

事後の対応を考慮した緊急給水拠点配置計画の研究

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

水道システムをすべて耐震化することが費用的にも無理なことを考えれば、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拠点で供給し、その後は水道システムの復旧により、徐々に通常の需要量を満たすという方法が实际的である。本研究は復旧期の緊急給水点（タンクを設置して、給水車および仮設水道管で補給する）の配置問題を扱う。また、災害時の状況の変化に応じて、事前に計画した配置を修正した上で配置することを考える。

2. 事前の配置計画と事後の対応

事前の配置計画では、被害状況を想定した上で、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。目的関数が簡単な施設配置理論が適用でき、複雑な問題にも遺伝的アルゴリズム（GA）が適用できる。しかし本研究では、事後の対応方法との関係を調べることに関心があるので、最適性は一旦放棄し、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配置案の作成を行う。

一方、災害時には想定状況と異なる状況が発生し、事前に決定した配置が困難になったり、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)配置可能拠点数の減少、(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。そこで、災害の発生後に情報を集め、必要であれば配置場所を変更した上で給水することにより、事前計画をそのまま実施するよりも望ましい結果が得られる可能性がある。災害時には情報を集権的に集めることは困難なので、事後の対応は個々の拠点が分権的に実施すると考える。具体的には、当初の配置点に隣接する点を次の3点で評価し、高ければ位置を変更して給水拠点を設置する。(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)移動により他の拠点との距離が近づきすぎないこと。この3点をどのように評価すれば、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次元平面を設定した。
- b) 初期配置案 緊急給水拠点を10個ある程度均等に配置した。
- c) 適合度 すべての人口は最も近い給水拠点を選ぶと考え、各給水拠点の割当人口に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）の減少関数とし、必要水量との小さい方をその拠点の給水能力とする。これらをすべての拠点について合計したものを配置案の適合度とする。
- d) 周囲の地点の評価と移動 適合度がしきい値（70000ℓ）以下となった個体、あるいは供給量の不足が著しい拠点は、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。なお事前配置問題では、適合度が低すぎる拠点は、ランダムに再配置する。

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

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 ：当該拠点から最も近い給水拠点からの距離の遠さ、 a, b, c は重みである。

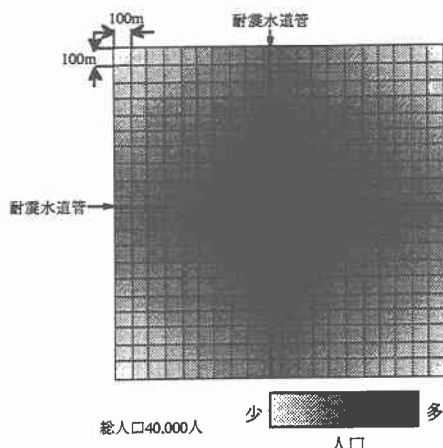


図-1 シミュレーションに用いる仮想環境

4. 事前の緊急給水拠点配置計画に関するシミュレーション結果

事前配置計画に対応するシミュレーションとして、上述した適合度の判定に基づく局所的な移動を多数回（ここでは100回）繰り返して、適合度の高い配置案を見いだした。局所的な移動を行う際の移動先の評価の重み（a,b,c）を7通り設定して計算を行った。適合度合計値が高かった順に重みを列挙すると、

（3,3,3），（0,5,5），（5,0,5），（0,0,10），（5,5,0），（0,10,0），（10,0,0）であった。最初の4つは他の拠点との距離を考慮している点で共通性があり、事前配置計画では、他の拠点との距離を考慮して配置することが必要であることがわかる。

次に、高い適合度が得られた4つの重みづけのもとで得られた最終配置について、供給側および需要側の条件を変化させて、適合度合計値の低下を調べた。ここでは拠点数が1つ減少した場合の影響と、十字に直交する耐震水道管の一方が機能停止した場合の影響を表1・2に示す。これより（0,5,5），（3,3,3）というルールによる配置は給水能力の低下が小さく、拠点数減少後も比較的高い適合度を保持しており頑健性が高い。

5. 事後の緊急対応に関するシミュレーション結果

（2）で望ましい配置のルールと判断された（0,5,5），（3,3,3）の重みづけによる2つの配置案に対して緊急対応の効果を調べた。すなわち、外的条件の変化を与えたもとで、事前計画の配置から3．で述べた適合度の評価と局所的な移動を実施する。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。ここでは、給水拠点数の変化後のシミュレーション結果のみを表3に例示する。表では、2つの事前配置案について、事前配置の給水能力、状況変化直後の給水能力、7通りのルールで緊急対応を行ったときの給水能力の推移を示している。（3,3,3）の重みづけによる事前配置案では、ルールをうまく選べば1回目の緊急対応により700,000ℓを越えるの高い適合度を達成できる。他のルールによる事前配置では、どのようなルールで1回の移動を行っても、これより低い670,000ℓ程度までしか向上しない。また、事前配置のルールがいずれの場合にも、他の拠点との距離を考慮した（0,5,5），（3,3,3）などの緊急対応ルールが効果的であった。

6. おわりに

以上の分析の結果、緊急給水拠点配置のルールによって給水能力、および災害に対する頑健性が異なること、事後の緊急対応により給水能力の低下の回避が期待できるが、その程度は緊急対応のルールによって異なることがわかった。また、施設配置、緊急対応の分析手法として人工生命シミュレーションの有効性が認められた。今後は、GA等の手法と組み合わせ、配置案の最適性が保障できる手法を開発することが望まれる。

表-1 拠点数の変化による給水能力の低下

事前配置における考慮の仕方	事前配置の適合度合計	拠点数が変化したときの適合度合計値	適合度合計値の低下
(0,0,10)	672,700	585,200	87,500
(5,0,5)	685,125	612,710	72,415
(0,5,5)	738,430	659,435	78,995
(3,3,3)	786,800	710,990	75,810

表-2 耐震水道管の停止による給水能力の低下

事前配置における考慮の仕方	事前配置の適合度合計	水道管の状況が変化したときの適合度合計値	適合度合計値の低下
(0,0,10)	672,700	588,700	84,000
(5,0,5)	685,125	576,030	109,095
(0,5,5)	738,430	659,575	78,855
(3,3,3)	786,800	683,795	103,005

表-3 拠点数の変化後の緊急対応による適合度の推移

事前配置	緊急対応のルール	配置変更後の適合度の合計値			事前配置	緊急対応のルール	配置変更後の適合度の合計値		
		1回目	2回目	3回目			1回目	2回目	3回目
ルール	(10,0,0)	550,615	658,280	660,415	ルール	(10,0,0)	593,630	699,475	683,760
(0,5,5)	(0,10,0)	546,555	633,045	598,535	(3,3,3)	(0,10,0)	593,630	699,475	683,760
適合度:	(0,0,10)	560,415	664,335	637,455	適合度:	(0,0,10)	711,095	702,205	681,275
738,430	(5,5,0)	546,555	633,045	598,535	786,800	(5,5,0)	593,630	699,475	683,760
状況変化後	(5,0,5)	568,605	676,130	693,525	状況変化後	(5,0,5)	711,095	708,995	691,495
の適合度:	(0,5,5)	556,180	678,475	665,315	の適合度:	(0,5,5)	711,095	707,210	681,625
659,435	(3,3,3)	567,030	671,160	693,665	710,990	(3,3,3)	722,785	729,085	725,585