

水道における事業実施効果の 評価方法に関する検討

細井由彦¹・城戸由能²・飯田奈穂³

¹正会員 工博 鳥取大学教授 工学部社会開発システム工学科 (〒680-8552 鳥取市湖山町南4丁目)

²正会員 工博 京都大学助教授 防災研究所水資源研究センター (〒611-0011 宇治市五ヶ庄)

³学生会員 鳥取大学大学院 工学研究科社会開発システム工学専攻

高普及した水道事業においては設備の老朽化が始まっており、日々の維持管理や更新を行う必要に迫られているところが増加している。事業実施に当たっては近年の時代の要請もあり、その費用や便益を評価し効率的に進めることが求められる。本研究では水道における事業実施効果を評価するために、まず日常の給水事業によってもたらされている便益の計量化方法について、生活用水、都市活動用水、工業用水に分けて検討した。つぎに具体的な事例として配水管整備事業と、管路の耐震化事業を取り上げ、それらの便益を計算し事業費と比較しつつその事業効果を検討した。

Key Words : cost effectiveness analysis, renovation project of water supply system, water works

1. まえがき

各種公共事業においてその事業実施効果を評価することが求められてきている。水道事業はすでに普及率が96%を越えており、建設から維持管理の時代に入っている。これから求められるのは設備や施設の更新に当たって、更新事業の効果を適切に評価し、事業実施のための合意を得るための手法である。したがって新たに建設される施設によりもたらされる効果ではなく、現在すでに存在している施設に対する整備や更新の効果を評価するところが、他の公共事業とは異なっている。

水道における事業実施効果の評価方法について、すでにマニュアルも作られ始めているが¹⁾、本研究では上記のような水道事業の特徴から、まず現存する事業の及ぼしている効果を評価する方法について検討した。その上でプロジェクトを実施した場合の効果を評価する方法を検討した。

2. 水道事業の便益評価

(1) 水道事業と便益

水道事業の概要を図-1に示す。水源の水質や水量の変化、さらには地震のような突発的な災害など

の外力が作用する条件のもとで、水量、水圧、水質を確保しながら利用者に給水を行っている。そのシステム内部においても、老朽化などが原因で給水事業に影響を及ぼすような事故が発生する可能性もある。

給水環境における事象*i*の発生する確率が p_i で、その環境下で水道システムは費用 x_i をかけて利用者に便益 h_i を与えていると考える。純便益の期待値は次式となる。

$$P = \sum_i (h_i - x_i)p_i \quad (1)$$

これをさらに平常時と何らかの異常事態が発生している場合に区分するとつぎのように書ける。

$$P = (h_0 - x_0)p_0 + \sum_{i=1} (h_i - x_i)p_i \quad (2)$$

$$\text{ただし} \quad p_0 + \sum_{i=1} p_i = 1 \quad (3)$$

添字0は平常時を示し、 $i \geq 1$ は異常事象*i*が発生した場合を示している。

給水による便益及び給水費用はそれぞれ日々変動し、厳密には必ずしも同一の確率で発生するとは限らないとも考えられる。ここでは渇水や地震被害等、大きく便益や費用が変化する事象を取り上げて

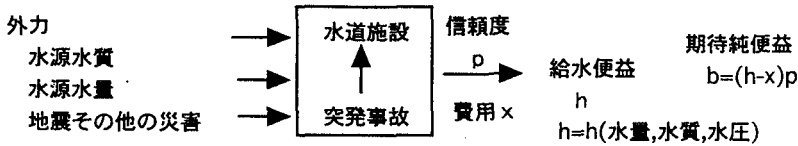


図-1 水道事業の概要

おり、そのような観点からは便益と費用は同時に発生すると考える。

長期的な水源悪化による平常時の水道水の味の低下などは h_0 の減少として扱う。施設の老朽化による維持管理費の増加は x_0 の増大として現れる。水源の上流に汚濁排出源が増えて、突発的な水源事故の可能性が増加する現象は p_i の増加となる。

なおこれらは時間的（経年的）に変化すると考えられるから、実際の評価はつぎのようにある期間を区切って行われる。

$$P = \sum_j (h_{0j} - x_{0j})p_{0j} + \sum_j \sum_{i=1} (h_{ij} - x_{ij})p_{ij} \quad (4)$$

ここで j は時間（年度）を表している。

(2) プロジェクト実施の便益

現在給水が行われている水道事業に対して、何らかのプロジェクトが実施された場合、その実施効果を P の変化 ΔP として計測することとする。給水便益や給水費用、給水上の事象の発生確率が時間的に変化する場合、評価期間を年度 T までとし、プロジェクトを年度 n に実施する場合、 ΔP をつぎのように表すこととする。

$$\begin{aligned} \Delta P &= \sum_{j=n}^T [(\Delta h_{0j} - \Delta x_{0j})p_{0j} + (h_{0j} - x_{0j})\Delta p_{0j}] \\ &+ \sum_{i=1}^k (\Delta h_{ij} - \Delta x_{ij})p_{ij} + \sum_{i=k+1}^T (h_{ij} - x_{ij})\Delta p_{ij} \quad (5) \\ &= \sum_{j=n}^T [(\Delta h_{0j} - \Delta x_{0j})p_{0j} + \sum_{i=1}^k (\Delta h_{ij} - \Delta x_{ij})p_{ij}] \\ &+ \sum_{i=k+1}^T \{ (h_{0j} - x_{0j}) - (h_{ij} - x_{ij}) \} (-\Delta p_{ij}) \end{aligned}$$

1 行目の右辺第 1 項は平常時の給水状況の変化であり、高度上水処理の実施による異臭味の解消による h_0 の増加や、施設の更新による維持管理費の低減による x_0 の減少が該当する。

2 行目に示される右辺第 3、4 項において、 $i = 1$ から k までは水道事業体の対処し得ない異常事象に対し、それが発生したときの対応能力を上昇させる場合を示している。すなわち渇水や地震などの自然現象や、水源における上流からの突発的な水質事故などに関する事象を示す。この場合、事象の発生確率 p_i は水道事業体におけるプロジェクトでは変化しないが、その事象が発生した場合の給水便益や給水費用が改善されている。

