

水道管網特性による耐震性評価と その投資効果分析について

村田幸一¹・宮島昌克²

¹大阪市水道局工務部配水課（〒559-8558 大阪市住之江区南港北1-14-16）

E-mail:murata_kouichi@nifty.com

²金沢大学大学院自然科学研究科教授（〒920-8667 金沢市小立野2-40-20）

E-mail:miyajima@t.kanazawa-u.ac.jp

水道は、都市化された社会において重要な社会基盤施設の1つであることから、災害時においても、最小限の被害に抑え市民生活を維持させる必要がある。これらの対策方法については、配水管路の耐震化が最善である。しかし、その構築に要する期間および投資額が膨大となる可能性がある。

本研究では、配水管を管路ネットワークとして考え、モンテカルロシミュレーションを用いることで、地震による管路破損を再現し、管網レイアウトの違いによる災害時の断水率の軽減効果を検証した。さらに、これらの数値シミュレーション結果から推定投資額とその効果についても試算し、費用対効果分析を行い、将来的な管網整備のあり方とその投資効果について一考察を示した。

Key Words : *Water pipeline network, Earthquake resistance evaluation, Montecarlo simulation, Cost-benefit analysis*

1. はじめに

水道施設は、都市の社会・経済活動を支える重要な都市基盤施設の一つであり、飲料水・生活用水・業務用水の供給を一手に担っており、震災時の断水等による給水機能の障害は、都市機能へ甚大なダメージをもたらすとともに、被災地の市民生活や都市活動にも大きな影響¹⁾を与える。

これらの影響を軽減するためには、水道施設の耐震対策を実施し、水道施設の信頼性向上を図る必要がある。特に管路の耐震化は、震災時の復旧過程において、市民の飲料水や生活用水の確保に直接左右する重要な対策であり、これら対策費に積極的な設備投資を行うことは有効である。その一方、管路の耐震化対策の実施にあたっては、大きな投資が必要であり、効率的な耐震整備を進めるためには、その投資効果や妥当性について適正かつ慎重に評価する必要がある。

本論では、配水管を管路ネットワークとして考え、モンテカルロシミュレーションにより、地震による管路破損を再現し、管網レイアウトの違いによって生じる水理特性が、災害時おける断水率にどのように影響するか検証した。さらに、これらの解析結果から耐震化事業に対する耐震化事業に対する推定投資額とその効果についても試算し、将来的な水道管

網整備のあり方について考察を行った。

2. 管網モデル

(1) モデルの考え方

配水管網については、給水区域の水源及び地勢条件によって、様々な管網が構築される。特に、地盤の高低差が少ない平野部においては、自然流下方式の配水方法と異なり、配水量によって吐出圧が変動するポンプ加圧方式による配水方法がとられるのが一般的である。この場合、震災の影響を軽減するためには、管網形状を工夫し、漏水による水圧低下を抑制する必要がある。本論では、発災後の復旧開始時の水理特性が管網形状により、どのような差異が発生するのか管網計算で検証するため、管網が細かくブロック化されている管網モデルと形成されていない管網モデルの格子管網モデルを作成し、検討を行った。

さらに、管網の耐震性能を評価する場合、発災直後の同時多発的な漏水に対し、管網レイアウトの差異による減圧及び断水の影響がどのように発生するかを把握するため、配水管の被害率を同一条件としてモデル化を実施した。

