2026 年 11 月 16 日版　令和 8 年熊本地震：脆弱性評価・強靭性評価とそれに基づく学術的所見（（第三次）資料 2

令和 8 年熊本地震における水道管強靭性評価

—「過去 10 年の水道管強靭化が令和 8 年熊本地震の被害をどの程度軽減したか」の反実仮想推計—

令和 8 年 11 月 2 日　京都大学大学院　藤井 聡

要旨

■**令和 8 年熊本地震によって生じた断水は、約 98.0 万戸日**であると推計された。その内の **81%に当たる約 79.6 万戸日**（完全断水 74.1 万戸日、および夜間断水 5.5 万戸日）が、八代市、宇城市、および八代生活環境事務組合（以下、**推計対象域**）の各水道において生じたと推計された。本稿では、水道管の破損状況や水道事業図等が提供されたこの推計対象域における、水道管破損の経済被害、ならびに当該地域の水道管の強靭性評価を行う。

■まず、推計対象域の水道管破損による経済被害額は**約 343.0 億円**と推計された。また、推計対象域における過去約 10 年間の水道管強靭化による被害軽減額すなわち**過去 10 年間の水道強靭化対策の経済効果は、最小で 49.4 億円（現状被害額の 14.4%）、最大で 85.6 億円（25.0%）**と推計された。また、それによる**財政改善効果は最小で 8.7 億円、最大で 14.5 億円**（税収増 4.5～7.8 億円、社会保険料増 2.8～4.9 億円、復旧関連公的支出減 1.4～1.8 億円）と推計された。

■ 一方、現在の基幹管路の耐震適合率が 0%であったという反実仮想の下では、すなわち、**過去の全ての基幹管路の耐震適合化（強靭化）対策の経済効果は最小で 157.8 億円（現状被害額の 46.0%）、最大で 244.7 億円（71.4%）**と推計された。 また、それによる**財政改善効果は最小で 28.63 億円、最大で 43.64 億円**（税収増 13.82～21.42 億円、社会保険料増 8.69～13.46 億円、復旧関連公的支出減 6.11～8.76 億円）と推計された。

■ なお、推計対象域における一断水戸日あたりの経済被害がそれ以外の地域のそれと同様であると仮定した場合、**熊本県全体の断水による経済被害は 422.3 億円、過去 10 年間の水道管強靭化対策による経済効果は最小で 60.9 億円・最大で 105.4 億円、ならびに財政改善効果は最大で 17.8 億円、そして、過去全ての水道管強靭化対策による経済効果は最小で 194.3 億円・最大で 301.3 億円、ならびに財政改善効果は最大で 53.7 億円**と推計された。

表 1　推計対象域における水道管の強靭性評価

（推計対象域）

比較する状態	現状の被害額推計値	強靭化なしの被害額推計値	軽減額（推計値）	強靭化被害圧縮比	財政改善効果（推計値）
H27 末の管路構成（過去約 10 年）	343.0 億円	392.4～428.6 億円	49.4～85.6 億円	14.4～25.0%	8.7～14.5 億円
耐震適合率 0%	343.0 億円	500.8～587.7 億円	157.8～244.7 億円	46.0～71.4%	28.63～43.64 億円

（熊本県全域）

比較する状態	現状の被害額推計値	強靭化なしの被害額推計値	軽減額（推計値）	強靭化被害圧縮比	財政改善効果（推計値）
H27 末の管路構成（過去約 10 年）	422.3 億円	483.2～527.7 億円	60.9～105.4 億円	14.4～25.0%	10.7～17.8 億円
耐震適合率 0%	422.3 億円	616.6～723.6 億円	194.3～301.3 億円	46.0～71.4%	35.2～53.7 億円

1. 評価対象・利用資料と現状の断水被害

本稿は、令和 8 年熊本地震で大きな断水が発生した八代市水道事業、宇城市の二つの上水道（三角、松橋・小川）、八代生活環境事務組合を対象に、その断水の経済被害額、および、水道管強靭化（水道管の耐震適合管への転換）によるその経済被害額の減少額の推計（すなわち、水道管の強靭性評価）を行う。特に、破損すると広い地域の断水につながる導水管・送水管・配水本管（以下「基幹管路」）に着目する。

推計にあたっては、表 2 に示した管路統計、破損・断水記録、給水区域図、配水池構成および経済統計を用いた。なお、給水区域図等は、対象となる給水系統の区分と断水戸日の配分に加え、重要管路が破損した際に影響し得る下流側の給水戸数を近似するためにも用いる（表 2）。

表 2　利用した資料と分析上の役割

資料	使用したデータ	推計時の活用方法
H27・R5 水道統計［2］	管路延長、耐震適合管延長	強靭化の有無で破損リスクが変わる幅
被害状況［3、11］	八代 257 件、宇城 124 件、組合 304 件	実際の破損分布との照合
給水区域図・施設資料［4、12］	どの水道が、どこに給水するか	区域・系統別配分、配水池構成から下流影響戸数を近似
断水・復旧の公表記録［5、10］	日ごとの断水戸数・復旧	現状の断水戸日を算定
国交省マニュアル・経済統計［6～8］	生活被害、産業減産、波及の参考係数	断水戸日を経済被害額に換算

1.1　現状の断水戸日

対象地域の完全断水による累積影響は約 74.1 万戸日と推計された。この推計値の算定にあたっては、断水戸数が公表されている 8 月 1〜28 日については、観測時点間で直線補間することで、約 57.9 万戸日と推計した。一方、地震発生の 7 月 28 日から 8 月 1 日正午までの約 3.8 日間については、平均断水戸数を、当該期間の断水戸数として報告された値である 42,500 戸であると仮定することで、約 16.2 万戸日とした［5、13］。

これとは別に、八代市では「夜間給水制限」が行われていた。その累積影響の推計にあたっては、21 時から翌 6 時までの 9 時間の給水制限を、1 日の 9/24 に相当する完全断水とみなし、給水制限の対象戸数と実施日数を考慮して、約 5.5 万戸日相当と推計した。

以上より、断水の総累積影響は、約 79.6 万戸日相当と推計される。

なお、以上の推計対象域以外を含む熊本全体での断水戸日についても同様の方法で推計したところ、約 98.0 万戸日であると推計された。したがって、本稿で詳細に分析する推計対象域における断水戸日は、全体の 81%に当たることが分かる。

1.2　現状の社会経済的被害

さて、以上に推計した対象推計域の 79.6 万戸日の断水による経済被害額を、住民生活への影響、産業の直接損失、その取引先への追加波及の三項目毎に推計し、それを合計することで、約 343.0 億円と試算された（表 3 参照。算定式と係数の説明を第 2〜3 章に示す）。

表 3　現状の被害額推計値

被害の種類	被害額推計値	算定の考え方
住民生活（完全断水＋夜間）	150.4 億円	断水戸日×生活被害原単位
産業の直接損失（完全断水＋夜間）	108.2 億円	断水戸日×地域別の産業単価
取引先への追加波及	84.4 億円	産業直接損失×78%（合計倍率 1.78）
合計	343.0 億円	現状の断水負荷を同条件で評価

