



Title	配水小ブロックの適正規模に関するモデル分析
Author(s)	今田, 俊彦; 小棚木, 修
Description	第9回衛生工学シンポジウム (平成13年11月1日 (木) -2日 (金) 北海道大学学術交流会館) . 3 計画・事例 . P3-5
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 9, 168-173
Issue Date	2001-11-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/7164
Type	departmental bulletin paper
File Information	9-3-5_p168-173.pdf



3-5 配水小ブロックの適正規模に関するモデル分析

日水コン 環境事業部 今田 俊彦
小棚木 修

1. はじめに

1) 配水ブロック化の意義と目的

配水管網の老朽化、需要水量分布の変化により、配水管網の機能低下が生じ、管網の更新、再編成の必要性が高まっている。一方、需要者のニーズは多様化、高度化していくとともに、水道への依存度が高いため、災害時等においても一定の給水を確保することが求められている。配水管網の「需要者への十分な水量を連続的に供給する」という目的を踏まえ、地域の実情に合わせた目標を整理して、管網再編成のための施策決定を行っていく必要がある。水量、水圧管理の目的に限定した配水管網の整備目標は以下の項目があげられる。

- ① 平常時の水圧不足の解消および均等水圧の実現
- ② 漏水防止のための過大水圧の低減
- ③ 消火時の水圧の確保（消火点で正圧）
- ④ 渇水期の給水制限時（時間給水、減圧給水）の水圧管理
- ⑤ 直結給水階高の拡大（5階～8階）

配水管網の水量、水圧管理面での目標は、平常時の水圧の十分性、消火時の水圧確保は当然のことであり、夜間時の漏水防止のための過大水圧の低減、主に受水槽の水質管理面から直結給水範囲の拡大（5階から8階程度の中高層階）があげられる。漏水防止と直結給水範囲の拡大は水圧管理面からは相反することであり、昼間と夜間の水圧管理の徹底が重要となる。また、渇水時には給水制限が行われ、減圧給水や時間給水による強制的な節水が行われるが、そのような場合に需要者に公平に給水することが望まれる。

上記の目標を達成するためには配水管網をブロック化して、本管網と支管網という2階層の管網構成に再編成することが有効である。そして、配水管網の情報収集を行うモニタリング施設および水圧、流量等を制御できる制御施設（減圧弁等）を配置させることが必要である。このような、管網の組織化を行い、監視・制御施設を適切に配置した配水管網を配水ブロックシステムと言い、既設管網から配水ブロックシステムに変換することを配水ブロック化と呼ぶこととする。図-1に配水ブロックシステムのイメージ図を示している。配水区域を独立した区域（ブロック）として境界設定されたものが小ブロックである。小ブ

ロック内の管路を配水支管、小ブロックへの輸送を担当する管路を配水本管と呼ぶ。ブロックシステムでは小ブロックが他の小ブロックと独立しているため管路設計、断水工事、水圧管理等も行いやすい。過大な水圧の小ブロックではその入り口で減圧することにより細かな圧力管理が可能である。

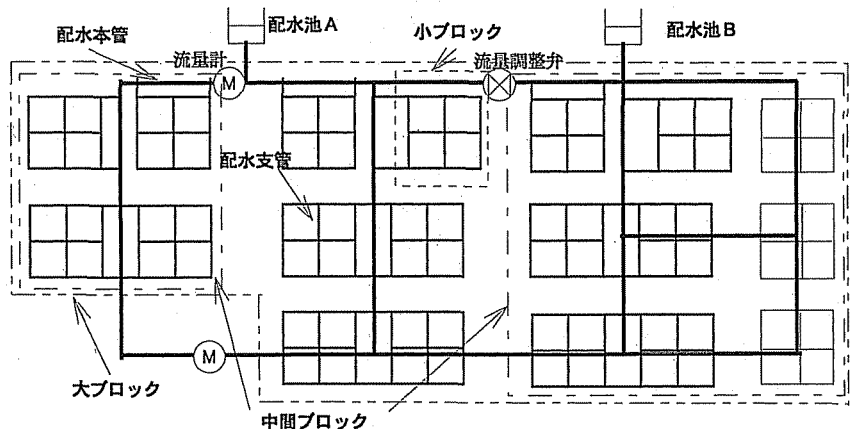


図-1 配水ブロックシステムの概念図

2) 配水小ブロックの規模の適正化

配水ブロック化の計画課題は、小ブロックへの分割と配水管の本管網、支管網への再編成方法であ

る。配水ブロック化の計画手法に関して、著者らは配水小ブロックの分割方法、経済的な本管、支管組織化方法、支管網の幹線配置等について研究を行ってきた^{1) 2) 3)}。それらの中で明らかとなってきたテーマとして、配水小ブロックの規模をどの程度にすべきかが、計画課題としてあげられる。小ブロックを小さくすることにより、動水圧や静水圧を細かく管理できるが、小ブロックを小さくすると、配水本・支管の延長を増加させ、管路布設費を増大させる。