$i = k + 1$ 以降は水道事業体はその事象の発生に対して関与しうるものを示している。すなわち事業体内部で発生する事象であり、プロジェクトの実施により発生確率を変化させ得る。プロジェクトを行って事故等の発生を少なくするから、 p_i が減少するとともに平常の状態の発生確率 p_0 が増加する。すなわち式 (3) から明らかなように

$$\Delta p_0 = - \sum_{i=k+1} \Delta p_i \quad (6)$$

である。

第 2 項と第 4 項はまとめて、第 4 行目に示されるように書き直した式の第 3 項のようになる。プロジェクトにより事業体内部で発生する事故の発生確率が減少した場合、平常時と事故時の給水純便益の差に、発生確率の変化をかけたものがプロジェクトによる便益となることを示している。費用 c を投入し

表-1 給水事業の内容

用 途	水道事業の目的	水道統計業態別分類項目	要求される要素
生活用水	飲料水の供給	家庭用	臭味(快適項目)
	公衆衛生・伝染病の予防		水質
都市活動用水	生活環境改善	官公署・学校用	水質・水量・水圧
	都市機能・国民生活維持 都市活動	事業所・商店等用、湯屋用	
		工場用	
工業用水			

たプロジェクトの実施による純便益Eは次式で評価される。

$$E = \Delta P - c \quad (7)$$

将来の計算を行う場合には各項に割引率を考慮する。

(3) 給水便益の構成

水道による給水事業について用途、目的、要求される要素について表-1に整理した。用途は家庭における生活用、公共の用途や各種事業活動を含む都市活動用、そして工場で利用される工業用水に分類した。水道事業の目的として「公衆衛生の向上」、「生活環境の改善」が水道法でうたわれているが、さらに都市の発展により都市の活動を維持する役割が大きくなっている。表の3列目には「水道統計」において業態別分類として示されている各項目との対応関係を示した。そして最後列には要求される要素を示している。水量、水質、水圧は満たされるべき3要素であるが、公衆衛生の観点からはそのなかでもとくに水質が重要であり、これは水質基準として決められている。飲料水としてはさらに臭いや味も重要な要素で、水質基準においては快適項目として示されている。

本研究では給水事業便益を、表-1の第1列に示される3つの用途に分類し、それぞれの用途ごとにもたらされている便益を評価する。具体的には第3列に示される業態において発生している便益を計量化していく。

3. 生活用水の給水便益

(1) 代替水による便益計測法

家庭で利用されている水を、給水が停止した場合に他の方法で獲得するのに要する費用によって給水の便益を評価する。検討を行うにあたって生活に利用されている水をその用途に応じて、人体に入っても安全なレベル1の水と、人が触れることができるレベル2の水、それ以外のレベル3に分けた。

レベル1は飲料水という水を考え、レベル2は親水用水程度のものを考える。生活用水を1人1日当たり250Lとして、レベル1に属するものを、風呂

用80L、台所用70Lとする。レベル2、レベル3に属するものを、それぞれ洗濯用55L、水洗便所用45Lとした。レベル1の水を1Lが100円のボトルウォーターで、レベル2とレベル3はひとまずまとめて1m³あたり50円の工業用水で代替することとした。その結果1人1日当たりの給水便益は15005円となる。

(2) 代替行為による便益計測法

給水停止により行えなくなる生活行動を、他の代替行為で行う場合に必要となる支出額により便益を計測する。風呂を銭湯で、炊事を持ち帰り弁当で、飲料水をボトルウォーターで、洗濯をコインランドリーで代替するものとする。それぞれの代替物の価格の中の、水道の寄与率を考慮する必要があると考えられるが、それを求める適切な方法がないので、ここではひとまず全額を給水の価値として扱うこととする。

平成8年度小売物価統計をもとに1日あたりの便益を表-2の第4列のようにした。(1)において風呂、台所、洗濯の水量をそれぞれ80、70、55Lとしているので、ここでは1L当たりの便益を風呂用水は3.75円、台所用水21.43円、洗濯用水3.63円と評価していることになる。水洗便所の適切な代替行為がないので、残りの水量43Lの便益も3.63円/Lと考えることにすると、合計は2356円となる。そこで10円の桁までにするために水洗便所用水の便益は3.49円/Lとすると、1人1日当たりの便益は2350円となる。これを整理すると表-2のようになる。

(3) 水質、水圧の評価

これまでの検討は正常な水質と水圧が満たされている場合の給水便益である。水質基準は満たしていても、臭味や赤水など快適項目に関する水質や、水圧不足などが発生している場合は、それにともなう費用を差し引く必要がある。水質については異臭味解消の便益の計量化等が行われており^{2)、3)}、その成果を利用することも可能である。

水圧不良は水獲得のための時間の増加と考えると計算する。基準水圧 p_0 に対して現水圧を p とし、 $p > p_0$ ならば給水栓から所定の流量 q_0 を得ることが可能になるが、 $p < p_0$ の場合には $q = q_0 p / p_0$ にしたがうとす

表-2 代替行為による生活用水便益評価

用途	使用量 (L)	代替物	1日当たり(円/日)	水量当たり(円/L)	累積 (円)
飲料水	2	ボトルウォーター	200	100	200
台所用水	70	持ち帰り弁当 (3食)	1500	21.43	1700
風呂用水	80	銭湯	300	3.75	2000
洗濯用水	55	コインランドリー	200	3.63	2200
水洗便所用水	43			3.49	2350

る。

1人1日当たり必要水量をVとすると、水圧不良地区の逸失便益 h_L は次のようになる。

$$h_L = \frac{V}{q_0} \left(\frac{p_0}{P} - 1 \right) \times [\text{賃金率}] \times [\text{水圧不良地区給水人口}] \quad (8)$$