2. 推計モデルの定式化

以下では、観測された断水を起点に、管路の耐震適合性が異なる反実仮想の被害額を計算する体系を示す。各式の係数値や入力値はここでは設定せず、第 3 章にまとめる。添字 i は給水区分、t は発災後の時点、c は比較する管路構成を表す。

2.1　管路構成、破損リスク倍率と下流影響戸数の加重

まず、給水区分 i の基幹管路全体について、管路構成 c における耐震適合率を $q_i(c)$、非適合管の破損リスクを 1 としたときの適合管の相対破損リスクを ω とし、平均相対破損リスク $R_i(c)$を以下のように定式化する。

$$R_i(c)=1-(1-\omega)q_i(c)$$

ここで、現状における平均相対破損リスクを R_i(現状)とする。管路構成 c を想定した場合の破損リスクが現状の何倍になるかを表す倍率 $M_i(c)$は、次式で与えられる。

$$M_i(c)=R_i(c)/R_i(\text{現状})$$

なお、本稿で想定する管路構成 c は、「10 年前の管路構成に戻す場合」と、「耐震適合率がゼロである場合（すなわち $q_i(c)=0$）」である。

一方、同じ管路破損でも、上流の導水管と下流の配水本管では影響し得る給水戸数が異なる。この差を反映するため、管路機能 r（導水・送水・配水本管）の延長 $L_{ir}(c)$、耐震適合延長 $A_{ir}(c)$、破損時の相対影響戸数 a_{ir} を用い、加重適合率 $q_i^*(c)=\Sigma_r a_{ir}A_{ir}(c)/\Sigma_r a_{ir}L_{ir}(c)$を定める。下流影響倍率は $E_i(c)=\{1-(1-\omega)q_i^*(c)\}/\{1-(1-\omega)q_i^*(\text{現状})\}$とする。$a_{ir}$ は第 3.1 節で給水区域図・配水池構成・把握可能な下流給水戸数から設定する。なお、これは正確な管路別影響戸数を実測した値ではなく、供給経路の仮定を含む近似として設定するものである。

2.2　断水戸日の反実仮想

現状の断水戸数が地震後の時間とともに減少する過程を基準に、管路の破損リスクが異なる場合の断水影響を推計する。

断水戸日を推計するにあたり、管路の破損箇所が増えることで復旧期間が長期化する効果を考慮した。一般に、災害時に復旧作業に投入できる修繕業者や作業員、機材などの資源には限りがある。そのため、破損箇所が増加すれば、それぞれの箇所に投入できる修繕資源が相対的に少なくなるほか、修繕作業の順番待ちも増加することとなる。したがって、修繕供給能力が一定であるならば、破損箇所の増加に伴って復旧期間も長期化すると考えられる。この想定の下、水道管の強靭化の有無によって管路破損リスク倍率 $M_i(c)$に拡大・縮小した場合、復旧期間はそれに比例する形で拡大・縮小すると仮定し（かつ、断水戸数は総給水戸数 N_i を超えないという制約条件を加味し）、水道強靭化が行われなかった場合の管路構成 c における累積断水戸日を以下のように定式化した。

$$HD_i(c)=\int H_i(c,t)dt$$
$$H_i(c,t)=\min\{N_i,\ E_i(c)^{\alpha}\times H_i(t/M_i(c))\}$$

ここに、各変数の定義は以下の通りである。

i：給水区分、
t：地震発生からの経過時間（日）
c：管路構成
$M_i(c)$：管路構成 c の場合の現状に対する平均的管路破損リスクの倍率
$H_i(t)$：現状の時刻 t における断水戸数（直接観測できない場合には公表記録等から推計した値を用いる）
N_i：当該区分の総給水戸数、
$HD_i(c)$：給水区分 i において管路構成が c であったと仮定した場合の累積断水戸日、
$H_i(c,t)$：管路構成 c を仮定した場合の発災後 t 日時点の断水戸数
$E_i(c)$：管路構成 c の場合の、下流側の影響戸数を考慮した、現状に対する断水影響倍率
α：断水影響倍率 $E_i(c)$を各時点の断水戸数に反映させる程度を表すパラメータ（0.5 と 1 の 2 条件を想定）

この式における $H_i(t/M_i(c))$は、現状の断水復旧曲線の時間軸を $M_i(c)$倍に伸縮させたものであり、復旧期間の変化を表している。また、下流側の影響戸数を考慮した断水影響倍率 $E_i(c)$は、$E_i(c)$の α 乗の形で各時点の断水戸数に反映させる。本稿では α＝0.5、1 の二条件を比較する。α＝1 の場合には、時間軸を伸縮させた断水戸数を $E_i(c)$倍するが、その上限は総給水戸数 N_i としている。

なお、c＝現状とすると、$M_i(c)=E_i(c)=1$ となるため、$H_i(現状,t)=H_i(t)$である。したがって、現状の累積断水戸日は、

$$HD_i(現状)=\int H_i(t)dt$$

として求められる。

また、夜間給水制限については、管路構成 c を仮定した場合の等価戸日を HD 夜(c)＝M 八代(c)×HD 夜(現状)として計算し、下流影響倍率 $E_i(c)$の α 乗による拡大は適用しない。

2.3 現状断水の系統別配分

現状の累積断水戸日が複数の給水系統について一括して把握されている場合には、その値を個々の給水系統に配分する必要がある。例えば、宇城市では三角と松橋・小川の二つの上水道について、系統別の断水戸日が直接把握できない。両系統では管路の耐震適合率や破損リスク倍率が異なるため、強靭化がなかった場合の被害を推計するには、それぞれの現状の断水戸日を求めなければならない。

そこで、一括して断水戸日が把握され、その値を配分する対象となる給水系統の集合を「対象系統全体」と呼び、その累積断水戸日を「HD(全体)」とする。

一方、対象系統全体に含まれる個々の給水系統を i とし、系統 i に配分する割合を p_i とする。また、系統 i の給水人口が対象系統全体の給水人口に占める割合を r_i、系統 i の管路破損件数が対象系統全体の管路破損件数に占める割合を d_i とする。これらの構成比を用いて、次のように配分率と各系統の累積断水戸日を定める。

$$p_i=(1-\lambda)r_i+\lambda d_i$$
$$HD_i(現状)=p_i\times HD(全体)$$

ここで λ は、給水人口比と管路破損件数比のどちらをどの程度重視するかを表す重み（$0 \leqq \lambda \leqq 1$）である。λ＝0 では給水人口比のみ、λ＝1 では破損件数比のみを用いる。各構成比は対象系統全体で合計が 1 となるように定めるため、配分率 p_i の合計も 1 となる。この p_i を対象系統全体の累積断水戸日に乗じ、個々の系統の断水戸日を求める。なお、実際の計算では、各時点の全体断水戸数にも同じ配分率 p_i を適用して $H_i(t)=p_i\times H(全体,t)$とし、これによって求めた系統別の断水復旧曲線を第 2.2 節の復旧遅延型の推計にも用いる。