図-1 は、大阪市の管路延長とその口径構成を参

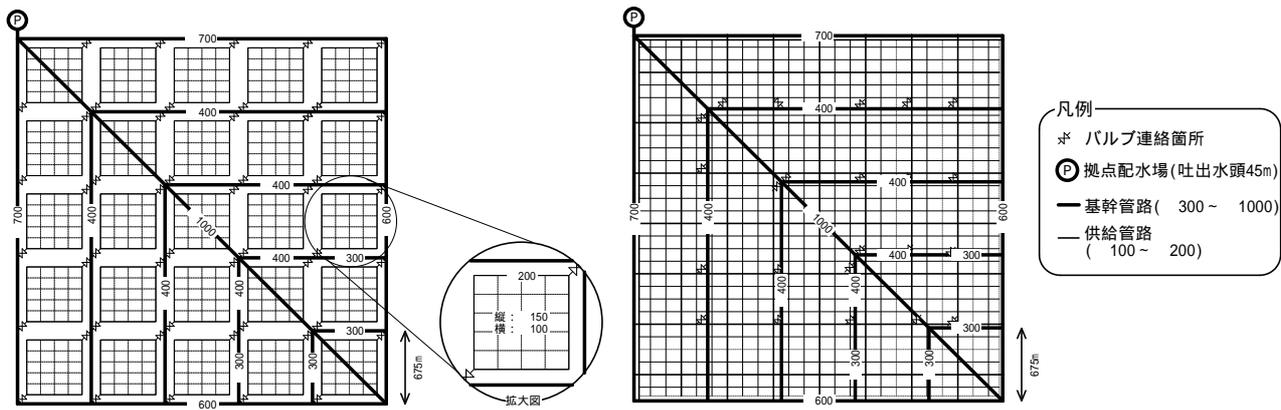


図-1 解析に用いた管網モデル(左図:ブロック化管網,右図:非ブロック化)

考として,単純化したモデルであり,細かくブロック化された管網モデル(ブロック化モデル)と,ブロックが形成されていない管網モデル(非ブロック化モデル)を示している.管網の特性としては,口径300mm以上の配水管を各ブロックへの供給源となる「基幹管路」,口径200mm以下の配水管を各需要家への「供給管路」と位置付けてモデルを行った.また,ブロックの規模は,本市水道が想定しているブロックと同程度の規模のブロックにモデル化した.これら各ブロックの外周管路を「フレーム管路」と定義し,口径200mmの管路でループ化を行った.また,ブロック管網の比較対象モデルである非ブロック化管網では,レイアウトの相違による水理面の比較解析を行うため,管路延長と管容量をブロック化管網モデルと近似させるとともに,平均水圧も同等となるような管網を設定した.

(2) 想定時間係数

時間係数 K とは,時間平均給水量に対する時間最大給水量の比率を表す係数で,給水区域の昼・夜間人口の変動や工場,事務所等の土地利用形態等により変動する.

一方,地震発生時刻の特定については困難であることから,地震の発生する時間帯が最大時間給水量で市域に供給している時間帯,すなわち時間係数の最大となる場合を想定して解析した.

また,時間係数の算定に当たっては,『水道施設設計指針』における各水道事業体の1日配水量と時間係数の関係を示した回帰式(図-2参照)²⁾を利用して,モデル管網の想定1日配水量に相当する時間係数1.89を得た.

3. 管路被害予測

(1) 管路被害予測式

モデルの耐震性評価を行うため,地震発生時に管路に生じる被害箇所数については,被害率を設定することにより算定した.被害率については,これまでの研究^{3),4)}から地震動の加速度振幅よりも速度振幅に対する相関性が高いことから,地表面における最大速度から被害率(箇所/km)を算出すること

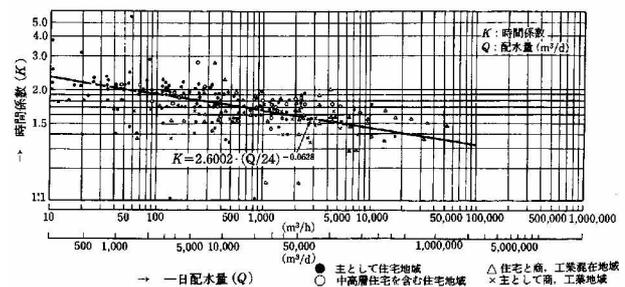


図-2 1日配水量と時間係数の関係²⁾

とした.

被害率の算定に当たっては,配水管の材質,継手形式,配水管布設場所の地盤状況及び地表面最大速度を決める必要がある.それら数値については,大阪市の配水管データ及び想定地震発生時の市域における地表面最大速度分布を利用した.また,これらのデータにより250m×250mメッシュ単位で管路の管種・口径別に布設延長を分類し,後述する被害予測式により各メッシュ単位における被害率を算定した.

a) 平均被害率 D_0

地震動と管路被害との関係を示す資料として,(社)日本水道協会でまとめられた兵庫県南部地震による水道管路被害調査データ⁵⁾等を用い,液状化が発生した地点のデータを除いて,地表面最大速度 V_{max} (cm/sec)と平均被害率 D_0 との間に線形関係があるとして,管種・継手の形式別に次のような関係式を設定した.