理論的には $q = q_0 \sqrt{p/p_0}$ にしたがうとも考えられるが、ここでは式(8)を用いる。

4. 都市活動用水・工業用水の給水便益

(1) 代替水による方法

都市活動用水を、生活用水と同様にレベルに区分し、代替水の価格で便益を評価した例が表-3である。この計算を行うに当たっては、まず業態別の使用水量を求め、それぞれの業態ごとのレベル別の水量割合を推定する必要がある。業態別水量は事業体より得、レベル別要求水量率は別途推定したもの⁴⁾を用い、ふさわしい業態がない場合は最も近いと考えられる業態の推定結果を適用した。推定するに足る十分なデータがない場合は全てレベル1であるとしている。

この方法を適用するに当たっては、業態別の水量がどの程度詳しく得られているか、各業態の使用水のレベル区分の精度がどれほどか等の問題がある。

工業用水については、工業統計表より産業別の用途別使用水量を、ボイラー用水、原料用水、製品処理及び洗浄用水、冷却用水、温調用水、その他に分類して求めることができる。これらを適切な代替水で評価すればよいが、代替水として何を考えるかといった課題がある。

以上のように代替水を用いる方法はわかりやすいが、適用に当たっての課題も多い。

(2) 付加価値生産額を用いる評価

代替水を用いる方法は上記のように適用に当たって煩雑な面があるので、付加価値生産額により評価することを考える。都市活動や工場における生産活動に水道水が寄与しており、もし給水が停止すればこれらの活動は大きな影響を受ける。

表-4は先のA市にB市、C市を加えた3つの政令指定都市について付加価値生産額を求め、業態別使用水量をもとに(1)の方法で代替水による評価方法を適用した結果と比較したものである。表の最下行に示されるように、

代替水を用いて評価された給水便益は、付加価値生産額の37～59%の値を示した。

渇水の調査より業務用水の節水率と被害額原単位の関係式が得られている⁵⁾。それによると営業停止損失の大きいグループ、小さいグループそれぞれについて次式が報告されている。

$$P = 3S^2 + 10S \quad (9)$$

$$P = -0.75S^2 + 122.5S \quad (10)$$

Pは被害額原単位(円/m³)、Sは節水率(%)である。これらの式は節水率が80%までについて得られたものであるが、100%まで外挿することができるとし、最大の値が完全断水の損失額であるとする。被害額原単位はそれぞれ31000円、5000円となり、平成8年の物価に換算すると73500円、11900円となる。

A市、B市、C市の業種別給水量実績の中から、市民経済計算の産業分類に合致するものを選び出し、給水量当たりの付加価値生産額を求めた。前述の渇水被害調査では、給水停止が起こると使用水量1m³あたり11900～73500円の被害が発生するとされている。そこで給水量1m³あたりの付加価値生産額のうち、この被害額が水道の寄与している部分であると考えて、水道の寄与率を計算した。これと産業連関表における中間投入に占める水道の率との

表-3 A市の都市活動用水と給水便益評価

	レベル別水量 (m ³ /日)			便益評価額 (百万円/日)
	レベル1	レベル2	レベル3	
都市機能維持活動				5,322
官公署	14,388	6,166	5,139	1,439
学校	9,101	0	21,236	911
病院・医院	12,814	11,746	2,136	1,282
運輸関係	13,054	14,009	4,776	1,306
その他公益法人	3,927	1,683	1,402	393
事業活動				25,915
事務所	84,521	36,223	30,186	8,455
美容・理容	5,443	0	0	544
クリーニング	5,510	0	0	551
小売店	23,503	10,073	8,394	2,351
プール	1,840	0	0	184
市場	10,779	0	0	1,078
百貨店	5,399	3,559	2,999	540
飲食店	61,734	0	0	6,173
娯楽場	6,241	2,675	2,229	624
旅館	17,109	5,431	4,617	1,711
公衆浴場	30,911	0	0	3,091
その他	6,108	0	0	611
都市活動計				31,247

関係を示したものが図-2である。図では被害額が73500円とした場合と、11900円とした場合の水道の寄与率の平均値を示している。中間投入率に占める水道の割合が、水道の寄与率とも関連していることをうかがわせる。また水道の寄与率は0.2～0.8に分布しており、表-4に示された、各市の合計付加価値生産額に占める水道の割合と、矛盾しない結果となった。

これをもとに本研究においては、中間投入にしめる水道の率が0.5%未満の産業では付加価値生産額にしめる水道の寄与率を0.4、0.5以上1.5%未満の産業では0.6、1.5%以上の産業では0.8とする。

つぎに工業用水について検討する。表-5は平成8年の工業統計表による、産業大分類別の製造品出荷額1億円当たりの淡水、海水

表-4 市民経済計算による都市・事業活動の付加価値の例(平成8年度)

	A市	B市	C市
産 業			
鉱業	2,102	818	1,147
建設業	926,192	1,015,145	376,341
電気・ガス・水道業	276,833	103,849	128,318
卸売・小売業	6,257,722	1,060,855	1,304,307
金融・保険業	1,420,628	334,578	231,867
不動産業	2,401,633	753,337	519,546
運輸・通信業	1,777,062	593,831	381,891
サービス業	4,766,189	1,171,766	1,135,871
政府サービス生産者			
電気・ガス・水道業	88,065	44,422	17,087
サービス業	532,176	163,825	124,663
公務	567,787	255,029	235,992
対家計民間非営利生産者			
サービス業	291,507	164,919	105,483
合計(百万円/年)	19,307,896	5,662,374	4,562,513
①1日当たり(百万円/日)	52,898	15,513	12,500
②代替水法による	31,247	5,773	6,133
都市・事業活動便益(百万円/日)			
②/①	0.591	0.372	0.491