また、市町村全体の断水戸日に含まれる世帯を、別の水道事業体の断水戸日としても計上すると、各系統の断水戸日を合計する際に二重計上が生じる。例えば、八代市全体の断水戸日に八代生活環境事務組合の八代市側の断水が含まれている場合、そこに同組合の断水戸日を加算すると重複する。このため、各系統の断水戸日を集計する際には、公表値の対象範囲を確認する必要がある。なお、系統別の断水戸日を直接把握できる場合には、その値を用いる。

2.4 経済被害への換算

ここまでの計算で、現状または仮想的な管路構成 c の下で、各給水区域 i においてどれだけの断水が生じるかを累積断水戸日 $HD_i(c)$として求めた。本節では、累積断水戸日 $HD_i(c)$の推計値に基づいて、断水による社会経済的被害を推計する方法を述べる。本稿では、断水による影響として、

①住民生活への影響、
②企業活動の直接損失、
③取引先への追加波及

の三種類を考慮し、これらを個別に推計し、合計することで断水による社会経済的被害を推計する（なお、これらのうち②は GDP（付加価値）の損失額とし推計されるものであるが、①③は必ずしもそうではない。ただし、直接的な GDP 損失と追加的な生産波及損失を合算する方法は、内閣府による令和 6 年能登半島地震の経済影響試算［18］でも採用されており、本稿でもその先例にならった）。

基本的な考え方は、まず各給水区域について「一戸が一日断水した場合の被害額」（円／戸日）を住民生活と企業活動のそれぞれについて求め、それに当該区域の累積断水戸日を掛けるというものである。次に、企業の直接損失から取引先への追加波及額を推計し、三者を合計する。以下では、この順序で計算方法を定式化する。なお、具体的な入力値や係数の設定根拠は第 3 章に示す。

① 住民生活の被害額を求める

住民生活への被害は、一人が一日完全断水した場合の被害額を基礎に算定する。ただし、前節までで求めた断水の規模は人数ではなく「戸日」で表されている。このため、一人一日当たりの被害額を、給水区域ごとの一戸一日当たりの被害額に換算する必要がある。

ここで、u_0を基準年価格による完全断水時の一人一日当たりの生活被害原単位（円／人日）、I をその原単位を評価年価格に補正する係数とする。また、P_i を給水区域 i の給水人口（人）、N_i を同区域の給水戸数（戸）とする。このとき、P_i/N_i は一戸当たりの平均給水人口であるから、住民生活の被害単価 u_i（円／戸日）は次式となる。

$$u_i = u_0 \times I \times (P_i/N_i)$$

こうして得られた u_i に当該区域の累積断水戸日を掛ければ、住民生活の被害額が求まる。

② 企業の直接的な生産損失を求める

企業の直接損失は、市町村の名目域内総生産（GDP）を給水人口比により給水区域に按分し、給水戸数と年間日数を用いて一戸一日当たりの付加価値相当額に換算した上で、断水時の平均生産減少率を乗じて算定する。この単価を v_i（円／戸日）とする。GDP の使用年度、名目水準の補正方法、および具体的な単価算定式は第 3.4 節に示す。

平均生産減少率 ρ_i（$0 \leqq \rho_i \leqq 1$）は、産業によって水道への依存度が異なることを考慮したものである。具体的には、給水区域 i に対応する GDP に占める第二次産業の割合を s_i、その第二次産業のうち製造業に相当するとみなす割合を f、製造業の断水時生産減少率を r_m、製造業以外の減少率を r_nとすると、平均生産減少率は次式で表される。

$$\rho_i = (s_i f)\, r_m + (1 - s_i f)\, r_n$$

ここで r_mの添字 m は製造業を表し、第 3.4 節で市町村を表す添字 m とは異なる。

③ 取引先への追加的な波及損失を求める

断水により企業の生産が減少すると、その企業から原材料・サービス等の注文を受ける取引先にも生産減少が及び得る。本稿では、企業の直接損失に加え、取引先への追加波及を計上する。

直接損失に追加波及を含めた産業損失総額を直接損失の m 倍と定義する。m は先行する災害についての直接的な GDP 損失と追加的な生産波及損失の推計結果を参照して設定する。具体的な出典と採用値は第 3.4 節で示す。

産業損失総額＝m×企業の直接損失

したがって、企業の直接損失そのものを除いた取引先への追加波及額は、直接損失額の（m－1）倍である。

追加波及額＝（m－1）×企業の直接損失

倍率 m は今回の水道停止だけを対象として実測・推定したものではなく、既往の地震被害推計を援用する近似値である。住民生活の被害には乗じず、企業の直接損失を二重計上しない。

④ 各被害額を合計する

以上により、給水区域 i について、累積断水戸日 $HD_i(c)$、住民生活の被害単価 u_i、企業の直接損失単価 v_i が得られる。これらを用い、管路構成 c の下での住民生活の被害額 L(c)と企業の直接損失額 V(c)を各区域について集計する。単価は円／戸日であるため、円から億円への換算として 10^8で除す。

$$L(c) = \Sigma_i \{HD_i(c) \times u_i\} / 10^8$$
$$V(c) = \Sigma_i \{HD_i(c) \times v_i\} / 10^8$$

次に、企業の直接損失額 V(c)に（m－1）を掛け、取引先への追加波及額 W(c)を求める。最後に、住民生活の被害額 L(c)と企業の直接損失額 V(c)、追加波及額 W(c)を合計して社会経済的被害額 B(c)とする。

$$W(c) = V(c) \times (m-1) \quad 、 \quad B(c) = L(c) + m \times V(c)$$

なお、生活被害単価と産業直接損失単価、および波及倍率 m は、現状と反実仮想の双方に共通して適用する。夜間の等価戸日は完全断水戸日と区別し、同じ単価で別途換算する。

管路構成 c によって変化させるのは各給水区域の累積断水戸日 $HD_i(c)$であり、地域別の経済被害単価と波及倍率 m は共通とする。

2.5 強靭化による被害軽減額

最後に、同じ計算方法で求めた反実仮想の被害額 B(c)と現状の被害額 B(現状)を比較する。その差を、現状の管路の強靭化によって回避されたと推計される被害額 ΔB(c)とし、現状の被害額を基準にその大きさを示す「強靭化被害圧縮比」C(c)を定義する。

$$\Delta B(c) = B(c) - B(\text{現状}) \quad 、 \quad C(c) = \Delta B(c) / B(\text{現状}) \times 100\ (\%)$$

この比率は、現状の被害額を分母とした「強靭化がなければ、現状に比してどれほど被害が増えていたか」という指標である。

3. 入力データと主要パラメータの設定

以下では第 2 章で定義した入力値・係数を設定する。公表資料から得た数値と、観測からは直接決定できないシナリオ上の設定値を区別する。

3.1 耐震適合率と相対破損リスク

H27 末・R5 末の基幹管路耐震適合率は、日本水道協会『水道統計』の平成 27 年度・令和 5 年度における管種・継手別延長データに基づいて算定した［2］（なお、本稿では、地震発生時点の管路構成を近似するため、令和 5 年度末の管路統計を現状の値として用いることとしている）。これらの耐震適合率を用い、第 2.1 節で定式化した方法に従って、修繕量・復旧期間の変化を近似するための破損リスク倍率 $M_i(c)$を求めた。両年度の耐震適合率と破損リスク倍率を表 4 に示す。断水規模への影響を表す下流影響倍率 $E_i(c)$は、日本水道協会『水道統計』の管種・継手別延長データ［2］に基づいて導水管・送水管・配水本管の耐震適合延長を推定したうえで、八代市、宇城市および八代生活環境事務組合の給水区域図・施設資料等［4、12］を参考に設定した管路機能別の相対影響係数を用いて加重し、本稿 2.1 節に示した推計式により算定する。