一方、ブロックの規模を大きくすると小ブロック注入点から支管網末端までの距離が長くなり、支管の損失水頭が大きくなる。支管網の損失が大きくなると、小ブロック内の均等水圧が確保できないだけでなく、漏水防止や減圧給水のための圧力管理も困難となる。このため、圧力管理面から小ブロックの適正な範囲があると考えられる。

したがって、本稿では配水小ブロックの規模（空間的な大きさ）と配水圧の状況並びに費用の関係を分析し、適正な小ブロックの規模を検討することとする。配水ブロック化計画において利用しやすいように、ここではモデル管網を用いて配水小ブロックの規模と配水管理指標との関連を分析する。

2. モデル分析

1) モデル管網の小ブロック規模と支管網構成

ここでは、東西と南北の距離が等しい小ブロック（支管網）の形態を前提として、図-2のような6ケース（1辺200mから200m刻みで1200mまで）の規模を設定する。支管網は100mおきに格子状に配置し、本管網から支管網の中心部に注入させるものとし、その中心部から十字型に幹線（支管網のうち流量を集中させて配水する役割を持った管路）を配置させて流下させるものとする。例えば図-2に示すように、ケース1の小ブロックは、1辺200mの正方形の形をしており、管路が100m毎に格子状に配置され、節点数9で、管路数12の支管網を構成している。各ケースともに同様な形で、ケース6の1辺は1200m、節点数169、管路数312である。また、小ブロック内の人口密度は144人/ha、一人一日最大配水量は600ℓ/人、小ブロック内の時間係数を3とした。したがって、ケース6の時間最大配水量は、432ℓ/sである。