表-5 製造業における水道の使用量と付加価値生産額

工業統計調査産業大分類	製造品出荷額 当用水原単位 (m ³ /日/億円)	上水道 使用率	粗付加 価値率	上水道使用量当 粗付加価値生産額 (千円/m ³)
食料品製造業	27.52	0.090	0.405	45
飲料・たばこ・飼料製造業	11.25	0.145	0.325	55
繊維工業(衣服その他の繊維製品を除く)	80.74	0.025	0.467	66
衣服その他の繊維製品製造業	5.05	0.308	0.488	86
木材・木製品製造業(家具を除く)	3.03	0.369	0.379	93
家具・装備品製造業	5.98	0.127	0.455	164
パルプ・紙・紙加工品製造業	213.32	0.003	0.426	190
出版・印刷・同関連産業	1.86	0.340	0.541	234
化学工業	298.35	0.003	0.555	157
石油製品・石炭製品製造業	197.51	0.001	0.162	215
プラスチック製品製造業	33.28	0.037	0.444	100
ゴム製品製造業	38.27	0.027	0.512	136
なめし革・同製品・毛皮製造業	4.73	0.183	0.406	129
窯業・土石製品製造業	70.81	0.021	0.535	100
鉄鋼業	425.86	0.002	0.418	116
非鉄金属製造業	74.56	0.012	0.356	105
金属製品製造業	8.82	0.140	0.482	107
一般機械器具製造業	5.84	0.111	0.428	180
電気機械器具製造業	10.65	0.069	0.383	143
輸送用機械器具製造業	23.97	0.016	0.329	228
精密機械器具製造業	4.84	0.256	0.448	99
その他の製造業	6.86	0.102	0.433	170

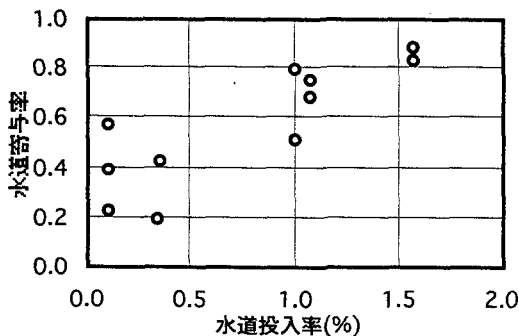


図-2 3市のデータによる水道寄与率の検討

合計の使用量、全水量中の上水道の占める割合、製品出荷額中に占める粗付加価値生産額の割合を示している。これらをもとに、上水道の使用水量あたりの付加価値生産額を求め、同表の最後列に示した。

この付加価値生産額を、全て上水道による寄与と考えることはできない。そこで、先に述べた漏水被害調査結果より得られている、工業用水の被害原単位の次式を利用する。

$$P=0.33S^2-1.28S$$

ここでPは水量当たり被害原単位（円/m³）、Sは節水率である。

この研究報告においては、節水率Sが80%となると操業が停止するとされているので、同式にS=80を代入すると2000円となり、これを平成8年価格にすると4750円となる。これを各産業に対する1m³当たりの給水便益であるとし、上水道1m³当たりの付加価値生産額（表-5の第5列）の中に占める割合を水道寄与率とし、図-2と同様に産業連関表より求めた、水道投入率との関係を示したものが図

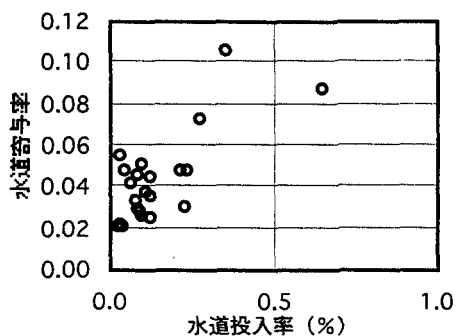


図-3 水道投入率と水道寄与率の関係（製造業）

-3である。寄与率の最も大きいのは、食料品製造業の0.106、最も小さいのは出版・印刷業の0.02となった。

工業用水道の付加価値に対する寄与率を0.125とする報告もある⁶⁾。工業用水道使用量に対する上水道使用量の比は、業種により0.02から約10まで様々である。工業用水道の寄与率や図-3の結果を参考にして、水道投入率が0.25%未満の産業においては、付加価値に占める水道の寄与率は0.05、水道投入率が0.25以上の産業では0.1とおくことにする。

以上より、産業別の付加価値生産額に占める水道の寄与率を、ひとまず表-6のように設定する。

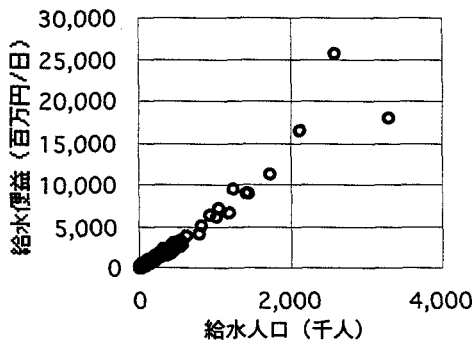
5. 全国の水道事業における給水便益

これまでに検討した方法で全国の水道事業体の給水便益について検討する。それぞれの事業体が全国的に見た相対的な状況を知ること、更新等の政策を決定する上での重要な情報となる。

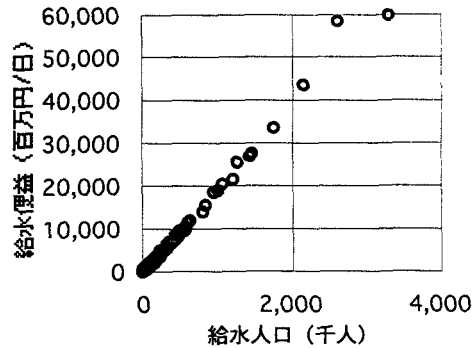
生活用水、都市活動用水、工業用水の便益をそれぞれ異なった方法により計量化している。しかしこ

