

(39) 水利用機能を考慮した人口減少社会における 下水道管路の耐震化

細井由彦^{1*}・上地 進²・増田貴則¹・赤尾聡史¹・井上康平³

¹鳥取大学大学院工学研究科社会経営工学講座 (〒680-8552鳥取市湖山町南4)

²東京都足立区役所

³㈱日本システムディベロップメント

* E-mail: hosoiy@sse.tottori-u.ac.jp

人口減少が進む社会では、社会基盤整備の計画年次をいつにして、どのような人口環境を想定するかということが大きな課題である。さらに厳しい財政状況もあり、地方自治体における事業全体を見渡して整合性のある計画を立てることが重要である。本研究では下水道管路の耐震化事業を行うにあたり、人口減少と、下水道とともに水利用システムを構成する上水道の耐震化を考慮する手法を提案した。モデル下水道に適用し事例的考察を行うことで、手法の妥当性を検証し考え方の重要性を明らかにした。

Key Words : earthquake resistant countermeasure, population decrease, sewer pipeline, water usage

1. はじめに

平成7年1月の阪神淡路大震災では下水道も大きな被害を受けた。平成9年には「下水道施設の耐震化対策指針と解説(1997年版)」が出され¹⁾、下水道施設に対しても耐震化が進められてきた。そのようななか、平成16年10月の新潟県中越地震、平成19年3月の能登半島地震において下水道も被害を受け、あらためて下水道施設の耐震化の重要性が再認識された。

我が国はすでに人口の減少が始まっており、20年後の2030年には総人口は1億1千5百万人(2010年の10%減)、40年後の2050年には9千5百万人(同25%減)になると予想されている²⁾。さらに国、地方ともに厳しい財政状況にあり、下水道事業経営のみならず自治体の経営の効率性が求められている。

以上のように、今後の公共政策は人口減少を踏まえるとともに、より一層の経済効率性を目指し、各種事業は相互の整合性も勘案して進められることが必要である。下水道は都市における水利用システムの一部であるという視点からの、震災復旧や耐震化が重要であるが³⁾、経済効率性の上からもこのような視点が求められる。

そこで本研究では、将来の人口減少と、下水道が都市

における水利用システムの一部であることを考慮して下水道の耐震化を検討する手法を提案する。

下水道の耐震化に関しては、田中らは下水道管路ごとに発生する流量とその布設条件ごとの被災確率をもとに、最下流まで流下する流量期待値が大きくなるような管路から耐震化を優先する方法を提案している⁴⁾。細井は1本の下水道管路について、地震による局所的な通水能力の低下が、その管路上に分布する利用者の利用可能性の低下から下水道管路の信頼度を評価するモデルを検討した⁵⁾。

下水道管路の更新に関しては、濱本らが管渠の破損によって発生する道路陥没に着目した更新優先度の評価手法を提案している⁶⁾。耐震化を検討する際の重要な要素である下水道の地震被害の社会的な影響については、交通傷害やトイレ不足などに関する検討が行われている⁷⁾。さらに耐震化に関する種々のマニュアル等が刊行されている⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾。

これら従来の報告では、下水道の耐震化を下水道部門のみの視点で論じているものが多く、また人口の減少を考慮するまでには到っていない。著者らは小規模な自治体においては下水道が財政の負担になっている場合が多く、下水道事業を推進する場合にも、他の公共施策もあ

わせて考慮する必要性を指摘した¹¹⁾。本研究においては、このような要素を加味することが、どのような効果を及ぼすのかを具体的なモデルスタディにより検討し、その重要性を指摘する。

2. 下水道管路の耐震化効果の検討

(1) 耐震化の効果指標

本研究においては生活排水の排除機能について考えることとし、雨水についてはひとまず検討の対象外として議論を進める。

地震が発生後被災を受けた下水道管は通水能力が消失するものとする。現実的には、被災した管路においても、ある程度の通水能力を有している場合があると考えられる。しかしここでは、耐震化の効果の測定のために、地震で被災した管路は通水能力が無くなり、それより上流の管路全てが利用できなくなるものとする。水道の蛇口から出る状態で水利用ができる状況を考え、応急給水によるわずかな水を使うような場合を対象とはしていない。被災による被害は、このような下水道を利用できなくなることにより発生する様々な被害（間接被害）と、破損した管路を修復するための費用（直接被害）の合計であるとする。そして耐震化の効果を、このような被害が回避される金額で評価する。

地震発生時のリンクkの被害発生確率を b_k 、その被害額（復旧費用）を m_k とする。リンクkを耐震化した場合にはその被害が回避されるものと考え、リンクkの耐震化の便益 B_{ik} はつぎのように表される。

$$B_{ik} = b_k m_k \quad (1)$$

間接被害リスクについてはつぎのように考える。

リンクiとその下流のリンクの被災確率が0ではない（耐震化がされていない）リンクの集合を D_i 、リンクiの被災確率は b_i 、リンクiに排水している地区をエリアiとし、排水できないためにエリアiが被る被害を m_{2i} とする。エリアiが排水できなくなる確率 f_i 、その期待被害額 L_i はそれぞれつぎの通りである。

$$f_i = 1 - \prod_{j \in D_i} (1 - b_j) \quad (2)$$

$$L_i = f_i m_{2i} \quad (3)$$

うに表される。

$$L = \sum_i f_i m_{2i} = \sum_i m_{2i} \left\{ 1 - \prod_{j \in D_i} (1 - b_j) \right\} \quad (4)$$