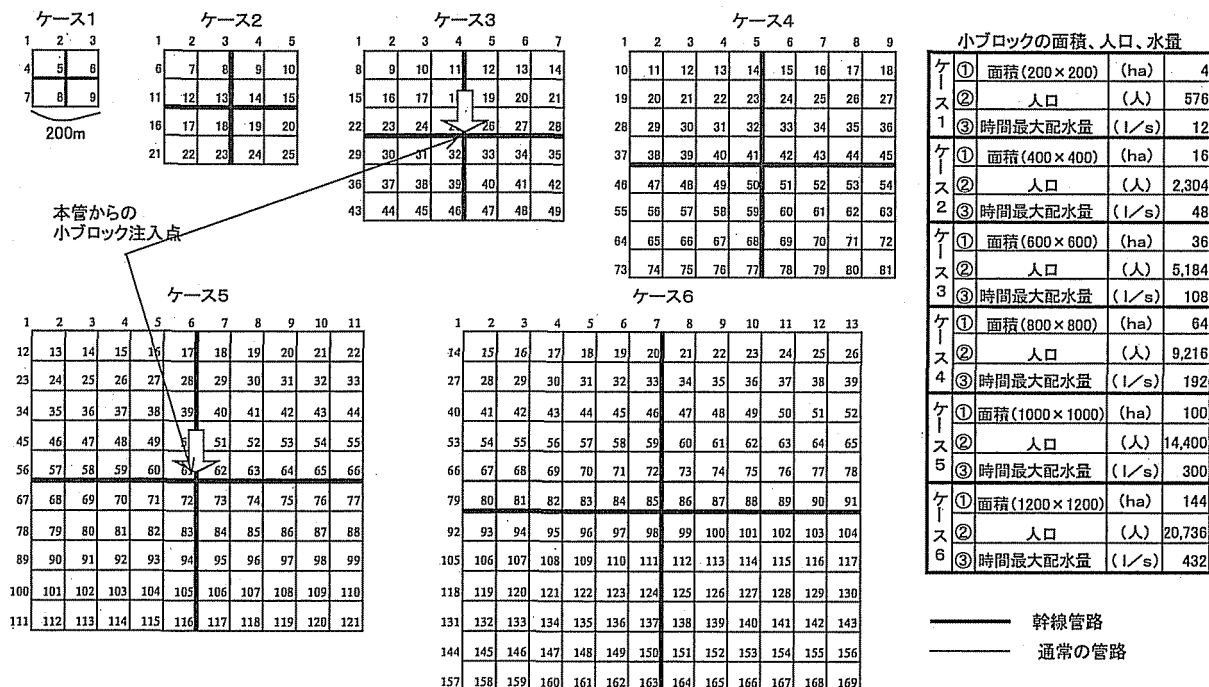


図-2 配水小ブロックの規模と配水支管網の構成

2) 小ブロックの規模と配水圧の状況

ここでは、小ブロックの規模別に、表-1に示す①平常時（時間最大時）、②消火時、③濁水時（時間給水時）の3つのケースの水圧（損失水頭）状況を検討する。ここで、平常時とは時間最大時のこ

とであり、小ブロックの区域が狭いことを考慮して時間係数を3とした。また、消火時については、支管網末端の消火点で $3\text{m}^3/\text{s}$ を放出するものとした（通常は $5\text{m}^3/\text{s}$ であるが、隣接ブロックから応援できるものと仮定）。さらに、渇水期には強制的な節水を行うため時間給水を行うが、時間給水時には各世帯の蛇口は2~3栓が開放状態となり多大な配水量が発生する。時間給水時には、時間をずらした小ブロック毎の配水を行い、本管網での多大な配水量を軽減させることになる。

各ケースの需要水量、水圧許容条件を整理すると、表-1の通りである。

表-1 各ケースにおける需要水量の条件、水圧許容条件

ケース	需要水量の条件	水圧許容条件	備考
①平常時 (時間最大時)	時間係数 3.0	直結給水範囲の拡大(8階)を考慮して支管網末端で30m	通常の3階建物への給水の場合は支管網末端で15m
②消火時	時間係数 1.0 消火水量 $3.0\text{m}^3/\text{min}$	支管網末端で正圧	消火地点は末端部とする
③渇水時 (時間給水時)	時間最大時の2倍 1ブロックのみの給水	直結給水範囲の拡大を考慮して支管網末端で30m	給水時間を設定して1ブロックずつ給水する
静水頭(夜間)	需要水量ゼロ	静水頭は75m未満とする	

小ブロックの規模別に、支管網の口径を選定し、各条件(①~③)での損失水頭を算定したものを表-2に示す。なお、支管の口径配置案で「 $\phi 75$ のみ」は全管路を75mmとした場合、「 $\phi 100$ のみ」も同様に全管路を100mmとした場合であり、「 $\phi 150$ 幹線」は幹線を150mm、その他を100mmとしたものである。他の「 $\phi \text{〇〇}$ 幹線」も同様である。この結果をまとめると以下の通りである。

① 平常時については表-2に示すように、損失水頭を10m以内におさえるためには、1辺400mのブロックでは $\phi 100$ のみの支管で良く、1辺600mでは $\phi 150$ の幹線、1辺800mでは $\phi 200$ の幹線を必要とする。

② 1辺200mの小ブロックでは平常時には $\phi 75$ で水圧を十分確保できるが、消火時には80m以上の損失となるため、 $\phi 100$ 以上の管路が必要となることわかる。

③ 小ブロックの規模が大きくなるにつれて口径を大きくすることが必要になることは当然であるが、平常時に比べて消火時には幹線の口径があまり影響しない(図-3)。小ブロックの規模が大きい場合に消火時の損失を小さくするためには、幹線以外の管路口径を大きくすることが必要である。

④ 渇水時には平常時の3倍以上の損失水頭となるため、支管網では平常時の損失を5m以内におさえないと渇水時の損失が大きくなりすぎることになる。仮に平常時の損失水頭を10mとして設定すると、時間給水時には損失水頭が30m以上となって断水となる地域が多数発生することが想定される。漏水防止や渇水時の節水を図る場合に、末端の水圧低下をきたさないようにするためには、平常時の損失を5m以内に押さえることが必要と考えられる。