表-6 付加価値生産額にしめる水道の寄与率設定値

水道寄与率	産 業
0.8	教育・研究、対個人サービス
0.6	水道・廃棄物処理、公務、その他の公共サービス、医療・保健・社会保障
0.4	農林水産業、鉱業、建設、電力・ガス・熱供給、商業、金融・保険、不動産
0.1	運輸、通信・放送、対事業所サービス
0.05	食料品製造業、飲料・たばこ・飼料製造業、繊維工業（衣服その他の繊維製品を除く） 衣服・その他の繊維製品、木材・木製品製造業（家具を除く）、家具・装備品製造業 パルプ・紙・紙加工品製造業、出版・印刷・同関連産業、化学工業
	石油製品・石炭製品製造業、プラスチック製品製造業、ゴム製品製造業 なめし革・同製品・毛皮製造業、窯業・土石製品製造業、鉄鋼業、非鉄金属製造業 金属製品製造業、一般機械器具製造業、電気機械器具製造業、輸送用機械器具製造業 精密機械器具製造業、その他の製造業



生活用水便益を2350円/人日とした場合



生活用水便益を15005円/人日とした場合

図-4 全国の都市における全給水便益の傾向

ここでは計量化法の差異は問わないことにして、それらを加えることによって、給水事業全体の便益を考えることとする。

全国の市について業務用、工場用に生活用も加えた全給水便益と給水人口の関係を図-4に示す。行政区分と給水区域が一致しない東京都などは省いている。横軸に給水人口を縦軸に給水区域にもたらされる便益をとっているの、傾きが給水人口1人当たりの給水便益を示している。

生活用水便益については3で示した小さい値2350円/人日と、大きい値15005円/人日の双方の場合を示している。生活用水便益を小さく見積もった場合は、各市の給水事業全体の便益は4000円～13000円程度の間にある。生活用水便益を高く見積もった場合は、給水人口に比例する部分の占める割合が高くなるので1人1日当たりのばらつきは小さくなり、16000円～25000円の間分布する。

6. プロジェクト実施効果の計量化

(1) 配水管更新事業の効果

a) A市の配水管整備事業

配水管更新事業の効果を評価するための事例として、A市の事業を取り上げる。表-7に示す3次にわたる配水管整備事業を考える。1次、2次は出水不良や赤水の解消などを主な目的に実施され、3次は耐震化、信頼性の向上、経年管の更新等が主目的とされた。それによる改善の状況を図-5～7に示す。

1で示したプロジェクト便益評価法にしたがって、式中の各項目の内容は表-8のように整理される。これにしたがい各次の事業ごとに Δh 、 Δx を

計算する。

b) 配水管整備事業の効果の検討方法

各整備事業の効果は、事業が終了した直後から現れるとする。図5～7に示される各事業の効果を表

表-7 A市の配水管整備事業

	第1次	第2次	第3次
事業年度	1965～1971	1972～1981	1982～1989
事業費(億円)	161	807	521

表-8 配水管整備事業の効果の内容

プロジェクト実施効果

Δh 低水圧・出水不良の改善、赤水の減少
 Δx 漏水損失水量の減少、管破損修理の減少

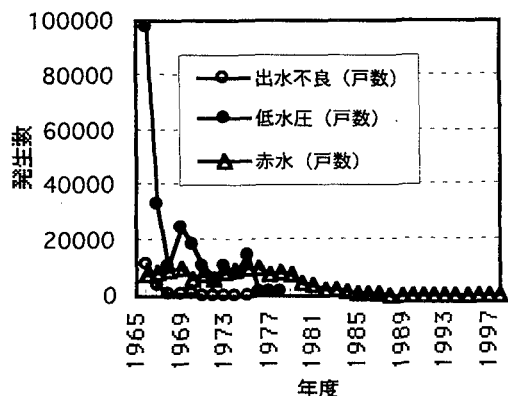


図-5 給水環境の改善効果

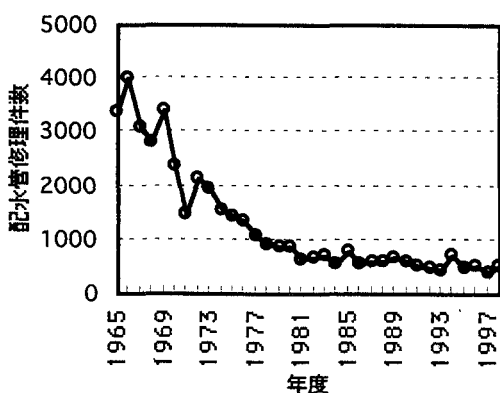


図-6 配水管修理件数の変化

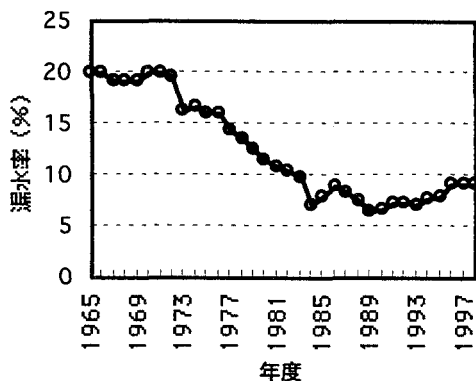


図-7 漏水の防止状況

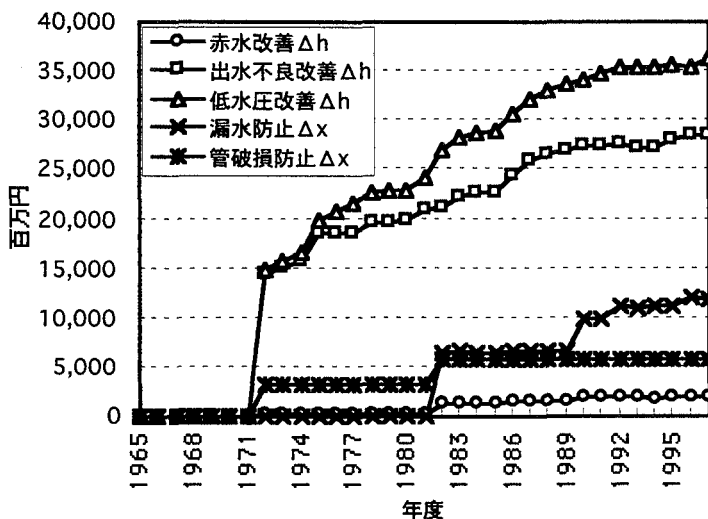


図-8 整備事業実施の効果（平成8年度価格換算）

表-9 各整備事業の効果

第1次事業	
出水不良世帯率	0.036105から0.000155へ減少
低水圧世帯率	0.163801から0.014317へ減少
赤水発生世帯率	0.011839から0.009749へ減少
配水管修理件数	年間4001件から2162件へ減少
漏水率	変化なし
第2次事業	
出水不良世帯率	0.000155から0へ減少
低水圧世帯率	0.014317から0へ減少
赤水発生世帯率	0.009749から0.002184へ減少
配水管修理件数	年間2162件から777件へ減少
漏水率	19.5%から10.5%へ減少
第3次事業	
赤水発生世帯率	0.002184から0へ減少
配水管修理件数	年間777件から707件へ減少
漏水率	10.5%から6.5%へ減少

