

平成23年度 第4回成果発表会

相互に関連したライフラインの復旧最適化に関する研究

# 首都圏の上下水道のデータ構築と被害予測

鹿島技術研究所	上席研究員	永田	茂
筑波大学	准教授	庄司	学
千葉大学	准教授	丸山	喜久

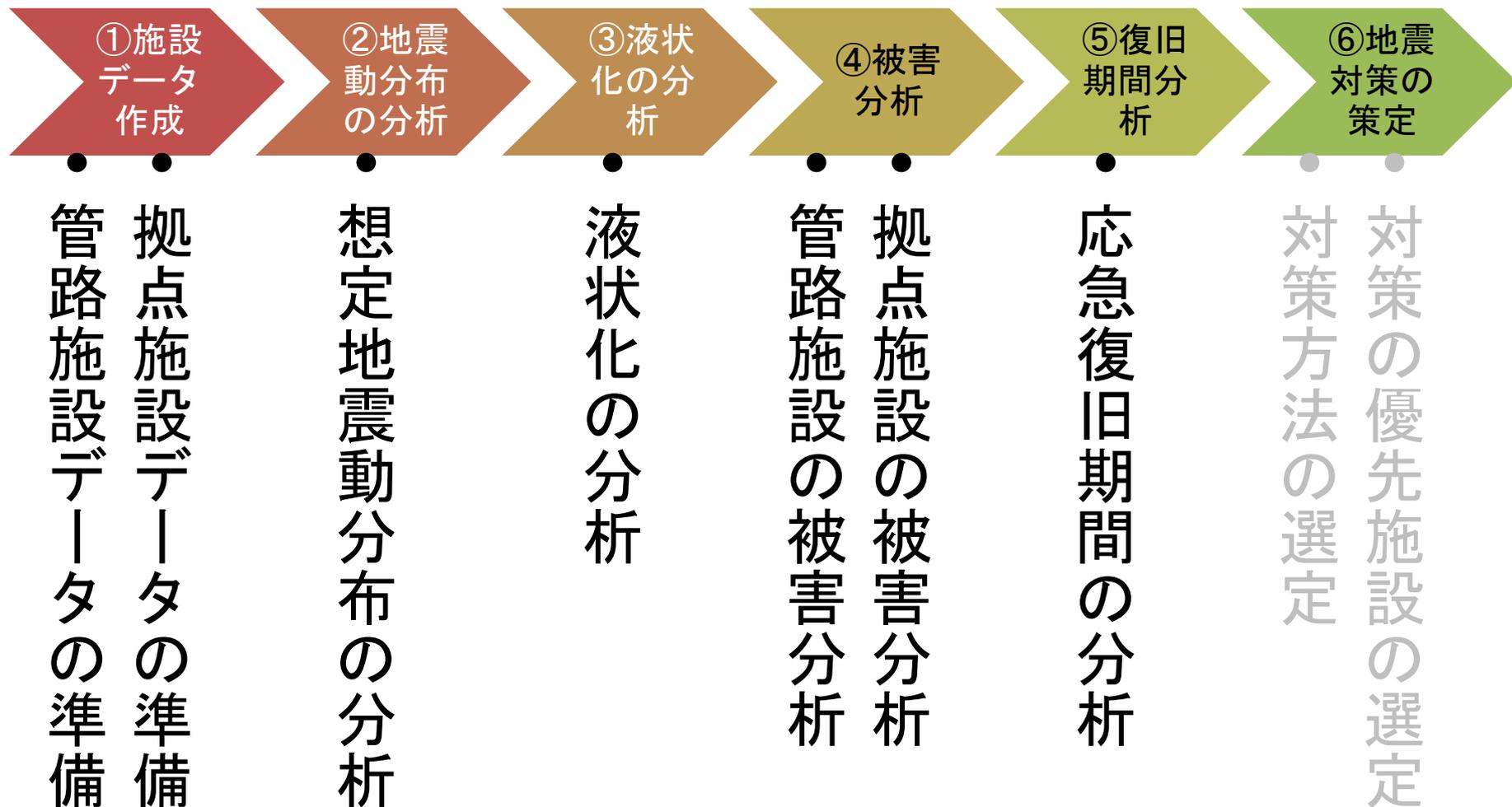
# 発表内容

1. 首都圏の上下水道施設の被害予測における課題
2. 首都圏の上下水道施設のデータの作成
3. 東京湾北部地震を対象とした被害及び復旧日数の予測解析
4. まとめ

# 首都圏の上下水道施設の 被害予測における課題

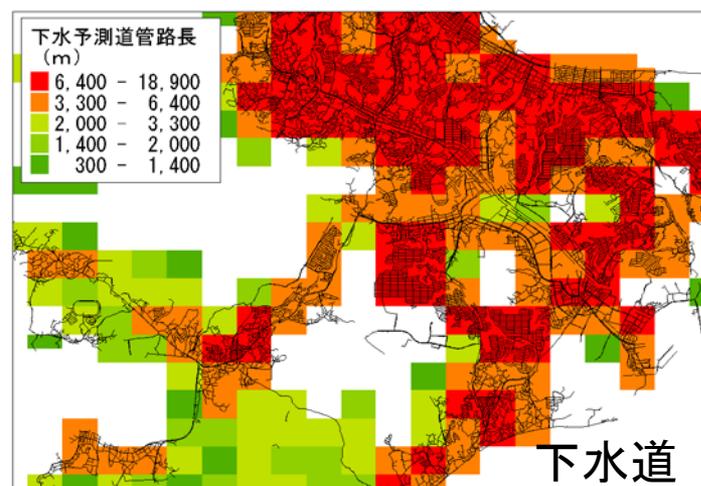
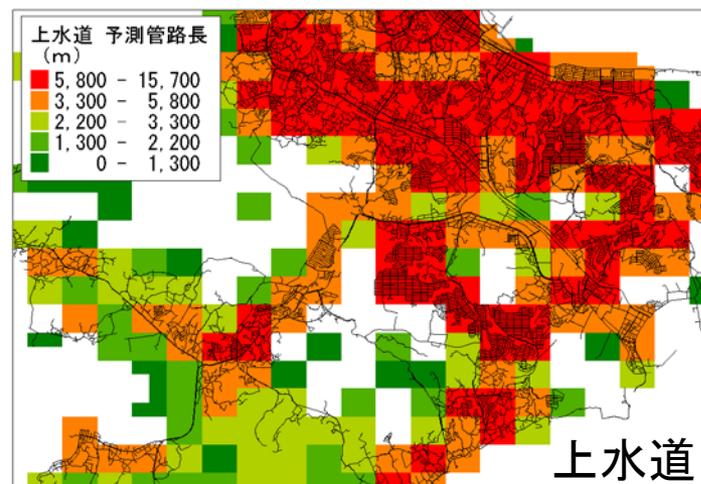
- 中央防災会議による評価結果の課題
  - － 分析に使用した施設データが明らかでない
  - － 被害想定方法が最新の知見が反映された手法ではない
  - － 復旧日数の評価が定性的であったり，面的な復旧の影響が考慮されていない
  - － 被害や応急復旧状況に関する面的な情報が明らかになっていない
- 首都圏全域の被害把握
  - － 研究目的で自由に使用できる施設データの構築
  - － 最新の被害データの分析結果に基づく面的な被害予測
  - － 面的な復旧過程を考慮した応急復旧日数の予測

# 首都圏の上下水道施設データの準備から 被害及び応急復旧日数の予測までの手順



# 首都圏の上下水道施設データの作成

- 首都圏の複数都県市の上下水道施設を統一的に扱ったデジタルデータは存在していない。独自に作成する必要がある。
- 浄水場，処理場などの拠点施設に関しては，公開資料などを基に主要施設をデータ化する。
- 管路長に関しては複数の自治体の実管路長と道路，地形，人口，世帯数，事業所数などとの回帰分析から予測モデルを構築する。



実管路長と予測モデルによる管路長の比較例

# 上水道施設データの作成

- 主要施設(浄水場, 配水池・給水拠点)データ
  - 水道事業者のHPなどから, 浄水場・配水池などの座標を調査
- 管路施設データ
  - 250mメッシュごとの管路埋設の有無と管路延長 $l_i$ を推定した\*.  
(\*永田ら:土木学会平成23年度全国大会講演概要集, I-436, pp.871-872, 2011)
  - 水道統計\*\*の事業者ごとの総延長 $L_r$ と推定延長 $L_e = \sum l_i$ が等しくなるように, 250mメッシュごとの推定値に補正係数( $L_r/L_e$ )を乗じた.  
(\*\*日本水道協会, 水道統計(平成21年度), 2010)

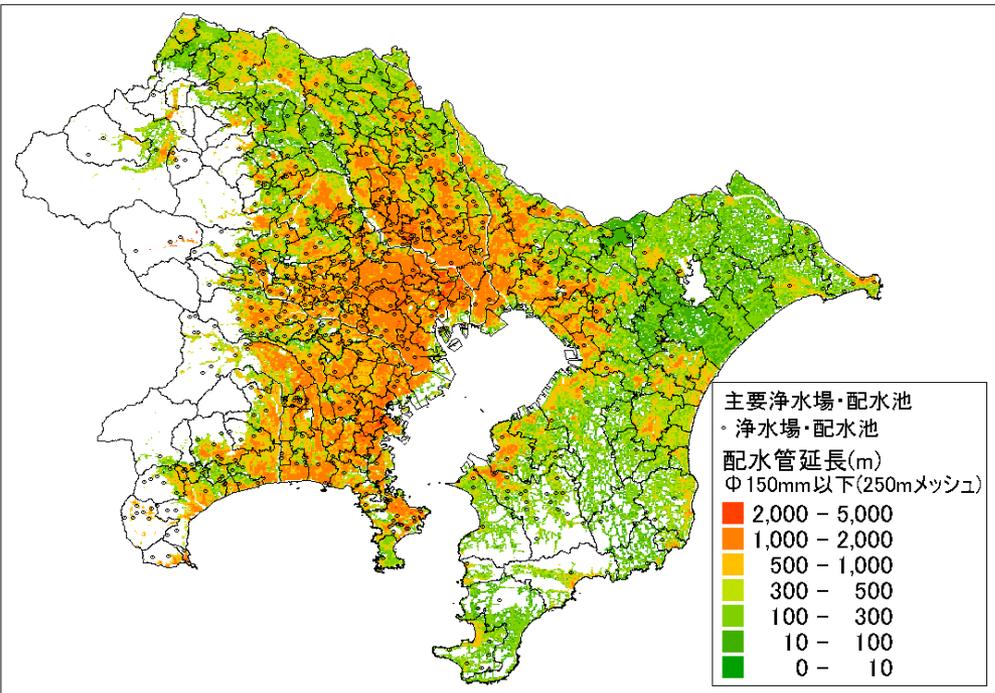
対象	予測式
敷設範囲	埋設管の有無 = $5.544e-04 \cdot \text{道路総延長(m)} - 1.102e-04 \cdot \text{昼夜間人口} - 1.229 \cdot \text{地形(山地・河川・水部=1)} + 8.995e-03$
管路延長	埋設管の延長(m) = $0.602 \cdot \text{道路総延長(m)} + 5.645 \cdot \text{一戸建世帯数} + 2.907 \cdot \text{全産業事業所数} + 0.798 \cdot \text{共同住宅世帯数}$ (重相関係数=0.965)

# 下水道施設データの作成

- 主要施設(処理場, ポンプ場等)データ
  - 下水道統計(日本下水道協会)の処理場, ポンプ場情報から座標を調査
- 管路施設データ
  - 250mメッシュごとの管路埋設の有無と管路延長 $l_i$ を推定した\*.  
(\*永田ら:土木学会平成23年度全国大会講演概要集, I-436, pp.871-872, 2011)
  - 下水道統計\*\*の事業体ごとの総延長 $L_r$ と推定延長 $L_e = \sum l_i$ が等しくなるように, メッシュ単位の推定値に補正係数( $L_r/L_e$ )を乗じた.  
(\*\*日本下水道協会, 水道統計(平成21年度版), 2011)

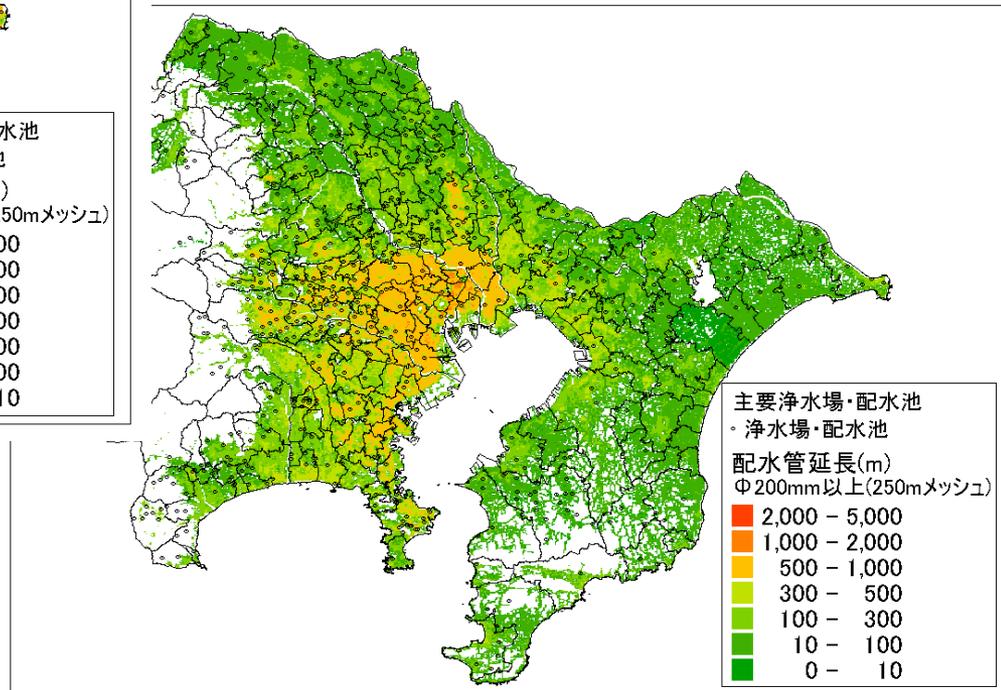
対象	予測式
敷設範囲	埋設管の有無 = $5.514e-04 \cdot \text{道路総延長(m)} - 2.407e-05 \cdot \text{昼夜間人口} - 0.985 \cdot \text{地形(山地・河川・水部=1)} - 4.293e-01$
管路延長	埋設管の延長(m) = $0.476 \cdot \text{道路総延長(m)} + 7.476 \cdot \text{一戸建世帯数} + 4.906 \cdot \text{全産業事業所数} + 1.795 \cdot \text{共同住宅世帯数}$ (重相関係数=0.958)

# 首都圏の上水道施設データ (250mメッシュごとの管路延長)

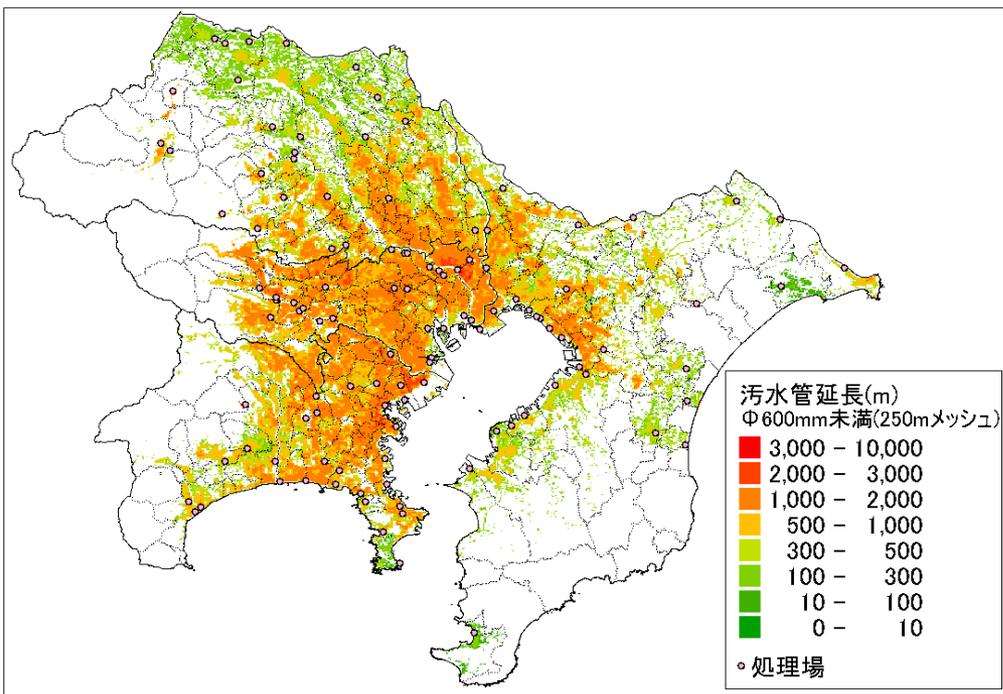


(Φ150mm以下)

(Φ200mm以上)

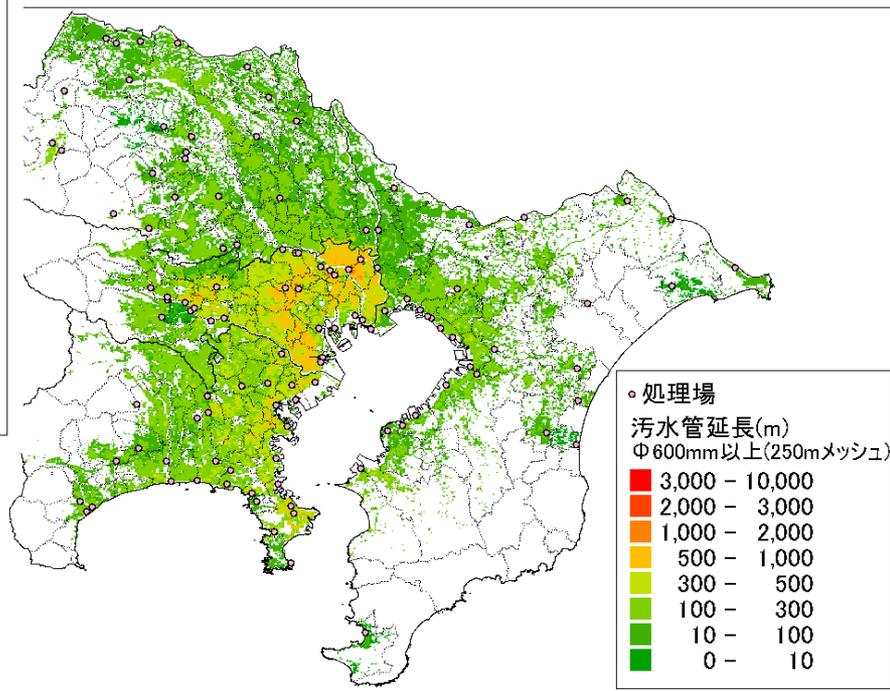


# 首都圏の下水道施設データ (処理場と250mメッシュごとの管路延長)



(Φ600mm未満)

(Φ600mm以上)



# 東京湾北部地震を対象とした上下水道施設の 被害及び復旧日数の予測解析

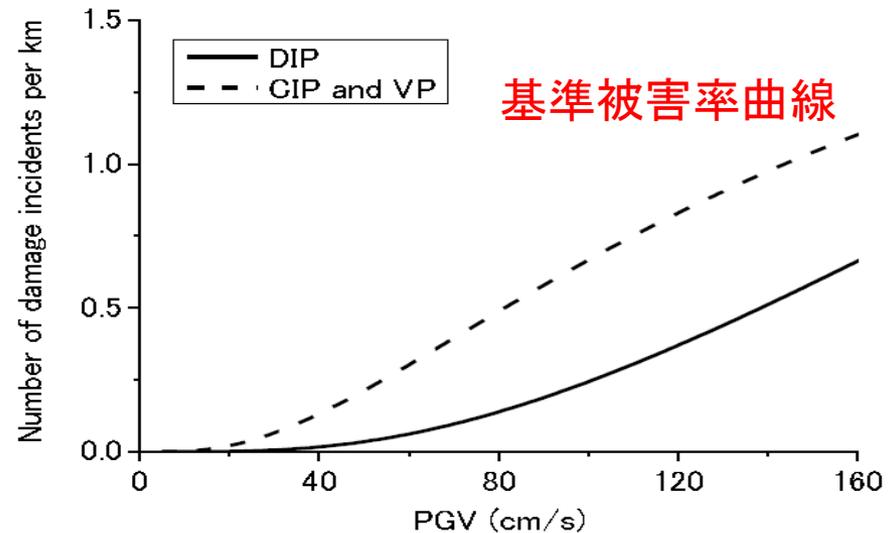
- 中央防災会議では阪神・淡路大震災以前の被害状況に基づく被害予測式を用いている。本検討では、近年の耐震化の進展を踏まえ、阪神・淡路大震災以降から近年までの被害状況を考慮した被害予測式を用いる。
- 中央防災会議では定性的な政策目標としての復旧日数を示している。本検討では、被害予測結果と復旧計画に基づく定量的な予測例を示す。

# 上水道管路施設の被害予測式

- 近年の管路施設の被害データの分析によって得られた被害率曲線\*を使用
- (\*丸山・山崎:第30回土木学会地震工学研究発表会論文集,防災1-1,2009)
- 被害予測式

$$D = C_g \cdot C_\phi \cdot C_p \cdot C_l \cdot R(v) \cdot L$$

- R: 基準被害率(箇所/km), v: 地表最大速度(cm/s), C<sub>g</sub>: 地盤補正係数, C<sub>φ</sub>: 口径補正係数, C<sub>p</sub>: 管種補正係数, C<sub>l</sub>: 液状化補正係数, L: 管路長(km), D: 被害箇所数
- 250mメッシュに適用



管種	補正係数C <sub>p</sub>
ACP (石綿セメント管)	1.2
CIP (鋳鉄管)	1.0
VP (塩化ビニル管)	1.0
SP (鋼管)	2.0
PEP (ポリエチレン管)	0.1

管径	補正係数C <sub>φ</sub>
~φ75 mm	1.6
φ100~150 mm	1.0
φ200~450 mm	0.8
φ500 mm~	0.5

# 下水道拠点施設の被害予測式

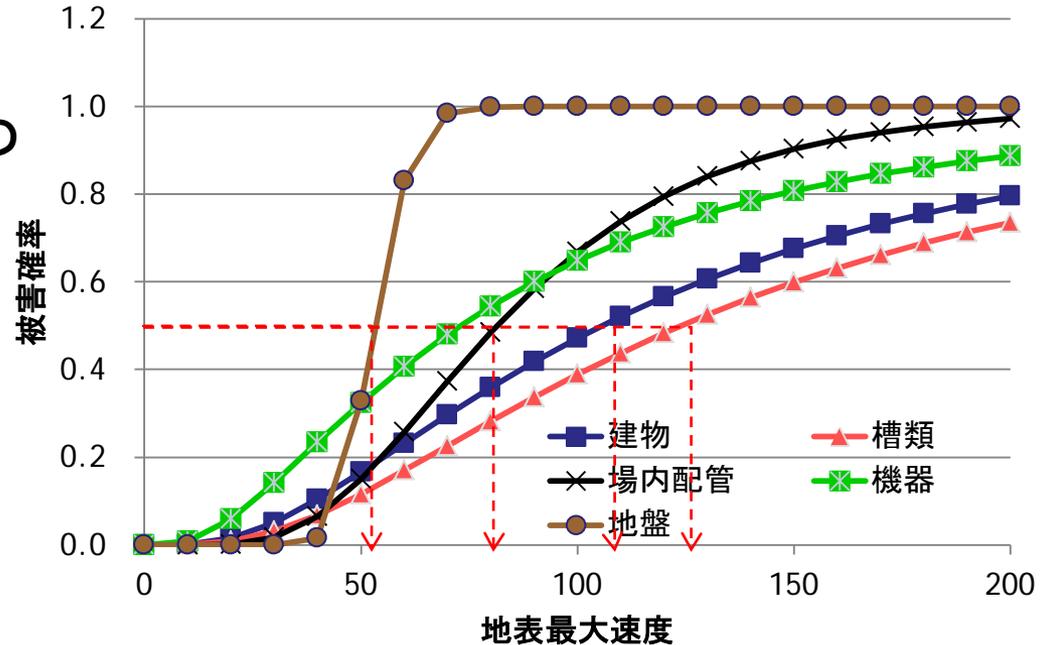
- 近年の拠点施設の被害データの分析によって得られた被害率曲線\*を使用

● (日下ほか:JCROSSAR論文集, Vol.7, pp.283-288, 2011)

## ● 被害予測式

$$D_{50} = R^{-1}(v)$$

- R: 拠点施設の被害曲線, v: 地表最大速度(cm/s),  $D_{50}$ : 被害確率50%となる地表最大速度(被害確率50%を被害発生とした)



項目	被害確率50%となる最大速度(cm/s)
建物	142
槽類	165
場内配管	91
機器類	103
場内地盤	55

# 下水道管路施設の被害予測式

- 近年の管路施設の被害データの分析によって得られた被害率曲線を使用

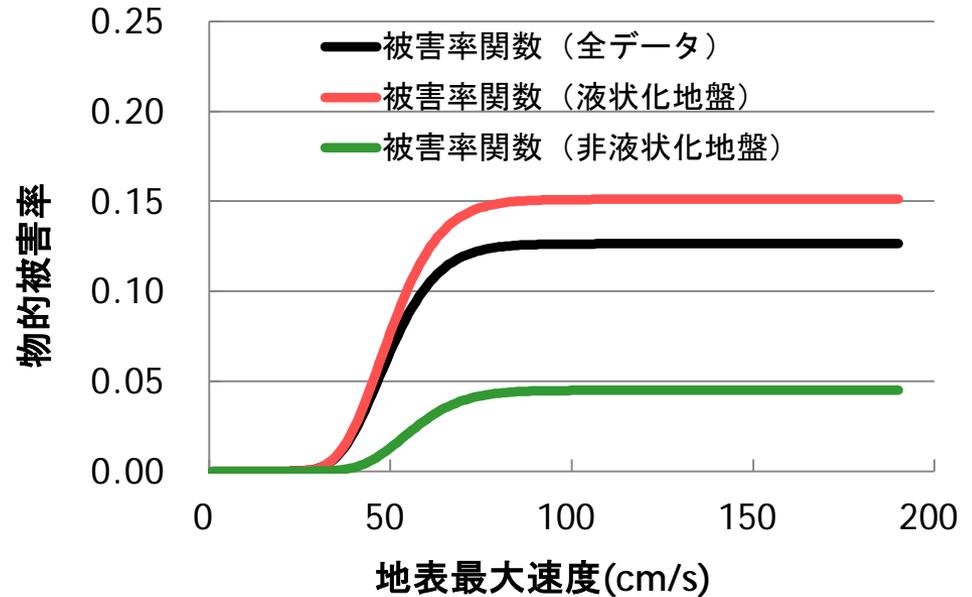
- (永田ら: 日本地震工学会, 第13回日本地震工学シンポジウム論文集, pp.1765-1772, 2010)

## ● 被害予測式

$$D = C_{\phi p} \cdot C_l \cdot R \cdot L$$

R: 基準被害率(被害延長/総延長),  $C_{\phi p}$ : 管種・口径補正係数,  $C_l$ : 液状化補正係数, L: 管路長(m), D: 被害延長(m)  
250mメッシュに適用

基準被害率曲線

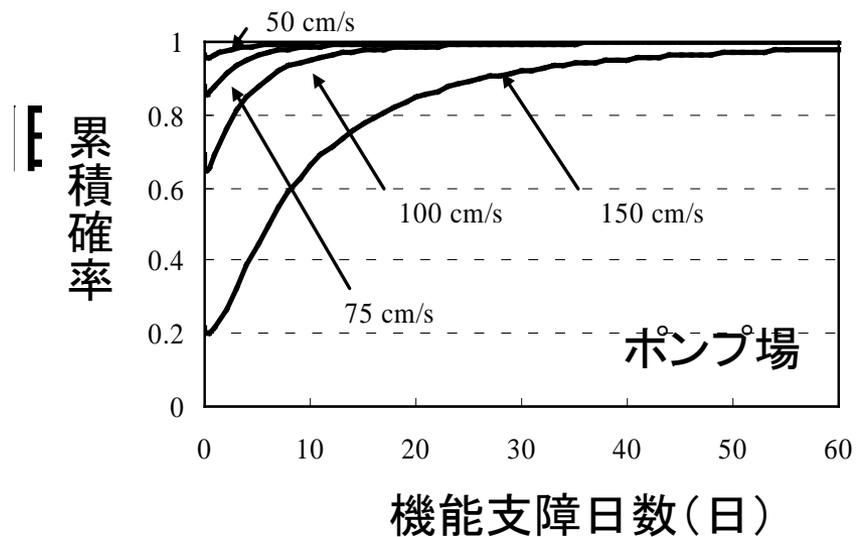
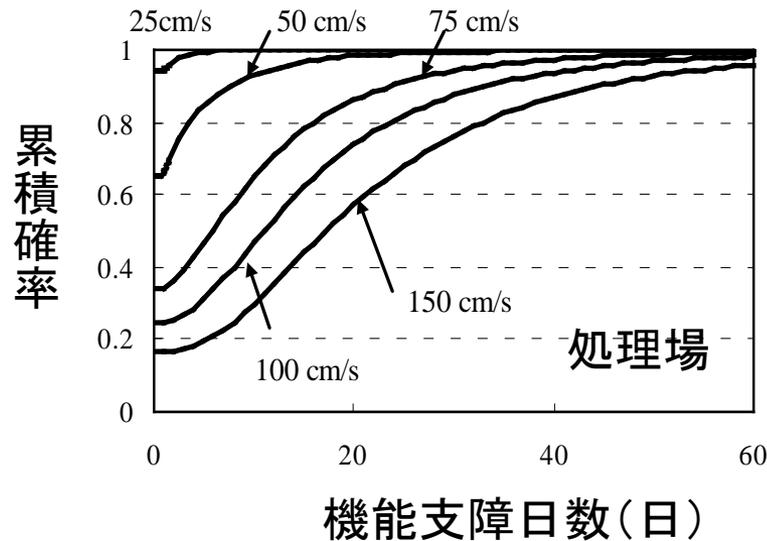


補正係数  $C_{\phi p}$

口径	管種	補正係数
$0 \leq \phi < 300$	塩ビ管	0.131
	その他	0.104
$300 \leq \phi < 600$	塩ビ管	0.133
	その他	0.106
$\phi \geq 600$	その他	0.009

# 下水道拠点施設の復旧日数の予測式

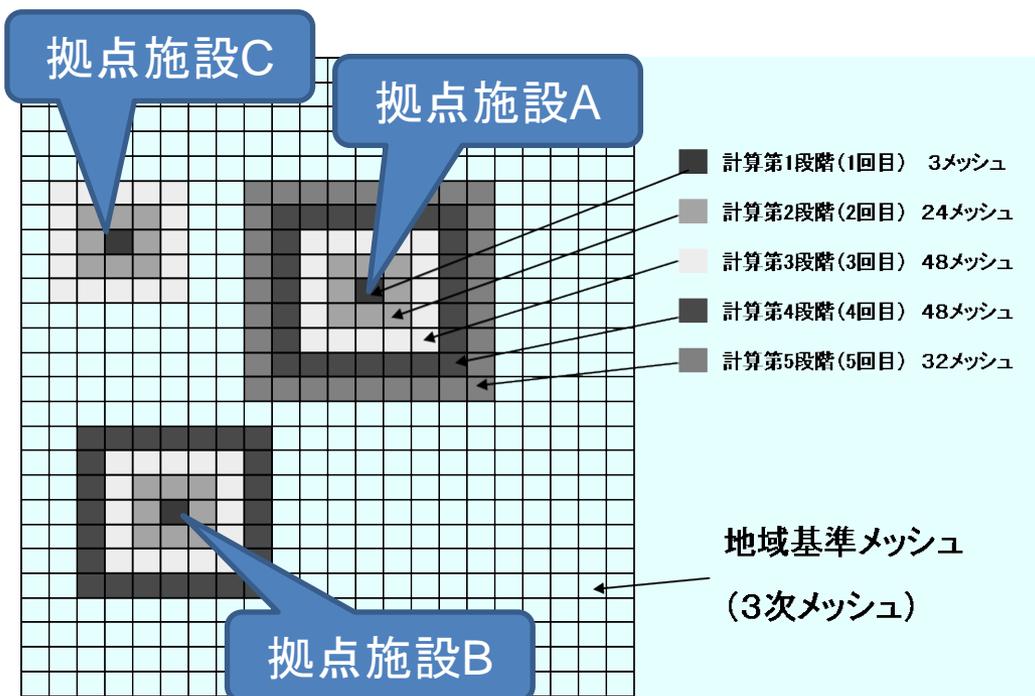
- 近年の管路施設の被害データの分析から求めた復旧率曲線を使用
- (日下ほか: JCOSSAR論文集, Vol.7, pp.283-288, 2011)



処理場が建物、貯槽類、機器類、配管類がそれぞれ1ユニットからなる処理場を仮定した場合の復旧予測式

# 上下水道管路施設の復旧日数の予測式

- 管路施設のネットワーク特性を考慮するため、拠点施設を中心に段階的に復旧が進むものとして復旧日数を求める。
- 復旧日数の予測では利用者人口や被害の大きさ指標として復旧箇所を決定し、復旧日数を求める



メッシュ $j$ の復旧日数(日)  $T_j$ は左式で求められる。  $D$ はメッシュ $j$ の被害延長(m),  $r$ はメッシュ $j$ に投入する復旧班数(班),  $v$ は復旧速度(m/班日)である。

$$T_j = \sum_{i=1} \left( \frac{D}{r} \cdot \frac{1}{v} \right)$$

# 東京湾北部地震を対象とした事例解析

- 対象
  - 東京, 千葉, 埼玉, 神奈川の9都県市
- 想定地震
  - 中央防災会議首都直下地震対策専門調査会によって評価された東京湾北部地震(M7.3)(1kmメッシュ)
- 地震動・液状化
  - 東京湾北部地震の計測震度を経験式\*で変換して求めた地表最大速度を使用  
(\*Karim, K.R. and F. Yamazaki: Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol.31, pp.1191-1212, 2002)
  - 中央防災会議の求めた液状化危険度PL値を使用
- 評価単位
  - 250mメッシュ単位

# 東京湾北部地震を対象とした事例解析

- 分析対象施設

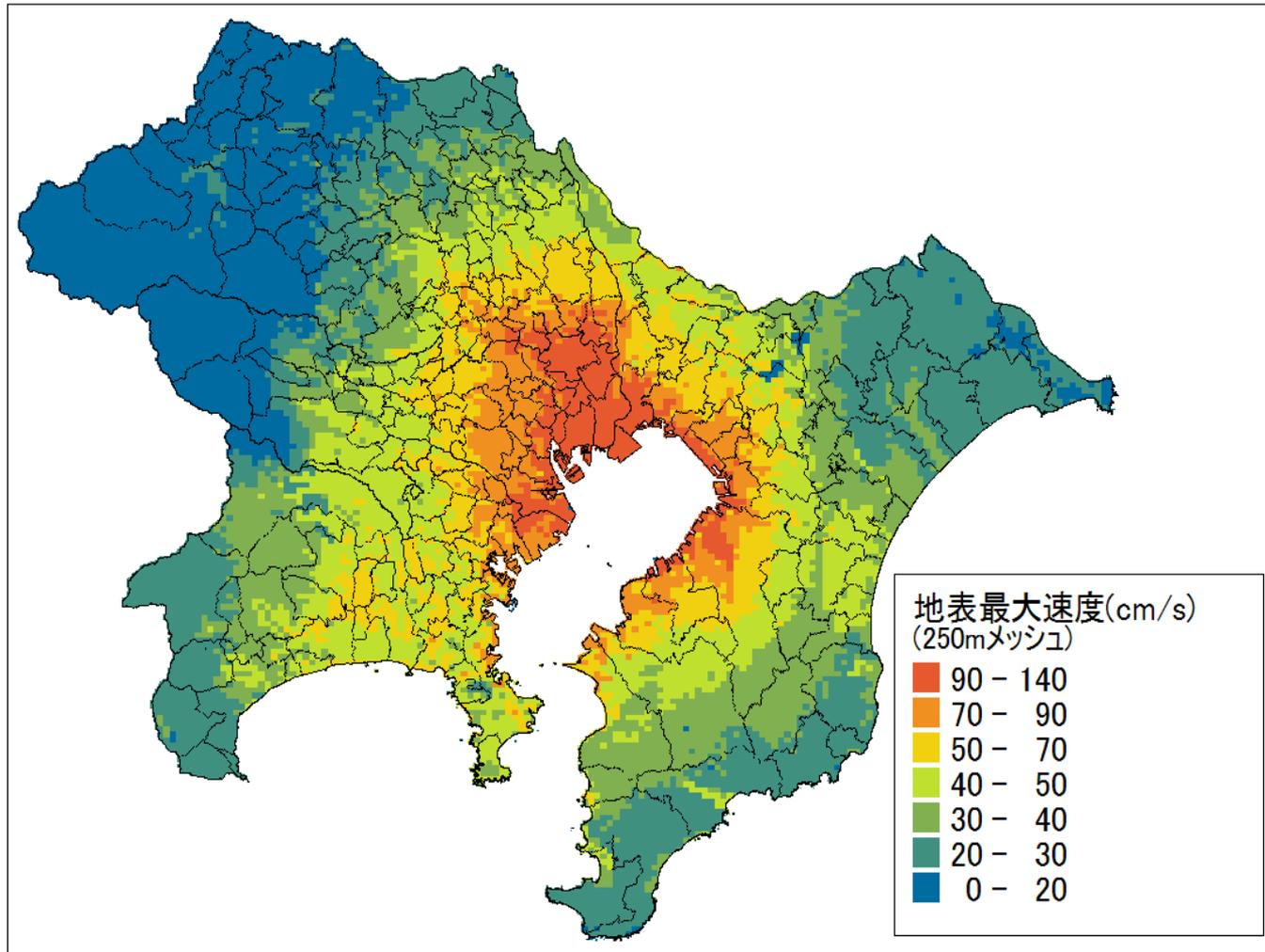
- 上水道: 配水管路施設(取水施設・導水管・送水管・浄水場は無被害と仮定)
- 下水道: 下水処理場と汚水管路施設(ポンプ場は無被害と仮定)

- 応急復旧作業

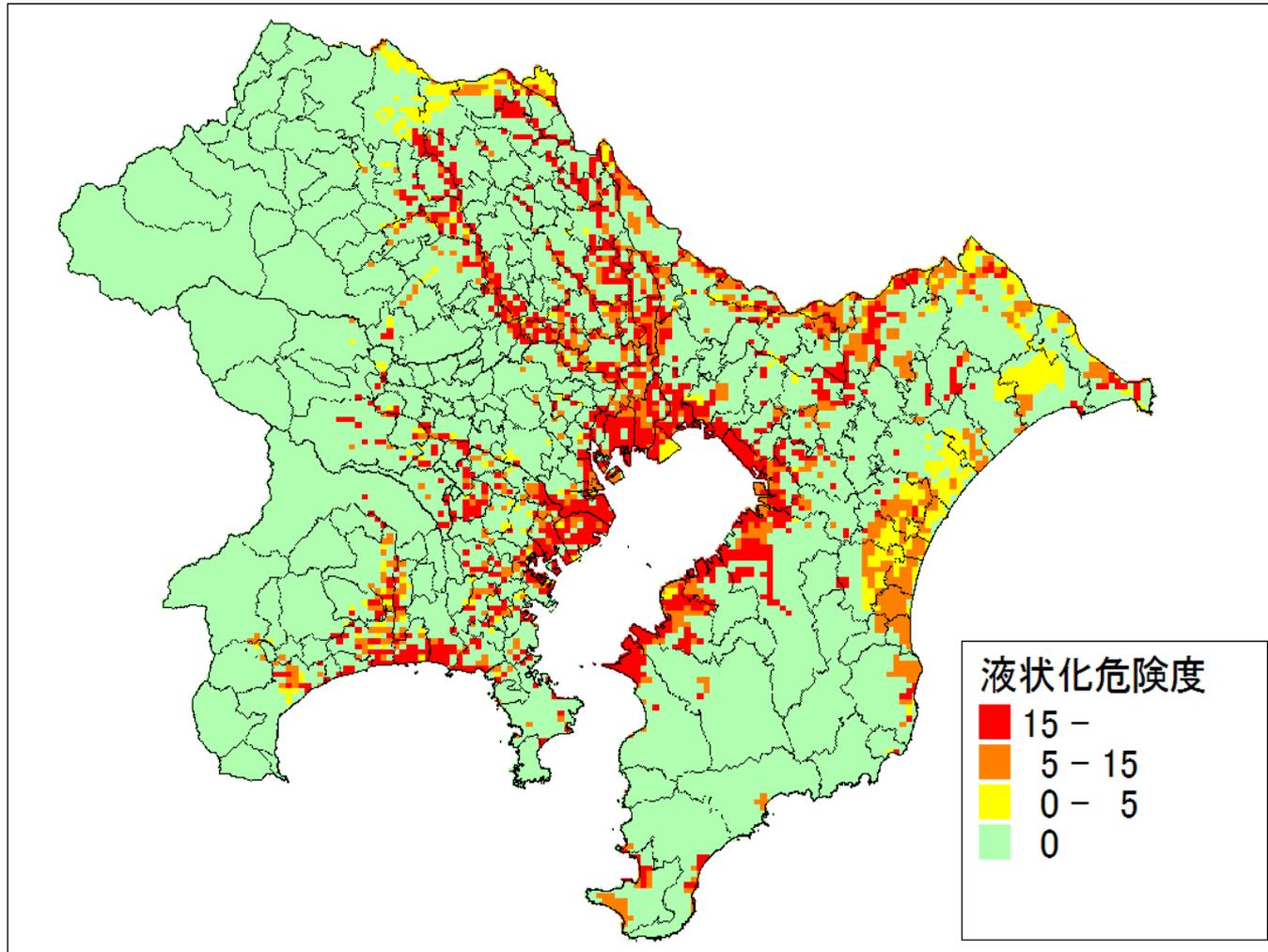
- 上水道: ピーク時最大復旧班数を1,200班\*とし, 被害箇所数に応じて比例配分. 配水本管・支管の復旧速度は, それぞれ0.5箇所/(班日), 1.0箇所/(班日)
- 下水道: ピーク時最大復旧班数を600班とし, 被害箇所数に応じて比例配分. 口径600mm以上, 600mm未満の復旧速度をそれぞれ150m/(班日), 300m/(班日)

(\*内閣府(防災担当): 首都直下地震に係る被害想定手法, 2008)

# 東京湾北部地震(M7.3)の地表最大速度 (中央防災会議)

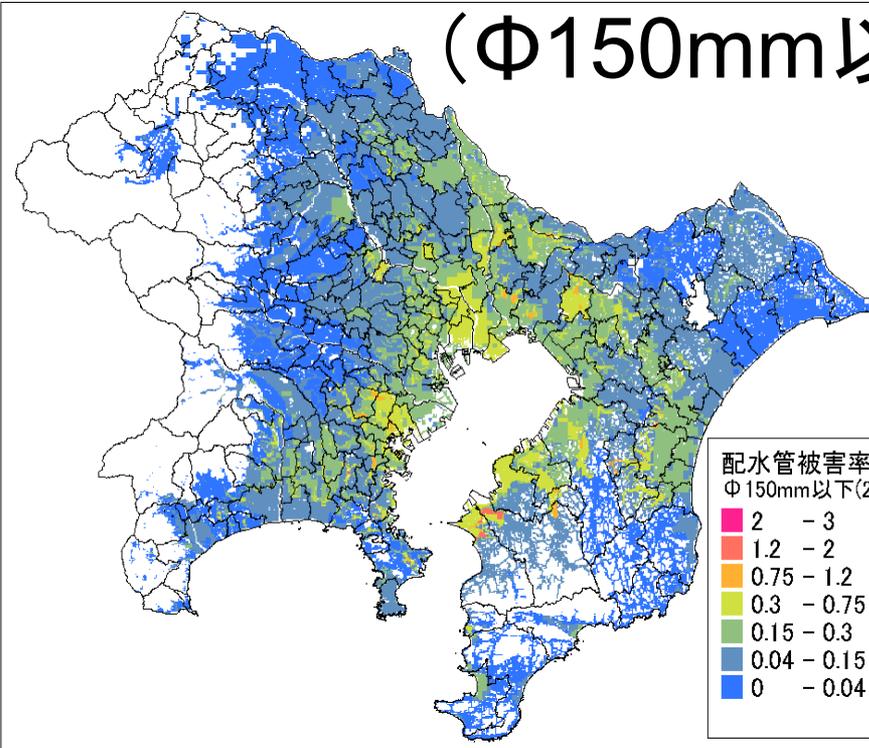


# 東京湾北部地震(M7.3)の液状化危険度PL値 (中央防災会議)

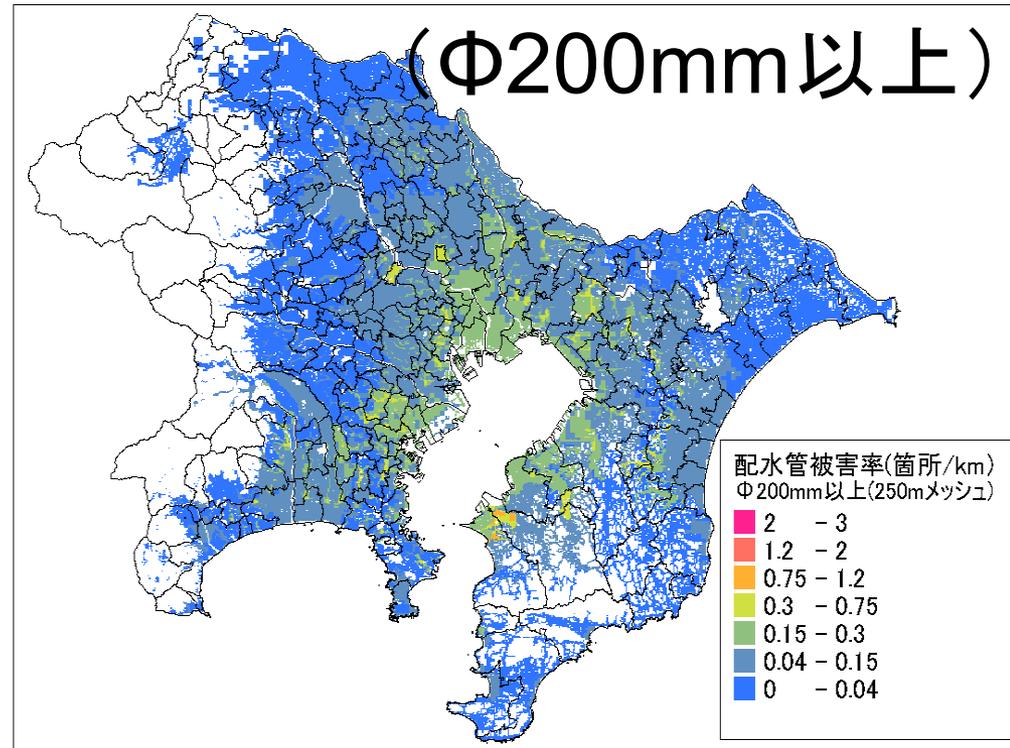


# 上水道管路被害率の予測結果

( $\Phi 150\text{mm}$ 以下)

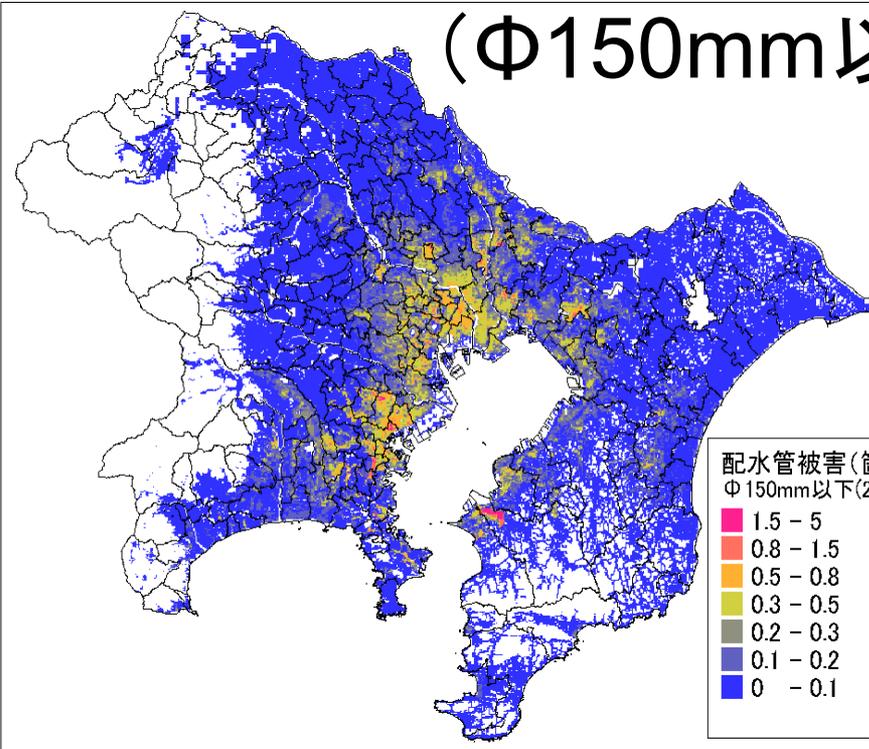


( $\Phi 200\text{mm}$ 以上)

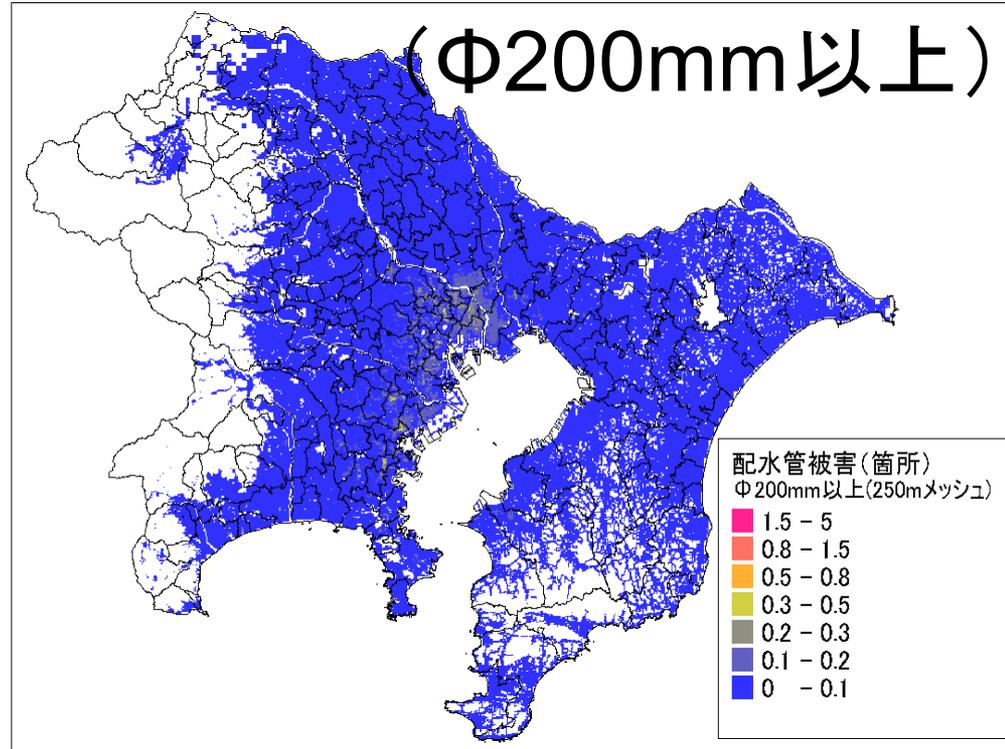


# 上水道管路被害延長の予測結果

(Φ150mm以下)



(Φ200mm以上)



# 上水道管路の被害集計

都道府県名	配水管被害箇所数(箇所/km)		合計
	150mm以下(被害率)	200mm以上(被害率)	
埼玉県	1,821 ( 0.089 )	289 ( 0.060 )	2,110
千葉県	3,883 ( 0.188 )	508 ( 0.104 )	4,391
東京都	2,625 ( 0.146 )	876 ( 0.102 )	3,501
神奈川県	2,812 ( 0.154 )	607 ( 0.103 )	3,419
合計	11,140 ( 0.144 )	2,280 ( 0.094 )	13,420

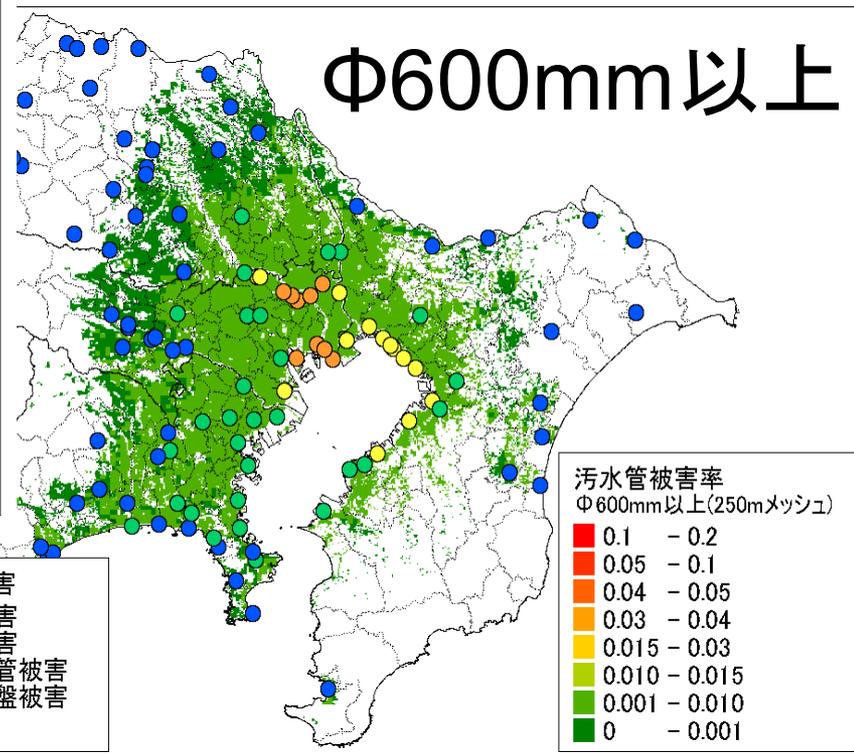
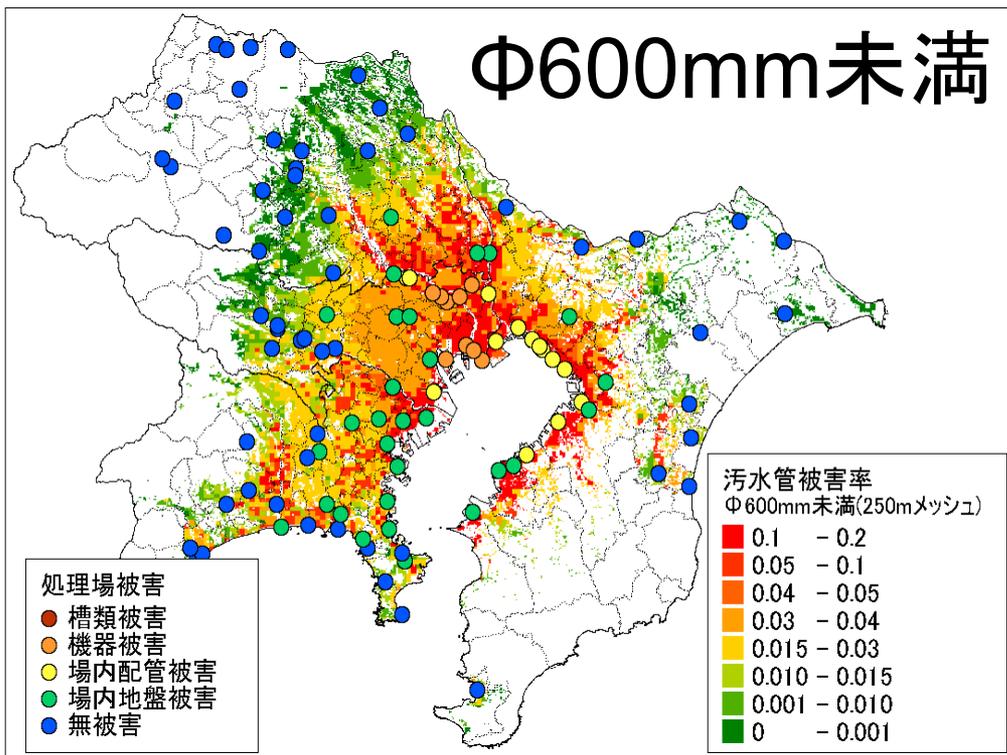
東日本大震災

仙台市

150mm以下 256箇所(0.226件/km)

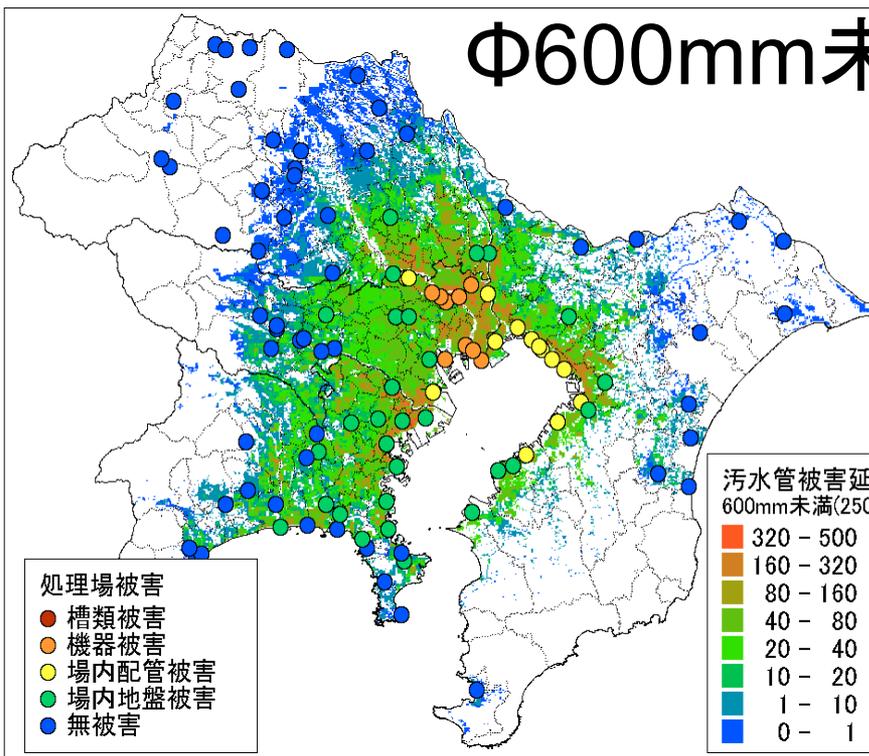
200mm以上 181箇所(0.054件/km)

# 下水管路被害率及び下水処理場被害の 予測結果

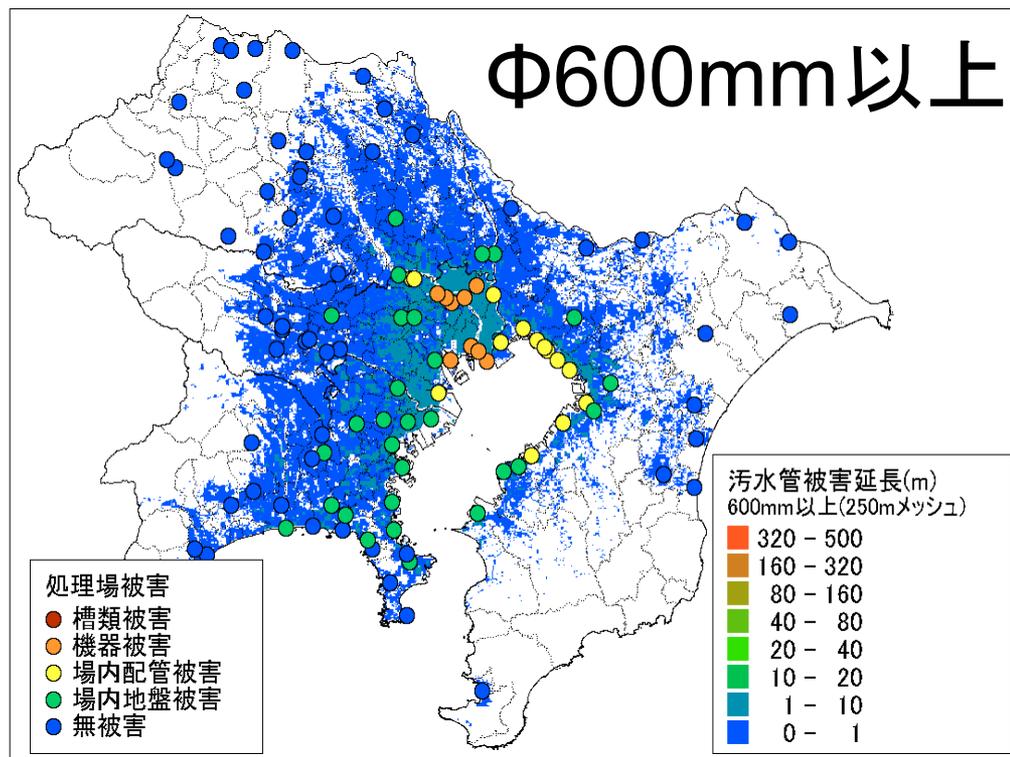


# 下水管路被害延長及び下水処理場被害の予測結果

## Φ600mm未満



## Φ600mm以上



# 下水道管路の被害集計

都道府県名	污水管被害延長(m)		合計
	600mm未満(被害率)	600mm以上(被害率)	
埼玉県	422,861 ( 2.93% )	4,171 ( 0.18% )	427,033
千葉県	581,916 ( 5.33% )	6,541 ( 0.38% )	588,457
東京都	743,371 ( 4.17% )	17,501 ( 0.33% )	760,873
神奈川県	678,967 ( 4.12% )	10,170 ( 0.28% )	689,137
合計	2,427,115 ( 4.07% )	38,384 ( 0.30% )	2,465,499

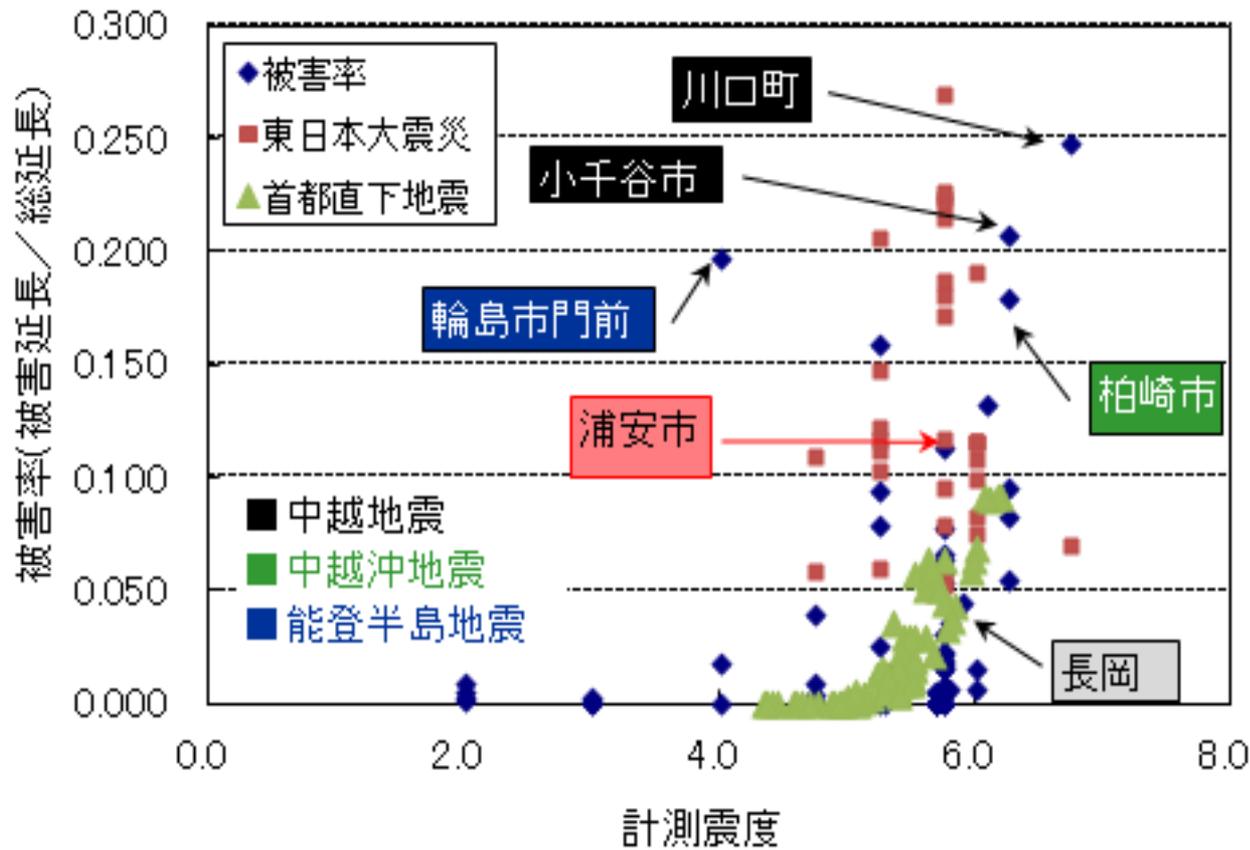
## 処理場の被害集計

東日本大震災11都県 631,000m  
(2011/11/4時点2次調査集計)

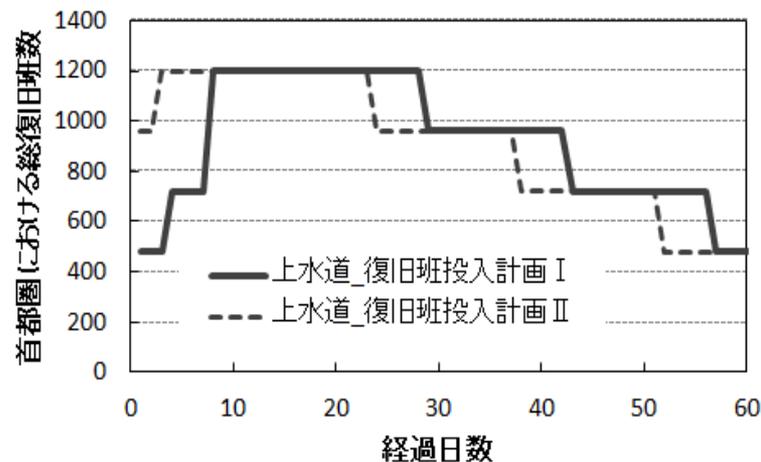
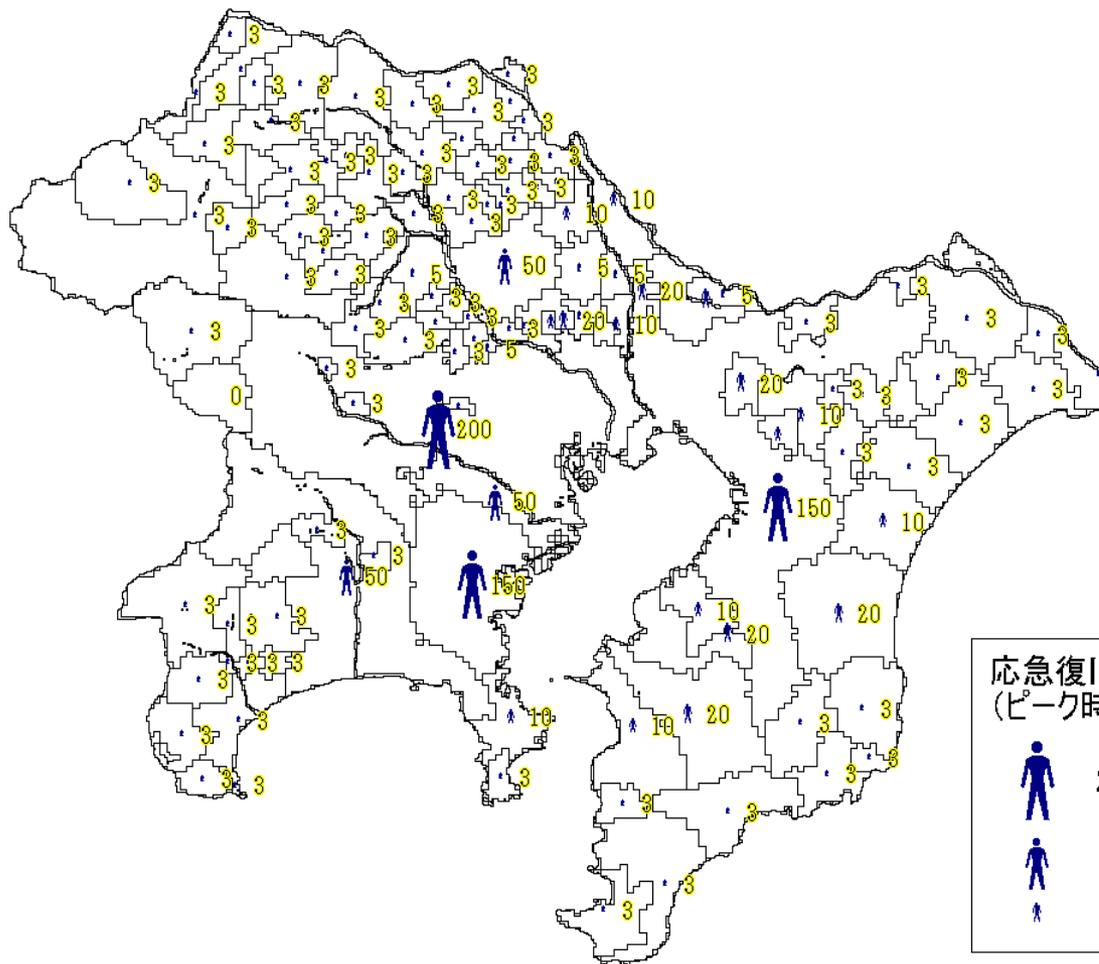
被害の有無	被害箇所	想定箇所数
被災処理場	建物被害	0
	場内配管	9
	場内機器	3
	場内地盤	47
無被害処理場		72

# 近年の被害地震との比較

市町村単位の被害率(近年5地震)

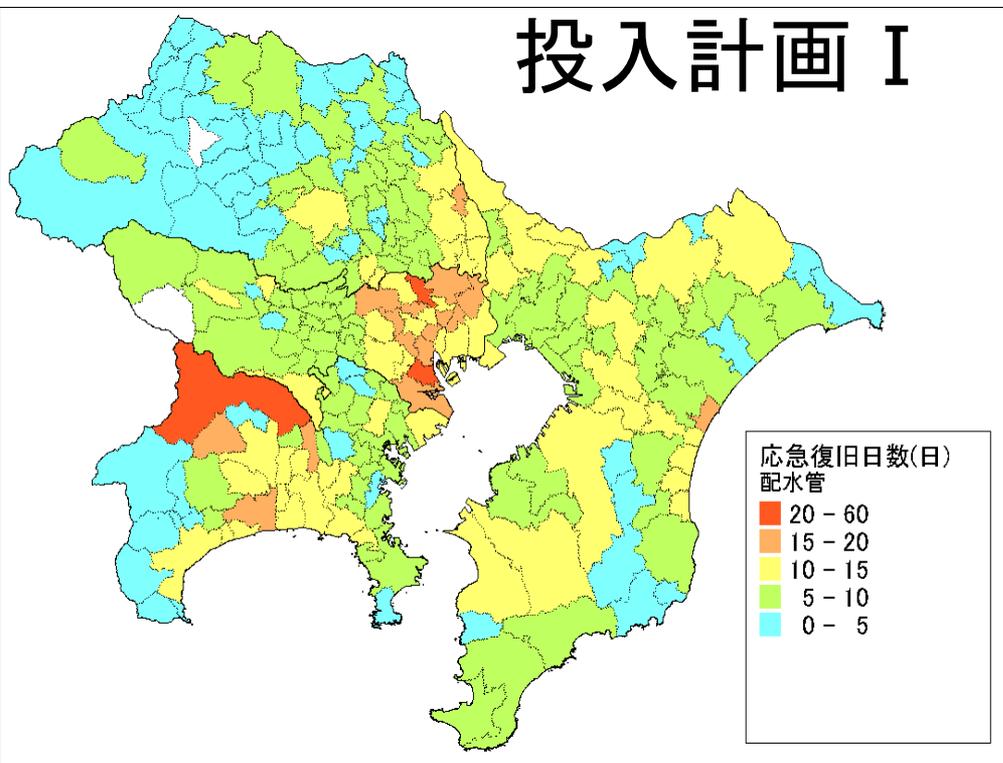


# 上水道施設の復旧人員の投入計画

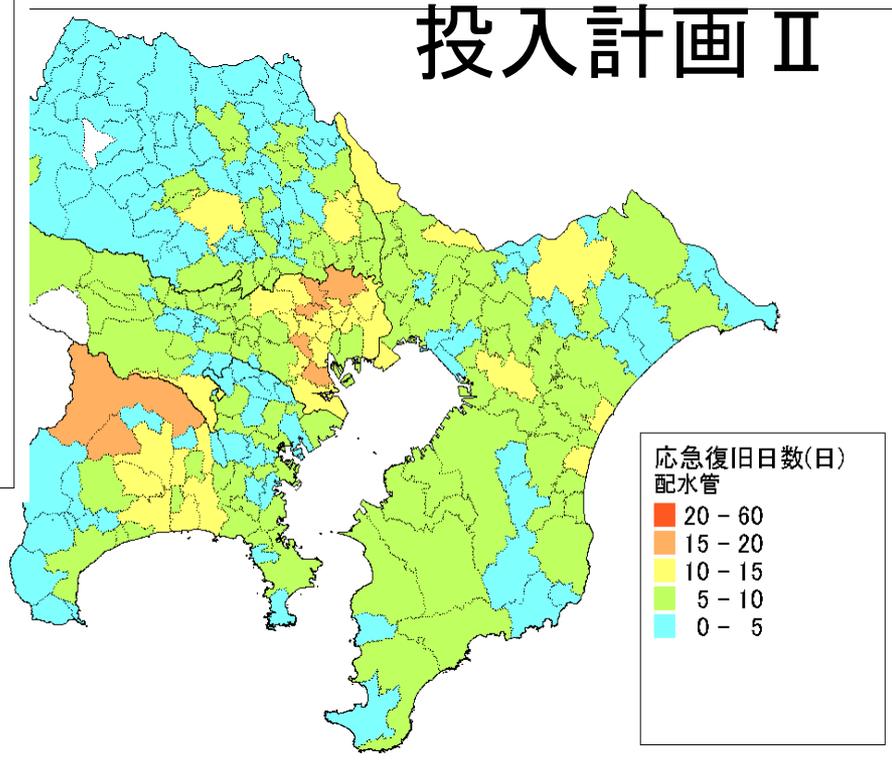


# 上水道施設の復旧日数の予測例

## 投入計画 I



## 投入計画 II

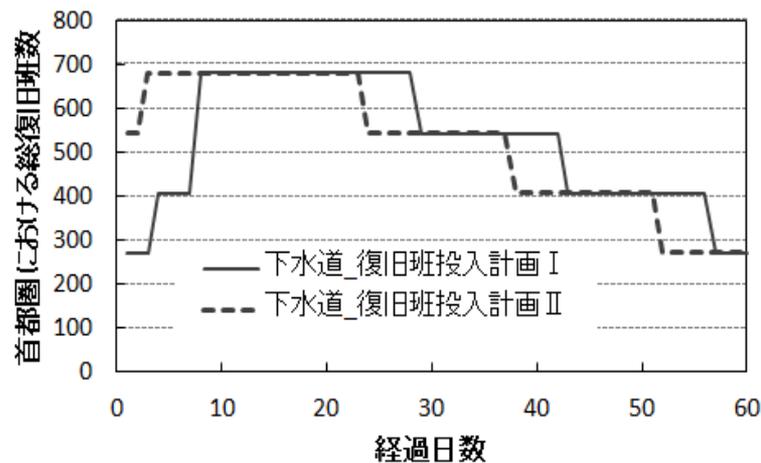
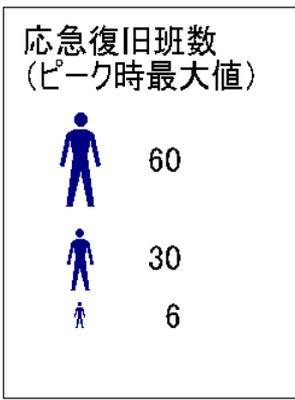
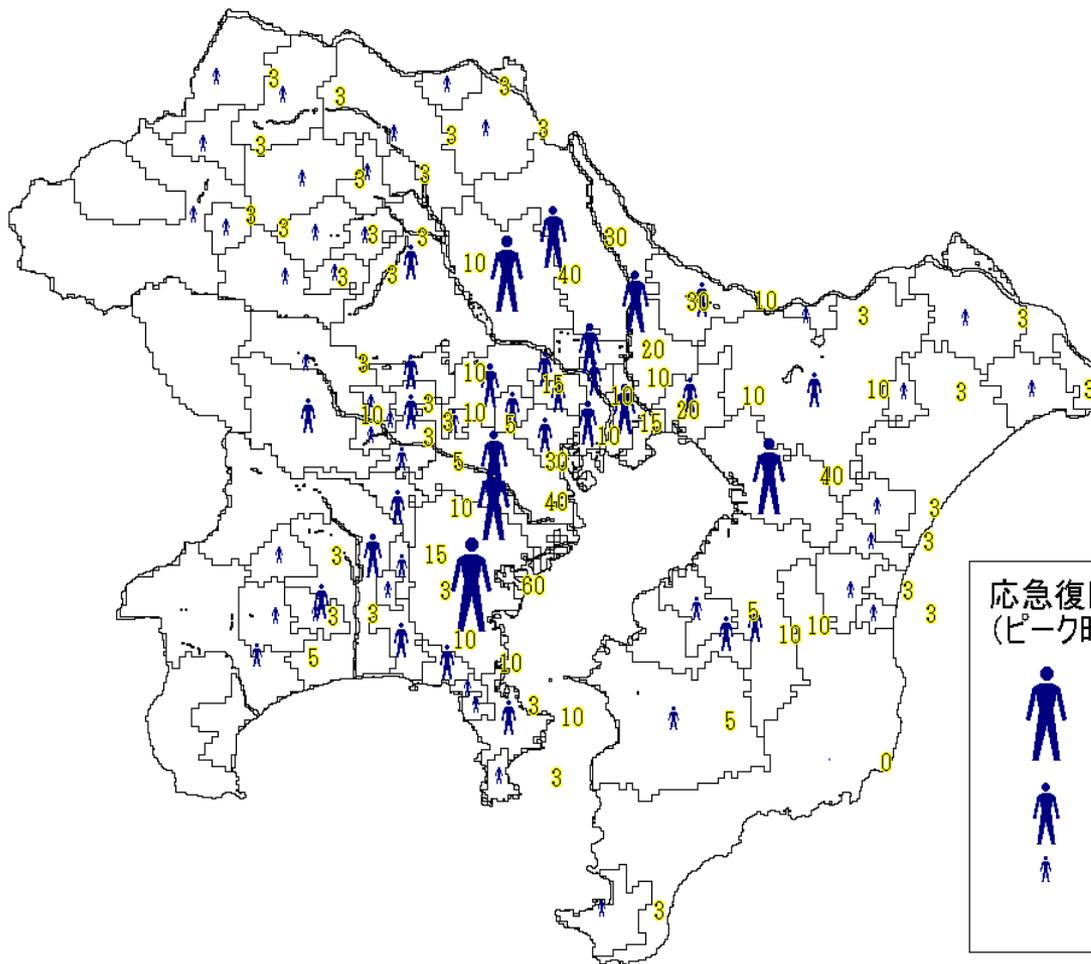


- 応急復旧日数は復旧班の投入数や配置によって異なる
- 本結果は一つの事例である

# 4都県の応急復旧日数の集計結果

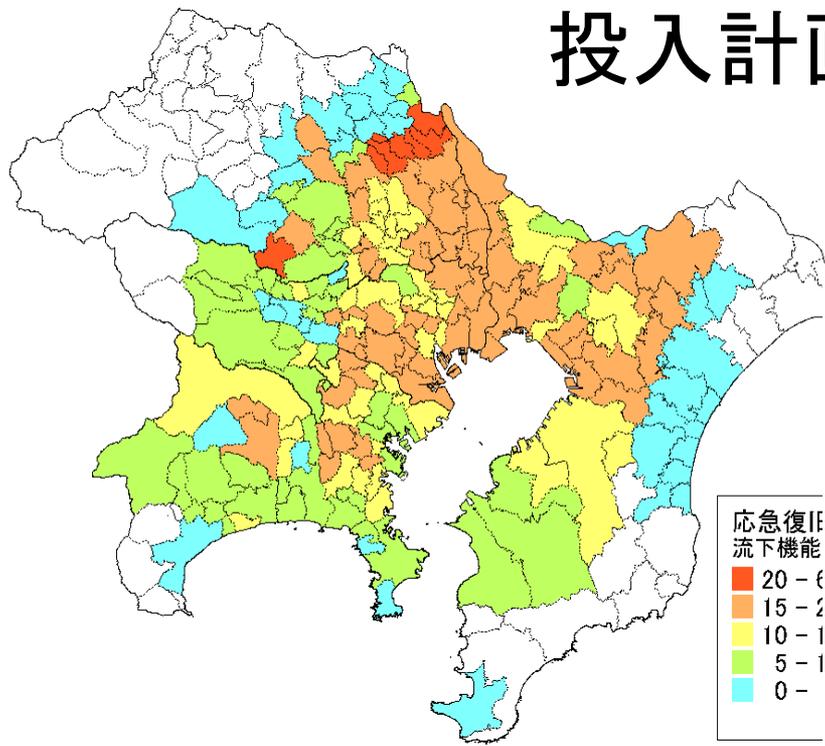
	都道府県名	応急復旧日数(日)		
		平均値	最大値	最小値
計画Ⅰ	埼玉県	7.0	27.0	1.0
	千葉県	9.3	22.0	1.0
	東京都	12.1	26.0	1.0
	神奈川県	10.3	26.0	1.0
	4都県	9.2	27.0	1.0
計画Ⅱ	埼玉県	5.2	23.0	1.0
	千葉県	7.0	19.0	1.0
	東京都	9.4	24.0	1.0
	神奈川県	8.0	24.0	1.0
	4都県	7.0	24.0	1.0

# 下水道施設の復旧人員の投入計画

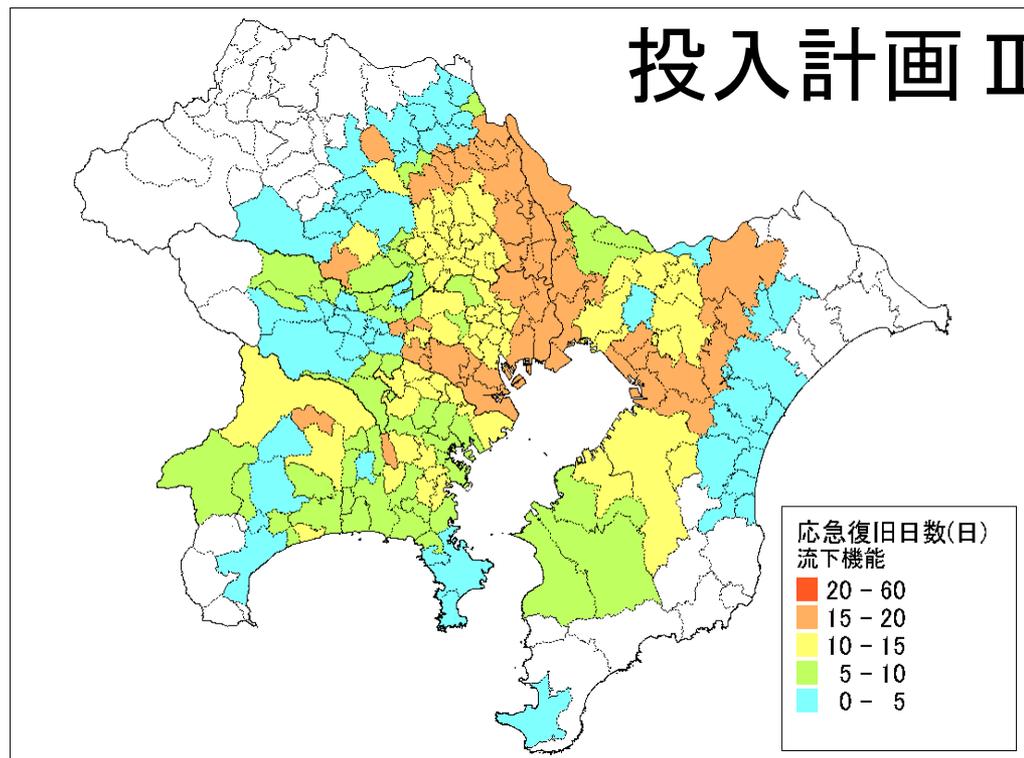


# 下水道施設の応急復旧日数の予測例

## 投入計画 I



## 投入計画 II



# 下水機能支障による影響人口の予測例

## 投入計画 I

都道府県	1日目		14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	6,950,810	100.00%	2,659,198	38.3%	21
千葉県	5,581,347	100.00%	3,283,883	58.8%	21
東京都	12,340,506	100.00%	6,451,816	52.3%	29
神奈川県	8,587,890	100.00%	2,782,828	32.4%	26
4県合計	33,460,553	100.00%	15,177,726	45.4%	

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%	

## 投入計画 II

都道府県	1日目		14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	6,950,810	100.00%	116,489	1.7%	18
千葉県	5,581,347	100.00%	127,257	2.3%	18
東京都	12,340,506	100.00%	97,998	0.8%	20
神奈川県	8,587,890	100.00%	417,446	4.9%	24
4県合計	33,460,553	100.00%	759,190	2.3%	

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%	

# 4都県の応急復旧日数の集計結果

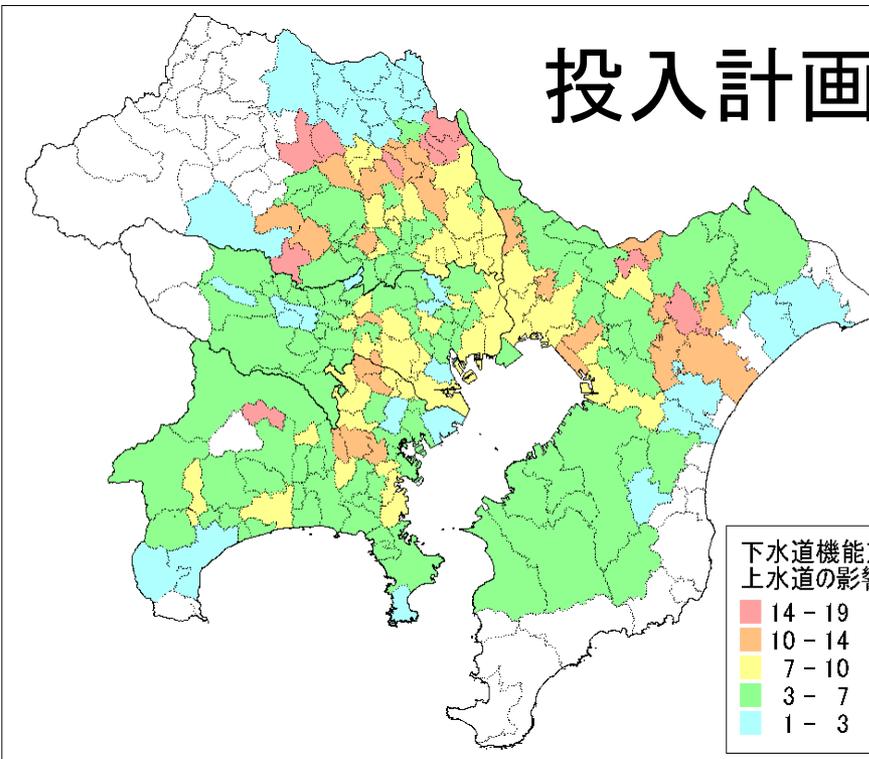
都道府県名	応急復旧日数(日)						
	平均値		最大値		最小値		
	処理場	污水管	処理場	污水管	処理場	污水管	
計画Ⅰ	埼玉県	11.2	12.6	18.0	21.0	0.0	1.0
	千葉県	9.4	11.6	18.0	21.0	0.0	1.0
	東京都	9.7	9.8	18.0	23.0	0.0	1.0
	神奈川県	5.3	10.5	18.0	20.0	2.0	1.0
	4都県	8.7	11.1	18.0	23.0	0.0	1.0
計画Ⅱ	埼玉県	11.2	10.0	18.0	18.0	0.0	1.0
	千葉県	9.4	9.0	18.0	18.0	0.0	1.0
	東京都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

# 上下水道被害の相互影響評価

- 近年の地震では下水道の機能支障の長期化に伴い上水道の使用制限が発生している。
- 東日本大震災の際の一部の自治体では、応急給水栓の設置などにより上水道は比較的早期に利用可能になったが、下水道の機能支障により各戸の排水が制限されたために上水道の利用が制限された。
- 上下水道の復旧過程の違いによる相互影響の発生地域に関する検討を行った。

# 首都直下地震における上下水道の相互影響

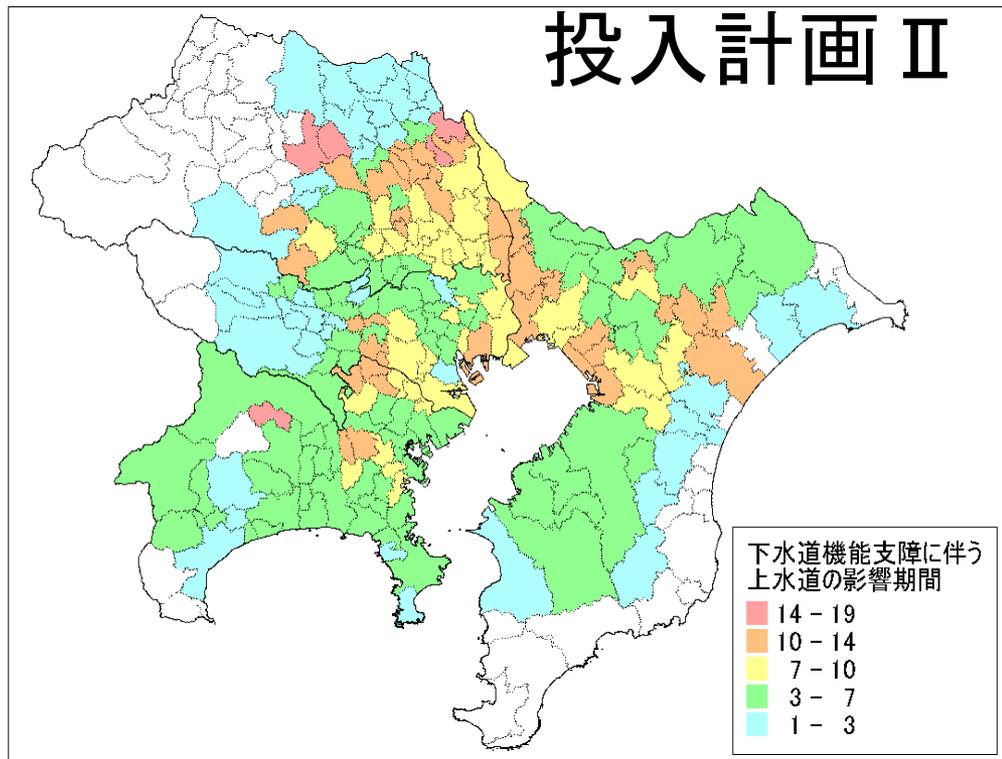
## 投入計画 I



●下水道の復旧日数が上水道の復旧日数より長くなる地域ほど暖色になっている

●復旧を早期に着手した場合でも場所によっては水道の使用制限期間は延長してしまう可能性がある

## 投入計画 II



# まとめ

- 公開情報と関連研究成果を活用し、首都圏の9都県市の上下水道施設データを作成した。
- 中央防災会議の東京湾北部地震を想定地震とする被害予測を通して、首都圏の9都県市の上下水道施設の物的な被害状況と機能的被害の復旧過程の一例を示した。
- 被害，復旧，相互影響の観点から事前・事後対策を強化すべき地域の予測例を示した。

# 謝辞

- 被害予測では、中央防災会議首都直下地震対策専門調査会が取りまとめた東京湾北部地震の地震動・液状化危険度データを使用しました。また、防災科学技術研究所 地震ハザードステーション(J-SHIS)の表層地盤データを使用しました。
- 関係各位に深甚なる感謝の意を表します。