- 管種・継手形式がS・S・NS・P・KF形継手のダクタイル鋳鉄管,1968年以降の布設の口径800mm以上の鋼管

$$D_0 = 0 \quad [1]$$

- 管種,継手形式が上記以外のダクタイル鋳鉄管及び被覆材管内装着工法により更生された鋳鉄管

$$D_0 = 0.004(V_{max} - 20) \quad [2]$$

ただし, $V_{max} = 20$ cm/sec以下は $D_0 = 0$

- 管種・継手形式がメカニカル継手の鋳鉄管

$$D_0 = 0.010(V_{max} - 20) \quad [3]$$

ただし, $V_{max} = 20$ cm/sec以下は $D_0 = 0$

- 管種・継手形式がメカニカル継手以外の鋳鉄管

$$D_0 = 0.016 V_{max} \quad [4]$$

b) 口径による補正係数 C_1

兵庫県南部地震による管路被害において、口径が大きくなるにつれて被害率が低下しているが、これを反映させるために、表-1 のように平均被害率に対する管種・口径別被害率の比を算出し、補正係数 C_1 として用いた。

c) 埋立地盤における補正係数 C_2

地盤の液状化・側方流動の影響を反映させるため、兵庫県南部地震による管路被害率をもとに、表-2 のように平均被害率に対する埋立地盤被害率の比を算出し、地盤による補正係数 C_2 として用いた。

以上をまとめると、被害率 D (箇所/km) は、次式のようになる。

$$D = D_0 \cdot C_1 \cdot C_2 \quad [5]$$

d) 被害予測結果

管網レイアウトによる耐震性評価の定量化とその費用対効果の分析に主眼をおいていることから、管網モデルにおいては、被害率一定で被害が発生するものと仮定した。なお、解析で用いた口径 300mm 以下の管路平均被害率である 0.91 箇所/km⁶) は、前述した管路被害予測式と既存管網データや大阪市で想定されている直下型地震の想定最大速度を用いて得られた各管路被害率を平均した結果である。

(2) 漏水量の想定

地震発生に伴う漏水量については、兵庫県南部地震発生直後の配水量増加量や漏水修繕時のデータから漏水した配水管口径をはじめとする被災状況や水圧状況を参考に漏水量を統計的に算出⁷⁾しており、その数値を用い、1 箇所当たりの漏水量 20.7m³/時を算定した。

なお、解析に当たっては、兵庫県南部地震で被害を受けた配水管の約 9 割は、口径 300mm 以下の小口径であったことから、小口径で構成されている供給管路のみが被害を受けると仮定し、数値解析を実施した。

4. 管網解析

(1) 解析手法

発災後においては速やかに復旧活動を実施するとともに、生命線となる生活用水をいち早く市民へ給水することが重要である。復旧活動が開始する時点において、水道システムが機能を保持している区域が広い場合、すなわち適正な水圧で供給可能である区域が広い場合は、復旧活動を迅速に進めることができるとともに、飲料水の運搬による応急給水区域も限定化されるため、被災した市民への影響も減少することとなる。

したがって、本論では、管網計算により復旧開始時の通水可能率を算出することによって、管網の耐

表-1 管種・口径別被害率と補正係数 C_1

管種	口径	~ 75	100 ~ 150	200 ~ 250	300 ~ 450	500 ~	平均
		DIP	被害率(箇所/km)	1.032	0.486	0.547	0.478
SP	平均との比: C_1	2.1	1.0	1.1	1.0	0.2	
CIP	被害率(箇所/km)	2.600	1.860	1.687	0.850	0.301	1.508
	平均との比: C_1	1.7	1.2	1.1	0.6	0.2	

DIP:ダクタイル鋳鉄管, SP:鋼管, CI

表-2 埋立地盤被害率と補正係数 C_2

管種		埋立地	平均
DIP	被害率(箇所/km)	1.277	0.300
SP	平均との比: C_2	4.3	
CIP	被害率(箇所/km)	3.518	2.600
	平均との比: C_2	2.3	

表-3 計算ケースの考え方

	管網形態	考え方
Case	非ブロック化管網モデル	兵庫県南部地震と管路被害率を同値とした。
Case	ブロック化管網モデル	200のフレーム管を耐震管路とした。
Case	非ブロック化管網モデル	管路の被害率をCase と同等とした。