⑤ $\phi 200$ を幹線としたケースは1辺200mから1000mまでの小ブロック規模に対して平常時の損失水頭を10m以内に、消火時の損失水頭を30m以内におさえる能力がある。配水支管網の整備・維持管理を考えると、管路の備蓄、設計・施工作業の簡素化から $\phi 200$ と $\phi 100$ からなる支管網を構成することは実用的であると考えられる。

表-2 小ブロック規模別、口径配置案別の支管網の損失水頭

ブロック規模	損失水頭						
	$\phi 75$ のみ	$\phi 100$ のみ	$\phi 150$ 幹線	$\phi 200$ 幹線	$\phi 250$ 幹線	$\phi 300$ 幹線	$\phi 350$ 幹線
平常時	200m	0.7	0.7				
	400m	14.3	3.5	0.6	0.2		
	600m	72.9	18.0	3.2	1.1		
	800m		55.5	10.3	3.6		
	1000m		131.6	25.2	8.8	4.6	3.2
	1200m		265.0	52.3	18.3	9.2	7.2
消火時	200m	85.4	21.0				
	400m	-	28.3	21.7	20.6		
	600m	-	36.0	25.5	23.8		
	800m		46.9	29.1	26.3		
	1000m		63.5	33.6	28.8	27.5	27.0
	1200m		88.3	39.7	31.8	29.6	28.8
渇水時	200m	2.1	2.5				
	400m	51.6	12.6	2.2	0.7		
	600m	262.8	64.9	11.5	4.0		
	800m		200.1	37.1	13.0		
	1000m		474.4	90.8	31.7	16.6	11.5
	1200m		955.3	188.5	66.0	33.2	26.0

注) ハッチングは、平常時損失水頭10m未満、消火時30m未満、渇水時20m未満。

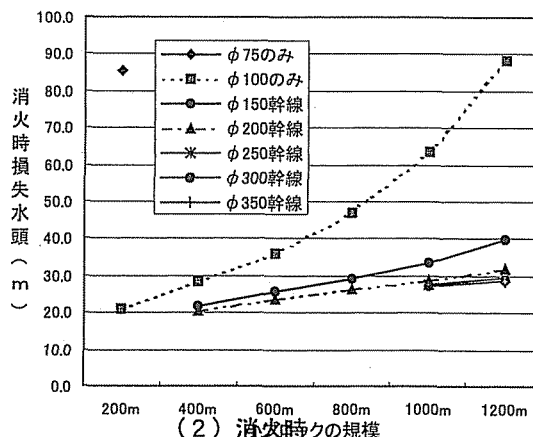
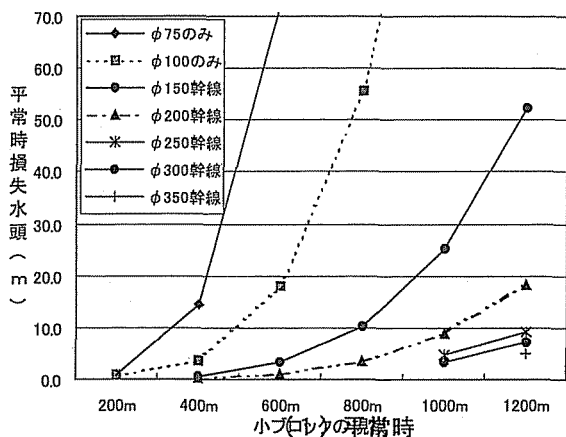


図-3 小ブロック規模別の口径配置案での損失水頭

3) 小ブロック規模別の支管網の費用

ここでは、全体の配水区域を1辺12kmの正方形と仮定し、それを先に示した6ケースの小ブロックに分割する。そして支管網での損失水頭を5m以内に押さえることを前提条件に、支管網の口径を決定し、その支管網の布設費用を比較する。計算された費用の一例を示すと(表-3)、1辺800mの小ブロック数は225あり、全支管延長は3240km、全体の支管布設費用は188億円となっている。

支管の布設費用は、小ブロックの1辺が200mの時が最も大きく、規模が大きくなるほど次第に減少するが、1辺800mを最小にその後増加することが分かる。これは、小ブロックの規模が大きくなると支管延長は