表 4　耐震適合率の変化と、H27 末の状態に戻した場合の破損リスク倍率

給水系統	H27 末・適合率	R5 末・適合率	ω＝0.2	ω＝0
八代市	19.71%	24.85%	1.051	1.068
宇城市・三角	24.15%	18.47%	1.000	1.000
宇城市・松橋・小川	5.23%	29.68%	1.257	1.348
八代生活環境事務組合	48.27%	48.27%	1.000	1.000

表 4 の M によれば、H27 末の管路構成を仮定した場合、八代市と宇城市・松橋・小川では現状よりも破損リスクが増える。 一方、宇城市・三角の耐震適合率は H27 末の 24.15%から R5 末の 18.47%へ低下しているが、耐震適合率は対象となる基幹管路の総延長（分母）の変化や管路区分・集計条件の違いによっても変動し得るため、この数値のみから実際の管路の耐震性能が低下したとは断定できない。そこで本稿では、三角の過去約 10 年間の実質的な強靭性は変化しなかったと仮定し、H27 末構成との比較に限り $M_i(c)=1$、$E_i(c)=1$ と設定した（表 4、表 4-2）。なお、表 4 の H27 末・R5 末の適合率自体は原資料に基づく数値を変更していない。元の統計値の低下をそのまま反映した場合には、本稿の不変仮定による結果よりも経済被害軽減額が約 0.54〜0.89 億円小さくなるが、これは推計対象域の現状被害額 343.0 億円の約 0.16〜0.26%に相当する。

断水規模への影響を表す下流影響倍率 $E_i(c)$は、第 2.1 節に示した式に従い、管路機能別の耐震適合延長と総延長を、第 3.1 節で設定した相対影響係数 a_{ir} でそれぞれ加重して算定した。その計算結果を表 4-2 に示す。なお、これらの倍率は、管路統計と給水区域図・配水池構成に基づく仮定を用いて近似的に推計したものである。

相対破損リスク ω については 0 と 0.2 を比較する。ω＝0 は耐震適合管の破損リスクが非適合管に比べてゼロとなる場合、ω＝0.2 は五分の一となる場合を表す。いずれも対象地震の実測値から推定したものではなく、耐震適合管の残余リスクを比較するためのシナリオ設定である。

第 2.1 節で定義した管路機能別の相対影響係数 a_{ir} は、以下のように設定する。

八代市については、複数の水源と主な 4 配水池が存在するが、全給水区域に共通する導水管を確認できないため、管路機能ごとの相対影響係数を等しくし、導水管・送水管・配水本管のいずれも 1 とする。

宇城市については、三角上水道が主な 3 配水池、松橋・小川上水道が主な 5 配水池に分かれるものとし、送水管・配水本管の影響範囲をそれぞれ 1/3、1/5 と近似する。これは各配水池が受け持つ給水戸数を等しいとみなした仮定である。また、導水管は、それぞれの上水道内で上流の共通供給機能を担うと仮定し、相対影響係数を 1 とする。

八代生活環境事務組合については、給水戸数 10,500 戸を 6,530 戸、3,231 戸、739 戸の 3 区域に区分し、導水管の破損は全区域に影響する一方、送水管・配水本管の破損は当該枝系統の給水区域にのみ影響すると仮定した。さらに、各枝系統で破損が生じる確率は、その系統の給水戸数に比例すると仮定した。この場合、枝系統における破損 1 件当たりの平均影響戸数の割合は、枝系統 j の給水戸数を n_j、全区域の給水戸数を N＝10,500 戸とすると、$\Sigma_j(n_j/N)^2=(6{,}530^2+3{,}231^2+739^2)/10{,}500^2\fallingdotseq0.4864$ となる。そこで、管路機能別の相対影響係数 a_{ir} を、導水管 1、送水管・配水本管 0.4864 と設定した。

以上の相対影響係数 a_{ir} は、管路接続関係、実際の破損確率、耐震化区間と配水池別給水戸数を完全に対応させた実測値ではなく、給水区域図・施設資料および配水池構成に基づく近似的な仮定である［2、4、12］。

表 4-2　下流影響戸数加重倍率 E（管路機能別・配水池構成に基づく近似）

給水系統	H27｜ω＝0.2	H27｜ω＝0	適合率 0%｜ω＝0.2	適合率 0%｜ω＝0
八代市	1.051	1.068	1.248	1.331
宇城市（三角）	1.000	1.000	1.285	1.384
宇城市（松橋・小川）	1.367	1.508	1.385	1.533
八代生活環境事務組合	1.000	1.000	1.372	1.513

3.2　初期断水と系統別配分

断水の累積量 74.1 万戸日を地域別に金額換算するには、各給水系統の断水戸日を求める必要がある。しかし、宇城市については、三角と松橋・小川の二つの上水道ごとの断水戸日が把握できないため、給水人口と町別破損件数を用いて両者に配分する［11、12］。

三角の給水人口は 4,509 人、松橋・小川は 30,884 人であり、二つの上水道の給水人口に占める三角の割合は 12.74%となる。一方、町別破損件数のうち三角町 4 件、松橋町 30 件、小川町 72 件を用いると、三角の割合は 4÷106＝3.77%となる。なお、不知火町 3 件・豊野町 15 件は給水系統を特定できないため、この比率に含めない。また、三角町の 4 件には簡易水道の破損が含まれる可能性がある。

ここで、第 2.3 節で定式化した配分率を用い、給水人口比と破損件数比を組み合わせて三角への配分率を求める。破損件数比を反映する重みを λ とすると、λ＝0 では給水人口比のみ、λ＝1 では破損件数比のみを用いることになる。本稿では両者を同等に考慮することとし、λ＝0.5 を基本設定とする。

三角への配分率は、

$$p=(1-\lambda)\times 12.74\%+\lambda\times 3.77\%$$

であり、λ＝0.5 のとき、三角 8.26%、松橋・小川 91.74%となる。この配分率を宇城市の累積断水戸日約 22.53 万戸日に適用すると、三角は約 1.86 万戸日、松橋・小川は約 20.67 万戸日となる。また、宇城市の系統別断水戸数上限には、18, 000 戸を系統別配分率で按分した近似値を用いた。

なお、八代生活環境事務組合については、八代市側と氷川町側を別々の断水曲線として扱い、それぞれの断水戸数の時系列を積分して断水戸日を算定した。したがって、組合全体の断水戸日を給水戸数比（7,269 戸対 3,231 戸）だけで一括按分したものではない。給水戸数は各地区の断水戸数上限として用いる。

以上の計算により、現状の累積断水戸日は、八代市水道事業 32.66 万戸日、宇城市・三角 1.86 万戸日、宇城市・松橋・小川 20.67 万戸日、八代生活環境事務組合の八代市側 13.19 万戸日、氷川町側 5.73 万戸日となる。表示した地区別値の合計と全体の約 74.1 万戸日との差は丸めによる。これらの地区別断水戸日を、以降の被害額推計に用いる。