リンクkを耐震化した場合 $b_k=0$ となる。よってリンクkを耐震化する便益 B_{ik} はつぎのようになる。

$$B_{2k} = \sum_i m_{2i} \left\{ 1 - \prod_{j \in D_i} (1 - b_j) \right\} - \sum_i m_{2i} \left\{ 1 - \prod_{\substack{j \in D_i \\ b_k=0}} (1 - b_j) \right\} \quad (5)$$

耐震化プロジェクト ω により耐震化されたリンクの集合を P_ω とする。そのときリンクiとその下流リンクの中で耐震化されたリンクの集合は、 $P_\omega \cap D_i$ となるから、そのときの間接被害の回避による便益 $B_{2\omega}$ は次式となる。

$$\begin{aligned} B_{2\omega} &= \sum_i m_{2i} \left\{ 1 - \prod_{j \in D_i} (1 - b_j) \right\} \\ &\quad - \sum_i m_{2i} \left\{ 1 - \prod_{\substack{j \in D_i \\ \{b_k=0 | k \in P_\omega \cap D_i\}}} (1 - b_j) \right\} \\ &= \sum_i m_{2i} \left\{ \prod_{\substack{j \in D_i \\ \{b_k=0 | k \in P_\omega \cap D_i\}}} (1 - b_j) - \prod_{j \in D_i} (1 - b_j) \right\} \end{aligned} \quad (6)$$

耐震化による全便益は直接便益と間接便益の和として次式で表される。

$$\begin{aligned} B_\omega &= \sum_{j \in P_\omega} b_j m_{1j} \\ &\quad + \sum_i m_{2i} \left\{ \prod_{\substack{j \in D_i \\ \{b_k=0 | k \in P_\omega \cap D_i\}}} (1 - b_j) - \prod_{j \in D_i} (1 - b_j) \right\} \end{aligned} \quad (7)$$

全域における被害額 L はこれらの合計となり、つぎのよ

リンクjの耐震化に要する費用を c_j とすると、プロジ

エクト ω にかかる費用は次式となる。

$$C_{\omega} = \sum_{j \in P_{\omega}} c_j \quad (8)$$

(2) 耐震化計画の策定方法

最適な耐震化プロジェクトの計画は、限られた耐震化予算のもとで、便益を最大にするように策定される。すなわち次式で定式化されるものの解として得られる。

目的関数

$$\begin{aligned} \text{Max}_{\omega} B_{\omega} = & \text{Max}_{\omega} \left[\sum_{j \in P_{\omega}} b_j m_{1j} \right. \\ & \left. + \sum_i m_{2i} \left\{ \prod_{\substack{j \in D_i \\ \{b_j=0\} \cap \{k \in P_{\omega} \cap D_i\}}} (1-b_j) - \prod_{j \in D_i} (1-b_j) \right\} \right] \quad (9) \end{aligned}$$

制約条件

$$C_{\omega} = \sum_{j \in P_{\omega}} c_j \leq C_0 \quad (10)$$

エリア i において排水が出来ないために発生する被害 m_{2i} や地震時のリンクの被災確率 b_i は経年的にも変化するので、 $m_{2i,t}$ 、 $b_{i,t}$ とする。耐震化プロジェクトの便益も地震発生時 t の関数となり次式のように書ける。

$$B_{\omega,t} = B_{\omega}(b_{i,t}, m_{2i,t}) \quad (11)$$

t における地震の発生確率を p_t とすると、評価期間 $t=1 \sim n$ における耐震化プロジェクト ω の期待便益はつぎようになる。

$$\overline{B_{\omega}} = \sum_{t=1}^n p_t B_{\omega,t} d_t \quad (12)$$

$$\text{ただし} \quad d_t = (1+r)^{-t} \quad (13)$$

ここで r は割引率である。

長期的な便益の最大化を目標とする場合には、式(9)の目的関数はつぎようになる。

$$\text{Max}_{\omega} \overline{B_{\omega}} = \text{Max}_{\omega} \sum_{t=1}^n p_t B_{\omega,t} d_t \quad (14)$$

(3) 水利用機能から見た地震被災による被害

都市の水利用システムは給水系と排水系により成り立っており、給水可能水量と排水可能水量の関係によ

り利用可能量が決まる。給水可能水量 Q と排水可能水量 D により水使用の便益 U はつぎのように表すことが出来る。

$$U = U(\min\{Q, D\}) \quad (15)$$

地震被災により給水能力が低下し水使用行動 a を行うのに必要な水量 Q_{0a} を給水できなくなったとする。地震後 $D \geq Q_{0a}$ 。(図1の QD ゾーン) ならばこの段階においては下水道には問題はなく、上水道が水使用行動の制約となっている。 $Q \geq Q_{0a}$ にもかかわらず $D < Q_{0a}$ のとき(図1の Qd ゾーン)は下水道が水使用行動の制約となっている。