表-4 管網モデルの設定諸元

管網モデルの設定条件		
想定人口	(人)	130,000
想定面積	(km ²)	11.4
想定給水量	(m ³ /日)	100,000
時間係数		1.89
震災時の漏水量		
1箇所当たり漏水量	(m ³ /時)	20.7
想定被害率(箇所/km)		
Case		0.91
Case		0.55

震性能を評価した。なお、地震に伴う漏水発生箇所については、事前に特定することが困難であることから、既述の管路被害予測式により算出した被害率から、モンテカルロシミュレーションを用い、ランダムに漏水を発生させ解を導き出す手法を用いた。試行回数を1000回とした。

(2) 計算ケース

図-1 で示したブロック化管網と非ブロック化管網における復旧開始後の水理特性について検証した。特に、配水管網における耐震化事業の投資効果について検証するため、フレーム管として定義した各ブロックの外周管路(管路延長約 185.6km の内 67.5km)を耐震化したものとして解析した。この場

合、前述した管路被害予測式により平均管路被害率を 0.55 箇所/km と設定した。表-3 は、各計算ケースの考え方を示したものである。また、管網モデルの設定諸元を表-4 に示す。なお、表-4 において、ブロック内の想定人口・面積・給水量は大阪市域の平均値を採用した。

(3) 水理特性の比較検討

表-5は、各計算ケースの解析結果を示した表である。計算結果において、耐震性能の評価基準の1つである復旧開始時の通水可能率（配水管の水圧が、0.10MPa以上確保された区域が全配水区域に占める割合）においては、非ブロック化管網モデル(Case)の61.4%に対し、ブロック化管網モデル(Case)では80.6%となり、約20ポイントも向上する結果となった。これは耐震化完了前のモデルを想定したCase に比べ、Case およびCase の耐震化モデルは、通水可能率が向上しており、耐震性能が向上していることが判る。

また、Case とCase という同一の想定被害率で両者の耐震性能を比較した場合でも、平均水圧では0.02MPa分だけ、ブロック化管網モデル(Case)の方が向上する結果となった。これは供給区域の管網を適切にブロック化することにより、漏水に伴う配水管水圧の低下が局所化されたためと考えられる。

(4) 震災リスクの軽減効果

図-3 に各管網モデルにおける復旧開始後の通水可能率と管路被害率との関係を示す。Case とCase を結ぶ直線は、フレーム管の管路被害率が異なるのみで、管網自体は同一モデルを利用していることから、配水管の材質や継手形式の耐震化による効果、すなわち耐震性の劣る経年配水管から耐震管へ更新することによる効果を示している。

Case はCase と同じ管路被害率 0.55 箇所/km であるが、復旧開始時の通水可能率が上昇している。したがって、Case とCase を結ぶ直線は、前述した配水管の耐震化による効果に加え、管網形態をブロック化し、フレーム管を耐震化することによる耐震性能の向上分が含まれている。特に、ブロック化された管網において、配水管路の役割分担の明確化したフレーム管の耐震化整備を進めることは、ブロック内部の水圧確保が可能であり、配水管の耐震化による信頼性向上とともに、管網レイアウトによる水理特性による耐震性向上も付加することから、

表-5 管網解析結果

項目	Case	Case	Case
管路被害率(箇所/km)	0.91	0.55	0.55
復旧開始時の通水可能率(%)	33.2	80.6	61.4
初期断水率(%)	66.8	19.4	38.6
平均水圧(MPa)	0.08	0.14	0.12