表-3 小ブロックの規模と支管布設費用の関係

ブロック規模	小ブロック数	1ブロック当支管延長(m)	支管網口径配置	1ブロック当支管費用(千円)	全体支管延長(km)	全体支管費用(百万円)	費用の比較
200m	3600	1200	全路線φ100	6,403	4,320	23,052	1.22
400m	900	4,000	全路線φ100	21,344	3,600	19,210	1.02
600m	400	8,400	幹線φ150他φ100	47,232	3,360	18,893	1.00
800m	225	14,400	幹線φ200他φ100	83,766	3,240	18,847	1.00
1000m	144	22,000	幹線φ250他φ100	130,926	3,168	18,853	1.00
1200m	100	31,200	幹線φ350他φ100	188,750	3,120	18,875	1.00

短くなるが、管路の口径を大きくすることが必要になるため、その分費用が大きくなるためである。

4) 小ブロック規模と配水本管・支管の損失水頭と布設費用の関連

さらに、配水本管を含めた管路全体の費用を比較するために、1辺2.4kmの配水区域を想定し、その時の配水本管・支管の布設費用を比較する。配水区域の大きさから、ここで検討する小ブロックの規模は4ケース(管路布設の経済性が低い200mを除いて1辺400、600、800、1200mの小ブロック)である。配水本管は、高桑による経済的な配水管網の設計法により口径を算定した⁴⁾。その手順は、流量配分は松田の方法によるものとし、口径選定は条件なし極値法(微分法)に基づいて算定した。図-4に配水小ブロック規模別の配水本管の配置を示す。配水本管の配置は、小ブロックの注入点の中央を通るように配置するものとし、網目状の管網となるように組織するものとした。このような手法により算定した配水本管及び支管の口径分布と費用の状況を表-4に示す。

表-4 小ブロック規模別の配水本管、支管の布設費用

小ブロック規模	小ブロック数	本管の口径別延長と布設費用								支管の口径別延長と布設費用					管路費用合計		
		φ800	φ700	φ600	φ500	φ400	φ300	φ200	合計	φ350	φ200	φ150	φ100	ブロック計		支管計	
		65,750	52,210	41,875	30,859	22,075	14,614	9,666		17,523	9,666	7,344	5,336				
400m	36	延長(m)	300		400	1,600	2,400	8,800	10,800	24,300				4,000	4,000	144,000	
		費用(千円)	19,725		16,750	49,374	52,980	128,603	104,393	371,825				21,344	21,344	768,384	
600m	16	延長(m)	400	600		1,200	2,400	8,400	1,800	14,800			1,200	7,200	8,400	134,400	
		費用(千円)	26,300	31,326		37,031	52,980	122,758	17,399	287,793			8,813	38,419	47,232	755,712	
800m	9	延長(m)	500			2,400	4,000	3,200		10,100			1,600		12,800	14,400	129,600
		費用(千円)	32,875			74,062	88,300	46,765		242,001			15,466		68,301	83,766	753,898
1200m	4	延長(m)	700	1,200		3,600				5,500	2,400				28,800	31,200	124,800
		費用(千円)	46,025	62,652		111,092				219,769	42,055				153,677	195,732	782,928

得られた配水本管と支管の口径のもとで、平常時、消火時、濁水時の損失水頭を整理すると、図-5となる。

図-5では、本管、支管の損失水頭に加えて、給水管の損失及び供給する需要者の蛇口高さを加えた積層グラフとなっており、その合計値は配水池水位と需要地との必要水頭（ポンプ圧送では必要全揚程）を示している。損失水頭と必要水頭差の概念を図-6に示した。結果をまとめると以下の通りである。

- ① 支管網の平常時の損失を5m以内に押さえることにより、小ブロック内の圧力均等化が可能で、消火時の損失も30m以内に押さえることができ、濁水期の時間給水時においても支管網で20m以内となる。
- ② 各管路の損失水頭は配水管の損失を20mとした場合に、本管5m、支管15m、給水管5mといった構成比であり、8階建物に直結給水する場合は50mの高低差（水位差）を必要とする。1辺1200mの小ブロックの規模では、濁水時において必要水頭差が80mを超えており、静水頭75mの制約を超える事になる。

- ③ 濁水期の時間給水時を考慮すると、小ブロックの規模が1辺1200mは給水時間を小ブロック別に限定して本管の負担を軽減するという効果が小さくなり、平常時よりも配水本管の損失が大きくなる。

- ④ 図-7に示すように、配水本管の費用は、小ブロック規模が大きくなるにつれて小さくなるが、支管費用は1辺1200mで増加に転ずるため1辺800mで総費用が最も小さな値となっていることが分か