-9のように整理した。状況が改善された世帯数の扱いは、給水区域全体のある地区に属する世帯が改善されたものと考え、改善された世帯率（人口率）を求め、これを用いることにより以後の人口変化にも対応して計算ができるようにした。

低水圧とは水圧が $0.4 \sim 1.0 \text{ kgf/cm}^2$ とされているので、ここでは式(8)で $p_0=1$, $p=0.7$, $q_0=15$ (L/分)とする。有収水量に家庭用の割合をかけて、給水人口で除して1人1日給水量を求めた。それをもとに昭和40年には120L、その後順次増加させ昭和

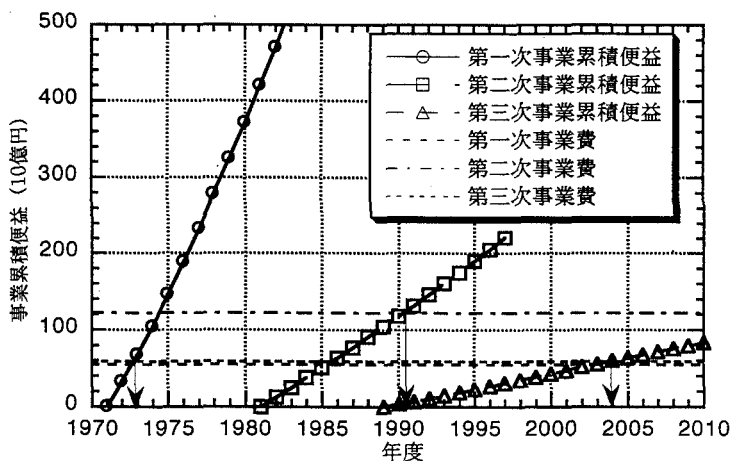


図-9 各整備事業による便益と事業費

和62年に250Lとし以後同じとした。1時間当たりの賃金は平成8年度を2000円とし、実質賃金指数をもとに当時の賃金率を平成8年度に換算して用いた。出水不良については $p=0.4$ とし、その他は低水圧の場合と同様に扱った。

赤水の発生は朝夕ピーク使用時の各1時間、月に1回発生するとし、1日の使用量の1/5が影響を受けると考えて、これをボトルウォーターで代替するとした。

ここでは水圧、水質の改善効果については、生活用水に対するもののみ評価対象としている。

漏水による損失は、失われる水量に給水原価をか

けて、物価指数より平成8年度値に換算した。管修繕費は1件あたり平成8年度価格で180万円とした。

c)配水管整備事業の効果の検討方法

3次にわたる配水管整備事業により、毎年もたらされる便益を示したものが図-8である。第1次整備事業により、とくに出水不良や低水圧など水圧の改善の効果が1972年より顕著に現れている。1982年からは第2次事業の効果が現れ、水圧改善だけでなく漏水防止効果が大きく発生している。第3次事業においても1990年より漏水防止の効果が著しい。

各次の事業が終了するまでの間にも、便益は増加

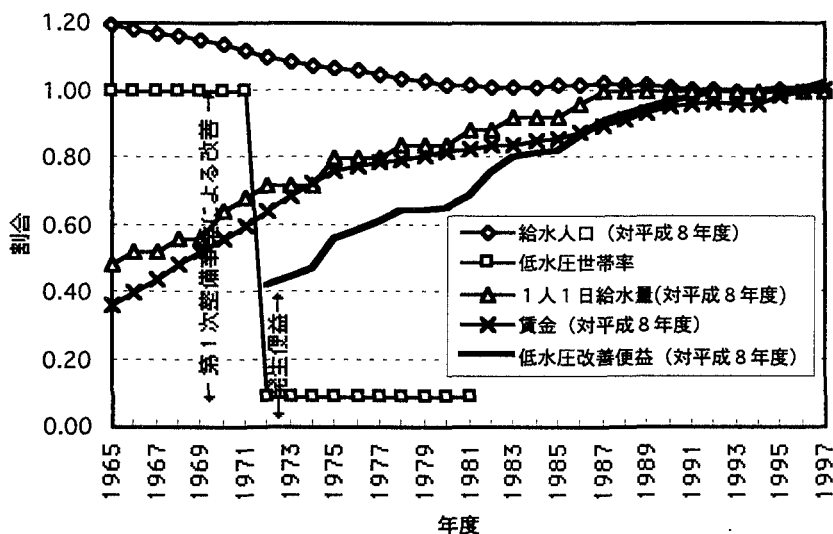


図-10 低水圧の改善便益の内訳

を続けている。これは使用水量の増加や賃金率の上昇など、水道を利用する側の状況の変化によるものである。この意味ではプロジェクトの実施は単に水道事業体側のみではなく、水道を利用する社会の状況の変化をも考慮する必要がある。

図-9にはそれぞれ第1～3次事業の累積の便益と事業費を示した。整備により改善された給水環境は毎年便益をもたらすので累積便益は増加していく。第1次事業では、事業が終了した2年後の1973年に累積便益が事業費を上回っており、事業効果が投資額に対してプラスに転じている。第2次事業では、事業が終了して10年後の1991年に累積便益が投資額を上まわっている。第3次事業では、2004年に累積便益が投資額を上回ると予測される。