3.3　下流影響反映係数 α の設定

復旧遅延型の α には 0.5、1 を設定する。α＝1 では給水戸数上限の範囲内で同時断水戸数を E 倍とし、α＝0.5 では下流影響倍率を平方根の形で反映する。α＝0.5 を基本設定とする一方、要旨と表 1 には α＝1 を含む感度分析全体の最大値も示す。これらの α は本地震の修繕実績から推定した値ではない。

3.4　生活・産業単価と追加波及

本節では、第 2.4 節で示した社会経済的被害額の算定方法に基づき、住民生活の被害単価、企業の直接損失単価、および取引先への追加波及について、推計に用いるデータ、具体的な算定手順、および各係数の設定方法を示す。これらの単価と係数は、現状と管路構成を変更した反実仮想の双方に共通して用いる。

まず、①住民生活の被害単価は国土交通省のマニュアルに示された完全断水時の被害原単位 7,428 円／人日（2006 年度価格）［6］を 2025 年価格へ補正し、区域別の平均給水人口を乗じた。この価格補正には、総務省統計局「消費者物価指数（全国・総合、2020 年＝100）」の 2006 年度値と 2025 年値の比率から求めた補正係数 I＝111.9／95.5≒1.171728 を用いた。

②企業の直接損失単価の算定には、基礎データとして 2022 年度の市町村内名目総生産（GDP）［8］を用いる。これを 2025 年度の名目水準へ概算補正するため、内閣府の国民経済計算における全国名目 GDP（2022 年度 591,593.8 十億円、2025 年度 672,669.5 十億円）から、補正係数 F＝672,669.5／591,593.8≒1.137046 を設定する［17］。この補正は、熊本県の 2025 年度市町村 GDP を直接観測したものではなく、全国の名目 GDP 伸び率を代理係数として用いた推計である。また、名目 GDP の増加には実質成長と価格変化の双方が含まれるため、厳密な物価だけの補正とは異なる。

具体的には、給水区域 i が属する市町村を m とし、その市町村の 2022 年度名目域内総生産を G_m（円／年）、給水区域 i の給水人口を P_i、市町村人口を P_mとする。市町村内の一人当たり GDP が給水区域内外で同じであると仮定すると、給水区域 i に按分した 2022 年度の年間 GDP は次式となる。

$$G_i(2022)=G_m\times(P_i/P_m)$$

これに前述の補正係数 F を乗じることで、2025 年度名目水準に概算補正した年間 GDP を求める。

$$G_i(2025\text{ 概算})=F\times G_i(2022)=F\times G_m\times(P_i/P_m)$$

この補正後の年間 GDP を年間日数 D（日）と給水戸数 N_i（戸）で割ることで、当該区域の一戸一日当たりの通常時の付加価値相当額が得られる。断水によって全生産が失われるわけではないため、これに第 2.4 節で定義した平均生産減少率 ρ_i を乗じ、企業の直接損失単価 v_i（円／戸日）を次式により算定する。

$$v_i=\{G_i(2025\text{ 概算})/(N_i\times D)\}\times\rho_i$$

次に、上式で用いる平均生産減少率 ρ_i について具体的な設定値を示す。

製造業相当割合を $w_i=s_i\times 0.70$ とし、第 2.4 節で示した算定式に基づき、$\rho_i=w_i r_m+(1-w_i)r_n$とする。製造業には Liu ら［9］の生産能力減少率 45.8%を用い、非製造業には電力中央研究所の事業所調査で断水時の操業水準が平常時の 0.46

とされた結果［16］から、減少率 54%を用いる。異なる研究の値を組み合わせた仮定であり、今回の被災地域の GDP 損失率を実測した値ではない。

$$\rho_i = (s_i \times 0.70) \times 0.458 + (1 - s_i \times 0.70) \times 0.540$$

宇城市の第二次産業比率 s＝32.5%に製造業相当割合 70%を適用すると、製造業相当の比率は 22.75%となり、平均生産減少率 ρ＝52.1%を得る。各給水区分に対する産業直接損失単価の計算では、給水区分間の既存の GDP・人口・給水戸数の相対関係を維持し、産業減少率を 36.5%から 52.1%へ換算する共通係数を用いる。このため、地域別の産業構成を個別に再推定した結果ではなく、宇城市の産業構成を代表値とした近似である。

第二次産業の 70%を製造業とみなす係数は、熊本県『令和 4 年度（2022 年度）県民経済計算報告書』の第二次産業 1,920,450 百万円、うち製造業 1,416,853 百万円（約 73.8%）を参考に設定した［14］。

最後に、③取引先への追加波及については、断水による企業の生産減少がサプライチェーンを通じて広がる影響を計上する。地震による被災地の経済損失が全国にどの程度波及するかについては、内閣府が令和 6 年能登半島地震について試算しており、本稿ではその結果を参考にする。この試算では、被災 3 県における 2024 年 1〜3 月の直接的な GDP 損失を約 900〜1,150 億円、全国への追加的な生産波及損失を約 700〜850 億円と推計している［18］。本稿では、これらの推計範囲内の代表値として直接損失を約 1,000 億円、追加波及を約 780 億円と設定し、両者の合計を直接損失の 1.78 倍とする。

$$m = 1.78 \quad (\text{追加波及額は企業の直接損失額の } 78\%)$$

この設定に基づき、本稿では取引先への追加波及額を企業の直接損失額の 0.78 倍として計算する。ただし、内閣府の試算は地震に伴う多様な被害を対象としたものであり、水道停止による被害だけを対象としたものではない。したがって、本稿の計算は、能登半島地震全体について推計された波及比率を、水道停止による企業の直接損失にも適用できると仮定したものである。この仮定の妥当性については、今後、水道停止による産業間波及に関する詳細なデータや分析事例が得られた段階で、改めて検証することが望ましい。

各給水区分の生活被害単価と、産業直接損失単価の中間計算値を表 5 に示す。表の産業直接単価は、2022 年度名目 GDP と生産減少率 36.5%を用いた中間計算値である。被害額の算定時には、これに 2025 年度名目水準への GDP 補正係数 F＝1.14 と、生産減少率の換算係数 52.1／36.5 を乗じる。追加波及額は、上記想定に基づき、補正後の産業直接損失の 78%とする。なお、住民生活の被害単価は別途 2025 年価格に補正しているため、産業直接損失に用いる GDP 補正係数 F＝1.14 を適用しない。また、生産減少率の換算係数 52.1／36.5、取引先への追加波及率 78%についても、住民生活の被害には適用しない。

表 5　地域別の被害単価

給水区分	生活被害 円／戸日	産業直接（中間計算） 円／戸日	追加波及
八代市水道事業	19,613	8,800	産業直接損失×78%
宇城市・両上水道	17,114	8,142	産業直接損失×78%
組合・八代市側	19,455	8,729	産業直接損失×78%
組合・氷川町側	19,805	5,527	産業直接損失×78%