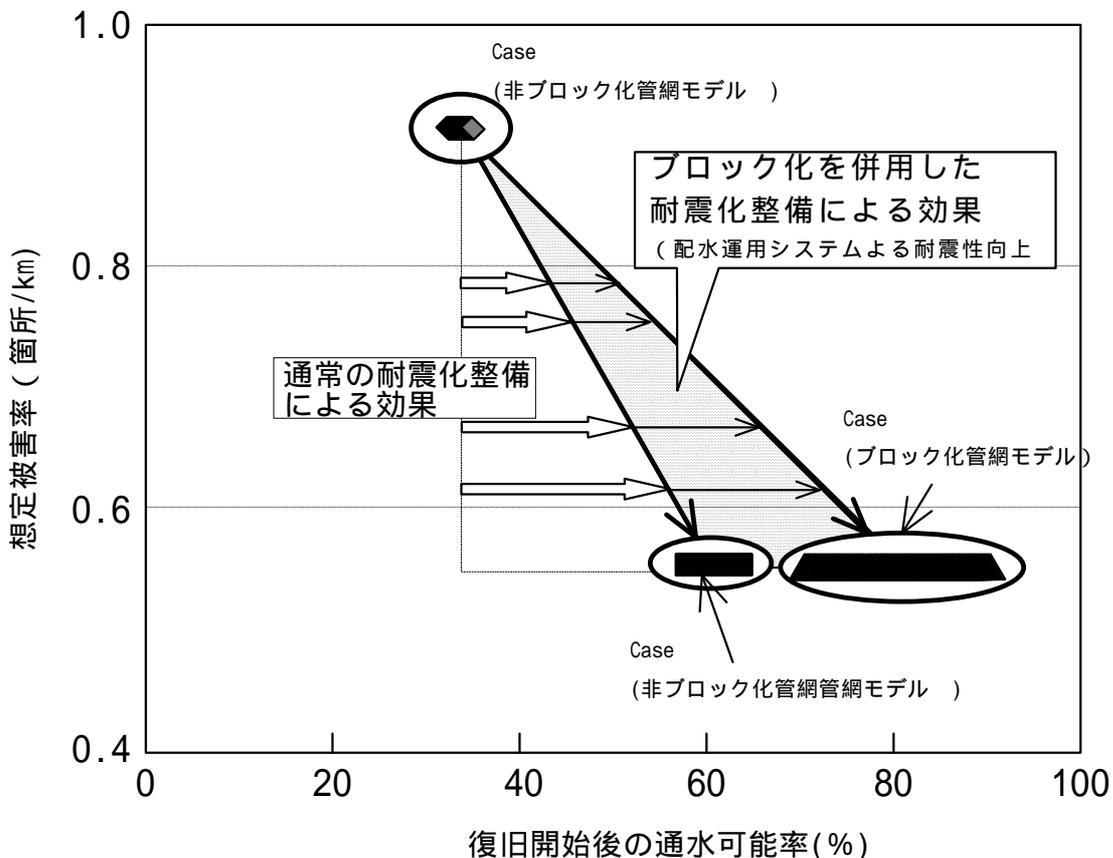


図-3 復旧開始後通水可能率と管路被害率との関係

同一の想定被害率においても、発災直後における通水可能率を向上させ、震災リスクの軽減効果の向上を目指す戦略的な耐震整備計画の策定にも役立つものと考えられる。

5.費用対効果分析

配水管網のブロック化については、管路被害率が同じである場合、ブロック化していない管網に比べ、耐震性能が高いことが管網解析により明らかにできた。

本章では、前章で検証された配水管路の震災リスク軽減効果を用い、配水管の耐震化整備に必要な投資額について費用対効果分析を試みた。

分析に当たっては、(社)日本水道協会の「費用対効果分析マニュアル」⁸⁾(以下、「分析マニュアル」という)の考え方を基本とし、前章の管網解析から得られた結果をもとに、本市水道局の既存管網に置換した場合を想定して試算した。

また、管網形態によって効果にどの程度違いが生じるかを明らかにするため、Case と Case の管網モデルの2ケースにおいて費用対効果分析を行った。

(1) 分析手順

図-4 に、費用対効果の算定手順を示す。費用対効果の算定には、長期にわたる事業を実施することから、年度別の費用及び便益を割引率により現在の価値に換算して集計し、総費用及び総便益を求める必要がある。本論では、「分析マニュアル」に示されているとおり、各経費に換算係数を乗じ、現在価値への換算を試みた。

(2) 費用の算出の考え方

大口径の配水管で構成される基幹管路は、主として相互応援機能の役割を担うものであり、その耐震性向上による費用対効果の分析は容易である。一方、口径 200mm 以下の小口径の配水管で構成されている供給管路は、市民へ直接供給することを主たる目的としており、大口径の配水管と比較した場合、社会的影響度等の費用対効果の分析が困難であるが、一方で地震動による管路被害の大部分は口径 300mm 以下の配水管であり、対象となる供給管路の費用対効果を算定することは、震災リスク軽減に向けた設備投資を検討するにあたり、有意義である。

以上のことから、ここでは費用についても供給管路に着目して算定を行った。

なお、投資費用としては、ブロック化モデルにおける各ブロックの外周を口径 200mm のフレーム管路でループ化を行う整備費用を想定し、既述のようにモデル管網の約 36%の 67.5km の耐震化整備に必要な事業費を費用とした。また、比較対象となる非ブロック化管網モデルについては、管口径の構成上、ブロック化管網モデルと同延長の口径 200mm を確保することができないため、ブロック化管網モ

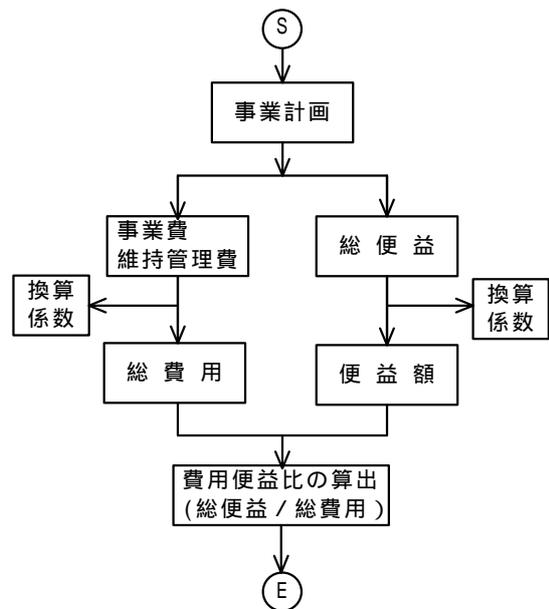


図-4 費用対効果の分析手順

表-6 各管網モデルにおける耐震化費用

項目	耐震化延長 (m)	工事費 (千円/m)	事業費 (千円)
ブロック化管網モデル			
200mm	67,500	161.6	10,908,000
小計			10,908,000
非ブロック化管網モデル			
200mm	54,000	161.6	8,726,400
150mm	13,500	147.2	1,987,200
小計			10,713,600

デルと事業延長を同等とするため、不足する延長分については、口径 150mm の管路を対象に加えた。表-6 に両管網モデルにおける費用比較を示す。なお、費用算出に際しては、一般的な工事費用を試算して設定した。

(3) 便益の算出の考え方

管路の耐震化による便益は、断水による需要者の被害額の減少分と復旧工事費の減少分である。被害額の減少分は、管路の耐震化により、初期断水率の低減と復旧日数の短縮が可能となることから、復旧完了までの被害度を復旧開始後の断水率と復旧日数の積と定義し、その減少分に対し、断水による被害額の原単位を乗じて求める。

また、経年管路の更新整備によって漏水防止効果も期待されることから、漏水損失額や漏水修繕等の維持管理費の減少分も便益に加算した。

a)断水による1人1日当たりの被害額

断水による1人1日当たりの被害額は、震災に伴う長期断水の影響を、供給されなかった水量の金額に置き換えて費用を試算した。各用途の被害額については、分析マニュアルの数値を引用した。各用途の被害額を表-7 に示す。

表-7 断水による想定被害額原単位
(1人1日当たり)

水使用用途	被害額	考え方
生活用	¥7,000	用途別に付加価値を設定する。 炊事用水(20L) ペットボトルで換算 20L×¥100/L ¥2,000 洗濯用水(50L) クリーニング代 ¥2,000 風呂用水 入浴料+交通費 ¥1,000 トイレ用水 欧米での使用料等 ¥500×4回 ¥2,000
業務 営業用	¥19,000	1996年の国民1人当たりの 第3次産業の売上高
工業用	¥7,000	1996年の国民1人当たりの 製品出荷額等とした
合計	¥33,000	