地震直後から給水体制が $Q \geq Q_{0a}$ になるまでの時間を t_{ω} 、 $D \geq Q_{0a}$ になるまでの時間を t_{db} とする。

水使用行動 a ができずに失われる便益は、

$$U_{fa} = \sum_{t=0}^{\max(t_{\omega}, t_{db})} U(Q_{0a}, t) \quad (16)$$

下水道を耐震化し t_{db} を0にできたとすると、そのときの水使用行動ができないことによる逸失便益は次式となる。

$$\overline{U_{fa}} = \sum_{t=0}^{t_{\omega}} U(Q_{0a}, t) \quad (17)$$

下水道を耐震化することにより回避される被害 X_a は、

$$X_a = U_{fa} - \overline{U_{fa}} = \sum_{t=t_{\omega}}^{\max(t_{\omega}, t_{db})} U(Q_{0a}, t) \quad (18)$$

であり、これが下水道耐震化の間接便益となる。

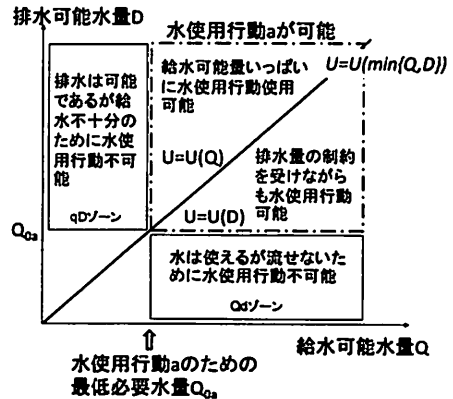


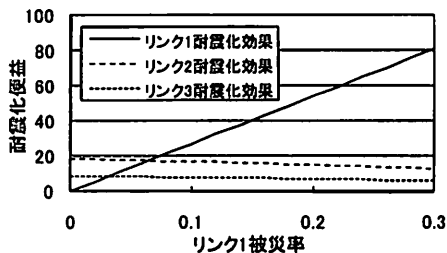
図1 給・排水可能量と水使用行動の関係

3. モデル管路による検討

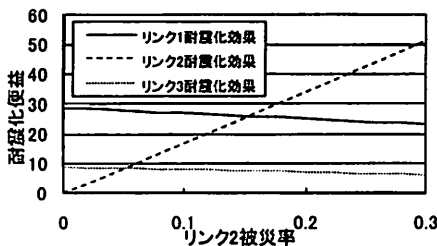
(1) 耐震化評価モデルの特性

構築した耐震化評価モデルの特性を把握するために、3本の管路が直線的に接続されている簡単なモデルにより検討する。下流からそれぞれリンク1、リンク2、リンク3とする。各リンクの被災確率 b_i と被災時のリンクエリアの被害 m_{2i} はそれぞれ、 $b_1=0.1$ 、 $m_{2i}=100$ ($i=1, 2, 3$) とする。

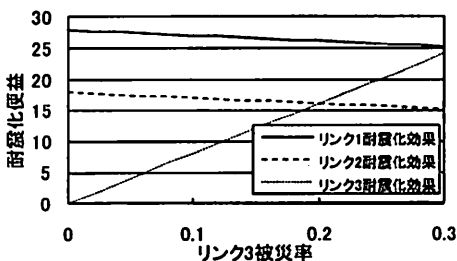
リンクの被災確率が変化した場合にそれぞれいずれかのリンクを耐震化することによる便益がどのように変化するかを示したものが図2である。いずれの図においても、横軸に示されるリンクの被災確率が変化した場合に、凡例で示されるリンクが耐震化され、その他のリンクの被災確率は初期の設定の0.1のままとしている。例えば図2(a)ではリンク2、リンク3の被災確率は0.1で、リ



(a) リンク1の被災確率とリンクの耐震化効果



(b) リンク2の被災確率とリンクの耐震化効果



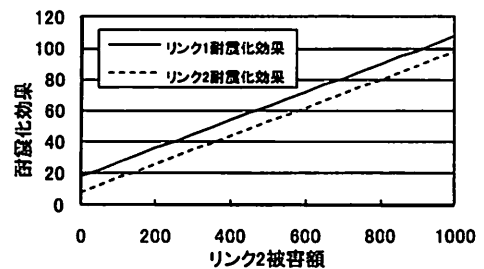
(c) リンク3の被災確率とリンクの耐震化効果

図2 リンクの被災確率と耐震化効果の関係

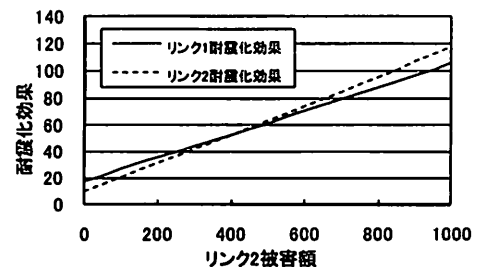
ンク1の被災確率が0から0.3の値をとるときに、各リンクをそれぞれ耐震化したときに、3リンクの直列システムにおける便益（被害軽減額）がどのようになるかを示している。

