

住宅都市整備公団 正員 吉田英雅
 広島大学工学部 正員 奥村 誠

1. はじめに 水道システムの信頼性を向上させる上で耐震化は有効な方策であるが、費用や時間の制約から完全な耐震化は不可能であり、地震によるある程度の被害は避けられない。その際、被災直後の飲み水等は備蓄でまかない、復旧期の4日目以降から1ヶ月程度の間は、最低限の必要量を緊急給水により供給する方法が实际的である。緊急給水点にはタンクを設置し、給水車および仮設水道管で補給することを想定する。本研究では緊急給水点を、事前の被害想定のもとで立案された地点に必ず設置するのではなく、災害時の状況の変化に応じて配置場所を修正した上で設置することを考える。その際の配置の変更方法を検討するために、人工生命シミュレーションを適用する。

2. 事前の配置計画と事後の対応 事前の被害想定のもとで、効率的な給水点の配置を求める問題に対しては、地域全域の情報に基づき、中央集権的に時間を掛けて最適性を追求すればよい。目的関数が簡単なら施設配置理論が適用できるし、複雑な問題にも遺伝的アルゴリズム（GA）が適用できると考えられる。本稿ではGA等によりある程度最適な事前配置案が得られているとするが、計算上は事後の対応と同様の人工生命シミュレーションを多数回繰り返して作成した配置案を事前配置案として用いる。

災害時には想定状況と異なる状況が発生する可能性がある。例えば想定していなかった施設が被害を受けたり、逆に耐震化されていない施設が機能を維持していることが明らかとなったり、住民の地域内外での避難や移動により大幅に人口分布が変化したりすれば、緊急給水の供給側・需要側の条件が変化することになる。そのため、事前の配置案を実行することが困難になったり、配置案のパフォーマンスが著しく低下する可能性がある。ここでは、(1)配置可能給水点数の減少、(2)幹線水道管の機能停止、(3)人口分布の変化などを想定する。災害の発生後には情報を一ヶ所に集めることは困難なので、個々の給水点の担当者が分権的に予定地点の周囲の状況を情報収集し、必要であれば配置場所を変更した上で給水を行うことが許されていると仮定する。具体的には、予定地点に隣接する点を評価し、高ければ位置を変更して給水点を設置する。評価には、(1)耐震水道管までの近さ、(2)移動先の周辺の人口の多さ、(3)移動により他の給水点との距離が近づきすぎないこと、の3項目を重みづけして評価する。どのような重みづけにより、変化した状況に対応した給水能力の大きい配置が得られるかを検討する。

3. 人工生命シミュレーションの方法

- a) 仮想環境 図-1のように2本の耐震水道管を中心に人口が分布する2次元平面を設定する。
- b) 初期配置案 10個の緊急給水点を以下に示す適合度が最大になるように配置した案を用いる。計算上は以下のシミュレーションを100回実施した結果を用いる。
- c) 適合度 すべての人口は最も近い給水点を選ぶと考え、各給水点の割当人口に21ℓを掛けて必要水量とする。給水可能量は L ：耐震水道管からの直線距離（m）の減少関数（ $87,500-700L^2$ ）とし、必要水量との小さい方をその給水点の給水能力とする。これらをすべての給水点について合計したものを配置案の適合度とする。

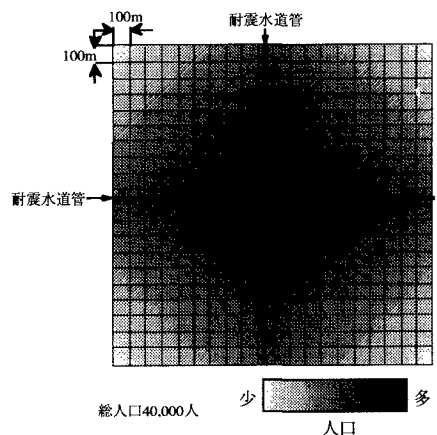


図-1 シミュレーションに用いる仮想環境

キーワード：人工生命・防災計画・最適配置問題・水道システム

連絡先：739-8527東広島市鏡山1-4-1・（Tel&Fax）0824-24-7827

d) 周囲の地点の評価と移動 給水能力がしきい値（70,000ℓ）以下となった給水点，あるいは供給量の不足が著しい（21,000ℓ以上の）給水点は，配置場所を移動する．このとき，現在の地点の周囲8地点を次式を用いて評価し，評価値の最も高い地点に移動する．

$$Y_i = a X_i + b Z_i + c W_i \quad (1)$$

ここに Y_i ：移動先の評価値， X_i ：水道管との近さ， Z_i ：移動先と周囲8メッシュの合計人口， W_i ：当該給水点から最も近い給水点からの距離の遠さ， a, b, c は重みである．