4. 推計結果

以上 1〜3 章で述べた各種設定値に基づいて求めた現状被害額は**約 343.0 億円**となった（第 **1．2 節**に掲載した表 3 参照）。

そして、過去約 10 年間の水道管の強靭化が全く行われず、H27 末の管路構成が R8 年の地震発生時点でも維持されていたという反実仮想の下での被害軽減額は、最小で 49.4 億円（現状被害額の 14.4%）、**最大で 85.6 億円（25.0%）**と推計された（なお、α＝0.5 では 49.4〜66.8 億円であり、感度分析全体の最大値は α＝1、ω＝0 に対応する）。 なお、宇城市・三角については第 3.1 節の強靭性不変の仮定を適用した。

表 6　過去約 10 年間の反実仮想（ω 別、α 感度別）

復旧の条件	ω	現状の被害額推計値	H27 末構成での被害額推計値	軽減額（推計値）	強靭化被害圧縮比
復旧遅延型 α＝0.5	0.2	343.0 億円	392.4 億円	49.4 億円	14.4%
復旧遅延型 α＝0.5	0	343.0 億円	409.7 億円	66.8 億円	19.5%
復旧遅延型 α＝1	0.2	343.0 億円	407.3 億円	64.3 億円	18.7%
復旧遅延型 α＝1	0	343.0 億円	428.6 億円	85.6 億円	25.0%

注：各数値は丸め前の計算値から算出しているため、表示値の差と一致しない場合がある。

また、現在の基幹管路に耐震適合管が全く存在しなかったという反実仮想の下では、強靭化による被害軽減額は最小で 157.8 億円（現状被害額の 46.0%）、**最大で 244.7 億円（71.4%）**と推計された（表 7）（なお、α=0.5 では 157.8～218.0 億円であり、感度分析全体の最大値は α=1、ω=0 に対応する）。

表 7　耐震適合率 0%とした場合の反実仮想

復旧の条件	ω	現状の被害額推計値	適合率 0%での被害額推計値	軽減額（推計値）	強靭化被害圧縮比
復旧遅延型 α=0.5	0.2	343.0 億円	500.8 億円	157.8 億円	46.0%
復旧遅延型 α=0.5	0	343.0 億円	561.0 億円	218.0 億円	63.6%
復旧遅延型 α=1	0.2	343.0 億円	521.9 億円	178.9 億円	52.2%
復旧遅延型 α=1	0	343.0 億円	587.7 億円	244.7 億円	71.4%

注：各数値は丸め前の計算値から算出しているため、表示値の差と一致しない場合がある。

5. 財政改善効果：税収増、社会保険料増、事後復旧関連支出減

水道管の強靭化は、地震時の産業活動の減少を抑えることによる税収・社会保険料収入の減少回避と、管路破損に伴う復旧支出の抑制を通じて、公的部門の収支を改善し得る。本章では、第 4 章の反実仮想推計と公表予算資料を用い、**①税収増、②社会保険料増、③事後復旧関連の公的支出減**をそれぞれ推計する。

5.1　事後復旧関連の公的支出の推計

事後復旧費には、破損した水道管の修繕、応急・仮復旧工事、本復旧工事、漏水調査・測量設計を含める。

八代市の令和 8 年度 8 月 21 日専決補正予算［20］には、水道事業の配水管修繕費 0.750 億円、応急復旧負担金 1.064 億円が計上され、合計 1.814 億円となる。なお、同予算にある水道施設修繕費 0.050 億円は、管路修繕費ではないため、この合計には含めていない。宇城市の同年度水道事業会計補正予算（専決第 1 号）［21］には、修繕費・材料費 0.410 億円、漏水調査・測量設計 0.280 億円、応急仮工事費 2.000 億円が計上され、さらに第 3 号補正予算［22］に災害復旧工事費 2.000 億円と測量設計 0.200 億円が計上されている。これらを合算した宇城市の管路復旧関連予算は 4.890 億円である。

八代市では、宇城市のように応急・仮復旧費と区分された本復旧工事費の金額を確認できなかった。このため、宇城市の本復旧費／応急仮工事費＝2.000／2.000＝1 を八代市にも仮に適用し、本復旧費を 1.064 億円と補完推計する。八代市の復旧関連費はこれを含め 2.878 億円とする。八代生活環境事務組合についても、確認した公表予算資料［23］から今回の地震に係る復旧費総額を特定できなかったため、破損件数 304 件［3］を用い、八代市 257 件・宇城市 124 件の費用と件数から次式で外挿する：組合復旧費＝（2.878＋4.890）／（257＋124）×304＝6.198 億円。

以上の仮定による現状の復旧関連費を表 8 に示す。

表 8　対象事業体の管路復旧関連費（億円）

対象事業体	公表予算から確認	仮定による補完	合計
八代市水道事業	1.814	1.064	2.878
宇城市・二上水道	4.890	–	4.890
八代生活環境事務組合	–	6.198	6.198
合計	**6.704**	**7.262**	**13.966**

一方、回避された復旧支出 $\Delta G(c)$は、第 2.1 節の管路破損リスク倍率 $M_i(c)$に費用が比例すると仮定して推計する。そして、$\Delta G(c)=\Sigma_i G_i(\text{現状})\{M_i(c)-1\}$ として算出する。ここで、$G_i(\text{現状})$は各給水系統の現状の復旧関連費を表す。宇城市の復旧関連費は、系統別の破損件数（三角 4 件、松橋・小川 102 件）の比率で配分し、系統不明の 18 件についても同じ構成比を仮定する。 なお、宇城市・三角については第 3.1 節に従い、過去約 10 年間の比較では $M_i(c)=1$ として扱う。

5.2　産業損失の縮減による税収・社会保険料増分の推計方法

ここでは、水道管の強靭化によってもたらされる税収・社会保険料の減少回避額の推計にあたっての基本的な前提について述べる。

まず、強靭化による 3 つの経済効果の内、生活被害軽減額は税収・社会保険料増を導くプロセスが明確でないため、推計対象外とする一方、残りの二つ、すなわち、産業直接損失額の減少、取引先への追加波及損失額の減少によってもたらされる税収・社会保険料増分を推計する。

推計にあたっては、財務省が 2026 年 3 月 5 日に公表した令和 8 年度見通しでは、国民所得 496.1 兆円、名目 GDP691.9 兆円、国民所得に対する国税・地方税の租税負担率 28.0%、社会保障負担率 17.6%である点に着目する［19］。両負担率は対 GDP 比ではないため、次式により換算する。

$\tau=(496.1\times0.280)/691.9=0.200763$（総税収／GDP）
$\sigma=(496.1\times0.176)/691.9=0.126194$（社会保障負担／GDP）
$\tau+\sigma=0.326957$（総税収＋社会保障負担／GDP）

そして、管路構成 c において強靭化により回避された産業の直接損失を $\Delta V(c)=V(c)-V(\text{現状})$とし、その額を GDP 損失の縮減量に相当すると仮定し、税収増を $\tau\times\Delta V(c)$、社会保険料増を $\sigma\times\Delta V(c)$という式に基づいてそれぞれ推計する。

なお、ここでの推計は全国平均の負担率を被災地域の一時的な産業被害に適用した簡便な換算であり、税制や所得分配の内生的な変化を再現する厳密なダイナミックスコアリングではない。