すべてのリンクで被災確率が等しいとき ($b_i=0.1$) は当然下流側のリンクほど耐震化の効果は大きくなる。あるリンクの被害確率が大きくなると、当該リンクの耐震化効果は高くなり、周辺リンクの耐震化効果は低くなる。図2(b)に示されるように、リンク2の被災確率が増加していく場合、 $b_2=0.15$ の付近でリンク2の耐震化効果が、その下流に位置するリンク1の耐震化効果を上回り始める。同様に図3に示されるようにリンク3の被災確率が増加していくと、リンク3を耐震化する効果は、 $b_3=0.2$ 付近でリンク2を、 $b_3=0.3$ を超えるとリンク1を耐震化する効果を上回るようになる。このように、被災確率の大小関係により、耐震化の効果は必ずしも下流側リンクが大きいかとは限らない。

リンクエリアの被害額が変化した場合の耐震化効果の変化を示したものが、図3である。リンク1の被害額 $m_{21}=100$ のままで、リンク2の被害額の増加に応じて耐震化効果は増加するが、その割合はリンクの被災確率の影響を受ける。



(a) リンク2エリアの被害額と耐震化効果 ($b_1=b_2=0.1$)



(b) リンク2エリアの被害額と耐震化効果 ($b_1=0.1$, $b_2=0.12$)

図3 リンクエリアの被害額と耐震化効果

図3(b)ではリンク2の被災確率を0.12にしている。この場合にはリンク2エリアの被害額が大きくなると、リンク2の耐震化効果が下流のリンク1を上回る。

(2) 検討モデル

モデル管路により提案した方法の特色や妥当性を検討する。図4に示すような下水道管路を考えた。

全体で76リンクで1リンクあたり500mの管路をイメージしている。地区内の枝線等については考えず、本モデルではこの幹線管路をリンク単位で耐震化を行うものとする。

対象地区は6各地区に分けられ、各地区の条件を表1のように設定する。第1、第2地区は現在最も人口が多いが、今後人口の減少が進む。とくに第1地区においてその傾向が顕著である。第5、第6地区は現在は人口が少ないが今後増加する地区である。便宜上評価の開始を2010年とし、計画された対策はこの年度に完成しているとする。2010年と、20年後の2030年の人口とをあわせて表1に示した。簡単のため人口は毎年一定の人数で等差的に変化するものとする。なお各地区の人口は地区内のそれぞれのリンクに同数ずつ割り当てる。

下水道の復旧は新潟県中越地震の結果などを参考に¹⁹、地震被災後10日、20日、30日の3段階とし、処理場から最も遠い第5地区が最後に復旧するとした。水道については第1地区の付近に配水池があるものとし、第1地区は地震後も利用が可能で、3週間後までに全地区完全復旧することとした。また水道の耐震化事業が計画されており、この事業が実施されると、第3～6地区の復旧がそれぞれ1週間早くなるものとする。

人口から時間最大汚水量を設定して各リンクの管径を決めた。概略を表2に示す。過去の災害査定実績等を参考に、復旧費用（直接被害額）をつぎのように設定し、各管路の管径を用いて計算した¹⁰。

1000mm以上	72万円/m
600mm以上1000mm未満	42万円/m
300mm以上600mm未満	22万円/m
300mm未満	11万円/m

耐震化費用については、布設替えを開削で行うとして、つぎの費用関数を用いた¹⁰。

$$[\text{耐震化費用(万円/m)}] = 1.23 \times 10^{-5} \times [\text{管径(mm)}]^2 + 0.56 \times 10^{-3} \times [\text{管径(mm)}] + 9.26 \quad (19)$$

耐震化はリンク単位で500mにわたり実施することとした。間接被害については、住民が被る生活機能被害と、都

市活動が停滞する生産機能被害が考えられる。生活機能被害は地震時の断水被害額と同様に算定できる。生産機能被害は、それぞれの地域の製造業、非製造業が断水により生産活動が低下するために発生するものである。梶谷らは電気、水、ガスなどが供給支障に陥ったときに、種々の業種の生産額が低下する割合を、ライフライン途絶係数と定義して、その値を求めている^{10,17}。各地区の業種別の生産額を得ることができれば、これを利用して生産機能被害を推定することができる。ここではモデル計算を行い、将来の人口変化の影響等を検討することを目的としているので、間接被害としては生活機能被害のみ考えることとし、マニュアルを参考に1人1日あたり7000円とした¹⁰。なおこの額については個人の生活機能被害であり、将来においても人口減少による影響は受けずに一定である。

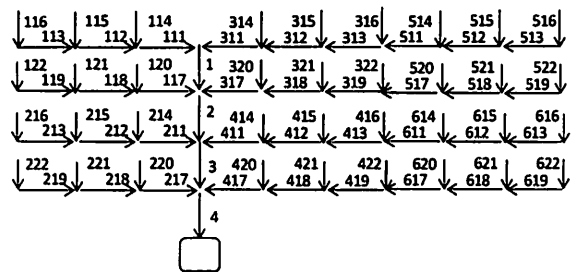


図4 検討した管路モデル

表1 モデル地区の特性

	リンク番号	人口		下水道復旧日	水道復旧日	
		2010年	2030年		耐震化前	耐震化後
中央幹線	1～4			10		
第1地区	111～122	24,000	12,000	10	0	0
第2地区	211～222	24,000	18,800	10	7	7
第3地区	311～322	18,800	14,400	20	14	7
第4地区	411～422	18,800	14,400	10	14	7
第5地区	511～522	7,200	12,000	30	21	14
第6地区	611～622	7,200	9,800	20	21	14

表2 管路のサイズ

管径(mm)	管路番号
600～1200	1,2,3,4
300～500	111,112,113,117,118,119
	211,212,213,217,218,219
	311,312,313,317,318,319
	411,412,413,417,418,419
200以下	その他

(3) 最適化計算の方法

全管路を耐震化する場合には41億2千2百万円の費用がかかる。そこで予算10億円の制約の下で耐震化対策を考えることにする。最初から便益計算期間のすべての人口状況を対象に最適化問題を解くと(式(14))、計算量が膨大になるので、ここではいくつかの計画年次を設定して、そのときの人口分布を対象とした最適解を求め、それが人口変化の影響をどのように受けるかを検討することで、計画年次の及ぼす影響を明らかにする。すなわち制約条件式(10)のもとに式(9)を解くこととする。

最適化計算には遺伝的アルゴリズムを用いた。1本の染色体上に並ぶ遺伝子1つずつが各リンクを表し、それぞれに0,1の数値で耐震化の実施の有無に関する情報を表現した。これをもとに、式(7)により耐震化対策の便益を、式(8)により費用を計算した。各染色体の適合度をそれが表現する耐震化対策の便益で与えるとともに、コストが制約値を超える場合には、わずかな超過の場合にはそれに応じたペナルティ値を加え、それ以上の超過の場合には親の候補から外すようにした。遺伝的アルゴリズムの各種遺伝操作を行い、最適対策を求めていった。詳細は省略するが、そのフローの概要を図5に示す。

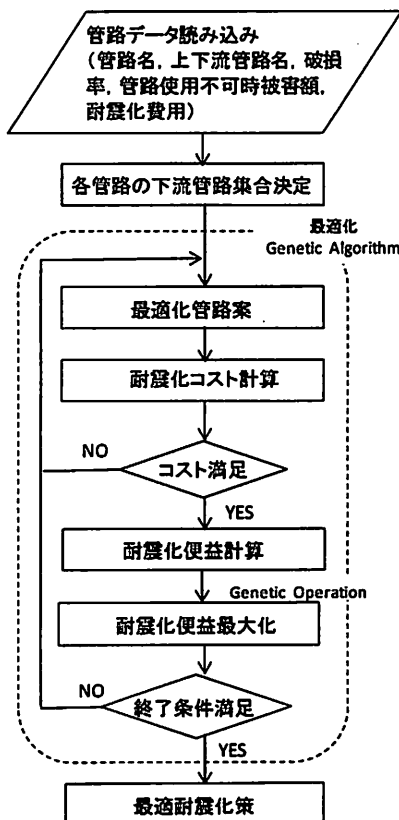


図5 最適耐震化策の決定フロー

4. 結果と考察

(1) 各種条件下の最適耐震化策

耐震化便益の計算人口(計画年次)を2010年と2030年に、水道耐震化の実施を考慮しない場合とする場合を考え、それぞれの耐震化策を、10A, 30A, 10B, 30Bと名付ける。すべての場合に、リンク1, 2, 3, 4は耐震化されることとなった。それ以外のリンクについて、耐震化する結果になったものを表3に示す。本表以外のものはいずれの対策においても耐震化対象には選定されなかった。

(2) 人口減少下における計画年次の影響

耐震化対策プロジェクト10Aにおいては、中央幹線の1~4と、第1地区の中心リンクである111, 112, 117, 118, 第3地区の中心である311, 312, 317, 318, 319と第5地区の末端で319につながる517が選ばれている。第1地区は最も人口の多い地区であり、第3地区も人口は第1, 2地区につづき、かつ第5地区からの流入もあるために選定されたと考えられる。人口では第1地区と同じ条件にある第2地区や、第3地区と同じ条件の第4地区が選ばれなかったのは、水道復旧後、下水道が復旧するまでの日数が、第1地区では10日であるのに第2地区では3日、第3地区では6日であるのに、第4地区では水道の復旧の方が遅れるためである。すなわち水道の状況に応じた優先順位付けが行われている。

これを30Aと比較すると、10Aでは候補にあがっていたリンク112と118が、30Aでは313と511に入れ替わっている。これは2030年には第1地区の人口が半減するのに対し、第5地区の人口は最も増加率が高いため、第3地区から第5地区を結ぶラインの重要性が増すためである。

両対策プロジェクトによる各地震発生年における耐震化便益を図6に示す。人口減少の影響で耐震化便益は将来になるほど減少している。2010年を計画年とした場合と2030年を計画年とした場合には、2022年で両プロジェクトが等しくなりその後逆転する。人口減少が進む中で差し迫る大地震の発生をどのあたりに予測するかで、対策の効果が異なってくる。

表3 最適耐震化策に選ばれたリンク

対策	計画 年次	水道耐 震化	耐震化対象リンク														
			111	112	117	118	311	312	313	317	318	319	411	417	511	517	
10A	2010	無	○	○	○	○	○	○		○	○	○				○	
30A	2030	無	○		○		○	○	○	○	○	○				○	
10B	2010	有	○		○	○	○	○	○	○	○	○				○	
30B	2030	有					○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	

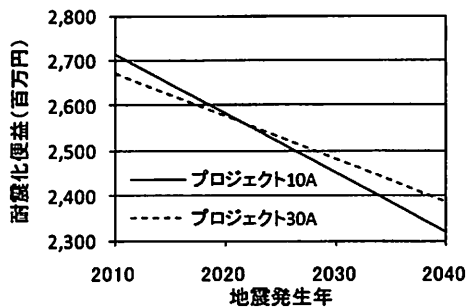


図6 耐震化計画年次と便益の関係

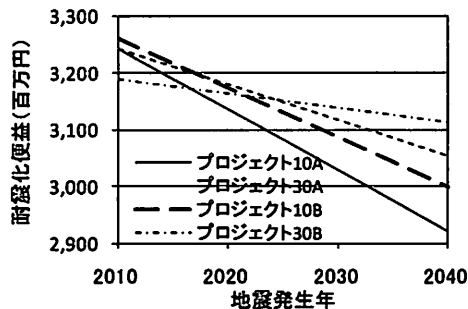


図7 水道の耐震化の影響

(3) 水道の耐震化を考慮した結果

水道の耐震化後の状況を考慮したプロジェクトである10B、30Bも加えて、水道耐震化後に地震が発生した場合の便益を図7に示している。

水道の耐震化が実施されると、第3、4、5、6地区の水道復旧が早まるために、被災時の生活機能障害に対する下水道の寄与が高くなる。その結果、2010年を計画年としても、耐震化前の対策(10A)と比べて、耐震化後(10B)ではリンク112からリンク313へと耐震化の候補が入れ替わっている。2030年を計画年とした場合は、さらに第5、6地区の人口増の影響で、第1地区の管路は無くなり、第3、4、5地区の管路に耐震化の重点は移っている。

水道の耐震化後の状況で便益を比較すると、2010年付近で地震が発生した場合でも10Aより30Aの方が便益が大きくなっており、水道が耐震化された場合には、耐震化前の状況で将来人口により下水道耐震化計画を立てる方が有利な結果となっている。10Bと30Bを比較した場合には、水道耐震化後を念頭において計画されているために、図6と同様に当初は10Bが有利で、将来になるにつれ30Bが有利になっていく。

(4) 評価期間を通した期待便益に関する考察

本事例モデルでは水道の耐震化の前後により被災時の

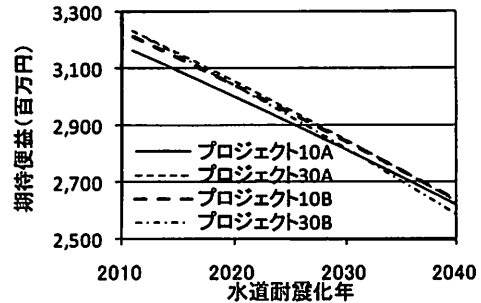


図8 水道耐震化年とプロジェクトの期待便益

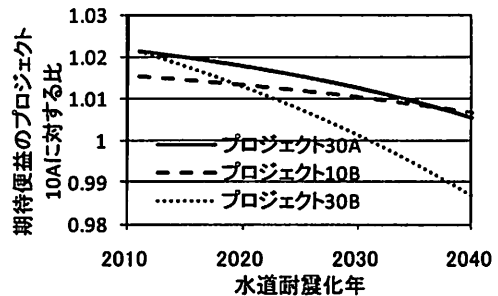


図9 期待便益のプロジェクト10Aに対する比

被害額が異なっている。すなわち水道の耐震化が実施される時期により、式(11)の m_{21} が変化する。そこでそれぞれの耐震化対策について、水道の耐震化時期が変化した場合の期待便益を式(12)により検討する。評価期間は2011年から2040年までの30年間とする。この30年間に大地震が必ず1回発生するものと設定した計画であるとし、式(12)における地震発生確率 $p_e=1/30$ とする。

水道耐震化が実施される年と30年間の期待便益との関係を図8に示す。なお割引率の影響は各プロジェクトに同様であり、期待便益値は異なるが傾向は同じである。したがってここでは割引率は0で計算した結果を示している。

水道の耐震化が遅れるほど期待便益は少なくなる。図9は図8で示される各耐震化プロジェクトの期待便益を、プロジェクト10Aに対する比で示したものである。水道の耐震化と将来人口のいずれを考慮した場合も、重要地区は第1、2地区から第3～第6地区に移っていくから、プロジェクト10Aに対して他の3プロジェクトの期待便益は水道の耐震化が早いほど大きくなっている。

図10は各年の耐震化便益を水道の耐震化前の状態で評価したものを、プロジェクト10Aに対する比で示したものである。図11は同じものを水道の耐震化後の状態で評価したものである。第3～第6地区に重点を移していくプロジェクト10B、30A、30Bの順に各年便益がプロジェクト

10Aを上回る年次が先になると同時に、将来の便益は大きくなっていく。水道の耐震化が行われた場合は、より早く、顕著にこの現象が現れている。プロジェクト30Bについては、著しく第3～第6地区に重点を置いているために、図10に見られるように、水道の耐震化が行われる前の期待便益がプロジェクト10Aに比べて著しく小さい。そのため、図9において、水道耐震化が2032年以降になる場合には期待便益がプロジェクト10Aを下回ることになっている。

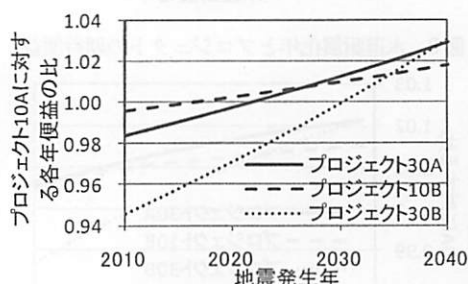


図10 各年便益のプロジェクト10Aに対する比
(水道耐震化前)

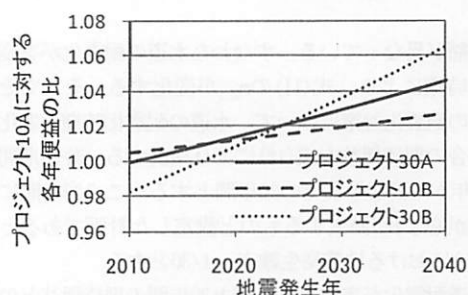


図11 各年便益のプロジェクト10Aに対する比
(水道耐震化後)



図12 耐震化計画年次と水道耐震化が期待便益に及ぼす影響

2020年の人口をもとにした最適耐震化計画についても計算して、下水道耐震化計画年次(プロジェクト10A, 20A, 30A)と水道耐震化年による期待便益額の変化を示したものが図12である。水道の耐震化が早いほど下水道の耐震化効果も高くなる。本事例の場合、計画人口年次による便益変化は2010年から2020年のほうが2020年から2030年よりも大きく、将来人口の不確定要素を加味しても2010年よりは2020年頃を計画年次とする方が妥当であると考えられる。

(5) 老朽化や予算の影響

第1地区および第2地区は古くから供用されており、管路の老朽化が著しいとする。そこでこの地区の被災確率を他の地区の3倍の0.3として、2010年および2030年の人口条件で最適耐震化策を求めた。それぞれ10A-I, 30A-Iとして表4に示す。この場合もリンク1～4は選ばれているので省略する。10A-Iでは10Aに比べて第3地区、第5地区のリンクが耐震化候補からはずれ、代わりに第1地区、第2地区のリンクが耐震化されることとなり、一部老朽管が優先される結果となった。2030年の人口をもとにした場合には、それらのうちいくつかは第3地区のリンクに入れ替わっている。すなわち、老朽管であっても今後の人口減少を考慮すると、耐震化優先順位を低くする結果となっている。

耐震化予算を2割減の8億円とした場合、および2割増の12億円とした場合をそれぞれ10A-II, 10A-IIIとして表5に示す(リンク1～4は選ばれており省略)。

10A-IIをみると、人口が多く水道の復旧が早い第1地区の下流リンク、人口は第2地区より少ないが、水道の復旧に対して下水道の復旧が遅く、かつ第5地区の下流に当たる第3地区の幹線下流部が重要であり、少ない予算の場合にも優先されることがわかる。予算を増やした場合は、人口の多い第2地区の下流リンクが選ばれるとともに、人口は第1, 2地区につづき、第6地区の下流に当たる第4地区の下流リンクも1本選ばれている。

表4 老朽管路を含む場合の耐震化策

対策	計画年次	水道耐震化	耐震化対象リンク													
			111	112	113	117	118	119	211	212	213	217	311	317		
10A-I	2010	無	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
30A-I	2030	無	○	○		○	○		○	○		○	○	○		

表5 予算を変化させた場合の耐震化策

対策	計画年次	水道耐震化	耐震化対象リンク													
			111	112	117	118	211	217	311	312	313	317	318	319	411	
10A-II	2010	無	○	○					○	○		○	○			
10A-III	2030	無	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	