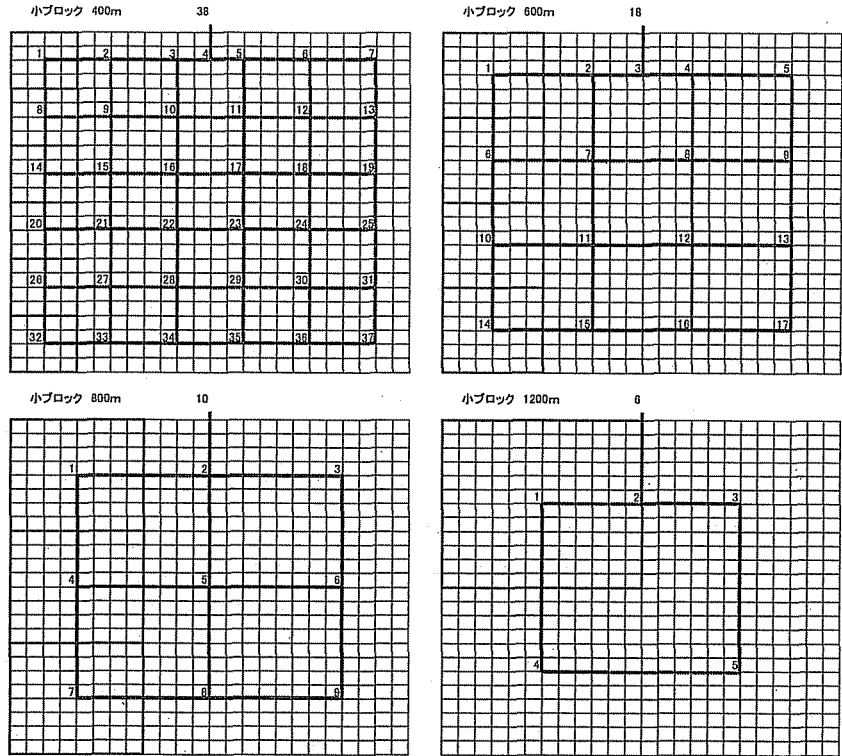


図-4 配水本管網の配置（配水区域1辺2.4km）

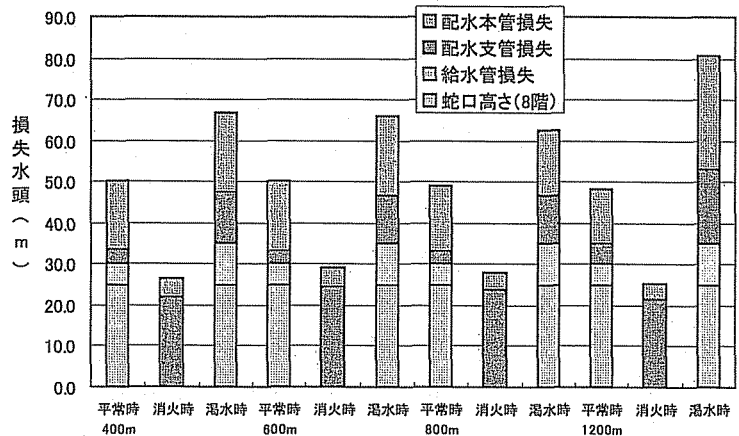


図-5 配水管網の損失水頭および必要水頭

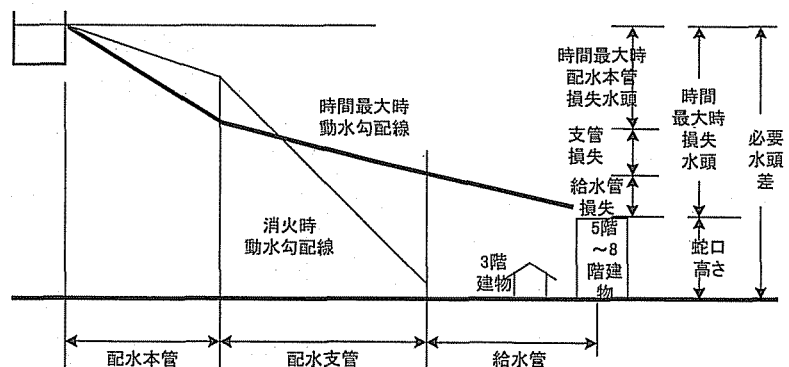


図-6 配水管、給水管の損失水頭と必要水頭の概念

る。なお、本モデル管網は、格子状の単純な正方形の形態をしており、小ブロック規模が大きくなるほど本管網の延長は短くなる。しかし、実際の管網では本管網の形状によりブロック規模が大きくなるにしたがって延長の減少傾向が大きくない場合も想定されるため、費用の傾向は多少変りうると考えられる。したがって、費用の順位は配水本管の条件によって異なり、ケース別には小ブロックの規模が1辺600mから1200mのケースまでは、費用の差はそれほど大きくないと解釈できる。

