(M7.3)を想定地震として、埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県の上水道施設の被害予測と復旧予測を行った。この結果、専門調査会で明らかにしていない上下水道施設被害の面的分布を示した。さらに、応急復旧班の2種類の投入計画について上下水道機能の応急復旧日数の予測解析を行い、上水道に関しては1都3県の応急復旧日数の最大値が専門調査会とほぼ同じ27日、下水道に関しては1都3県の応急復旧日数の最大値が専門調査

会の目標値より 7 日ほど早い 23 日となる結果を示した。一方で、上下水道ともに専門調査会の想定する機能支障人口と大きな乖離があることから、機能支障人口の評価方法に関してさらに検討を進める必要がある。

2) 首都直下地震におけるライフラインの早期復旧に向けた提案書

首都直下地震で想定されているライフライン施設の被害を早期復旧するための事前事後対策として、①自治体間の上下水道の幹線管路網のネットワーク化の推進、②応急復旧過程シミュレーション結果に基づく首都圏全域の応急復旧資源（人員、物資）の配置計画の事前検討、③発災後の応急復旧資源に関する調整連絡体制の構築に関する提案を紙面 1 枚に取りまとめ、民間企業やライフライン事業者との個別対話を通じて社会に向けて発信した。

3) 首都直下地震におけるライフライン機能支障影響を軽減するための首都圏企業への提案書

首都直下地震にともなうライフライン機能支障は首都圏企業に対して甚大な影響を与えることになる。このため、ライフライン機能支障にともなう事業影響を最小にするため、応急復旧過程シミュレーション結果に基づいて、①事業所における必要電源容量と使用可能な非常用電源容量の確認と電力設備改修の提案、②事業所における必要給水量（貯水量）及び排水量の確認と給排水設備改修の提案、③エネルギー供給の多様化の推進に関する提案を紙面 1 枚に取りまとめ、民間企業やライフライン事業者との個別対話を通じて社会に向けて発信した。

(c) 結論ならびに今後の課題

関連のサブテーマ担当者による被害予測手法、相互関連評価手法を考慮しつつ、東京湾北部地震を想定地震として、埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県の上下水道施設の被害予測と複数の応急復旧戦略に関する復旧過程解析を実施した。この結果、中央防災会議の専門調査会で明らかにしていない上下水道施設の詳細な被害分布を示すとともに、機能の応急復旧までに上水道は最大で 27 日、下水道は最大で 23 日を要する結果を示した。

上記の被害想定結果、復旧過程解析結果に関してはサブプロジェクト 3 全体で開発を進めている国立大学法人京都大学のマッシュアップシステムに提供した。

複数の応急復旧戦略に関する解析結果を検討し、首都圏企業の早期復旧に効果的なライフラインの震災前後の対策の進め方、またライフラインの機能支障を踏まえた首都圏企業の事前・事後対策を検討し、提案書をまとめた。

(d) 引用文献

- 1) 中央防災会議首都直下地震対策専門調査会：第 15 回配布資料，
<http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/shutochokka/15/index.html>， 2005.
- 2) Karim, K. R. and Yamazaki, F.: Correlation of JMA instrumental seismic intensity with strong motion parameters, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol.31, No.5, pp.1191-1212, 2002.

- 3) 小林明美・山崎文雄・永田茂：都市基盤データに基づく上水道管路延長分布の推定 (I-435), 土木学会第 66 回年次学術講演会講演概要集第 1 部門 (CD-ROM), pp. 869-870, 2011.
- 4) 永田茂・山本欣弥：地震被害想定で用いるライフラインの埋設管延長の予測モデルに関する検討 (I-436), 土木学会第 66 回年次学術講演会講演概要集第 1 部門 (CD-ROM), pp. 871-872, 2011.
- 5) 日本水道協会：平成 20 年度版水道統計 施設・業務統計, Vol.91-1, 2010.
- 6) 丸山喜久・山崎文雄：近年の地震データを考慮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.
- 7) 丸山喜久・山崎文雄：東京湾北部地震における上水道管と木造建物の広域被害予測, 第 2 回相互連関を考慮したライフライン減災対策に関するシンポジウム論文集, pp.20-27, 2010.
- 8) 独立行政法人 防災科学技術研究所：地震ハザードステーション J-SHIS, <http://www.j-shis.bosai.go.jp/>.
- 9) Nagata, S., Kageyama, K. and Yamamoto, K.: An Emergency Restoration Model for Water Supply Network Damage due to Earthquakes, Journal of Disaster Research, Vol.3, No.6, pp.390-399, 2008.
- 10) 日本下水道協会：平成 21 年度版下水道統計, Vol.66, 2011.
- 11) 永田茂・石田寛・日下彰宏・濱田政則・庄司学・山本欣弥：近年の被害地震の被災データに基づく下水道管路網の地震被害率曲線の構築, 第 13 回日本地震工学シンポジウム論文集, pp.1765-1772, 2010.
- 12) 日下彰宏・石田寛・永田茂：下水道重要拠点施設の地震被害による機能停止からの復旧日数の検討, JCROSSAR2011 論文集, Vol.7, pp.283-288, 2011.
- 13) 川上英二：道路交通システムの形状と連結確率との関係、第 1 回首都直下地震災害総合シンポジウム論文集、pp.169-172、1996.

(e) 学会等発表実績

学会等における口頭・ポスター発表
なし

学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文 (論文題目)	発表者氏名	発表場所 (雑誌等名)	発表時期	国際・国内の別
首都直下地震における下水道施設被害と応急復旧戦略に関する検討	永田 茂	アーバンインフラ・テクノロジー推進会議 第 23 回技術研究発表 会論文集	2011年9月	国内
首都直下地震における 9 都県市の上下水道の	永田茂・丸山 喜久・庄司学	土木学会第 3 回相互 連関を考慮したラ	2011年12月	国内

被害と応急復旧日数の検討		イフライン減災対策に関するシンポジウム論文集		
--------------	--	------------------------	--	--

マスコミ等における報道・掲載

報道・掲載された成果 (記事タイトル)	対応者氏名	報道・掲載機関 (新聞名・TV名)	発表時期	国際・国内の別
特集ITを駆使した震災対応 ライフラインの被災シミュレーション	永田 茂	日経コンストラクション	2011年6月27日号	国内

(f) 特許出願, ソフトウェア開発, 仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし