

下水道施設における地震・津波対策の 合理的な対策の基礎検討

原田 賢治¹・嶋原 良典²・石野 好彦³・瀬尾 直樹⁴・小西 康彦⁵・長谷川 浩市⁶・
小黒 明⁷・鈴木 一仁⁸・松本 貴久⁹

¹正会員 静岡大学准教授 防災総合センター (〒422-8529 静岡市駿河区大谷836)

E-mail:harada.kenji@shizuoka.ac.jp

²正会員 防衛大学校准教授 建設環境工学科 (〒239-8686 横須賀市走水1-10-20)

E-mail:shigi@nda.ac.jp

³正会員 静岡県交通基盤部都市局生活排水課 (〒420-8601 静岡市葵区追手町9番6号)

E-mail:yoshihiko1_ishino@pref.shizuoka.lg.jp

⁴正会員 株式会社フジヤマ 技術部防災室 (〒435-0013 浜松市東区天龍川町303-6)

E-mail:seo@con-fujiyam.com

⁵正会員 株式会社日水コン 下水道事業部東部計画・管路部 (〒163-1122 東京都新宿区西新宿6-22-1)

E-mail:konishi_y@nissuicon.co.jp

⁶非会員 横須賀市 上下水道局経営部 経営計画課 (〒238-8550 横須賀市小川町11)

E-mail:koichi-hasegawa@city.yokosuka.kanagawa.jp

⁷正会員 株式会社日水コン 海外技術統括部 技術第二部 (〒163-1122 東京都新宿区西新宿6-22-1)

E-mail:oguro_a@nissuicon.co.jp

⁸非会員 静岡市 上下水道局下水道部 下水道計画課 (〒424-8701 静岡市清水区旭町6番8号)

E-mail:suzuki_bdc@city.shizuoka.lg.jp

⁹正会員 パシフィックコンサルタンツ株式会社 国土保全事業本部上下水道部 (〒206-8550 東京都多摩市関戸1-7-5)

E-mail:takahisa.matsumoto@tk.pacific.co.jp

東日本大震災において沿岸都市域での下水道施設は、津波により壊滅的な被害を受け、復旧に長期の時間を必要とした。これまで、地震動や津波の最大値のみを対象として防災対策が議論・計画されてきたが、下水道施設において最大クラスの災害外力に対応するには時間と費用が多大となることが予想される。本論では、『下水道施設における地震・津波対策の効果的な対策規模の基礎的検討』（瀬尾ら、2015）¹⁾において検討した、直接被害に対する下水道施設における効果的な対策規模の検討手法を間接被害における可能性を検討した。また、直接被害に対する地震・津波の外力評価の精度向上も併せて実施した。なお、検討対象は、同様に静岡市清水区の下水処理施設を対象とした。

Key Words: Sewerage facilities, residual risk, cost, countermeasure, earthquake, tsunami

1. はじめに

2011 年 3 月に発生した巨大地震により東北地方を中心として、従来考えられていた地震動による被害、液状化による被害の他、未曾有の大津波による被害を構造物が受けると共に多くの人命が失われることになった。

沿岸域では都市化された市町村が多く点在すると共に、それら市町村には具備すべき都市施設としての下水道施設が整備され、特に下水を処理する終末処理場は流域の末端の海に近い河口等に存在するため、地震動や液状化よりも津波による影響を直接的に受け、壊滅的な被害と

なった²⁾。

また、津波被害を受けた下水処理場の復旧には1年以上の時間を要したものと現在も本復旧工事を進めている処理場もある状態である^{3), 4)}。このように復旧に時間がかかると予想される下水道施設に対して地震動や津波に対する対策を事前に措置することは重要と考えられる。

駿河湾・遠州灘地域での下水道施設と地震を対象とした研究には、『静岡市中島浄化センターの東海地震・津波来襲時の被害予測について』（藤間ら、2007）⁵⁾がある。藤間らは、波源として内閣府・中央防災会議の想定による東海地震モデルを採用し、レーザープロファイラーに

よる詳細な地形データ(建物を含む)を用いて、津波浸水シミュレーションを行い、安倍川河口に位置する静岡市中島浄化センターに及ぼす影響を検討し、さらに想定を超える規模として初期水位を変化させた場合の施設の安全性の評価を行い、藤間ら⁵⁾では当時の津波予測値に対しては処理場が安全であるが、初期水位を2倍とした場合には被害が生じることが報告されている。

また、東北地方太平洋沖地震以降の駿河湾・遠州灘地域に関する研究としては、『津波防災施設の最適規模と残余リスクを明示する手法の提案』（藤間・樋渡、2013）⁶⁾がある。この藤間・樋渡⁶⁾では、波源に近く観光が主たる産業である静岡県伊豆市土肥地区を対象として、地震の規模と津波による被害を地震の発生頻度から津波対策に対する残余リスクとして評価し、ある高さの防潮堤を整備した場合の後背地の被害軽減について、従来の対策の目安とされた費用対便益に対し、費用と残余リスクの和による評価手法の提案を行っている。さらに、津波防災施設の規模をめぐる合意促進のためのスキームとして、残余リスクの分析を活用可能としている。

さらに、藤間・樋渡⁶⁾の費用と残余リスクの和による評価手法を下水道施設に適用した、『下水道施設における地震・津波対策の効果的な対策規模の基礎的検討』（瀬尾ら、2015）⁷⁾がある。この瀬尾ら⁷⁾では、4段階（M7.4, M7.7, M8.0, M8.3）の地震動規模に対して、図-1のフローにしたがい、下水道施設（管渠、ポンプ場、処理場）が被るであろう地震動・液状化・津波による施設被害を想定し、各々の被害額 D_S を算定し、対策工法を選定した上で対策費 C を算定する。これらの結果より、無対策の場合の被害額 D_N より被害軽減額 B を算出し、また対策を施しても残余する被害額 D を算出して $D + C$ の最小化を指標とする分析により効果的な対策規模の検討を対象施設ごとに検討している。

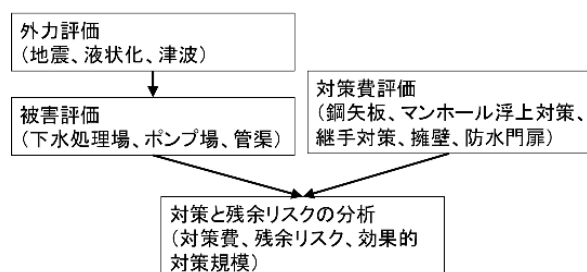


図-1 検討フロー

対象としている施設は、静岡市清水区に位置する、3処理場（静岡浄化センター、清水北部浄化センター、清水南部浄化センター）およびそれら処理場に関わるポンプ場、下水道管・マンホールである。

地震評価については、静岡県第3次地震被害想定（以下、3次想定）と静岡県第4次地震被害想定（以下、4

次想定）を踏襲した。3次想定では、M8.0の東海地震を想定し、静岡県域を500mメッシュ単位で地震動（最大加速度、震度等）を算定している。さらに、距離減衰式によりメッシュごとに基盤加速度を算出し、地盤分類ごとの応答倍率を乗じて地表面最大加速度を算出し、加速度を震度に換算している。4次想定では、M9.0の地震を用いているが、駿河湾においてはM8.3の東海地震相当とし、静岡県域を250mメッシュ単位で地震動（地表面最大加速度、震度、SI値等）を算定している。さらに、統計的グリーン関数法によりメッシュごとに基盤での地震動を算出し、地盤の地震応答解析により、地震動を算定している。M7.4, M7.7の震度と液状化については、3次想定（M8.0）と4次想定（M8.3）による地震の評価結果に基づいて算定している。

震度については、M8.0, M8.3については3次想定と4次想定による地震評価結果をそのまま用い、M7.4, M7.7の震度の値については、3次想定（M8.0）と4次想定（M8.3）による震度の評価結果に基づき、距離減衰式を援用し、震度とマグニチュードの関係を推定している。

液状化分布については、M8.0, M8.3については3次想定と4次想定による液状化評価結果をそのまま用い、M7.4, M7.7の液状化分布は、3次想定（M8.0）と4次想定（M8.3）による評価結果に基づき、地表面最大加速度を算出し、距離減衰式を援用し、地表面最大加速度とマグニチュードの関係を推定している。

津波評価については、計算を行うために設定した波源モデルは藤間・樋渡⁵⁾と同様に、3次想定で使用されたM8.0のモデルを基準として、スケーリング則により断層の幅・長さ・すべり量を変化させることにより設定し津波断層モデルから計算された地殻変動量を津波初期水位として、非線形長波理論に基づく津波浸水計算を行っている。なお、最小の空間格子間隔は50mであり、陸上遡上も考慮している。

異なる地震規模における地震・液状化・津波の評価結果を踏まえた、下水処理施設（処理場、ポンプ場、管渠）の被害および対策費を概算し、さらに地震の規模と発生確率を考慮して算出した残余リスクと対策費の和から効果的な対策規模を示している。下水処理場、ポンプ場の鋼矢板による液状化対策、擁壁建設による津波浸水対策マンホール浮上、継手対策に対して、対策費と残余リスクの和の最小値を示し、これらの対策費と残余リスクの和の検討から、中小の下水道組織が所管するエリア内下水道施設の効果的な対策規模を評価する手法を示している。

本論文では、藤間・樋渡⁶⁾のリスク評価手法を援用し、『下水道施設における地震・津波対策の効果的な対策規模の基礎的検討』（瀬尾ら、2015）⁷⁾において検討した静岡市清水区の処理場、ならびにそれに付随する各処理

区のポンプ場及び管渠を対象に、直接被害に対しては、地震・津波の外力評価の精度向上および間接被害（応急対応、水質悪化による健康被害）に対しては、直接被害と同様の検討手法である対策費と残余リスクの和の評価方法の可能性を検討した。

2. 検討手法

(1) リスク分析の手法

下水道施設の地震・津波による被害に対し有効な対策を選択する手法として、防災対策事業費を C 、防災事業による減災額を効果 B とした、費用効果分析 B/C がある。しかし、藤間・樋渡⁹⁾が指摘するように B/C の最大化を指標とした場合、小さな減災額 B に対して対策費 C が B 以上に小さければ良いことになるなど社会的に負担すべきコストを議論する場合、かならずしも相応しい指標ではない。本検討では、防災対策事業費を C 、対策を施しても残余する被害額を D とし、 $D+C$ の最小化を指標として効果的な対策事業を評価する（図-2）。

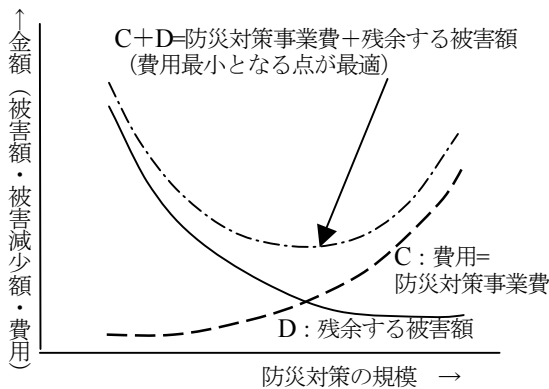


図-2 リスク分析概念図

(a) 被害と便益、残余する被害額

対象地域の外力条件を決めれば、被害評価手法により地震規模ごとの被害額を算出できる。藤間・樋渡⁹⁾を参考に、地震の発生確率を考慮してリスクの検討を行う。

$$\begin{aligned} D(n) &= \int [D_s(M, n) p(M)] dM \\ &= \sum [D_s(M) \times p(M) \times \Delta M] \end{aligned} \quad (1)$$

マグニチュード M の地震・津波に対し、対策規模 n を行った時の被害額を $D_s(M, n)$ とし、地震の発生確率を $p(M)$ とすると、対策規模 n における被害額の期待値 $D(n)$ は (1) 式で表される。複数のマグニチュードにおいて対策規模 n の時の被害額 $D_s(M, n)$ を求め、地震の発生確率とマグニチュードの増加量を掛け総和をとる事で算出できる。この $D(n)$ は、対策規模 n において、地震の発生

確率を考慮した残余するリスクととらえる事ができる。

また、対策を行わなかった時の被害額を $D_N(M)$ とすると、 $(D_N(M) - D_s(M, n))$ がマグニチュード M における対策規模 n による被害軽減額となり、対策規模 n における被害軽減額の期待値（＝便益） $B(n)$ は (2) 式で表される。この $B(n)$ は、対策規模 n において、地震の発生確率を考慮した軽減されるリスクととらえることができる。

$$B(n) = \int [(D_N(M) - D_s(M, n)) p(M)] dM \quad (2)$$

対策規模 n における残余リスク $D(n)$ と軽減リスク $B(n)$ の和は、(1)、(2) 式より (3) 式のようになり対策規模 n によらず一定の値 D_0 をとる。

$$D(n) + B(n) = \int [D_N(M) p(M)] dM \equiv D_0 \quad (3)$$

この D_0 は、対策を行わなかった時の被害額の期待値であり、被災対象が持つ潜在的なリスクの大きさを示すものである。 D_0 の値は、被災対象が全て被害を受ける場合の被害額と同じとなり、地震及び津波防災施設の対策規模 n による残余リスク $D(n)$ は $(D_0 - B(n))$ で表す事ができる。

(b) 費用

対策費の評価方法により地震及び津波防災施設の対策規模 n における対策費 $C(n)$ を算出する。対策規模 n における便益 $B(n)$ と残余する被害額 $D(n)$ と併せて、対策費 $C(n)$ を提示することにより、最適な対策を評価することができる。

(2) 地震の発生頻度

本研究の対象地域は駿河湾・遠州灘である。この地域に最も大きな影響を及ぼすと思われる地震は東海地震であると考えられる。一方で、東海地震の発生頻度に関しては、藤間・樋渡⁹⁾が津波防災施設の供用期間（約50年）に対する地震頻度の密度関数を提案していることから、本研究では藤間・樋渡の密度関数（標準設定、詳細は後述）を採用した。具体的には以下の式で表される。

$$p(M) = p_0 / 10^{b(M-M_0)} \quad (4)$$

ここで b はグーテンベルク・リヒター則の b 値であり、標準設定は $b = 1$ 、 $p_0 = 1$ 、 $M_0 = 8.0$ である。これは、マグニチュードが1増える場合に地震の頻度が1/10になることを意味している。また、 M_1 以上の地震の発生回数 N は以下の積分から求めることができる。

$$N = \int_{M_1}^{\infty} p(M) dM = \frac{P_0}{b \ln 10} 10^{-b(M_1 - M_0)} \quad (5)$$

標準設定では、M8.0以上の地震の発生回数は、 $N = 0.43$ 回となり、地震調査研究推進本部の平均的な東海地震の再現期間と整合することが示されている。

(3) 対象とする被害

a) 直接被害（下水道施設）

本研究の対象とする下水道施設は、静岡県の中央に位置し、駿河湾沿岸部において地震・津波被害が想定される、静岡市清水区の処理場、ならびにそれに付随する各処理区のポンプ場及び管渠とする。各施設の位置を図-2に示す。

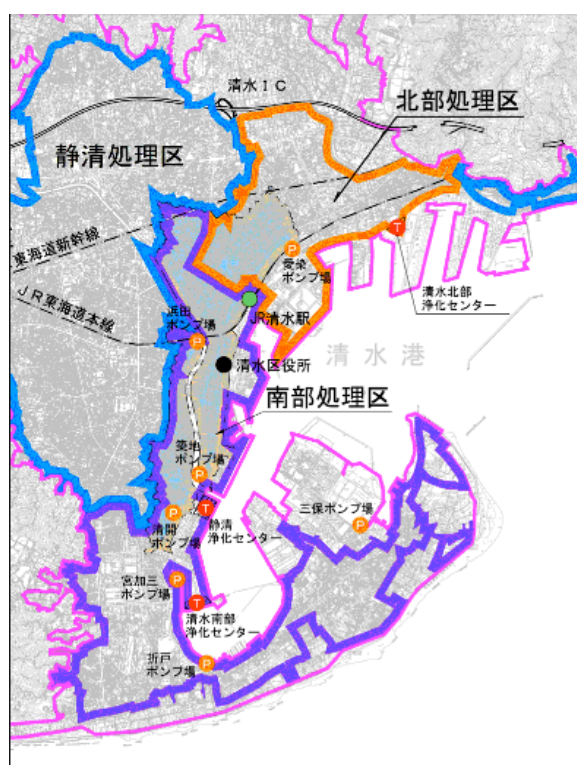


図-2 清水区下水処理場・ポンプ場位置図

a-1) 下水処理場、ポンプ場

清水区には、静清処理区、北部処理区、南部処理区があり、それぞれ静清浄化センター、清水北部浄化センター、清水南部浄化センターの三つの処理場が清水港に面し設置されている。また、海に面して広がる平坦な地形のため、いくつもの中継ポンプ場が設けられている。各施設の概要を表-1に示す。

a-2) 管渠

各処理区に敷設された管渠延長は、表-2に示すとおりである。なお静岡市では、1998年度以降に敷設した管渠については、可とう性継手の設置等の耐震対策を実施済みである。今回の検討では、1997年度以前に敷設した管

渠の耐震対策の実施状況についての情報が得られなかったため、1997年度以前に敷設した管渠の全てを未対策管渠として検討対象とした。

表-1 処理場・ポンプ場の概要

区分	名称	分類	処理区	供用年	種別	日最大処理水量 (m ³ /日)
処理場	静清浄化センター	分流	静清	1997	汚水	83,750
	清水北部浄化センター	合流	北部	1981	汚水 雨水	15,100 102,500
	清水南部浄化センター	合流	南部	1972	汚水 雨水	45,600 171,200

区分	名称	分類	処理区	供用年	種別	計画流量 (m ³ /分)
ポンプ場	築地ポンプ場	合流	南部	1958	汚水 雨水	68 700
	浜田ポンプ場	合流	南部	1977	汚水 雨水	43.8 390
	清開ポンプ場	合流	南部	1973	汚水 雨水	140 700
	愛染ポンプ場	合流	北部	1981 1966	汚水 雨水	70 956
	宮加三ポンプ場	分流	南部	1987	汚水	64
	折戸ポンプ場	分流	南部	1987	汚水	14
	折戸雨水ポンプ場	雨水	南部	1998	雨水	576
	三保ポンプ場	分流	南部	1980	汚水	7.02
	三保雨水ポンプ場	雨水	南部	2010	雨水	720.9

表-2 下水道管渠延長

処理区	施工時期	管渠延長 (m)	
		塩ビ管・陶管	その他の管
静清	1997 年以前	233, 216	75, 400
	1998 年以降	248, 181	31, 683
	小計	481, 397	107, 083
北部	1997 年以前	47, 904	28, 619
	1998 年以降	3, 275	234
	小計	51, 179	28, 853
南部	1997 年以前	73, 619	60, 346
	1998 年以降	45, 190	3, 909
	小計	118, 809	64, 255
計	1997 年以前	354, 739	164, 365
	1998 年以降	296, 646	35, 826
	小計	651, 385	200, 191

b) 間接被害

間接被害としては、定性的なもの定量的なものに分類される。定性的なものとして、上下水道の使用制限や汚水溢水による周辺県境の悪化等による地域住民のストレスや交通網の遮断に伴う社会的・経済的影響等が考えられるが、ここでは金額によるリスク評価を念頭に、①トイレ対策、②健康被害、③周辺環境の悪化、の3項目

について定量化を試みることにする。

b-1) トイレ対策

震災直後に地震動、液状化、津波により家屋被害を受けた方々が避難者として避難所に身を寄せるものとして避難者数を算定し、避難者が必要とするトイレの設置費用と避難期間中の汲み取り費用を対象とする。

b-2) 健康被害

避難所におけるトイレの利用自粛や不衛生による感染症や風邪、下痢などの健康被害を対象とする。

b-3) 周辺水環境の悪化

管渠の破損やマンホールの浮上、処理場・ポンプ場の機能停止による汚水の溢水に対する消毒や清掃、汲み取り作業を対象とする。

(4) 地震・液状化

a) 地震の評価手法

地震評価について、静岡県第4次地震被害想定（以下、4次想定）を踏襲することを基本とした。4次想定では、レベル2地震動としてM9.0の地震を用いているが、駿河湾においてはM8.3の東海地震相当とし、静岡県域を250mメッシュ単位で地震動（地表面最大加速度、震度、SI値等）を算定している。さらに、統計的グリーン関数法によりメッシュごとに基盤での地震動を算出し、地盤の地震応答解析により、地震動を算定している。同様に、レベル1地震動としてM8.0の安政東海型地震相当について、地震動を算定している。M7.4、M7.7の震度と液状化については、M8.0とM8.3による地震の評価結果に基づいて以下の方法で算定した。

b) 地震動（震度）

静岡市の震度分布は、M8.0、M8.3については4次想定による地震評価結果をそのまま用いる。静岡県の4次想定によれば、M8.0の安政東海型地震における静岡市街地の震度は、250mメッシュごとに6弱、6強、と推定されている。一方、M8.3における静岡市街地の震度は6弱、6強、7である。M7.4、M7.7の震度の値については、4次想定による震度の評価結果に基づき、距離減衰式を援用し、震度とマグニチュードの関係として(6)式を用いて推定した。なお、距離減衰式により推計される最大加速度を震度算定式に導入する事で(6)式としている。本研究では、対象地域が震源域の直上であり各施設の震源距離は地震規模に依存しない定数として扱った。

$$I = aM + b \quad (6)$$

ここに、 I :震度、 M :マグニチュード、 a, b :係数である。

代表メッシュとして処理場のあるメッシュを選定し、M8.0とM8.3による震度から係数 a, b を決定し、M7.4、M7.7の震度を表-3のように算定した。

表-3 震度の推定結果

M7.4の震度 推定値	M7.7の震度 推定値	4次想定(M8.0) の震度代表値	4次想定 (M8.3)の震度 代表値
5強	6弱	6強	7
5強	6弱	6強	6強
5強	6弱	6弱	6強
5強	6弱	6弱	6弱

c) 液状化

静岡市の液状化分布は、M8.0、M8.3については4次想定による液状化評価結果をそのまま用いる。M7.4、M7.7の液状化分布は、4次想定による評価結果に基づき、地表面最大加速度を算出し、距離減衰式を援用し、地表面最大加速度とマグニチュードの関係として(7)式とした。

$$\log(A_{\max}) = aM + b \quad (7)$$

ここに、 $A_{\max}$: 地表面最大加速度、 M :マグニチュード、 a, b :係数である。

代表メッシュとして処理場のあるメッシュを選定し、M8.0とM8.3による地表面最大加速度から係数 a, b を決定し、M7.4、M7.7の地表面最大加速度を算出したところ200Gal以上の大きな値となった。これは、想定した東海地震の震源が静岡市の直下であり、M7.4、M7.7と大きな値であることを考慮すると妥当であると考えられる。以上より、M7.4、M7.7の地震では処理場の地表面最大加速度は200gal以上の大きな値となると想定し、処理場における液状化の可能性は、安全側の想定として、M8.0の場合と同様と仮定した。

(5) 津波

a) 津波の検討条件（波源モデル）

静岡県は、第4次地震被害想定策定後の平成27年6月に、津波痕跡等の新しい知見に基づいた津波断層モデルとして、1707年宝永地震津波、1854年安政東海地震津波、1854年安政南海地震津波、1944年昭和東南海地震津波、1946年昭和南海地震津波の5例の地震津波から5地震総合モデルを設定している。

今回の検討では、この5地震総合モデルをもとに、スケーリング則により断層の面積・すべり量を変化させM8.3、M8.0、M7.7、M7.4の波源モデルを設定した。

b) 浸水分布、各施設の浸水深

各断層モデルより算出された地殻変動量を津波初期波形として、非線形長波理論に基づく津波数値計算を行った。計算に用いた地形条件は、静岡県第4次地震被害想定で用いられた10から2430mの空間格子間隔のデータを接続して用い、津波の陸上遡上まで数値計算を行った。本研究では、地震および津波による下水処理場およびボ

ンプ場における被害と対策を検討するため、沿岸の堤防は地震により被災すると仮定した。計算結果として、図-4にM8.3の場合の清水港周辺の浸水深分布を示す。浸水深分布の結果より、各ケースに対する対象施設ごとの最大浸水深を求める。今回の検討では、築地ポンプ場で浸水深2.02m、折戸ポンプ場（汚水及び雨水）で浸水深2.26mとなり、計3箇所のみが浸水し、その他の浄化センターやポンプ場はM8.3であっても浸水しなかった。静岡県との検討結果と比べ、津波に関して小さな結果となっており確認が必要である。ここでは、津波に関する検討についてはM8.3における概要を示すに留める。

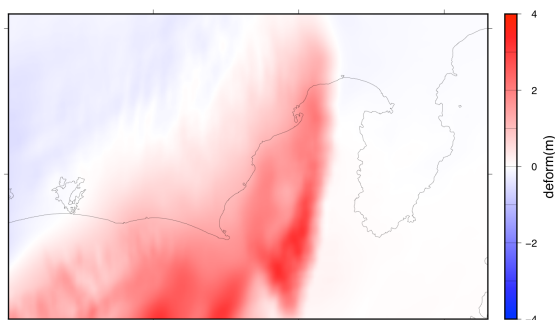


図-3 5地震総合モデルの地殻変動量

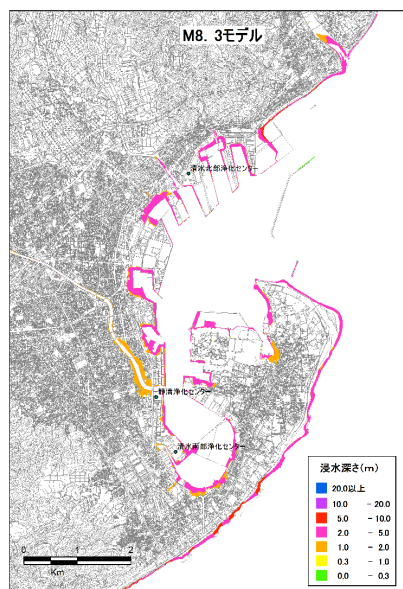


図-4 清水港周辺の浸水深分布 (M=8.3)

(6) 被害額の評価方法

a) 地震動・液状化による下水処理場・ポンプ場被害額

a-1) 地震規模別の側方流動・震度・液状化危険度設定

対象施設の耐震性、側方流動の危険性及び地震規模別の震度、液状化危険度を静岡県想定等を参考に表-4のとおり設定した。

a-2) 側方流動・地震動・液状化による施設被害率設定

それぞれの対象施設の施設被害率は、「大規模地震による下水道被害想定及び想定結果の活用方法に関するマ

ニュアル」⁸⁾に示された図-5の被害タイプ分類フローに従い被害タイプを確認することにより設定される。ここでの被害率は、兵庫県南部地震及び新潟県中越地震の被災事例の被害額（災害復旧額）を建設費で除したものと定義されている。

その被害タイプ別の処理場被害率を表-5、ポンプ場被害率を表-6に示す。また、対象施設の施設被害タイプ及び被害率の設定結果を表-7に示す。

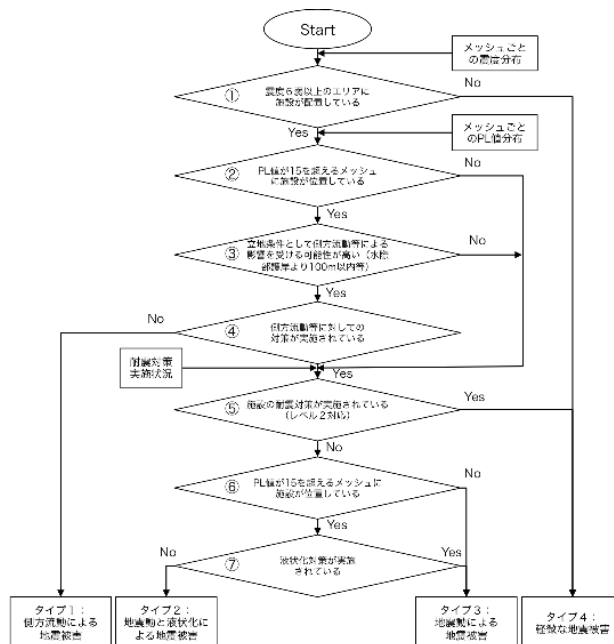


図-5 被害タイプ分類フロー⁷⁾

表-4 処理場・ポンプ場の危険度の設定

区分	施設名	耐震性	側方流動	地震動(震度)				液状化危険度(PL値)			
				M 7.4	M 7.7	M 8.0	M 8.3	M 7.4	M 7.7	M 8.0	M 8.3
処理場	静清浄化	○	○	5強	6弱	6弱	6強	>15	>15	>15	>15
	清水北部	△	—	5強	6弱	6強	6強	>15	>15	>15	>15
	清水南部	△	○	5強	6弱	6強	6強	5~15	5~15	5~15	5~15
ポンプ場	築地(合流)	△	—	5強	6弱	6弱	6強	>15	>15	>15	>15
	浜田(合流)	△	—	5強	6弱	6弱	6強	>15	>15	>15	>15
	清開(合流)	△	—	5強	6弱	6弱	6強	>15	>15	>15	>15
	愛染(合流)	△	—	5強	6弱	6弱	6強	5~15	5~15	5~15	>15
	宮加三(汚水)	○	—	5強	6弱	6弱	6強	5~15	5~15	5~15	5~15
	折戸(汚水)	○	—	5強	6弱	6強	6強	0	0	0	0
	折戸(雨水)	○	—	5強	6弱	6強	6強	0	0	0	0
	三保(汚水)	△	—	5強	6弱	6弱	6強	0	0	0	0
	三保(雨水)	◎	—	5強	6弱	6弱	6強	0	0	0	0

耐震性の◎は、1997(H9)年度改訂の耐震設計基準に対応の施設

○は、1981(S56)年度改訂の耐震設計基準に対応の施設

△は、1981(S56)年度以前の耐震設計基準の施設

側方流動の○は、海岸から100m以内で側方流動の可能性が高い施設

ーは、海岸から100m超で側方流動の可能性が低い施設

表-5 処理場被害率⁷⁾

項目	被害タイプ			
	1	2	3	4
被害率	0.378	0.019	0.006	0.001

表-6 ポンプ場被害率⁷⁾

項目	被害タイプ			
	1	2	3	4
被害率	—	0.044	0.016	0.001

表-7 施設被害タイプ及び被害率の設定

区分	施設名	被害タイプ				被害率の設定値			
		M 7.4	M 7.7	M 8.0	M 8.3	M 7.4	M 7.7	M 8.0	M 8.3
処理場	静清 浄化	4	1	1	1	0.001	0.378	0.378	0.378
	清水 北部	4	2	2	2	0.001	0.019	0.019	0.019
	清水 南部	4	3	3	3	0.001	0.006	0.006	0.006
ポンプ場	築地 (合流)	4	2	2	2	0.001	0.044	0.044	0.044
	浜田 (合流)	4	2	2	2	0.001	0.044	0.044	0.044
	清開 (合流)	4	2	2	2	0.001	0.044	0.044	0.044
	愛染 (合流)	4	3	3	2	0.001	0.016	0.016	0.044
	宮加三 (汚水)	4	3	3	3	0.001	0.016	0.016	0.016
	折戸 (汚水)	4	3	3	3	0.001	0.016	0.016	0.016
	折戸 (雨水)	4	3	3	3	0.001	0.016	0.016	0.016
	三保 (汚水)	4	3	3	3	0.001	0.016	0.016	0.016
	三保 (雨水)	4	4	4	4	0.001	0.001	0.001	0.001

表-8 施設建設費の設定

施設名	方式	処理能力 (千m ³ /日)	建設費 (百万円)	算定根拠
処理場	静清 浄化	標準活性 汚泥法	83.75	20,573
	清水 北部	標準活性 汚泥法	15.10	7,617
	清水 南部	標準活性 汚泥法	45.60	14,460
施設名		処理能力 (m ³ /分)	建設費 (百万円)	算定根拠
ポンプ場	築地 (合流)	汚水中継	68	1,424
		雨水排水	700	3,500
	浜田 (合流)	汚水中継	43.8	1,094
		雨水排水	390	1,950
	清開 (合流)	汚水中継	140	2,196
		雨水排水	700	3,500
	愛染 (合流)	汚水中継	70	1,449
		雨水排水	956	4,780
	宮加三 (汚水)	汚水中継	64	1,373
	折戸 (汚水)	汚水中継	14	552
	折戸 (雨水)	雨水排水	576	2,880
	三保 (汚水)	汚水中継	7	365
	三保 (雨水)	雨水排水	721	1,802

a-3) 対象施設の建設費

各対象施設の被害額は、施設復旧工事に要する費用とした。施設能力に応じた各施設の費用関数⁷⁾に基づき設定した施設建設費を表-8に示す。なお、雨水排水設備

の建設費用については、費用関数が示されていないことから、表-8に示す様に建設費を設定した。

a-4) 対象施設の地震規模別の施設被害額

ここでは、a-2)で示した被害タイプ別の被害率の定義に従い、施設建設費に各施設の被害率を乗じて被害額（復旧費用）を算定する。なお、この被害額が対策を行わない現状での被害額となる。各施設の建設費用、被害率からの被害額の算定結果を表-9に示す。

表-9 施設被害額の設定

区分	施設名	建設費 (百万円)	被害額（百万円）			
			M 7.4	M 7.7	M 8.0	M 8.3
処理場	静清 浄化	20,573	21	7,777	7,777	7,777
	清水 北部	7,617	8	145	145	145
	清水 南部	14,460	14	87	87	87
ポンプ場	築地 (合流)	4,924	5	217	217	217
	浜田 (合流)	3,044	3	134	134	134
	清開 (合流)	5,696	6	251	251	251
	愛染 (合流)	6,229	6	100	100	274
	宮加三 (汚水)	1,373	1	22	22	22
	折戸 (汚水)	552	1	9	9	9
	折戸 (雨水)	2,880	3	46	46	46
	三保 (汚水)	365	0.4	6	6	6
	三保 (雨水)	1,802	2	2	2	2

b) 地震動・液状化による管渠（マンホール浮上・継手被害）の被害額

静岡市では、1998年以降に建設した管渠は耐震対策を実施している。したがって、1997年以前に建設した管渠について地震動・液状化による被害を検討した。このうち、管渠を【塩ビ管・陶管】および【その他の管渠】に分類し、新潟県中越地震、兵庫県南部地震および日本海中部地震の実績から被害率を設定した⁷⁾。ここでの被害率は、管渠延長に対する被害延長の割合と定義した。東日本大震災における上水管渠の被害については、鵜田・大野⁹⁾などの研究が行われている。下水管渠の被害率は東日本大震災の被災例も踏まえる必要があるが、対策の実施を考えると国などの機関からの報告等が示されていないため、日本下水道協会の指針⁷⁾に基づいた式を用いた。【その他の管渠】のうち、液状化地盤の危険度をPL値に基づいてAからCと設定し、非液状化地盤の危険度をDとした。危険度Aは日本海中部地震の実績より求められた震度と被害率の関係式であり、危険度Dは非液状化地盤の震度と被害率の関係式である。また、危険度BおよびCは、液状化面積率に応じて補間した震度と被

害率の関係式である。なお、液状化面積率は、1964年新潟地震時の液状化発生状況に基づいて設定されており⁷⁾、危険度Aで18%、危険度Bで5%、危険度Cで2%、危険度Dで0%とした。

【塩ビ管・陶管】

(非液状化地盤)・・・新潟県中越地震の実績

$$y = 0.00057$$

(液状化地盤)・・・兵庫県南部地震の実績

$$y = 0.00057$$

【その他の管渠】

(非液状化地盤)・・・兵庫県南部地震の実績

$$y = 0.00021$$

(液状化地盤)・・・日本海中部地震の実績

$$\text{危険度 A } y = 0.00033$$

$$\text{危険度 B } y = 0.000244$$

$$\text{危険度 C } y = 0.000223$$

$$\text{危険度 D } y = 0.00021$$

ここに、 y ；被害率(%)， x ；震度(基準計測震度)である。

管渠被害については、管路のたるみ、蛇行、損傷、マンホールの浮上、継手被害等が考えられる。本検討においては、発災後緊急的な対策の実施が必要なマンホールの浮上およびマンホールに接続する継手の被害を代表的に取り扱って両者の被害額を管渠の被害額として検討を行い、詳細な被害調査が必要となる管路被害については今回の検討から除外した。

マンホールの浮上および継手被害の被害額の算定は、地震動M7.4、M7.7、M8.0およびM8.3について実施した。

b-1) マンホール浮上の被害額

管渠の被害率から算定した被害延長をもとに、マンホールの浮上基数を算定した。通常マンホールの設置間隔が30～40mであることから設置間隔を35mと設定し、被害延長を35mで除して浮上基数を算定した。マンホール浮上の被害額は、管径Dにおいて、 $D \leq 300$ を人孔組立1号、 $300 < D \leq 600$ を人孔組立2号、 $600 < D \leq 1000$ を人孔組立3号、 $1000 < D \leq 2000$ を人孔組立4号、 $D < 2000$ を人孔組立5号とし、被害額を静岡市の実績による復旧額とした。なお、人孔深は、組立1号および組立2号については3m、組立3号、組立4号および組立5号については5mとした。被害額算定結果を表-10に示す。

b-2) 継手の被害額

継手の被害額算定は、マンホール浮上の被害額算定と同様に、マンホールの基数を算定し、マンホールに接続する継手の本数をマンホール1基当たり2本として継手本数を算定した。継手の被害額は、静岡市の実績による施工単価を被害額とした。被害額算定結果を表-11に示す。

なお、継手の被害額においても、マンホール浮上の被害額と同様の理由により、M8.3の方がM8.0よりも被害額

が安価となったため、以降の検討においては、M8.3の被害額はM8.0の被害額と同等とした。

表-10 マンホール浮上の被害額

		単位	塩ビ管・陶管	その他の管	合計
管路全延長		m	651,385	200,191	851,576
1997年以前建設分の延長		m	354,739	164,365	519,104
被害延長	M7.4	m	8,217	1,769	9,986
	M7.7	m	18,127	3,904	22,031
	M8.0	m	27,535	5,984	33,519
	M8.3	m	43,163	9,362	52,525
マンホール浮上基数	M7.4	基	172	104	276
	M7.7	基	359	153	512
	M8.0	基	544	205	749
	M8.3	基	801	270	1,071
マンホール浮上被害額	M7.4	千円	90,100	68,700	158,800
	M7.7	千円	184,960	99,300	284,260
	M8.0	千円	278,640	131,040	409,680
	M8.3	千円	408,900	170,920	579,820

表-11 継手の被害額

		単位	塩ビ管・陶管	その他の管	合計
管路全延長		m	651,385	200,191	851,576
1997年以前建設分の延長		m	354,739	164,365	519,104
被害延長	M7.4	m	8,217	1,769	9,986
	M7.7	m	18,127	3,904	22,031
	M8.0	m	27,535	5,984	33,519
	M8.3	m	43,163	9,362	52,525
継手本数	M7.4	本	344	208	552
	M7.7	本	718	306	1,024
	M8.0	本	1,088	410	1,498
	M8.3	本	1,602	540	2,142
継手被害額	M7.4	千円	170,488	181,588	352,076
	M7.7	千円	341,884	258,100	599,984
	M8.0	千円	510,576	327,592	838,168
	M8.3	千円	746,424	416,156	1,162,580

表-12 津波浸水深、浸水階、被害額

区分	施設名	M8.3における値		
		浸水深(m)	浸水階	被害額(百万円)
処理場	静清浄化	－	－	－
	清水北部	－	－	－
	清水南部	－	－	－
ポンプ場	築地(合流)	2.02	1F	1,765
	浜田(合流)	－	－	－
	清開(合流)	－	－	－
	愛染(合流)	－	－	－
	宮加三(汚水)	－	－	－
	折戸(汚水)	2.26	1F	150
	折戸(雨水)	2.26	1F	1,270
	三保(汚水)	－	－	－
	三保(雨水)	－	－	－
合計				3,185

c) 津波による下水処理場・ポンプ場の被害額

津波被害として、浸水被害について検討を行う。津波被害としては、津波波力や漂流物の衝突による被害も考

えられるが、ここでは対象外とした。各施設の津波による浸水被害額を算出するため、津波浸水深を数値計算結果より求め、各施設の建物浸水階高状況、各建物の電気・機械設備の設置階状況、電気・機械設備の点検調整および全交換にかかる費用を静岡市が作成している設備台帳のデータより求めた。これらのデータより、地震規模別の対象施設における津波浸水被害額を算出する。

今回の検討において、M8.3 で津波浸水のあった築地ポンプ場、折戸ポンプ場では、それぞれ1階の浸水となった。各施設の建物内における電気・機械設備の点検調整および全交換にかかる費用を被害額として算出した結果を表-12 に示す。下水道施設では、地下部分に主要機能が配置されているため、浸水階を特定することにより被害額を見積もることができる。同様の検討を、各地震規模における津波数値計算結果に基づいて検討を行う。

d) トイレ対策による被害額

間接被害として、被災後にトイレが利用できなくなることへの対応策にかかる費用を被害額として検討する。トイレ対策に関する被害額は、次の様に算出する。
 $(\text{避難者数}) \times (\text{仮設トイレレンタル料}) \times (\text{避難日数})$
 $+ (\text{汲み取り費用}) \times (\text{回数})$

ここで、仮設トイレの必要数は75人に1基とする。

d-1) 地震動による避難日数

管渠施設については避難所から処理場までのルートは「重要な幹線等」として対策が進んでおり、閉塞など流下機能を阻害するような被害は少ないと考えられる。一方、処理場は委員会報告では5日間ではほぼ通常運転に戻っている。従って、地震動による避難日数としては、5日間を設定する。

d-2) 液状化による避難日数

管渠施設については、委員会報告の浦安の事例に示すように、応急復旧に1ヶ月を要し、その間下水道の使用制限を行っている。また、処理場では液状化による側方流動の被害や杭の破断などの被害が報告されており、応急復旧までに1週間程度を要している。地震の規模により異なると思われるが、浦安市の実績により30日と設定する。

d-3) 津波によるも避難日数

管渠施設の被害としては、津波による土砂の堆積やマンホール蓋枠の破損が考えられる。重要な幹線を重点的に清掃することで、数日で避難所からの排水の流下は可能である。一方、処理場・ポンプ場の被害は甚大であり、震災より2ヶ月後の時点でも未対応の処理場があることから、応急復旧には最低でも2ヶ月程度要することが考えられる。それまでは簡易処理して放流することとし、60日間とする。

d-4) 被害額

仮設トイレレンタル料と汲み取り費用を合計し、トイレ対策による被害額とする。

表-13 トイレ対策による被害額

項目	避難者数	仮設トイレレンタル料		
		トイレ 基数	避難 日数	使用料 (円/日)
地震動	57,819	771	5	700
液状化	1,384	18	30	700
津波	1,975	26	60	700
計	61,178	816		

項目	汲み取り費用			合計
	タイプ (3回/日)	1回当 り費用	1日当 り費用	金額
地震動	15	10,000	30,000	150,000
液状化	90	10,000	30,000	900,000
津波	180	10,000	30,000	1,800,000
計		10,000		2,850,000

e) 健康被害

間接被害として、避難所における治療費を健康被害として検討する。石巻市の約300箇所の避難所、約50,000人に対して行った健康被害についてのヒアリング結果によると、咳のある人が2,050人/50,000人=4.1%、呼吸器疾患が750人/50,000人=1.5%、下痢が350人/50,000人、嘔吐が230人/50,000人=0.5%、インフルエンザが20人/50,000人=0.04%となっている。治療期間は最大で3ヶ月程度を要している。今回の検討では、最も発症事例の多い咳を代表させて、罹患率=4.1×1/2=2%として90日分の治療費を被害額とする。

表-14 健康被害額

項目	避難者数	罹患率	治療日数	治療費	金額
地震動	57,819	2	5	1,000	5,781,900
液状化	1,384	2	30	1,000	830,400
津波	1,975	2	60	1,000	2,370,000
計	61,178				8,982,300

e) 周辺環境悪化に関する被害額

間接被害として、被災に伴う周辺環境の悪化の原因となる汚水の緊急的な対応策にかかる費用を被害額として検討する。管渠や人孔からの溢水箇所は、委員会報告によると、3/16から4/3までの19日間で最大176箇所に上っている。その対応方法は、消毒・放流が5%、バキューム対応が29%、仮設配管が34%、未対応は3%であった。委員会報告参考によると管路施設の緊急措置における復旧方法の事例として、大腸菌群数3,000個/cm3以下にするためには次亜塩素酸カルシウムを15g/m3以上投入している。同様に処理場での緊急措置としても、流入マンホールに仮設の水中ポンプを設置し仮設水路等へ導入する際に、次亜塩素酸カルシウムを15g/m3以上投入している。

従って、途中の溢水する汚水を含めて津波浸水地区の汚水を除く汚水量を対象として、処理場の応急復旧までの60日間に流下する全汚水量に固形次亜塩素酸カルシウムを15g/m³を投入すると仮定して算定する。

表-15 周辺環境悪化に関する被害額

項目	溢水量	日数	添加量	単価	金額
南部TC	28,005	60	15	0.8	20,163,700
北部TC	15,975	60	15	0.8	11,502,103
静清TC	47,016	60	15	0.8	33,851,264
計					65,517,067

(7) 対策費の評価方法

a) 地震動・液状化による下水処理場・ポンプ場対策費

地震動対策は地上建築物の耐震化が一般的だが、下水処理機能の大部分は地下階に配置されるため、処理機能を停止した耐震化は難しい。また、地震動による下水道構造物の致命的被害は少ないため^{2), 8), 10)}、液状化（側方流動）対策の鋼矢板打込み対策を検討した。鋼矢板は、剛性不要のためⅢ型を深さ20mまで打込むとし、土木工事積算標準単価から19千円/m²（表-16）と設定した。

b) 地震動・液状化による管渠（マンホール浮上、継手被害）の対策費

マンホール浮上および継手被害の対策費単価は、静岡市の実績を用いた。地下水位、土質条件等により対策費は大きく変動するため、それぞれの対策工程における全実績の施工費を件数で除した平均的施工費を対策費単価とした。マンホール浮上と継手被害の対策費単価は、それぞれ700千円/基、665千円/箇所（表-16）と設定した。

c) 津波による下水処理場・ポンプ場の対策費

津波浸水対策費として、施設敷地外周に擁壁を設置する浸水防御対策を対策費とした。擁壁設置対策費の単価は150千円/m²（表-16）と設定し、各施設の外周距離と擁壁高さをを用いて算出する。また、各施設で1カ所の施設進入用の防水門扉（陸閘）を設置し、1基あたり50,000千円/基（表-16）と設定した。

表-16 対策費の算出単価設定

外力	対象	対策	対策単価
地震 液状化	下水処理場	鋼矢板打込み対策	19千円/m ²
	ポンプ場	マンホール浮上対策	700千円/基
		継手対策	665千円/箇所
津波	下水処理場	擁壁建設対策	150千円/m ²
	ポンプ場	防水門扉建設対策	50,000千円/基

3. 検討結果

(1) 被害額と対策費

a) 地震動・液状化の対策費と被害額の算定結果

地震動・液状化対策では、液状化と側方流動の対策について検討した。また、施設ごとに地震規模別では、液状化の危険度に変化がないため、対策前後の被害額の算定を行った。さらに、対策による残余リスクの変化について残余リスクの軽減額、効果額について検討した。なお、本研究では下水道施設全体での検討ではなく、基礎的検討として処理場、ポンプ場の対象施設ごとに地震規模別の評価を行う。

a-1) 鋼矢板打込みによる液状化（側方流動）対策費

液状化対策として、対象施設敷地外周に鋼矢板（根入長20m）を設置した場合（図-6）の対策費を表-17に示す。



図-6 鋼矢板設置範囲イメージ

表-17 対策費（矢板設置費）の設定

施設名	外周延長 (m)	矢板設置 面積(m ²)	対策費 (千円)
処理場	静清浄化	840	16,800
	清水北部	680	13,600
	清水南部	790	15,800
ポンプ場	築地(合流)	200	4,000
	浜田(合流)	210	4,200
	清閑(合流)	200	4,000
	愛染(合流)	320	6,400
	宮加三(汚水)	230	4,600
	折戸(汚・雨)	280	5,600
	三保(汚・雨)	260	5,200

a-2) 対策（鋼矢板打込み）前後の液状化被害額

鋼矢板打込みによる対策により、液状化と側方流動を抑制するとした場合に前記の図-5の被害タイプ分類フローに従って被害率の設定と再度被害額を算定する。さらに、地震規模別に対策前と対策後の被害額の結果を表-18の上段に対策前、下段に対策後の被害額の算定を示す。

a-3) 対象施設の残余リスク・対策費・効果額

地震動・液状化について、対象施設の残余リスク、リスク軽減額、対策費及び効果額の結果を表-19に示す。リスク軽減額は対策前後の残余リスクの差であり、効果額はリスク軽減額から対策費を差し引いた額である。液状化対策により静清浄化センター、清水南部浄化センタ

一では高い効果額が見込まれた。その一方で、清水北部浄化センターではリスク軽減額を越える対策費となり効果額はマイナスとなった。折戸ポンプ場、三保ポンプ場については、液状化対策が必要でないため鋼矢板の打込み対策を考慮していない。

表-18 地震動・液状化に関する対策前後の被害額の算定

区分	施設名	建設費 (百万円)	被害率の設定値 (上段：対策前，下段：対策後)				被害額（百万円）			
			M 7.4	M 7.7	M 8.0	M 8.3	M 7.4	M 7.7	M 8.0	M 8.3
			0.001 0.001	0.378 0.006	0.378 0.006	0.378 0.006	21 21	7,777 123	7,777 123	7,777 123
処理場	静清浄化	20,573	0.001 0.001	0.378 0.006	0.378 0.006	0.378 0.006	21 21	7,777 123	7,777 123	7,777 123
	清水北部	7,617	0.001 0.001	0.019 0.006	0.019 0.006	0.019 0.006	8 8	145 46	145 46	145 46
	清水南部	14,460	0.001 0.001	0.006 0.006	0.006 0.006	0.006 0.006	14 14	87 87	87 87	87 87
ポンプ場	築地(合流)	4,924	0.001 0.001	0.044 0.016	0.044 0.016	0.044 0.016	5 5	217 79	217 79	217 79
	浜田(合流)	3,044	0.001 0.001	0.044 0.016	0.044 0.016	0.044 0.016	3 3	134 49	134 49	134 49
	清開(合流)	5,696	0.001 0.001	0.044 0.016	0.044 0.016	0.044 0.016	6 6	251 91	251 91	251 91
	愛染(合流)	6,229	0.001 0.001	0.016 0.016	0.016 0.016	0.044 0.016	6 6	100 100	100 100	274 100
	宮加三(汚水)	1,373	0.001 0.001	0.016 0.016	0.016 0.016	0.016 0.016	1 1	22 22	22 22	22 22
	折戸(汚水)	552	0.001 0.001	0.016 0.016	0.016 0.016	0.016 0.016	1 1	9 9	9 9	9 9
	折戸(雨水)	2,880	0.001 0.001	0.016 0.016	0.016 0.016	0.016 0.016	3 3	46 46	46 46	46 46
	三保(汚水)	365	0.001 0.001	0.016 0.016	0.016 0.016	0.016 0.016	0.4 0.4	6 6	6 6	6 6
	三保(雨水)	1,802	0.001 0.001	0.001 0.001	0.001 0.001	0.001 0.001	2 2	2 2	2 2	2 2
	被害額の合計（上段：対策前，下段：対策後）						70.4 70.4	8,796 660	8,796 660	8,970 660

表-19 地震動・液状化に関する対象施設の残余リスクの算定

施設名		対策前 残余リスク (百万円)	対策後 残余リスク (百万円)	リスク軽 減額 (百万円)	対策費 (百万円)	効果額 (百万円)
処理場	静清浄化	18,030	290	17,740	319	17,421
	清水北部	170	10	160	258	-98
	清水南部	12,670	200	12,470	300	12,170
ポンプ場	築地(合流)	500	180	320	76	244
	浜田(合流)	310	110	200	80	120
	清開(合流)	300	110	190	76	114
	愛染(合流)	310	120	190	122	68
	宮加三(汚水)	140	50	90	87	3
	折戸(汚・雨)	60	60	0	0	0
	三保(汚・雨)	60	60	0	0	0

b) 津波浸水の対策費と被害額の算定結果

津波浸水対策においても、下水道施設全体での検討ではなく、基礎的検討として処理場、ポンプ場の対象施設ごとに地震規模別の津波浸水深に対応した対策費を算定し、その場合の被害額を算定する。津波浸水については、数値計算の検討が必要なため、ここでは概要を示すに留める。

b-1) 擁壁・防水門扉建設による対策費

対象施設の浸水について、図-6と同様に、敷地外周に擁壁を、出入用の防水門扉（陸閘）を設置する（図-7）。各施設の想定浸水に0.5mの余裕を持たせた擁壁を設置す

る場合の費用を擁壁・水門扉建設による対策費とする。



図-7 施設出入用の防水門扉（陸閘）

b-2) 施設の残余リスク・対策費・費用対効果

津波浸水について、上記の方法により、対象施設の残余リスク、効果額、対策費及び費用対効果を算出することができる。地震・液状化についての残余リスクと同様の検討を行うことにより、津波浸水についての残余リスクを各施設で検討することができる。今後、津波数値計算の検討を行い、残余リスクの検討を行う。

(2) リスク分析

リスク分析では、対策費と残余リスクの和から、対策種別に効果的な対策規模を概算する。なお、本検討では対象地域における対策の目安となる対策規模として、処理場、ポンプ場、管渠の施設種別にまとめて対策規模を算出する。対象施設は、地震動、液状化における被害においては図-5の被害タイプ分類のタイプ1から3に該当する施設について検討し、津波における被害においては浸水のある施設について検討を行う。

具体的なリスク分析の結果について、さらに検討を進める必要がある。本研究では、既往の検討に加え、間接被害による影響を考慮しているため、その影響に着いても検討を行う予定である。

4. おわりに

本研究では、異なる地震規模における地震・液状化・津波による下水処理施設（処理場、ポンプ場、管渠）の直接被害と間接被害および対策費を概算し、さらに地震の規模と発生確率を考慮して算出した残余リスクと対策費の和から合理的な対策規模についての検討方法を示した。なお、今回の検討では、津波数値計算の検討を追加する必要がある津波については十分な結果とはなっていないため、検討を進める必要がある。さらに、地震・液状化・津波によるリスク分析についても、間接被害の影響についての算出結果の検討を加え、影響を分析する必要がある。これらの検討をすることで、リスク分析に基づいた下水道施設全体に対する合理的な対策を検討することの基礎資料を得ることができると考えられる。

謝辞

本論文における検討にあたり、静岡県、静岡市から貴重なデータを提供いただいた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 瀬尾直樹, 原田賢治, 嶋原良典, 小西康彦, 山崎宜良, 松本貴久, 砂坂善雄, 小黒明, 石野好彦, 長谷川浩市, 鈴木一仁: 下水道施設における地震・津波対策の効果的な対策規模の基礎的検討, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.71, No.4, pp.1_666-I_679, 2015.
- 2) 下水道地震・津波対策技術検討委員会: 下水道地震・津波対策技術検討会報告書, 東日本大震災における下水道施設被害の総括と耐震・耐津波対策の現状を踏まえた今後のあり方, 2012.
- 3) 宮城県土木部下水道課: 甞れ みやぎの下水道 1・2, 東日本大震災からの復旧の記録 平成 24 年度改訂版, 2013.
- 4) 仙台市建設局: 仙台市下水道震災復興推進計画 (平成 24 年度～平成 27 年度), 2012.
- 5) 藤間功司, 佐藤紘志, 嶋原良典, 竹内幹雄, 千葉智晴, 飯田勉, 砂坂善雄, 高梨和光: 静岡市中島浄化センターの東海地震・津波来襲時の被害予測について, 土木学会地震工学論文集, 第 29 巻, pp.881-889, 2007.
- 6) 藤間功司, 樋渡康子: 津波防災施設の最適規模と残余リスクを明示する手法の提案, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.69, No.4 (地震工学論文集 32 巻), I_345-I_357, 2013.
- 7) 日本下水道協会: 流域別下水道整備総合計画調査指針と解説, 2008.
- 8) 大規模地震による下水道被害想定検討委員会: 大規模地震による被害想定及び想定結果の活用方法に関するマニュアル, 59 p, 2006.
- 9) 楢田泰子, 大野顕大: 東北地方太平洋沖地震における宮城県北西部の管路被害の特徴, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.69, No.4 (地震工学論文集第 32 巻), I_734—I_741, 2013.
- 10) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部下水道事業課 (監修): 下水道事業の手引, 日本水道新聞社, 2013.