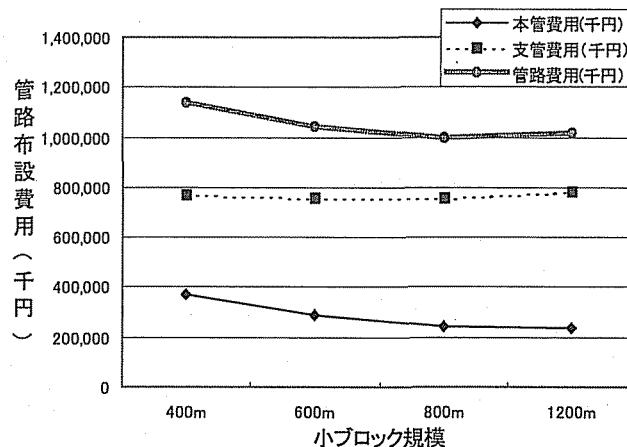


図-7 小ブロック規模別の配水本管、支管の布設費用

- ⑤ 小ブロックは水圧管理の単位となるだけでなく、災害時における給水の単位となりうる。地震等の災害時の給水拠点（小ブロック注入点に非常用飲料水貯水槽の設置）とすると、需要者の生活圏とあわせて設定することが有効であり、その場合は小学校区の1万人規模となり、1辺800mないしは1000m（人口密度によって変り得る）が適当な規模となる。

3. おわりに

本稿では、配水小ブロックの最適規模に関してモデル管網を用いた分析を行った。その結果は以下に示す通りである。

- ① 設定した条件の下では、小ブロックが1辺200m、400mの小規模の時は、細かな水圧管理が行える反面、本管、支管の延長が長くなり、消火時の水量が平常時の2~7倍となるため支管網の口径を大きくする必要があった。この結果、小規模な小ブロックは管路布設費用が高くなる傾向にあった。
- ② 一方、小ブロックの規模が1辺1200mのような大規模の時は、小ブロック注入点から支管網の末端までの延長が長くなり、小ブロック内の均等水圧の確保が困難となる。損失水頭の増加を押さえるためには、支管網の幹線の口径を増大させる必要が生じ、その結果管路布設費用は高くなった。さらに、渇水期の時間給水時には時間をずらして小ブロック毎に給水していくことになるが、小ブロックの規模が大きいため配水本管への水量負担が大きく、他のケースに比べて本管の損失が大きくなった。
- ③ 以上のことから、本モデルケースでは、600m~1000m程度の規模が水圧管理、管路布設費用面で有利とされたが、配水小ブロックを平常時の配水管理単位、災害時の拠点給水の単位とみなせば、小学校区のような生活圏とあわせることも有効であり、その場合は人口1万人程度の規模が目安となる（人口密度により異なるが1辺800m~1000m）。

最後に、本検討では、人口密度や需要原単位、配水区域の形状を仮定して検討したが、他の条件により結果がどのように変化するかを検討することが今後の課題である。本論の作成に当たり、貴重なご助言をいただいた北海道大学工学研究家都市環境工学専攻、高桑哲男教授に感謝いたします。

【参考文献】

- 1) 今田俊彦・小棚木修・山田良作：配水ブロックシステムの計画手法に関する研究（1）－計画手順とブロック境界の設定－、水道協会誌投稿中。
- 2) 今田俊彦・小棚木修・山田良作：配水ブロックシステムの計画手法に関する研究（2）－配水本管・支管の経済的口径決定手法－、水道協会誌投稿中。
- 3) 今田俊彦・小棚木修・中村浩：配水ブロックシステムの計画手法に関する研究（3）－配水支管網の幹線配置に関する研究－、水道協会誌投稿中。
- 4) 高桑哲夫：配水管網の解析と設計、森北出版、1978。