4. あとがき

下水道の部局においてはこれまでも地震対策に努力が払われてきている。住民からみれば、水道の蛇口から水が出て、それがうまく排水されることではじめて水を使った活動が再開できることになる。水道、下水道の双方が連携を密にして、整合性のある対策がたてられてきていると思われるが、財政効率の面からもその重要性はますます高まっていくものと思われる。また我が国では一部の都市をのぞいて人口減少が始まっており、中小規模の自治体ではとくにその傾向が強い。拡大を前提に整備計画を立ててきていた社会基盤においては、新たな計画手法が必要になってきている。

本研究では、このような認識のもとで、現在の重要な公共投資の課題の一つである下水道管路の耐震化について検討を行った。地震被災時の直接被害と間接被害を考慮し、直接被害としては復旧費用を、間接被害においては管路ネットワーク構造に依存する流下機能障害を考えた。耐震化の便益をこれらの障害により発生する損害の回避額で評価した。損害の発生は水道による給水が行われてはじめて発生するものと考え、水道の復旧を考慮に入れて評価した。すなわち都市の水利用システムの一環としての下水道を考えている。提案した手法を、モデル管路に適用して、下水道の耐震化対策を考える上で、長期的視点から、水道の耐震化事業や人口減少の影響を考慮することの重要性を定量的に示すことができた。

謝辞：本研究は科学研究費補助金(20560507)の助成を受けて行われたものであることを付記し謝意を表する。

参考文献

- 1) (社) 日本下水道協会：下水道施設の耐震化対策指針と解説（1997年版），1997.
- 2) 国立社会保障・人口問題研究所：日本の将来推計人口（平成18年12月推計）。
- 3) 細井由彦・上月康則・野田茂・能島暢呂：阪神・淡路大震災における静脈系ライフラインの被災および復旧，阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集，pp. 627～pp. 634, 1996.

- 4) 田中修司・亀田弘行・関口隆司：下水道管路の耐震対策優先対象の決定に関する検討，阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集，pp.729～pp.734, 1996.
- 5) 細井由彦：下水道管路の地震被災時の信頼性評価モデル，鳥取大学工学部研究報告，第27巻，pp. 137-146, 1997.
- 6) 濱本淳平・和田安彦：下水道管きよの更新優先度評価手法の構築，第45回下水道研究発表会講演集，pp. 359-361, 2008.
- 7) (財)下水道新技術推進機構：下水道の地震被害による社会的影響に関する調査研究，下水道新技術推進機構年報，2006.
- 8) (財)下水道新技術推進機構：下水道の地震対策技術に関する研究，下水道新技術推進機構年報，2005.
- 9) 日本下水道協会：下水道の地震対策マニュアル，2006.
- 10) 大規模地震による下水道被害想定検討委員会：大規模地震により被害想定手法及び想定結果の活用方法に関するマニュアル，2007.
- 11) 細井由彦・増田貴則・赤尾聡史・麻本裕也：人口減少高齢化構造からみた一般行政サービスの受益と負担を考慮した汚水処理事業経営，環境システム研究論文集，37巻，pp. 145-152, 2009.
- 12) 細井由彦・澁英樹・増田貴則・赤尾聡史：公共財の供給を含む一般会計を考慮した人口減少高齢化社会における下水道事業経営，環境工学研究論文集，46巻，pp. 165-174, 2009.
- 13) ライフライン 下水道の復旧を急げ!!，日本下水道協会，2005.
- 14) 兵庫県阪神県民局西宮土木事務所・（財）下水道新技術推進機構：大規模地震による下水道被害とその影響に関する検討業務委託報告書，2007.
- 15) (社) 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.
- 16) 梶谷義雄・多々納裕一・山野紀彦・朱牟田善治：製造業を対象としたライフライン途絶抵抗係数の推計，自然災害科学，23巻，4号，pp.553-564, 2005.
- 17) 梶谷義雄・多々納裕一・山野紀彦・朱牟田善治：非製造業を対象としたライフライン途絶抵抗係数の推計，自然災害科学，24巻，3号，pp.247-255, 2006.
- 18) (社) 日本水道協会：水道事業の費用対効果分析マニュアル（案）（改訂版），日本水道協会，2002.

(2010.5.21受付)

Earthquake Resistant Countermeasures of Sewer Pipeline Considering Water Usage in Population Decrease Society

**Yoshihiko HOSOI¹, Susumu Uwachi², Takanori MASUDA¹, Satoshi AKAO¹
and Kohei INOUE³**

¹Dept. of Management of Social Systems and Civil Engineering , Tottori University

²Adachi Ward Office, Tokyo

³NSD Co. Ltd.

For the planning of social infrastructures in a population decreasing society, setup of design population depending on design period is significant. It is also important to think consistency of a project with other projects carried out by the same municipality. In this study, planning methodology of earthquake resistant countermeasures of sewer pipeline considering population decrease as well as earthquake resistant project of waterworks which compose public water usage system together with sewerage system was developed. It was applied to a model sewer system. The importance of design period of earthquake resistant countermeasures of not only sewer system but also waterworks was quantitatively pointed out.