5.3　取引先への追加波及を含む財政改善効果の推計方法

取引先への追加波及額 W(c)は第 2.4 節において生産波及損失として定義したため、これを GDP（付加価値）の損失と直接同一視できない。そこで、内閣府「2024 年 SNA 産業連関表 結果の概要」［24］の 2024 年国内産出額 1,227.3 兆円、付加価値 619.7 兆円という公表値を用い、全国平均の付加価値比率 β を次式で設定する。

$\beta = 619{,}652{,}069 / 1{,}227{,}321{,}575 = 0.504882$（付加価値／国内産出額）

そして、強靭化がなされていない状態の管路構成 c によって、強靭化している現状よりも、取引先への追加波及被害額が増加する量（すなわち、強靭化によって回避された損失額）を $\Delta W(c) = W(c) - W(\text{現状}) = (m-1)\Delta V(c)$とする。ここで、第 3.4 節で設定した $m = 1.78$ を用いれば、$\Delta W(c) = 0.78 \times \Delta V(c)$となる。そして、この値を用いて、強靭化によって回避された GDP 損失額を $\beta \times \Delta W(c)$という式に基づいて推計し、その上で第 5.2 節で求めた税収対 GDP 比 τ と社会保障負担対 GDP 比 σ を適用して、追加波及による税収増と社会保険料増を推計する。すなわち、

追加波及による税収増$= \tau \times \beta \times \Delta W(c)$

追加波及による社会保険料増$= \sigma \times \beta \times \Delta W(c)$

5.4　水道管強靭化による財政改善効果の推計結果

以上より、財政改善効果 $\Delta F(c)$は、次式となる。

$\Delta F(c) = (\tau + \sigma) \times \{\Delta V(c) + \beta \times \Delta W(c)\} + \Delta G(c)$

この式に基づいて推計した、水道管の強靭化（基幹管路の耐震適合率の向上）についての財政改善効果は、過去約 10 年間については表 9，過去全てについては、表 10 となった。

表 9　過去約 10 年間の水道基幹管路の強靭化による財政改善効果（億円）

α	ω	直接損失の回避	波及 GDP 換算	税収増（直接＋波及）	社会保険料増（直接＋波及）	復旧支出減	合計
0.5	0.2	16.01	6.30	4.48	2.81	1.35	**8.65**
0.5	0	21.60	8.51	6.04	3.80	1.83	**11.68**
1	0.2	20.81	8.20	5.82	3.66	1.35	**10.83**
1	0	27.71	10.91	7.75	4.87	1.83	**14.46**

注：各項目は丸め前の数値に基づいて算出したため、表示値を加算した結果と合計が一致しない場合がある。

表 10　過去全ての水道基幹管路の強靭化による財政改善効果（億円）

α	ω	直接損失の回避	波及 GDP 換算	税収増（直接＋波及）	社会保険料増（直接＋波及）	復旧支出減	合計
0.5	0.2	49.40	19.46	13.82	8.69	6.11	**28.63**
0.5	0	68.14	26.84	19.07	11.99	8.76	**39.82**
1	0.2	56.07	22.08	15.69	9.86	6.11	**31.67**
1	0	76.53	30.14	21.42	13.46	8.76	**43.64**

6. 熊本県全体の経済被害推計、ならびに、強靭性評価

以上は、推計対象域を対象とした分析である。冒頭で述べたように、熊本県全体の断水戸日の内、以上に分析した推計対象域の断水戸日はその大半である 81%を占めている。ついては、ここでは、一断水戸日あたりの経済被害がそれ以外の地域のそれと同様であると仮定すると、熊本県全体の各推計値は、以上に推計した推計対象域の 100／81 倍の値として推計することが可能となる。

ついては、以上の推計結果に基づいて熊本県全体についての推計を行うと、熊本県全体の断水による経済被害は 422.3 億円、過去 10 年間の水道管強靭化対策による経済効果は最小で 60.9 億円・最大で 105.4 億円、ならびに財政改善効果は最大で 17.8 億円、そして、過去全ての水道管強靭化対策による経済効果は最小で 194.3 億円・最大で 301.3 億円、ならびに財政改善効果は最大で 53.7 億円と推計された。

7. おわりに

以上が、水道管の強靭化に関する、経済効果、ならびに財政改善効果に関する強靭性評価の結果である。過去約 10 年間の「推計対象域」（八代市、宇城市、八代生活環境事務組合）の水道管強靭化による被害軽減額、すなわち、過去 10 年間の水道強靭化対策の経済効果は最小で 49.4 億円（現状被害額の 14.4%）、最大で 85.6 億円（25.0%）、また、それによる財政改善効果は最小で 8.7 億円、最大で 14.5 億円（税収増 4.5～7.8 億円、社会保険料増 2.8～4.9 億円、復旧関連公的支出減 1.4～1.8 億円）と推計された。 一方、現在の基幹管路の耐震適合率が 0%であったという反実仮想の下では、すなわち、過去の全ての基幹管路の耐震適合化（強靭化）対策の経済効果は最小で 157.8 億円（現状被害額の 46.0%）、最大で 244.7 億円（71.4%）と推計された。 また、それによる財政改善効果は最小で 28.63 億円、最大で 43.64 億円（税収増 13.82～21.42 億円、社会保険料増 8.69～13.46 億円、復旧関連公的支出減 6.11～8.76 億円）と推計された。

また、以上の推計対象域の断水戸日が、熊本県の 81%を示していることから、残りの 19%を外挿で推計したところ、**熊本県全体の過去 10 年間の水道強靭化対策の経済効果は最小で 60.9 億円（現状被害額の 14.4%）、最大で 105.4 億円（25.0%）**、また、それによる**財政改善効果は最小で 10.7 億円、最大で 17.8 億円**（税収増 5.5～9.5 億円、社会保険料増 3.5～6.0 億円、復旧関連公的支出減 1.7～2.3 億円）と推計され、現在の基幹管路の耐震適合率が 0%であったという

反実仮想の下では、すなわち**過去の全ての基幹管路の耐震適合化（強靭化）対策の経済効果は最小で 194.3 億円（現状被害額の 46.0%）、最大で 301.3 億円**（**71.4%**）と推計された。 また、それによる**財政改善効果は最小で 35.2 億円、最大で 53.7 億円**（税収増 17.0～26.4 億円、社会保険料増 10.7～16.6 億円、復旧関連公的支出減 7.5～10.8 億円）と推計された。

なお、本稿で得た軽減額の幅は、破損リスクや復旧過程について設定した複数のシナリオの下で得られた推計値の範囲である。また、初期断水の推定、産業の生産減少率、追加波及係数等にも不確実性がある。したがって今後、被災地の断水・復旧過程や産業活動に関する追加情報が得られれば、入力データと主要係数を点検し、本稿の推計値を更新することが望ましい。その一方で、本稿で比較したすべての条件では、管路の耐震適合性による被害軽減が一貫して推計されており、災害時の断水被害を抑えるうえで水道管路の強靭化が重要な役割を果たし得ることが示唆される。