4. 事前の緊急給水点配置計画に対する条件変化の影響 事前配置計画について，供給側および需要側の条件を変化させて，適合度の低下を調べた．ここでは(1)設置できる給水点数が1つ減少した場合（最も能力の高い給水点が配置できなくなると仮定する），(2)十字に直交する耐震水道管の一方が機能停止した場合，(3)人口の25%がランダムに移動を行った場合の3つの状況に対し，事前の配置案の適合度を計算した結果を表-1の左端に示す．これより(2)のように供給条件の変化がもたらす影響は大きく，100,000ℓを越える低下が起こる．(1)では取り除いた給水点の機能を隣接する給水点が部分的に補うため，適合度の低下は一部押さえられる．また(3)の計算ケースでは逆に適合度がわずかながら向上するという結果が得られた．

5. 事後の緊急対応に関するシミュレーション結果 状況の変化を与えたもとの，事前計画の配置から3. で述べたシミュレーションの方法に従って適合度の評価と局所的な移動を実施した．移動先の重みづけ方法は7通りを考える．重みづけの違いにより，適合度の低下がどの程度回避できるかを計算する．先に設定した3つの状況変化を与えたあとのシミュレーションを行った結果を表-1の2列目以降に示す．これより，適切な移動ルールに従えば，1回目の移動で適合度は改善でき，大規模な移動を繰り返し行う必要はないことがわかる．(1)給水点の減少に対しては，他の給水点との距離と人口分布を考慮した(0,5,5)，(3,3,3)などのルールにより対応すれば，設置できなくなった給水点に近づくように他の給水点が移動し，適合度の低下を押さえることができる．(2)耐震水道管の機能停止については水道管への距離ではなく，(0,10,0)，(5,5,0)という人口の配置に重点を置いたルールによる対応が効果的である．(3)人口のランダムな移動に対して，空間平均を取っている人口指標 Z_i はほとんど変化しないので，むしろ(0,0,10)，(5,0,5)のような他の給水点との距離に重点を置いたルールによる移動が効率的である．

6. おわりに 以上の分析の結果，事前に想定した緊急給水点配置に対して，事後の局所的な情報を用いて修正した方が，パフォーマンスの高い配置ができることが確かめられた．また，人工生命シミュレーションの有効性が確かめられた．

表-1 条件変化と緊急対応による適合度の変化

給水点数 減少	緊急対応 のルール	緊急対応後の適合度の合計値		
		1回目	2回目	3回目
事前適合度	(10,0,0)	593,630	699,475	683,760
786,800	(0,10,0)	593,630	699,475	683,760
給水点数減少 後の適合度	(0,0,10)	711,095	702,205	681,275
	(5,5,0)	593,630	699,475	683,760
710,990	(5,0,5)	711,095	708,995	691,495
変化量	(0,5,5)	711,095	707,210	681,625
	(3,3,3)	722,785	729,085	725,585
-75,810 (-10%)				
耐震水道管 の機能停止	緊急対応 のルール	緊急対応後の適合度の合計値		
		1回目	2回目	3回目
事前適合度	(10,0,0)	686,630	680,995	659,400
786,800	(0,10,0)	705,530	715,750	697,515
耐震管停止 後の適合度	(0,0,10)	658,980	634,830	620,585
	(5,5,0)	705,530	715,750	697,515
683,795	(5,0,5)	649,425	622,090	613,025
変化量	(0,5,5)	670,810	673,890	671,335
	(3,3,3)	696,290	692,475	690,760
-103,005 (-13%)				
人口のラン ダムな移動	緊急対応 のルール	緊急対応後の適合度の合計値		
		1回目	2回目	3回目
事前適合度	(10,0,0)	775,733	786,681	774,704
786,800	(0,10,0)	775,733	785,470	773,493
人口の移動 後の適合度	(0,0,10)	791,168	795,053	790,531
	(5,5,0)	775,733	785,470	773,493
787,451	(5,0,5)	791,168	792,323	791,168
変化量	(0,5,5)	771,589	778,330	791,168
	(3,3,3)	771,589	787,451	771,589
651 (+0%)				