b) 初期断水率の設定

初期断水率は、次式より算定することとした。

$$\text{初期断水率(\%)} = \frac{100 - \text{復旧開始時の通水可能率}}{\quad} \quad [6]$$

復旧開始時の通水可能率は、前章の解析結果を使用した。表-8 に各管網モデルにおける各種数値の比較を示す。

c) 復旧日数の算出

復旧日数については、復旧に当たるチーム数と想定復旧件数(件/日/チーム)を乗じることにより試算した。想定復旧件数及びチーム数は、「大阪市災害対策本部水道部業務実施基本計画書[震災対策編]」⁹⁾で設定された管路の想定復旧件数(口径400mm以下の場合、2件/日/チーム)を用い、チーム数についても、大阪市が想定している復旧チーム数をもとに、管網モデルとの面積案分により復旧チーム数を4チームと設定した。その結果、復旧日数としては、Case が21日間、Case 及び Case が13日となり、差し引き8日間短縮された。

d) 断水による被害額の減少分

復旧に要する日数と断水率を乗じたものを被害度と定義し、断水による被害度の減少分から被害額の減少分を試算した。

被害度の減少分は、図-5の斜線で示した部分の面積として求められ、ブロック化管網モデルで581(%・日)、非ブロック化管網モデルで459(%・日)となった。この被害度減少分に、断水による1人1日当たりの被害額と給水人口を乗じて、断水被害額の減少分を算出した。算出結果を表-9に示す。

e) 復旧工事費の減少分

管路を耐震化することにより、震災時での漏水箇所数が減少することから復旧工事費も減少する。この効果についても便益として計上した。なお、復

表-8 初期断水率等の比較

項目	管網モデル		
	Case	Case	Case
管路被害率(箇所/km)	0.91	0.55	0.55
管路被害数(箇所)	169	102	102
復旧開始時の通水可能率(%)	33.2	80.6	61.4
初期断水率(%)	66.8	19.4	38.6

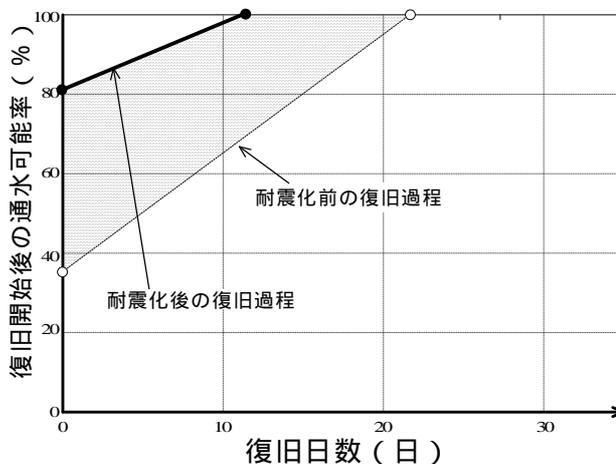


図-5 断水による被害度の減少分

表-9 断水による被害額の減少分

項目	管網モデル		
	Case	Case	Case
被害額(%・日)	704.5	123.3	245.5
被害額の減少分	-	581.1	459.0
被害原単位(千円/人/日)	33		
給水人口(人)	130,000		
耐震化による減少分(千円)	-	24,929,190	19,691,100

表-10 復旧工事費の減少分

耐震化による被害件数の減少分(箇所)	67
被害箇所1箇所当たりの復旧工事費(千円/箇所)	1,018
復旧工事費の減少分(千円)	68,461

旧工事費の原単位については、大阪市における漏水修繕工事の実績値より算出した。表-10に計算結果を示す。

f) 漏水損失額の低減額及び維持管理費の低減額

復旧工事費の減少分と同様、管路の耐震化により経年配水管の更新が進められることから、経年劣化が原因の漏水や漏水修繕のための維持費について、低減化が可能である。

したがって、これらの効果についても便益として計上した。なお、算出に当たっては、大阪市における経年管路の更新に伴う過去の実績から便益額を算定し、その結果、漏水損失額については、73,865千円、維持管理費については101,250千円の低減額となった。

(4) 費用対効果分析

費用便益比の算定期間を 50 年とし、年々の費用及び便益を現在価値に換算するため「分析マニュアル」の試算例(経年管更新)に示された換算係数を乗じ、費用便益比を求めた。その結果を表-11 に示す。ブロック化管網モデルでは、費用対効果分析の指標である費用便益比が 1.21 となり、非ブロック化管網モデルの 1.04 より 0.17 ポイント向上しており、管網解析による結果と同様、ブロック化と併せて耐震化整備を行った方が、高い効果を上げる結果となった。