なおここでは式(5)の右辺第1項を取り上げたことになるが、 p_{0j} は1と見なしている。

d)事業実施の直接効果と社会環境の影響

プロジェクトの実施効果は、実施後の水道を取り巻く社会の変化によっても変化する。そこで低水圧の改善を取り上げて、その便益変化の内容を示したものが図-10である。

第1次事業により、低水圧の発生している世帯の率は約1/10に減少した。そのためそれによる便益が発生したが、その後1995年には便益は当初の約2.5倍となっている。これは図中に示されているように、1人あたりの使用水量が増加したこと、賃金の上昇すなわち人の時間価値が増加したことによる。水道がより生活の中で重要な位置を占めるようになっていていることを示している。

(2)地震対策の効果

a)モデル都市の地震対策

あるモデル都市を取り上げて、地震対策を行った

表-10 モデル都市の概略

給水人口	500,000人
給水区域面積	50km ²
導水管延長	10km
送水管延長	2km
配水管延長	1000km
想定地震における破損発生率	
導水管	0.3件/km
配水管	2.6件/km

表-11 地震対策の効果の内容

プロジェクト実施効果	
Δh	給水可能水量の増大
Δx	復旧工事費の減少、応急給水費の減少

場合の効果について検討する。都市の特性は表-10に示す。想定地震に対する導水管と送水管の破損率は0.3件/km、配水管の破損率は2.6件/kmとする。地震対策事業として2ケースを考える。

対策Aは導水管、送水管の耐震化で、これにより導、送水管の破損はゼロとなり、地震直後から配水池を拠点とした応急給水が可能になるとともに、復旧工事においても、配水管内の水張りが可能になる。対策Bは対策Aに加えて、1000kmある配水管を上位200km、中位300km、下位500kmに階層化し、上位、中位、下位の老朽配水管を更新して、平均破損率をそれぞれ0.3、0.9、1.8とする。これにより配水管の破損が減少し応急給水、応急復旧ともに促進が図られる。

地震発生後の応急給水と応急復旧に関して、別途作成したシミュレーションモデル⁷⁾により、復旧率(断水回復率)と完全に断水が終了するまでの応急給水実施地区における1人あたりの平均可能給水量を、対策実施前、実施後につき求めた結果が図-11、12である。

b)地震対策の効果の評価方法

地震対策の評価は式(5)の右辺の3行目の第2項を計算することになる。Δh、Δxの内容は表-11に示す。復旧が終了するまでの40日間における、対策実施時と実施前のh、xの差を求める。

応急給水実施期間中の住民便益の算定は、3の(1)、(2)に示された2つの方法で算定する。給水量が需要を満たさない場合、まず水量当たりの便益の小さい方から削減していくと考えて便益を計算する。計算法の例として表-2による代替行為による方法をつぎに示す。

$$h = 2350 \times [\text{給水人口}] \times K \\ + A \times [\text{給水人口}] \times (1 - K)$$

$$0 \leq S < 17 \quad A = 2350 - 250 \times 3.49 \times S / 100$$

$$17 \leq S < 39 \quad A = 2200 - 250 \times 3.63 \times (S - 17) / 100$$

$$39 \leq S < 71 \quad A = 2000 - 250 \times 3.75 \times (S - 39) / 100$$

$$71 \leq S < 99 \quad A = 1700 - 250 \times 21.43 \times (S - 71) / 100$$

$$99 \leq S \leq 100 \quad A = 200 - 250 \times 100 \times (S - 99) / 100$$

Kは復旧率を、Sは250L/人日に対する不足率を示し、それぞれ図-11、図-12に示されたシミュレーションの結果より得られる値を与える。

都市活動用水、工場用水による便益についても、付加価値生産額をもとに、先述の方法で求めた結果は合計で1日当たり1675百万円であった。これらの活動は断水が解除された地域でのみ可能とし、1日当たり便益に復旧率をかけたものを、都市活動用水、工場用水の便益とした。これと上の各方法により求めた生活用水便益を加えて、40日間にわたる給水便益を計算した。

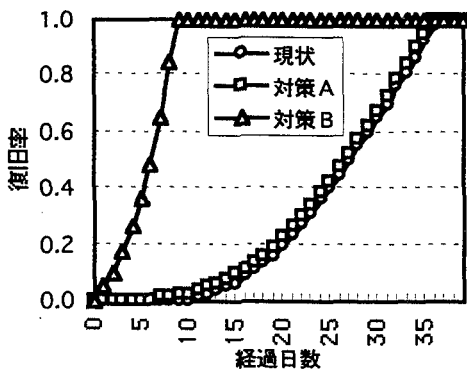


図-11 モデル都市の地震被災後の復旧率

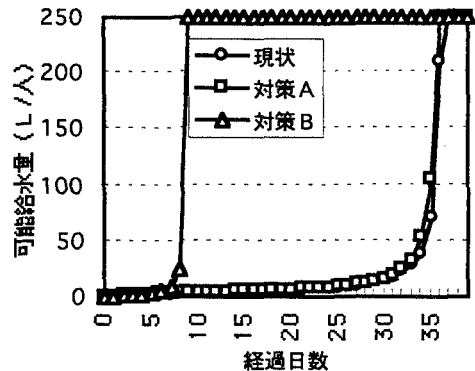


図-12 モデル都市の地震被災後の1人当たり可能給水量

表-12 各対策による便益の計算結果

	Δh		Δx		c
	代替水法	代替行為法	復旧費	応急給水費	
対策A	6,967	2,240	-8	-1	1,932
対策B	183,246	56,096	-1893	-35	45,268

(百万円)

復旧費の計算に当たっては、管修繕の工事費と人件費を阪神淡路大震災の報告値より推定した。工事費は1件あたり785千円、人件費は1人1日19000円とし、1班の構成を5人と考えて計算した。応急給水費も同様に、阪神淡路大震災の報告より、1日あたり1246千円とした。