参考資料・出典

［1］土木学会土木計画学研究委員会「令和 8 年熊本地震対応特別プロジェクト」・第二次所見（2026 年 9 月 27 日）。https://jsce-ip.org/disaster_related_info/2026_kumamoto_eq/
［2］日本水道協会「水道統計」平成 27 年度末・令和 5 年度末、熊本県「02-08 施設の概要―管種別延長」。国土交通省水道事業課を通じて 2026 年 9 月 11 日提供。管路延長・耐震適合率に使用。
［3］国土交通省水道事業課「水道管破損件数に関する事業者回答」（2026 年 10 月 30 日付）。八代市 257 件、八代生活環境事務組合 304 件（うち導送水管 3 件）。組合件数は 10 月 20 日時点の暫定値。
［4］八代市「八代市水道事業図」「八代市新水道事業ビジョン 2019～2028 年度」、八代生活環境事務組合「給水区域図」「給水人口作成データ R8」（2026 年 3 月 31 日現在）。給水境界・人口・供給系統に使用。
［5］宇城市「令和 8 年熊本地震に対する対応について」掲載の断水時系列、国土交通省「令和 8 年熊本地震における水道施設の応急復旧完了のお知らせ」（2026 年 8 月 28 日）。断水戸日の計算に使用。
［6］国土交通省「水道事業の費用対効果分析マニュアル」（令和 8 年 6 月）、第Ⅳ編「算定事例」および第Ⅴ編「資料集」（「3．減・断水被害の算定方法について」）。https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/watersupply/content/002006133.pdf
［7］Kajitani, Y. & Tatano, H. (2009), “Estimation of Lifeline Resilience Factors Based on Surveys of Japanese Industries,” Earthquake Spectra, 25(4), 755–776. DOI:10.1193/1.3240354. 水道停止による生産継続能力に使用。
［8］熊本県「令和 2 年熊本県産業連関表」「市町村民経済計算」（2022 年度の名目市町村内総生産を使用）。産業構成・GDP 地域配分・波及近似に使用。
［9］Liu, H., Tatano, H. and Kajitani, Y. (2021), “Estimating lifeline resilience factors using post-disaster business recovery data,” Earthquake Spectra, 37(2), 567–586. DOI:10.1177/8755293020952455. 製造業の断水時生産能力減少率 45.8%に使用。
［10］上天草市「令和 8 年熊本地震に伴う時間断水・受水停止・再開に関する公表資料」（2026 年 8～9 月）。広域影響と重複を確認。
［11］国土交通省水道事業課「宇城市の町別水道管破損件数」（2026 年 11 月 2 日付事業者回答）。三角 4、不知火 3、松橋 30、小川 72、豊野 15、計 124 件。二系統間配分の参考。
［12］宇城市「宇城市水道事業配水区域図」「水道事業経営戦略 2024～2033」（2024 年、表 2.1）。三角 4,509 人、松橋・小川 30,884 人、簡易水道 6 地区 7,337 人。給水系統の配分に使用。
［13］気象庁「『令和８年熊本地震』について（第３報）」（2026 年 7 月 28 日）。地震発生時刻（7 月 28 日 16 時 27 分）の確認に使用。https://www.jma.go.jp/jma/press/2607/28d/202607282030.html
［14］熊本県『令和 4 年度（2022 年度）県民経済計算報告書』（2025 年 3 月）。製造業・第二次産業の県内総生産。https://www.pref.kumamoto.jp/uploaded/attachment/272056.pdf
［15］内閣府『マンスリー・トピックス No.79』（2026 年 2 月 24 日）、2020 年全産業の輸入中間投入比率。https://www5.cao.go.jp/keizai3/monthly_topics/2026/0224/topics_079.pdf
［16］電力中央研究所『Annual Report 2023』p.23, 「ライフラインの途絶に対する非製造業の事業所における操業水準への影響度」。断水のみの場合の操業水準 0.46（平常時＝1）から減少率 54%を設定。https://criepi.denken.or.jp/intro/annualreport/2023annual_report.pdf
［17］内閣府「国民経済計算（GDP 統計）」名目 GDP 年度系列（2022 年度 591,593.8 十億円、2025 年度 672,669.5 十億円）。熊本県の市町村内総生産を 2025 年度名目水準へ概算補正するための全国共通伸び率に使用。https://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/menu.html
［18］内閣府『令和 6 年度 年次経済財政報告』第 1 章第 1 節 コラム 1-1「令和 6 年能登半島地震の経済への影響について」（2024 年）。直接的な GDP 損失 900～1,150 億円、追加的生産波及損失 700～850 億円を参照し、本稿で代表的な合計倍率 1.78 を設定。内閣府が 1.78 を水道被害の一般係数として提示したものではない。https://www5.cao.go.jp/j-j/wp/wp-je24/h01-01.html
［19］財務省「令和 8 年度の国民負担率を公表します」（2026 年 3 月 5 日）、資料「国民負担率の推移（対国民所得比）」p.1、2026 年度見通し（国民所得 496.1 兆円、GDP691.9 兆円、租税負担 28.0%、社会保障負担 17.6%）。https://www.mof.go.jp/policy/budget/topics/futanritsu/20260305.html ；https://www.mof.go.jp/policy/budget/topics/futanritsu/sy202603a.pdf
［20］八代市「令和 8 年度 8 月補正予算の概要（8 月 21 日専決）」2026 年 9 月 14 日公表、p.10「水道事業（災害復旧費）」、配水管修繕費 75,000 千円、水道施設修繕費 5,000 千円、応急復旧負担金 106,400 千円。https://www.city.yatsushiro.lg.jp/kiji00326964/3_26964_158552_up_yb3zavtp.pdf
［21］宇城市「令和 8 年度宇城市水道事業会計補正予算（専決第 1 号）」2026 年 7 月 29 日専決、p.6（災害復旧修繕費 38,000 千円、修繕用材料費 3,000 千円、漏水調査 8,000 千円、測量設計 20,000 千円、災害応急仮工事費 200,000 千円。応急給水費 4,000 千円等は本章の復旧費から除外）。https://www.city.uki.kumamoto.jp/hihyoji0/hihyoji/2562421
［22］宇城市「令和 8 年度宇城市水道事業会計補正予算（第 3 号）」2026 年 9 月 7 日提出、p.12（災害復旧工事費 200,000 千円、測量設計業務委託料 20,000 千円）。https://www.city.uki.kumamoto.jp/hihyoji0/hihyoji/2562421

［23］八代生活環境事務組合「水道事業会計予算について」令和 8 年度予算書等の公表ページ。今回の地震に係る復旧関連費の確定額を同ページの確認範囲から特定できないため、本稿では［3］の破損件数から外挿した。
https://seikatsu.yatsushiro.jp/info/announcement/3470.html
［24］内閣府経済社会総合研究所「2024 年（令和 6 年）SNA 産業連関表 結果の概要」（2026 年 7 月 28 日）、p. 2、表 1。
https://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/data/data_list/sangyou/files/contents/pdf/h27/snaio_gaiyou2024.pdf

謝辞：本分析で用いた、令和 8 年熊本地震時の水道管に関する各種データ（[3][4][11][12]は、国土交通省水管理・国土保全局、八代市、宇城市、八代生活環境事務組合から提供頂いたものである。ここに記して、深謝の意を表したい。