したがって、管網のブロック化を視野にいれて耐震化整備を実施することは、耐震化による管路の信頼性向上と同時に、管網システム全体の信頼性向上をも図ることができることから、同じ費用を管路の耐震化整備に投資した場合、より高い投資効果が期待できると考えられる。

6. おわりに

本論では、管網計算を用い配水システムのブロック化による震災時の管網の信頼性を定量的に評価することを試みた。

その結果、管網のブロック化は、地震時の信頼性において優位であることを数的に確認することができた。また、費用対効果分析においても、優れた管網形態であることも示すことができた。

費用対効果の分析は、断水によって市民がサービスを受けられない額を算出するのに難しい側面があるが、震災による断水の市民への影響を定量化することにより事業を進めるという意味で有意義な指標である。こうした指標を活用しながら、事業投資の妥当性について市民に対し、分かりやすい説明をしていくことは、水道事業における説明責任(アカウンタビリティ)を果たす上でも、有力な手法の一つになり得ると考える。

参考文献

- 1) 関西水道事業研究会：消火用水確保の観点から見た都市の安全性と水道のあり方に関する一考察(水道と消火用水分科会報告)，pp.39-47，1998年8月。
- 2) (社)日本水道協会：水道施設設計指針，p.429，2000年。

項目	費用・便益 (千円) a	換算係数 b	総費用・総便益 (千円) a x b	
ブロック化と併せて、管路の耐震化整備をした場合				
費用	管路更新費用	10,908,000	1.102	12,020,616
	合計(C)	-	-	12,020,616
便益	断水被害額の減少分	24,929,190	0.43	10,719,552
	復旧工事費の減少分	68,461	0.43	29,438
	漏水損失額の低減額	73,865	21.484	1,586,906
	維持管理費の低減額	101,250	21.484	2,175,255
	合計(B)	-	-	14,511,151
費用便益比 B/C			1.210	
ブロック化をせず管路の耐震化整備をした場合				
費用	管路更新費用	10,713,600	1.102	11,806,387
	合計(C)	-	-	11,806,387
便益	断水被害額の減少分	19,691,100	0.43	8,467,173
	復旧工事費の減少分	68,461	0.43	29,438
	漏水損失額の低減額	73,865	21.484	1,586,906
	維持管理費の低減額	101,250	21.484	2,175,255
	合計(B)	-	-	12,258,772
費用便益比 B/C			1.040	

- 3) 土岐憲三：水道管路の震害予測，京都大学防災研究所年報，第22号B-2，pp.1-23，1978年。
- 4) 大阪市水道管路耐震化検討委員会：地震被害予測に基づく水道管路の復旧戦略と今後の耐震化方策について，大阪市水道局，1997年4月。
- 5) (社)日本水道協会：1995年兵庫県南部地震による水道管路の被害と分析，p.117，1996年。
- 6) Kiyoshi Miyauchi, Kouichi Murata: An Estimate of the Decrease in Seismic Risk by Seismic Improvement of Distribution Pipeline and a Case Study Evaluating the Reasonableness of the Seismic Improvement Investment, The 2nd Japan and U.S. Workshop on Seismic Measures for Water Supply, S2, pp.1-16, 2001.
- 7) 大阪市水道局：ブロック配水システム構築等に関する検討業務報告書，pp.37-41，1997年。
- 8) (社)日本水道協会：水道事業の費用対効果分析マニュアル，2000年3月。
- 9) 大阪市水道局：大阪市災害対策本部水道部業務実施基本計画書[震災対策編]，pp.9-7，1997年3月。

(2005.3.14 受付)

THE EARTHQUAKE RESISTANCE EVALUATION ACCORDING TO THE HYDRAULIC CHARACTERISTIC OF WATER PIPELINE NETWORK

Kouichi MURATA and Masakatsu MIYAJIMA

In order to maintain citizen's lifestyle during and after an earthquake disaster, we need to improve and upgrade our water supply network and pipelines. In this paper, in advance of replacing pipeline network, we attempt to quantitatively analyze the superiority of the block distribution system, which is suitable for efficient water supply control and management, and limits damage area in disaster, and compare it to a non-block distribution pipeline network, which uses simple pipeline network models. And using these results and a cost-benefit analysis, we show the benefit derived from the reduction of damage is larger than the cost of replacing aged pipes.