対策費用の算定に当たっては、導水管、送水管の耐震化については、500mmの铸铁管を念頭におき、100mあたり16百万円とした。配水管の更新は

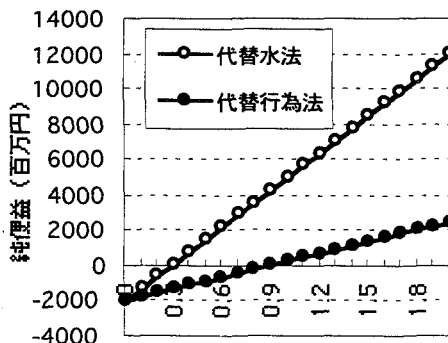
上位クラス、中位クラス、下位クラスそれぞれ350mm、100mm、75mmを念頭において、100mあたりそれぞれ8.8百万円、3.4百万円、3.1百万円とした。

c)地震対策の評価結果

以上の設定のもとに計算を行い対策を実施した場合と実施しない場合の差を求めた結果が表-12である。式(5)にしたがって ΔP を計算するために、関係する部分を再掲するとつぎのようになる。

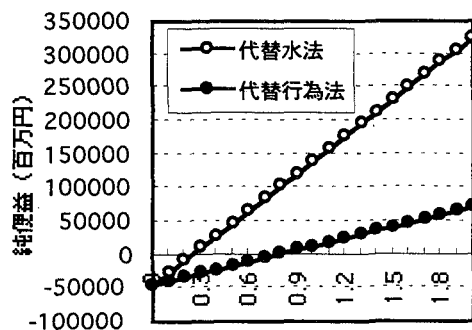
$$\Delta P = \sum_{j=n}^T (\Delta h - \Delta x) p_j = (\Delta h - \Delta x) \sum_{j=n}^T p_j$$

想定した地震による被害と、実施した対策によりもたらされる便益は、評価期間中変化しないと考え



評価期間内の発生回数

1) 対策A



評価期間内の発生回数

2) 対策B

図-13 地震対策プロジェクトの便益評価結果

ことにする。実際は都市の変遷により便益が増減することが考えられる。

$\sum_{j=a}^T p_j$ は、対象としている評価期間内に、想定地震が発生する期待回数を示している。プロジェクトの純便益Eは次式で表される。

$$E = (\Delta h - \Delta x) \sum_{j=a}^T p_j - c$$

ひとまず割引率は考慮せず、評価期間内の発生回数を種々変化させて、それぞれの生活用水便益計測法のもとで、プロジェクトの純便益Eを計算した結果が図-13である。対策A、Bとも生活用水便益の評価に代替法を用いた場合は、純便益は発生回数が0.3以上になるとプラスになり、代替行為法によれば0.9(対策A)、0.8(対策B)回以上でプラスとなる。しかし表-12より明らかなように、住民に対する給水便益の改善 Δh は、対策Bを実施した場合の方が対策Aよりはるかに大きくなる。

実際には評価期間を数十年として、その間に阪神淡路大震災級の大地震が起こる可能性は小さいと考え得るが、その確率を具体的に示すことは難しい。発生回数と適切な割引率、及びリスクプレミアムを考慮して、総合的に判断をせざるを得ない。

7. あとがき

本研究では、水道事業におけるプロジェクトの実施便益の評価方法について検討した。水道事業は、各種の外力を受けながら、ある安全性をもって給水を行っているとし、給水により得られる期待純便益を定義した。プロジェクトは、ある費用をかけてこ

の期待純便益を増大させることを目的としており、その増分と費用との差がプロジェクト実施の便益であるとした。

給水による便益を生活用、都市活動用、工場用に区別して評価する方法を検討した。業務用、工場用については付加価値生産額をもとにする方法を用いることにしたが、その中の水道の寄与率について検討を加え、試みの数値を提案した。

提案した手法を配水管更新事業と耐震化事業に適用してプロジェクトの評価を試みた。

謝辞：本研究は(財)水道技術研究センター「高効率浄水技術開発研究」の補助を受けて行われた。関係各位に謝意を表する。

参考文献

- 1) 日本水道協会：水道事業の費用対効果分析マニュアル・試行版、1999。
- 2) 平松登志樹・肥田野登：水道水質に関する住民選好の一考察：水道協会雑誌、61巻、5号、1992。
- 3) 竹村仁志・三浦浩之・和田安彦：都市居住者の高度浄水に対する評価に関する研究、環境システム研究、27巻、1999。
- 4) 細井由彦・城戸由能・井上知子：都市における水質レベル別の水需要量に関する考察、土木学会中国支部第49回研究発表会、1997。
- 5) 建設省土木研究所：湯水時の水管理に関する計画学的研究、土木研究所資料、1979。
- 6) 通産省環境立地局：費用対効果分析実施細目一工業用水道における費用対効果分析一、1999。
- 7) 細井由彦・城戸由能：応急給水復旧過程から見た水道の地震対策の評価、土木学会論文集、No.629、1999。

BENEFIT ANALYSIS OF A WATER SUPPLY SYSTEM IMPROVEMENT

Yoshihiko HOSOI, Yoshinobu KIDO, Naho IIDA

Water supply systems are used by 96% of the Japanese population. Topics currently under study within water works management are the renewal of aged facilities and the improvement of overall system reliability. In order to ensure effective investment in maintenance and renewal of systems, it is important to demonstrate the effect that a project will have in improving the system.

This paper deals with a method to analyze the benefit that an improvement project will have on a water supply system. The water supply system supplies water with some reliability under various environments. Such as, water quality and quantity fluctuations and natural disasters. The index of project effect was defined by the benefit and cost of the water supply, and the cost of the project. The benefit of water supply was divided into three categories. They are, domestic usage, usage for public and commercial activities and industrial usage. The benefit of water supply for domestic usage was evaluated by prices of alternative water and the cost of alternatives to water. The benefits for the public, commercial and industrial usages were calculated by using value added productivity.

The presented method was used for case studies on a water main improvement project and an earthquake resistance project.